Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

"Evaluación del efecto de la aplicación de enmiendas con dos fuentes de calcio, sobre el suelo y en el rendimiento de una mezcla forrajera en la Hacienda María Delfina, Cayambe".

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO AGROPECUARIO

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Línea 4. Gestión sostenible y aprovechamiento de los recursos naturales.

SUBLINEA: Desarrollo y sostenibilidad.

AUTOR: BRYAN XAVIER HERRERA POZO

ASESOR: MARITZA DE LOS ANGELES MIER

Ibarra, 3 de octubre del 2022

Ibarra, 3 de octubre del 2022

Maritza de los Ángeles Mier Quiroz
ASESOR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigente en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f) 
Maritza Mier Quiroz
C.C.: 1002878286

PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):



Maritza Mier Quiroz

C.C.: 1002878286



Mónica Velástegui Moreno

Nombre y apellidos del Jurado 2

C.C.: 0503323024



Luis Haro Bedón

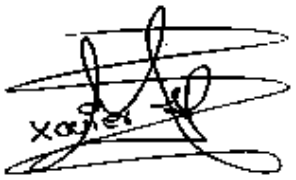
Nombre y apellidos del Jurado3

C.C.: 1002739389

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo BRYAN XAVIER HERRERA POZO, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: "Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derecho de disponer de sus derechos o autorizar de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia".

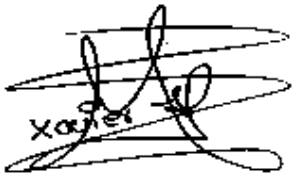
Ibarra, 3 octubre del 2022



BRYAN XAVIER HERRERA POZO
C.C.: 1726104407

AUTORÍA

Yo, BRYAN XAVIER HERRERAPOZO portador de la cédula de ciudadanía N° 1726104407, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o accione legales.



BRYAN XAVIER HERRERAPOZO

C.C.: 1726104407

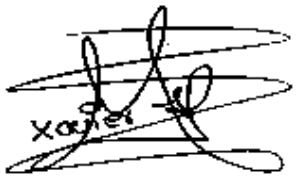
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, BRYAN XAVIER HERRERA POZO, con C.C.: 1726104407, autor del trabajo de grado intitulado: EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS CON DOS FUENTES DE CALCIO, SOBRE EL SUELO Y EN EL RENDIMIENTO DE UNA MEZCLA FORRAJERA EN LA HACIENDA MARÍA DELFINA, CAYAMBE. Previo a la obtención del título profesional de Ingeniería Agropecuaria/Ambiental/Zootecnia, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontifica Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través del sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Ibarra, 3 de octubre del 2022

f): 

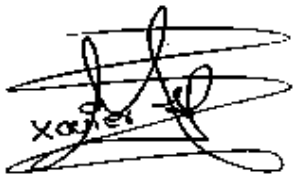
BRYAN XAVIER HERRERA POZO

C.C.: 1726104407

DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LA ELABORACIÓN, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación de Proyecto de Titulación: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS CON DOS FUENTES DE CALCIO, SOBRE EL SUELO, Y EN EL RENDIMIENTO DE UNA MEZCLA FORRAJERA LA HACIENDA MARÍA DELFINA, CAYAMBE", lo propuesto en el Código de Ética de la investigación y el aprendizaje de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, aprobado por el Consejo Superior de la PUCE con fecha 3 de octubre del 2022

Para constancia firma:

f): 

Bryan Xavier Herrera Pozo
Estudiante que ejecuta el trabajo de Titulación
C.C/ Pasaporte: 1726104407
Carrera: Ingeniería Agropecuaria

Ibarra, 3 de octubre del 2022

ÍNDICE

RESUMEN 1

ABSTRACT 2

CAPÍTULO I 3

INTRODUCCIÓN 3

CAPÍTULO II 6

OBJETIVOS 6

2.1. Objetivo general 6

2.2. Objetivos específicos 6

2.3. Hipótesis 6

CAPÍTULO III 7

ESTADO DEL ARTE 7

3.1. Suelo 7

3.2. Descripción aspectos físicos, químicos y biológicos 8

3.2.1. Textura 8

3.2.2. Penetrabilidad 8

3.2.3. Conductividad eléctrica (CE) 9

3.2.4. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) 10

3.2.5. Saturación de bases 12

3.2.6. pH 16

3.3. Clasificación, causas y efectos del pH 17

3.3.1. Clasificación de la acidez 17

3.3.2. Efecto del pH en el suelo 18

3.3.3. Causas de la acidez del suelo 20

3.3.4. Causas del mal desarrollo de los pastos en los suelos ácidos 22
3.3.5. Alternativas para mejorar la condición de la acidez en el suelo 24
3.4. Encalamiento 24
3.4.1. Materiales de encalado 25
3.4.2. Calidad de los materiales de encalado 27
3.4.3 Poder Relativo de Neutralización Total 29
3.4.4. Reacciones de la cal en el suelo 30
3.4.5. Método y época de aplicación 30
3.4.6. Efecto de sobredosis del encalamiento 31
3.4.7. Beneficios del encalamiento 31
3.5. Pasturas 32
3.5.1. Mezclas forrajeras 32
3.5.2. Condiciones de suelo, clima y crecimiento 34
3.5.3. Fertilización de las mezclas forrajeras 34
3.5.4. Problemática del suelo ácido en mezclas forrajeras 35
3.5.5. Problemática en la producción de forrajes por suelos ácidos 35
3.5.6. Criterios para diagnosticar problemas de acidez en la producción de pasturas 36
CAPÍTULO IV 37
MATERIALES Y MÉTODOS 37
4.1. Materiales 37
4.2. Método 38
4.2.1. Ubicación del estudio 38
4.2.2. Características edafoclimáticas del sector 40
4.2.3. Preparación del experimento 40

4.2.4. Diseño experimental 41

a) Tratamientos: 42

b) Unidades experimentales 42

c) Factores en estudio 43

4.3. Evaluación de la efectividad de dos enmiendas cálcicas y su mezcla, aplicadas al suelo, mediante análisis de laboratorio, como alternativa en la mejora de las condiciones físico químicas del suelo. 43

4.3.1. Toma de muestras para el análisis de suelo 43

4.3.3. Aplicación de las fuentes de calcio establecidas para cada tratamiento 44

4.3.4. Evaluación de la compactación 45

4.4. Estimación del efecto de los reguladores de suelo en la conformación de la planta, composición química y rendimiento (Ms/Ha), en mezclas forrajeras establecidas 45

4.4.1. Cálculo de la materia seca del forraje y rendimiento de materia seca por hectárea ... 45

4.4.2. Longitud de raíces 46

4.4.3. Composición química y bromatológica de los forrajes establecidos 46

CAPÍTULO V 50

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 50

5.1. Análisis de normalidad y homogeneidad 50

5.2. Evaluación de la efectividad de dos enmiendas cálcicas y su mezcla, aplicadas al suelo, mediante análisis de laboratorio, como alternativa en la mejora de las condiciones físico químicas del suelo. 52

5.2.1. Composición química del suelo 52

5.2.1.2. Análisis de resultados de: (A) M.O; (B) pH; (C) C.I.C; (D) C.E; (E) S.B, antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas 52

5.2.1.3. Análisis de resultados de los macroelementos nitrógeno, fosforo, potasio, antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 56

5.2.1.4. Análisis de resultados de los microelementos calcio, manganeso, hierro, antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas presentes en el suelo. 58

5.2.2. Resistencia a la penetración en el suelo 59

5.2.2.1. Compactación del suelo hasta los 8 cm de profundidad antes de la enmienda. 59

5.2.2.2. Compactación del suelo hasta los 8 cm de profundidad después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 61

5.2.2.3. Compactación del suelo hasta los 24 cm de profundidad antes de la enmienda. 63

5.2.2.4. Compactación del suelo hasta los 24 cm de profundidad después de la enmienda. 64

5.2.2.5. Compactación del suelo hasta los 40 cm de profundidad antes de la enmienda. 66

5.2.2.6. Compactación del suelo hasta los 40 cm de profundidad después de la enmienda. 67

5.2.2.7. Promedios de compactación del suelo antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 69

5.3. Estimar el efecto de los reguladores de suelo en la conformación de la planta, composición química y rendimiento (kg Ms/ha), en mezclas forrajeras establecidas. 71

5.3.1. Longitud radicular 71

5.3.1.1. Longitud radicular de la mezcla forrajera antes de aplicar las enmiendas cálcicas 71

5.3.1.2. Longitud radicular de la mezcla forrajera después de aplicar las enmiendas..... 72

5.3.1.3. Promedios de la longitud radicular de la mezcla forrajera antes y después de aplicar las enmiendas cálcicas 74

5.3.2. Porcentaje de cobertura 75

5.3.2.1. Porcentaje de cobertura de la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas 75

5.3.2.2. Porcentaje de cobertura de la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas 76

5.3.2.3. Promedio del porcentaje de cobertura en la mezcla forrajera del antes y después de aplicar las enmiendas cálcicas 78

5.3.3. Rendimiento de kilogramos de materia seca por hectárea (Kg Ms/ha) 79

5.3.3.1. Rendimiento kg Ms/ha antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas 79

5.3.3.2. Rendimiento kg Ms/ha en la mezcla forrajera al primer corte después de la aplicación de las enmiendas cálcicas en la mezcla forrajera. 80

5.3.3.3. Análisis de todos los cortes en base a los kg Ms/ha de la mezcla forrajera después la aplicación de las enmiendas cálcicas. 84

5.3.4. Análisis bromatológico de la mezcla forrajera 86

5.3.4.1. Análisis energético presente en la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas 86

5.3.4.2. Análisis energético presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas 87

5.3.4.3. Promedios de la energía presente en la mezcla forrajera antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas 89

5.3.4.4. Promedios de la proteína presente en la mezcla forrajera antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas 90

5.3.4.5. Análisis proteico presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas 92

5.3.4.6 Promedios de proteína, antes y después de las enmiendas cálcicas. 94

5.3.5. Análisis químicos foliares de la mezcla forrajera 95

5.3.5.1 Análisis foliar de Fosforo (P) en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas 95

5.3.5.4. Análisis foliar de Potasio (K) en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas 96

5.3.5.5. Análisis foliar de Calcio (Ca) en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas 98

5.3.5.6. Análisis foliar de Manganeso (Mn) en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas 99

5.3.5.7. Análisis foliar de Hierro (Fe) en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas 101

5.3.5.15. Promedios de resultados de los elementos fósforo, calcio, manganeso, hierro, antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas presentes en la mezcla forrajera..... 102

CAPÍTULO VI 106

CONCLUSIONES..... 106

CAPÍTULO VII..... 109

RECOMENDACIONES 109

CAPÍTULO VIII 110

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 110

ANEXOS..... 119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Escala de condición del suelo según la resistencia a la penetración.* 9

Tabla 2 *Clasificación de los suelos en base a la Conductividad Eléctrica.* 10

Tabla 3 *Relación entre la textura de los suelos con la Capacidad de Intercambio Catiónico.* 11

Tabla 4 *Saturación de bases.* 13

Tabla 5 *Relación Ca/Mg.* 14

Tabla 6 *Relación Mg/K.* 14

Tabla 7 *Relación Ca/K.* 15

Tabla 8 *Relación (Ca+Mg)/K.* 15

Tabla 9 *Relación (Ca+Mg+K)/Al.* 15

Tabla 10 *Clasificación de los suelos en función de la acidez.* 17

Tabla 11 *Equivalentes químicos y composición química de materiales de encalados.* 28

Tabla 12 *Necesidad de enmienda agrícola según textura de suelo.* 29

Tabla 13 *Descripción edafoclimática de Cayambe, sector Pambamarca.* 40

Tabla 14 *Datos informativos del lugar asignado para la investigación.* 41

Tabla 15. *Descripción de los tratamientos, dosis y enmiendas a utilizar.* 42

Tabla 16 *Prueba de normalidad de Shapiro Wilk de las variables a evaluar.* 50

Tabla 17 *Promedios de las variables analizadas en el ensayo* 51

Tabla 18 *Análisis de varianza para la compactación del suelo hasta los 8 cm de profundidad antes de las enmiendas cálcicas.* 60

Tabla 19 *Análisis de varianza para la compactación del suelo hasta los 8 cm de profundidad después de las enmiendas cálcicas.* 61

Tabla 20 *Análisis de varianza para la compactación del suelo hasta los 24 cm de profundidad antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.* 63

Tabla 21 *Análisis de varianza para la compactación del suelo hasta los 24 cm de profundidad después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.* 64

Tabla 22 *Análisis de varianza para la compactación del suelo hasta los 40 cm de profundidad antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.* 66

Tabla 23 *Análisis de varianza para la compactación del suelo hasta los 40 cm de profundidad después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.* 67

Tabla 24 *Análisis de varianza para la longitud radicular de mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.* 71

Tabla 25 *Análisis de varianza para la longitud radicular de mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.* 72

Tabla 26 *Análisis de varianza para el porcentaje de cobertura antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.* 75

Tabla 27 *Análisis de varianza para el porcentaje de cobertura después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.* 77

Tabla 28 *Análisis de varianza para los Kg Ms/ha/corte en la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.* 79

Tabla 29 *Análisis de varianza para los Kg Ms/ha en la mezcla forrajera al primer corte después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.* 81

Tabla 30 *Análisis de varianza para los Kg Ms/ha en la mezcla forrajera al segundo corte después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.* 82

Tabla 31 *Análisis de varianza para todos los cortes en base a los Kg Ms/ha después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.* 84

Tabla 32 *Análisis de varianza de la energia presente en la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.* 86

Tabla 33 *Análisis de varianza de la energía presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.* 87

Tabla 34 *Análisis de varianza de la proteína presente en la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.* 90

Tabla 35 *Análisis de varianza de la proteína presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.* 92

Tabla 36 *Análisis de varianza del fosforo presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas* 95

Tabla 37 *Análisis de varianza del potasio presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas* 96

Tabla 38 *Análisis de varianza del calcio presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas* 98

Tabla 39 *Análisis de varianza del manganeso presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.* 99

Tabla 40 *Análisis de varianza del hierro presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.* 101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del predio donde se realizó el presente trabajo de investigación..... 39

Figura 2. Diseño de las unidades experimentales en campo. 43

Figura 3 Efecto de la aplicación de enmiendas cálcicas en la % M.O, pH, C.I.C, C.E y % de saturación de bases. 52

Figura 4 Efectos de las fuentes de enmiendas en los macroelementos presentes en el suelo antes y después de la aplicación. 56

Figura 5 Efectos de las fuentes de enmiendas en los microelementos presentes en el suelo. 58

Figura 6 Promedios para la compactación del suelo de hasta 8cm de profundidad antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas..... 61

Figura 7 Prueba de significancia Tukey al 5% para la variable compactación del suelo de hasta 8cm de profundidad después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 62

Figura 8 Promedios para la compactación del suelo de hasta 24 cm de profundidad antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 64

Figura 9 Prueba de significancia Tukey al 5% para la variable compactación del suelo de hasta 24 cm de profundidad después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 65

Figura 10 Prueba de significancia Tukey al 5% para la variable compactación del suelo de hasta 40 cm de profundidad antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 67

Figura 11 Prueba de significancia Tukey al 5% para la variable compactación del suelo de hasta 40 cm de profundidad después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 68

Figura 12 Promedios de la compactación del suelo en las diferentes profundidades antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 69

Figura 13 Promedios para la longitud radicular antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 72

Figura 14 Prueba de significancia Tukey al 5% de la variable longitud radicular de mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas..... 74

Figura 15 Promedios de la longitud radicular antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 74

Figura 16 Promedios del porcentaje de cobertura en la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 76

Figura 17 Prueba de significancia Tukey al 5% de la variable porcentaje de cobertura después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 78

Figura 18 Promedio de la longitud radicular en mezcla forrajera antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 78

Figura 19 Promedios de Kg Ms/ha en la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 80

Figura 20 Promedios de Kg Ms/ha en la mezcla forrajera al primer corte después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 82

Figura 21 Promedios de Kg Ms/ha en la mezcla forrajera al segundo corte después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 83

Figura 22 Promedio de los kg Ms/ha/corte de la mezcla forrajera antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 85

Figura 23 Prueba de significancia Tukey al 5% de la variable energía presente en la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 87

Figura 24 Prueba de significancia Tukey al 5% de la variable energía presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas 89

Figura 25 Promedios de energía del antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 89

Figura 26 Promedios de la proteína presente en la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 92

Figura 27 Prueba de significancia Tukey al 5% de la variable proteína presente en la mezcla forrajera despues de la aplicación de las enmiendas cálcicas 93

Figura 28 Promedios de proteina antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 94

Figura 29 Promedios del fosforo presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 96

Figura 30 Promedios del potasio presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 97

Figura 31 Promedios del calcio presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 99

Figura 32 Promedios del manganeso presente en la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas. 100

Figura 33 Prueba de significancia Tukey al 5% de la variable hierro presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas..... 102

Figura 34 Promedios de los macro y micro elementos presentes en el follaje de la mezcla forrajera 103

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Reporte de análisis de suelos inicial y final. 119

Anexo 2 Análisis químico bromatológico de la mezcla forrajera. 120

Anexo 3 Base de datos del suelo. 120

Anexo 4 Base de datos Kg Ms/ha/corte 123

Anexo 5 Base de datos longitud raíces. 123

Anexo 6 Base de datos bromatológicos de la mezcla forrajera 123

Anexo 7 Establecimiento de los tratamientos en campo 125

Anexo 8 Toma de datos con el penetrómetro y barrenador. 126

Anexo 9 Medición de longitud radicular de la mezcla forrajera en los diferentes tratamientos. 126

Anexo 10 Recolección de datos para la evaluación de los kg Ms/ha/corte 127

Anexo 11 Prueba de eficiencia granulométrica en las mallas melsh y aplicación en los diferentes tratamientos. 127

Anexo 12 Análisis químico y bromatológico de la mezcla forrajera. 128

Anexo 13 Diferencias de la mezcla forrajera, antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas 129

Anexo 14 Resultados del análisis de datos antes de la enmienda por agrarProjekt. 130

Anexo 15 Resultados de análisis de datos después de las enmiendas en cada uno de los tratamientos de la enmienda por agrarProjekt. 131

RESUMEN

De forma gradual a nivel mundial la fertilidad de los suelos se ha ido deteriorando, es así que, los suelos de la zona norte han presentado este detrimento, una característica importante que presenta es la acidez de los mismos. Las principales causas han sido por acciones naturales y por las actividades agrícolas que con el pasar de los años afectará aún más la capacidad productiva. Uno de los principales métodos y de los más antiguos es la utilización de enmiendas cálcicas, ya que disminuyen la acidez de los suelos, mejoran la estructura y son un complemento para la fertilización. El objetivo principal de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de enmiendas, con dos fuentes de calcio, sobre el suelo, en el rendimiento de una mezcla forrajera. El sitio del experimento fue en la Hacienda María Delfina, en el cantón Cayambe, provincia de Pichincha. El trabajo de investigación consistió en la aplicación superficial de enmiendas cálcicas, para lo cual se desarrolló un diseño experimental DBCA de 4 tratamientos (testigo, sulfato de calcio, carbonato de calcio + sulfato de calcio, carbonato de calcio). La dosificación fue en base a los resultados del análisis de suelo. El trabajo realizado tendrá sus beneficios ya que se conocerá las mejoras que se dio en el sistema suelo, la cantidad de kg Ms/ha, conformación química y bromatológica de la mezcla forrajera. Los resultados obtenidos con la aplicación de las enmiendas mencionadas, son eficaces para la mejora de suelos que tienen problemas de acidez y compactación. El mejor tratamiento para la disminución de la acidez del suelo fue el tratamiento a base de carbonato de calcio que de un pH de 5,3 llego a un pH de 5,9; mientras que para la disminución de la compactación de 9 a 24 cm de profundidad las mejores enmiendas presentaron los tratamientos a base de carbonato de calcio y la mezcla del carbonato de calcio + sulfato de calcio con una descompactación en promedio de 20 puntos la mejor fue el carbonato de calcio + sulfato de calcio llegando a valores de , así también, en el incremento de kilogramos de materia seca se obtuvo un promedio de 3367,72 kg Ms/ha/corte en la enmienda aplicada con carbonato de calcio + sulfato de calcio.

Palabras clave: enmiendas cálcicas, pH, mezcla forrajera, compactación, composición química

ABSTRACT

Gradually worldwide the fertility of the soils has been deteriorating, so, the soils of the northern zone have presented this detriment, an important feature that presents is the acidity of the same. The main causes have been natural actions and agricultural activities that over the years will further affect productive capacity. One of the main methods and the oldest is the use of calcium amendments, as they reduce the acidity of the soils, improve the structure and are a complement to fertilization. The main objective of this work was to evaluate the effect of the application of amendments, with two sources of calcium, on the soil, on the yield of a forage mixture. The site of the experiment was at hacienda María Delfina, in the canton of Cayambe, province of Pichincha. The research work consisted of the superficial application of calcium amendments, for which an experimental DBCA design of 4 treatments was developed (control, calcium sulfate, calcium carbonate + calcium sulfate, calcium carbonate). The dosage was based on the results of the soil analysis. The work carried out will have its benefits since it will be known the improvements that occurred in the soil system, the amount of kg Ms / ha, chemical and bromatological conformation of the forage mixture. The results obtained with the application of the aforementioned amendments are effective for the improvement of soils that have problems of acidity and compaction. The best treatment for the decrease in the acidity of the soil was the treatment based on calcium carbonate that from a pH of 5.3 reached a pH of 5.9; while for the reduction of compaction from 9 to 24 cm deep the best amendments presented the treatments based on calcium carbonate and the mixture of calcium carbonate + calcium sulfate with a decompaction on average of 20 points the best was calcium carbonate + calcium sulfate reaching values of , likewise, in the increase of kilograms of dry matter an average of 3367.72 kg Ms/ha/cut was obtained in the amendment applied with calcium carbonate + calcium sulfate.

Keywords: callcium amendments, pH, fodder mixture, compaction, chemical composition

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La fertilidad de los suelos se está perdiendo de manera progresiva, debido al aumento de la compactación y disminución del carbono orgánico del suelo (Montanarella et al., 2015). A su vez, la acidificación del suelo se da por acciones naturales y por el aumento de las actividades agrícolas, lo cual ha conllevado a acelerar de manera inminente la degradación del suelo que con el pasar de los años se verá afectada la capacidad de producir alimentos. Es por ello que uno de los ejes principales en la producción de los cultivares sean estos para consumo humano o de animales es la productividad, puesto que el crecimiento acelerado de la población conlleva a la búsqueda de mejoras en los procesos de manejo de los cultivos, así como en alternativas que conlleven a una producción eficiente y sostenible (Pellegrini, 2019).

Las condiciones ambientales en las cuales se encuentra América Latina han demostrado un sin número de tipos de suelos, debido a la infinidad de material parental, donde se puede encontrar: suelos tropicales ácidos; suelos jóvenes donde predominan las arcillas y suelos de origen volcánico constituidos por cenizas y otros materiales (Espinosa y Molina, 2003). Para Botero, (2013) cerca del 51% de los suelos de esta zona son ultisoles y oxisoles, siendo estos naturalmente ácidos.

Ecuador cuenta con 4 regiones: costa, sierra, amazonía y la región insular, los distintos climas dan lugar a diversos ambientes geográficos, por lo que los suelos han demostrado cambios morfológicos, físicos y químicos. Según Espinosa et al., (2022) el 23,9% de toda la superficie ecuatoriana son suelos ácidos, la mayor parte se encuentran en la amazonia por el ambiente cálido y húmedo; por otro lado, los suelos franco alófanas de origen volcánico, húmedos, muy húmedos, con alto relieve, fríos y ácidos están ubicados en la cordillera (Azuay, Carchi, Loja, Cañar, Pichincha y Tungurahua) y otros que se encuentran en los extremos occidentales presentan permanentes lixiviaciones de las bases por la gran humedad que hay en la zona

Los suelos ácidos hacen referencia aquellos que tienen un pH inferior a 5,5 habiendo un posible exceso de manganeso (Mn) y liberación del aluminio (Al), si el pH se encuentra entre 7,3 a 8,4 hay la posibilidad de presencia de carbonatos y cuando el pH es mayor a 8,3 puede ser que se encuentre con altas concentraciones de sodio intercambiable. Castellanos y Lake, (2000), también mencionan que el pH ideal de un suelo es desde 6 a 6,5, ya que en este rango se encuentran disponibles la mayor cantidad de nutrientes y microorganismos.

La acidificación de los suelos, sobre todo en los de uso para producción pasturas y forrajes, se da por el desplazamiento de las bases del suelo, aplicaciones de fertilizantes con altos contenidos de urea, descomposición de la materia orgánica (M.O), la remoción de nutrientes ocasionado por las plantas (Contexto Ganadero, 2016); a todo esto se da un efecto negativo en el que hay una reducción del desarrollo de las plantas, la disminución de la disponibilidad de algunos elementos nutritivos como son el magnesio, calcio y el fósforo, ocasionando un cambio en la actividad de las micorrizas, alterando el ciclo del nitrógeno y el descomposición de la materia orgánica.

El empleo de enmiendas cálcicas es uno de los métodos más antiguos, por lo tanto, la aplicación se considera como un complemento a la fertilización pudiendo dar buenos resultados en los pastizales que se han establecido en suelos ácidos, sin embargo, esta práctica es poco frecuente en los agricultores, puesto que muchos de ellos esperan un efecto inmediato, asumiendo los resultados en corto plazo (Solano, 2013).

Para determinar la cantidad y el tipo de enmienda a utilizar en un suelo ácido se necesita evaluar las características químicas, físicas y mineralógicas del suelo, siendo importante comprender la textura como estructura del suelo en estudio y los problemas de manejo que desencadenaron la acidez, es por ello que la presente investigación busca generar alternativas de uso de enmiendas y la combinación de estas en el cantón Cayambe, sector Otón, Hacienda María Delfina, a fin de poder mejorar la condición de suelo y a su vez el rendimiento de potreros en mezcla forrajera, contribuyendo de esta manera con metodologías amigables con el ambiente.

Este documento describe la aplicación en la superficie del suelo de dos enmiendas cálcicas con dos fuentes de calcio y su combinación, como alternativa en la mejora de las propiedades físico químicas del suelo y su posible interacción en el rendimiento de una mezcla forrajera.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar los efectos de la aplicación de Sulfato de calcio, Carbonato de calcio y la combinación de estas dos enmiendas, como reguladores de la acidez de los suelos, mediante análisis de laboratorio en la Hacienda María Delfina, cantón Cayambe, provincia Pichincha.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar la efectividad de dos enmiendas cálcicas y su mezcla, aplicadas al suelo, mediante análisis de laboratorio, como alternativa en la mejora de las condiciones físico químicas del suelo.

- Estimar el efecto de los reguladores de suelo en la conformación de la planta, composición química y rendimiento (kg Ms/ha), en mezclas forrajeras establecidas.

2.3. Hipótesis

Hipótesis alternativa

La aplicación de enmiendas a base de sulfato de calcio, carbonato de calcio y su combinación, mejora la acidez de suelos, conformación de planta, composición química y rendimiento en mezclas forrajeras establecidas.

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

3.1. Suelo

Uno de los factores que debemos evaluar a la hora de instalar los cultivos es poder determinar los parámetros físico-químicos y biológicos de un suelo y en base a estos resultados poder establecer cultivares que estén en concordancia a los criterios antes mencionados, sin embargo, las limitaciones en la productividad, se enmarcan por la falta de conocimientos en cuanto a la interacción suelo-planta (Stivers y Pennsylvania State University, 2017).

Dentro de los aspectos importantes que podemos evaluar a nivel físico del suelo se encuentra: textura y estructura, a nivel químico: pH, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), saturación de bases, materia orgánica (M.O) y a nivel biológico población microbiana (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, 2022).

Uno de los principales factores que limitan la fertilidad de los suelos y desarrollo de los microorganismos es el pH. Gran parte de los cultivos se desarrollan en suelos con un pH que se encuentra en rangos de 6,2 y 6,8 (FAO, 2022); en estos valores las raíces de las plantas absorben la mayoría de los nutrimentos que se localizan en el suelo (Stivers y Pennsylvania State University, 2017). Rosas et al., (2017), dan a conocer que el suelo se empieza a acidificar cuando el agua reacciona con el hierro, aluminio y manganeso provocando la liberación de iones hidrógeno al suelo. Así también, establece que el contenido de aluminio en el suelo no debe superar 1 meq/100g de suelo, en el caso del manganeso no debe exceder las 100 ppm (Ramírez, 1997); si estos valores se exceden los cultivos se verán afectados por toxicidad, escasa reserva de nutrientes, con lo cual se ve afectada la absorción de fósforo, calcio, magnesio, potasio.

3.2. Descripción aspectos físicos, químicos y biológicos

A continuación, se muestra la descripción de los factores que dan respuesta al comportamiento del suelo a nivel químico, físico y biológico.

3.2.1. Textura

La textura tiene influencia con las propiedades químicas y físicas del suelo. Un suelo con textura fina tiene mayor superficie activa a comparación de los de textura gruesa, por lo que estos tendrían una mayor absorción de nutrientes y a su vez porque son más fértiles. En cuanto a texturas, un suelo arcilloso tiene la capacidad de retener agua ya que tiene más micro porosos y mayor área superficial que un suelo arenoso, sin embargo, esta particularidad hace que en los suelos arcillosos la capacidad de infiltración sea más lenta, a diferencia de los suelos arenosos, donde encontramos más macroporos lo que dificulta en la capacidad de retención y la infiltración es muy rápida (Pellegrini, 2019).

3.2.2. Penetrabilidad

Para Castellanos (2000), la penetrabilidad es la dureza que tiene un suelo frente a la penetración radical el cual está enlazado a la humedad, densidad aparente y la textura del suelo. La compactación de los suelos puede medirse por varios métodos, pero la más común es por la resistencia mecánica a la penetración (RP), donde se hace el uso de un penetrómetro (Pires da Silva et al., 2003). Intagri, (2021) y Atwell, (1993), mencionan que suelos con resistencias superiores a 290 kg/cm2 (PSI = libra por pulgada cuadrada) o 2 MPa (megapascales) son más compactos, reduciendo significativamente el desarrollo de las raíces sobre todo en alfalfa, algodón y maíz.

La siguiente escala empleada por Zerpa, (2006), demuestra la condición que tiene el suelo según la resistencia a la penetración de la capa edáfica.

Tabla 1

Escala de condición del suelo según la resistencia a la penetración.

Resistencia a la penetración (RP) en (MPa)	Condición
< 0,9	Sin restricción
1 – 1,4	Leves restricciones
1,5 - 2	Moderado a severas restricciones
> 2	Restringido para enraizamiento

Nota: Tomado de Zerpa, (2006)

Los suelos donde se cultivan pasturas son afectados por las condiciones físicas del suelo ya sea por laboreo o el pastoreo intensivo, este último se da sobre todo por el pisoteo de los animales ya que ejercen una presión mecánica hacia el suelo, el pasto, y la cobertura del mismo. Otros factores inmersos dentro de la producción de pasturas son la disminución de la porosidad de los suelos, la capacidad de infiltración, captación de nutrientes y la disminución de la germinación (Zerpa et al., 2013). Para Mula, (2022) la aplicación de materia orgánica en suelos compactados, disminuye la resistencia de la penetración de las raíces, corrige el pH en suelo, con los cual la condición del cultivo tiende a mejorar.

3.2.3. Conductividad eléctrica (CE)

Es la capacidad que tiene el suelo para transportar corriente eléctrica y así aprovechar las sales en la conducción, por ende, la CE mide las sales que hay en la solución del suelo. Si los valores de CE son altos la corriente se mueve mucho más fácil. La unidad de medida para la CE son los dS/m (decisiemens por metro). La CE es necesaria para la toma de decisiones en el manejo de los suelos, también muestra los parámetros que tiene el suelo para así determinar un cultivo, variedad a establecer de acuerdo a los niveles de salinidad presente. Así mismo la CE permite conocer la salinidad del agua en el sistema de riego y con ello determinar si un suelo es apto para fines agrícolas, (Intagri, 2017b).

Tabla 2

Clasificación de los suelos en base a la Conductividad Eléctrica.

CE (dS/m o mS/cm)	Salinidad y el efecto en las plantas
< 1	Suelos que no contienen sales. No hay restricción para los cultivos
1 - 2	Suelos muy bajos en sales. Hay ciertos cultivos sensibles, por lo que pueden ser restringidos los rendimientos.
2 - 4	Moderadamente salinos. El rendimiento de los cultivos es sensible, se ven afectados por el rendimiento.
4 – 8	Suelos salinos. Casi todos los cultivos se ven afectados por esta condición.
8 - 16	Suelo altamente salinos. Se pueden cultivar cultivos resistentes a esta salinidad.
>16	Extremadamente salinos. En teoría ningún cultivo crece en estos suelos.

Nota: Tomado de Intagri, (2017).

La CE que presenta el suelo influye en la absorción de los nutrientes presentes o aplicados al suelo por parte de la planta, donde, cuanto mejor sea la fertilidad de los suelos mayor será el gasto energético de la planta por absorber los nutrientes, lo cual influye en la producción. Para Barbaro et al., (2018) el pH del suelo también es afectado por la alcalinidad del agua por la presencia de carbonatos y bicarbonatos, es así que, el agua de riego con alta alcalinidad puede causar que el pH se incremente con el pasar del tiempo.

3.2.4. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La CIC es una medida de las cargas negativas que están en los componentes orgánicos del suelo (M.O, arcilla, sustancias húmicas) y las que están en las superficies de los minerales, a la vez indica el nivel de capacidad de intercambio catiónico que es la habilidad que tiene un suelo para

retener cationes (Ca, Mg, K, Na y H) la suma de estos cationes se le conoce como ¨suma de bases¨, la cantidad y disposición de nutrientes para las plantas, el pH entre otros aspectos (FAO, 2022).

Existen elementos que influyen en la CIC como son: materia orgánica donde la descomposición de esta se transforma en diversos componentes como los ácidos húmicos y fúlvicos que incrementan la CIC de suelos y sustratos; el tipo de suelo influye, puesto que en suelos arcillosos tienden a tener alta CIC, mientras que suelos arenosos tienen bajos esto hace que tenga menor contenido de nutrientes, poca retención de agua y mayor lavado de nutrientes (Abrego, 2012). La CIC permite realizar un buen manejo de los fertilizantes, si se los debe fraccionar o aplicar todo de una vez (Contexto ganadero, 2017). Al aplicar enmiendas cálcicas donde el suelo tiene bajo CIC y se presenta precipitaciones el material aplicado tiende a lavarse por lo que será una pérdida de producto, es por ello que los suelos con baja CIC se deben aplicar cantidades más altas y con mayor frecuencia de producto encalantes a diferencia de los suelos con alto CIC que no presentan problemas (Hicks, 2017).

En la producción intensiva el mantenimiento de suelos agrícolas se lo debe realizar mediante la agregación de materia orgánica al suelo y extractos húmicos y mejoradores biológicos o minerales que permita mantener al suelo con un buen nivel de CIC y textura (Abrego, 2012).

La capacidad de intercambio catiónico se expresa en cmol/kg o en meq/100g de suelo. Este es el equivalente del número de iones hidrógeno que se almacenan en 100 gramos de suelo.

Tabla 3

Relación entre la textura de los suelos con la Capacidad de Intercambio Catiónico.

Textura de suelo	CIC (meq/100g)	Observaciones
Arenas	3 – 5	Suelo muy pobres necesita
Arenas (color oscuro)	5 – 15	M.O para elevar la C.I.C

Francos	10 – 15	Suelo pobre necesita de M.O.
Franco limoso	15 – 25	Suelo medio en M.O
Arcilla y franco arcilloso	20 – 50	Suelo bueno en M.O
Suelos orgánicos	50 - 100	Suelo excelente en M.O

Nota: Tomado de Valero, (2000).

Los coloides en el suelo pueden tener cargas negativas o positivas estos pueden ser afectados por el pH que tiene el suelo, de acuerdo a esto hay dos tipos de coloides.

- ***Coloides con carga permanente:*** Este tipo de coloides predominan los suelos de zonas templadas. A su vez, la carga de estos se mantiene sin importar el pH en el que se encuentre (Toledo, 2016).
- ***Coloides de carga variable:*** Los coloides que tienen carga se ven afectados por el pH del suelo, si el pH se mueve hacia arriba o hacia abajo, el tipo de carga también cambia. Si se encuentra en un pH bajo 7, los coloides que tienen carga positiva tienden a retener y atraer elementos con carga negativa como son: azufre, boro, fósforo, molibdeno, nitratos; si el pH está sobre 7 las cargas se hacen negativas por lo que retienen y atraen elementos con carga positiva como el potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, aluminio, amonio y sodio (Toledo, 2016).

3.2.5. Saturación de bases

La saturación de bases (%V) proporciona información útil de la acidez de un suelo, la disponibilidad de nutrientes, la capacidad que tiene el suelo de actuar como amortiguador en la acumulación de la acidez, muestra la cantidad de cationes básicos (Ca, Mg, Na, K) que están presentes en el suelo dividido por el total de CIC y expresado en %, si no llega al 100% este será ocupado por los iones hidrógenos. Es por ello que la saturación de bases es menor en suelos ácidos y básicos cuando está cerca al 100%. Cuando la %V es baja se debe adicionar enmiendas cálcicas pudiendo llegar a un aumento de 90% la saturación de bases y elevación del pH. No hay rangos de si es alto o bajo, es adecuado dar parámetros relativos (Valero, 2000).

Tabla 4

Saturación de bases.

Saturación de bases (%)	Observaciones
< a 50	Suelos muy ácidos, hay dificultades en la nutrición, se recomienda realizar enmiendas cálcicas.
50 – 90	Suelos medio ácidos, dependerá del valor del C.I.C total
> a 90	Suelos saturados de bases, el pH del suelo es casi neutro o básico

Nota: Tomado de Valero, (2000).

La CIC contiene cationes que deben estar en un límite porcentual, si estos se exceden habrá problemas en el sistema suelo. El Ca tiene un límite de 60-80% de CIC, el Mg entre 10-20%, el K de 2-6% y el Na de 0-3%. Altos contenidos calcio afecta en la asimilación del magnesio o potasio o si el potasio es alto este altera en la asimilación del Magnesio (Contexto ganadero, 2017). En el sistema suelo es recomendable que la saturación de bases sea superior al 60% (Moro, 2015).

Antagonismo de los nutrientes del suelo.

- En la relación Ca/Mg los valores más adecuados están entre 2 a 5.

Tabla 5

Relación Ca/Mg.

Relación Ca/Mg (%)	Valoración
<1	Hay deficiencia de calcio
Entre 1 - 2	Bajo nivel de ca respecto al Mg
Entre 2 – 5	Ideal
> 5	Deficiencia de Mg

Nota: Tomado de Moro, (2015).

- En la relación Mg/K el rango ideal es de 3.

Tabla 6

Relación Mg/K.

Relación Mg/K (%)	Valoración
< 1	Deficiencia de Mg
1 - 3	Aceptable
3	Ideal
3 - 18	Aceptable
> 18	Deficiencia de K

Nota: Tomado de Moro, (2015).

- La relación de Ca/K es adecuada entre los 20, diversos estudios en cultivos han establecido que el rango considerable es de 10 a 40.

Tabla 7

Relación Ca/K.

Relación Ca/K (%)	Valoración
< 30	Adecuado
> 30	Deficiencia de K

Nota: Tomado de Moro, (2015).

- La relación de (Ca+Mg)/K.

Tabla 8

Relación (Ca+Mg)/K.

Relación (Ca+Mg)/K (%)	Valoración
< 40	Adecuado para K
> 40	Deficiencia de K

Nota: Tomado de Moro, (2015).

- La relación de (Ca+Mg+K)/Al indica si hay problemas con la existencia del aluminio, en caso de haberlos se debe de encalar para subir el pH.

Tabla 9

Relación (Ca+Mg+K)/Al.

Relación (Ca+Mg)/Al (%)	Valoración
< 1	Necesita de encalamiento
> 1	No hay necesidad de encalar

Nota: Tomado de Moro, (2015).

Sinergismos de los nutrientes del suelo.

- ✓ **Relación Mn/K:** Cuando hay un incremento de K en la solución del suelo, la absorción del Mn aumenta en las raíces y en los tejidos aéreos de las plantas, de igual forma se registra un mejor transporte del Mn. Con el incremento de potasio o manganeso hay una reducción en la absorción del magnesio siendo este toxico en cantidades altas (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2014) .
- ✓ **Relación S/N:** Aplicar en conjunto el azufre y el fosforo en la ferulización tienen un mejor aprovechamiento a diferencia de aplicarlos de forma separada, tanto el azufre como el nitrógeno son esenciales en las partes de la proteína (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2014).
- ✓ **Relación Cu/N:** La cantidad de nitrógeno no se debe estar en excedentes y así mismo el cobre de manera suficiente en el suelo para que haya el efecto positivo en los granos de los cultivos (Rietra et al., 2015).
- ✓ **relación K/P:** Al aplicarlo conjuntamente se obtienen mejores rendimientos, entre mayor es la cantidad de aplicación de esos dos elementos se obtendrá mejores resultados, cabe mencionar que llegará a un punto máximo (Rietra et al., 2015).
- ✓ **Relación K/N:** El potasio ayuda al mejorar la asimilación del nitrógeno, en forma de nitratos, ya que el potasio interviene como medio de transporte dentro de las plantas.
- ✓ **Relación N, P, K/Zn:** Una fertilización con fosforo, nitrógeno y potasio mejoran los rendimientos en el cultivo. Mientras que dosificar Zn en la fertilización ayudara de mejor manera la respuesta de la fertilización realizada (Rietra et al., 2015) .

3.2.6. pH

Es la propiedad química más importante que tiene un suelo, ya que de este valor depende la disponibilidad de los nutrientes, así también como determina la actividad de los microorganismos que mineralizan la materia orgánica, la CIC, concentración de iones tóxicos y propiedades de la fertilidad del suelo (Molina y Centro de Investigaciones Agronómicas, 2014). Para Fernández et al., (2006), el pH da a conocer la concentración de iones de hidrógeno activos que se encuentran en la fase líquida del suelo, por la relación de componentes líquidos y sólidos.

El pH en el suelo tiene grados de acidez y alcalinidad que son expresados por números positivos desde el 0 hasta el 14, siendo valores ácidos los que más se acercan a cero, valores alcalinos los que más se acercan a 14 y como valor neutro los que se encuentran en 7. Cuando los valores están por debajo de 7 el suelo se vuelve más ácido y si los valores están por encima de 7, dará a entender que el suelo es alcalino o básico y se hará más alcalino conforme el pH se incremente (Anganoy y Naspiran, 2021).

Tabla 10

Clasificación de los suelos en función de la acidez.

Grado de acidez o alcalinidad	pH
Extremadamente acido	< 4,6
Acido	4,6 – 5,4
Moderadamente acido	5,5 – 6,4
Neutro	6,5 – 7,3
Moderadamente alcalino	7,4 – 8,1
Alcalino	8,2 – 8-8
Extremadamente alcalino	> 8,9

Nota: Tomado de Castro y Munevar, (2013).

3.3. Clasificación, causas y efectos del pH

3.3.1. Clasificación de la acidez

La acidez del suelo se clasifica en acidez total, acidez reemplazable por sales o acidez intercambiable y acidez residual (Tisdale et al., 1992).

- ***Acidez efectiva:*** Donde la acidez está presente por el H disociado en la solución del suelo y que provienen de diferentes fuentes (Espinosa y Molina, 2003).

- ***Acidez intercambiable:*** Se produce cuando el H es retenido por enlaces iónicos de las moléculas que generan acidez al suelo, por la disociación de ácidos que se encuentran en la materia orgánica y la hidrólisis que se da en los cationes metálicos (Zapata, 2004).
- ***Acidez no intercambiable*:** Espinosa y Molina, (2003) mencionan que es el H que se encuentra en los enlaces no covalentes en la superficie de los minerales arcillosos.

- ***Acidez potencial*:** En cuanto a la acidez potencial Espinosa y Molina, (2003) hacen mención en que es la suma de la acidez intercambiable y la no intercambiable.

3.3.2. Efecto del pH en el suelo

En los suelos agrícolas el pH es una variable sumamente importante, ya que afecta directamente a la absorción de los nutrientes que se encuentran en el sistema suelo, así también de los diferentes procesos químicas que se dan en el mismo. Los valores óptimos de el pH están entre 6,5 y 7,0 en estos rangos los nutrientes se encuentran disponibles y se podrán obtener los mejores rendimientos y mayor productividad. Por otro lado, hay nutrientes que por lo general son los micronutrientes y también plantas que tienden a datarse a pH más ácidos o básicos (Catalán y Agropal, 2016).

En los suelos donde no se pueda llegar al punto neutro, es importante tener en cuenta algunos aspectos como el control de los fertilizantes y cultivos se adapten a ese medio.

Los suelos ácidos tienden a presentar problemas en la retención de microelemento como el fósforo, calcio y magnesio, mientras que los micronutrientes excepto el molibdeno que son mejor extraídos en este tipo de suelos, estas características pueden darse por la deficiencia de nutrientes necesarios o de alguna toxicidad por la excesiva absorción. Por otro lado, las condiciones que se encuentra en este tipo de suelos pueden provocar la lixiviación de algunos micronutrientes al reaccionar con el fósforo (P) haciéndolo inaccesible para la absorción de las

plantas (Benton y Agropal, 2003), incluso en extremas condiciones se puede ver afectado la estructura del suelo (Catalan y Edward, 2000). Como se ha mencionado anteriormente el pH del suelo influye directamente en la disposición de los nutrientes para las plantas, es decir, estos factores provocan la toxicidad, deficiencia o en otros casos que los elementos no estén en los niveles adecuados (Benton y Agropal, 2003).

Otras características de los suelos ácidos es el efecto que hay en los microorganismos del suelo como son los ácaros, lombrices, bacterias, etc., y que disminuye la mineralización y humificación de la materia orgánica, haciendo que no se desarrollen correctamente.

Por otro lado, cuando hay una elevada presencia de calcio en los suelos básicos cerca del 80% del fósforo que está en el suelo reacciona con él, creando fosfatos cálcicos insolubles que no son aprovechables por las plantas (Catalan y Agropal, 2016). La mayoría de los micronutrientes en este tipo de suelos son poco absorbidos, con ello si hay ausencia de estos el funcionamiento del resto de nutrientes también se verá afectado negativamente los procesos y funciones que se dan en las plantas.

Los suelos básicos se encuentran en diferentes categorías.

- ***Suelos salinos:*** Son suelos que tienen pH superiores a 8,2; la alcalinidad se da por la presencia de bicarbonatos, carbonatos de magnesio o carbonato de sodio. Se considera que son suelos sódicos cuando tienen un porcentaje de sodio intercambiable superior a 15, sin embargo, este tipo de suelos tienen problemas físicos, principalmente en suelos con textura final (Intagri, 2018).

- ***Suelos calcáreos:*** En este tipo de suelos el pH se encuentra en rangos de 7,3 y 8,4 sin llegar a ser un suelo sódico. Cabe recalcar que modificar el pH de estos suelos es difícil lo adecuado es realizar un buen manejo para que los cultivos no presenten problemas en la disponibilidad de nutrientes, nutrientes como hierro, zinc, manganeso y a veces el fósforo se ven limitados

por eso es recomendable hacer aplicaciones localizadas con dichos nutrientes evitando sean fijados por carbonatos (Intagri, 2018).

3.3.3. Causas de la acidez del suelo

La acidez que tiene un suelo está dada por la composición y por la reacción de intercambio de hidrólisis e iones en la que intervienen componentes órganos y orgánicos del sistema suelo. Las causas más importantes para que un suelo desarrolle acidez son las siguientes:

- ***Procesos naturales:*** Las rocas están constituidas por minerales, estas dejan de ser estables al momento que se encuentran en condiciones distintas a las cuales se formaron, por lo que los iones que están en los minerales al estar en la superficie cambian lentamente a estados químicos más estables. La meteorización está directamente relacionada con el comportamiento del agua, siempre y cuando los suelos estén insaturados. Para que haya una tendencia ácida los iones producto de la meteorización requieren que sean lavados, es decir la precipitación debe exceder a la evapotranspiración; en cambio cuando es alcalina esta se encuentra en zonas con climas secos donde hay déficit de agua por la alta evapotranspiración (Zapata, 2004).

    - ***Alta caída de pluviometría:*** Las lixiviaciones o el lavado de cationes (calcio, magnesio, sodio y potasio) generadas por las altas precipitaciones. El agua atraviesa a través de los poros del suelo arrastrando los cationes de intercambio, en especial los que no están muy ligados a las arcillas como son el potasio y el sodio, quedando solo los cationes que tienen mayor fuerza iónica (Al y H). Estos cambios o movimientos de cationes a capas inferiores provocan la acidificación del suelo debido a que los cationes son movilizados por el agua y solo quedan aniones (iones de carga negativa) (Bernier y Alfaro, 2006).

    - ***Materia orgánica:*** Cuando la materia orgánica está en el suelo se descompone por los microorganismos generándose al mismo tiempo anhídrido carbónico (CO_2), luego convirtiéndose en bicarbonato (HCO_3), como en la siguiente reacción:

$$CO2 + H2O \quad > \quad H + HCO3$$

En esta reacción se generan H+ haciendo que el pH del suelo disminuya, aumentando la acidez (Bernier y Alfaro, 2006).

- ***Utilización de fertilizantes nitrogenados***: En los fertilizantes nitrogenados el nitrógeno puede estar como nitrato (NO3), como amonio (NH4) o como amida (NH2) en este caso la urea. Muchas de las plantas absorben el nitrógeno en forma de nitrato y otras como amonio. Al absorberse como amonio las reacciones de nitrificación provocan la liberación de H+ (Bernier y Alfaro, 2006).

  Por otro lado, cuando se utiliza fertilizantes con nitratos se produce una reacción alcalina en el suelo haciendo que el pH aumente, esto sería similar a aplicar carbonato de calcio, en cambio los amoniacales acidifican por lo que se debe neutralizar con la utilización de carbonato de calcio (Bernier y Alfaro, 2006). Espinosa y Molina, (2003) manifiestan que la urea, el sulfato de amonio y el nitrato de amonio son parte del grupo de los fertilizantes nitrogenados que aumentan la acidez del suelo, así también Tisdale et al., (1992) ratifica que el sulfato de amonio es el que tiene más alto índice de acidez fisiológica.

- ***Lluvias ácidas.*** El dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno y el amoniaco son causantes de las lluvias ácidas. En este caso el óxido de nitrógeno y los óxidos de azufre que emanan las centrales térmicas, motores de los vehículos y plantas industriales que queman los combustibles fósiles. Dichas sustancias son las que más acidifican ya que al reaccionar con el oxígeno de la atmósfera y luego al disolverse en la lluvia produce la llamada lluvia ácida. El pH que se da por las actividades anteriormente mencionadas no es menor a 5, pero en algunos lugares se ha visto que el pH es menor a 5 debido a que hay volcanes activos y expulsan SO_2 y H_2S (Zapata, 2004).

- ***Aluminio intercambiable:*** El valor de saturación de aluminio sobrepasa el 60%, y la concentración en el suelo es mayor a las 3 ppm, siendo estas cantidades son tóxicas para

la mayoría de plantas. El aluminio está enlazado con la acidez del suelo. Los iones de hidrógeno que son liberados cuando la materia orgánica se mineraliza, las estructuras de las arcillas liberan el Al y el ácido silícico en el complejo suelo. El Al se presenta cuando el pH del suelo está a 5,3 (Espinosa y Molina, 2003).

- ***Remoción de los nutrientes.*** Los suelos que tienen pH neutros en la fase de intercambio de cationes están saturados (Mg, Ca, Na, K). Al momento que el suelo pierde estos cationes inicia el proceso de acidificación, esto se debe a que las raíces absorben los cationes y liberan iones hidrógeno para mantener un equilibrio en la solución del suelo. Al liberar iones de hidrógeno el pH del suelo disminuye haciéndolo más ácido (Zapata, 2004).

3.3.4. Causas del mal desarrollo de los pastos en los suelos ácidos

- ***Toxicidad por aluminio:*** Para que el Al sea tóxico para las plantas el valor del pH debe ser crítico además de predominar las arcillas, el nivel de la materia orgánica, las sales totales y la concentración de aniones y cationes (Casierra y Aguilar, 2007). El punto más claro al haber una toxicidad por aluminio es la inhibición del crecimiento de las raíces ya que no hay una adecuada elongación de las raíces principales y secundarias, las células de la raíz presentan dos núcleos lo que significa una inhibición celular o por el acople del aluminio con el ADN. También se ha demostrado que la absorción del calcio es inactivada por el aluminio (Intagri, 2017)

- ***Toxicidad por manganeso:*** La toxicidad por manganeso se puede evidenciar en las hojas maduras y en las hojas jóvenes algunos puntos cloróticos. El principal factor es suelos ácidos con un pH inferior a 5,5 y con bajos niveles de calcio en el suelo. También a esto se debe a la falta de oxígeno en el suelo, suelos mal drenados, altas precipitaciones y alta compactación (Dobermann y Fairhurst, 2000).

- ***Toxicidad por hierro*****:** En la planta se cateteriza por manchas de color ardo que aparecen en las puntas de las hojas especialmente en las viejas. El sistema radicular es grueso y

escaso de color negro a pardo, con presencia de abundantes raíces muertas. Otra consecuencia es el lento crecimiento de la planta y la reducción de los macollos. Las plantas con altos contenidos de hierro (Fe) tienen un bajo contenido de potasio, así también comité con el zinc (Zn) por los sitios de absorción a esto se le puede inducir a la deficiencia de zinc. La deficiencia de zinc es más común en suelos salinos, mientras la toxicidad del hierro ocurre en suelos ácidos o neutros con bajos contenidos de potasio (Dobermann y Fairhurst, 2000).

- ***Deficiencia de magnesio:*** Cuando hay una deficiencia de magnesio (Mg) que apropósito es el mineral que constituye la clorofila, hace que las células medulares y la clorénquima estén pequeñas y a la vez un número anormal de cloroplastos. Las crestas que se encuentran en la mitocondria presentan rupturas o también por lo que no se encuentran sintetizadas, en sí todas las reacciones que necesitan de la transferencia de fósforo (P) se activan por el magnesio (Mg) (Lopez, 2022).

- ***Deficiencia de calcio.*** Siendo el calcio (Ca) un macronutriente, este tiene la habilidad de resguardar contra la toxicidad de metales pesados y H^+. Cuando hay una deficiencia de Ca en la planta se puede notar un deficiente desarrollo radicular, de crecimiento en la formación de la semilla y fruto. A nivel celular se da la desintegración de las membranas y de la mitocondria, reducción de la actividad enzimática que está relacionada con la degradación de carbohidratos y del ATP (Lopez, 2022).

- ***Deficiencia de molibdeno.*** En el suelo el óxido de molibdeno es insolubles por lo que, al convertirse en sales solubles este se encuentra disponible para la planta. Al haber presencias de óxidos de hierro, aluminio y el alofan absorben al molibdeno disminuyendo la disponibilidad en la planta (Lopez, 2022)

Deficiencia de fósforo disponible. Cuando un suelo es más ácido la disponibilidad de fósforo disminuye. En los suelos con excesos de aluminio provocan la disminución del fósforo para las plantas, ya sea por la formación de compuestos insolubles en el suelo o

por la inactivación del fósforo absorbido por la raíz (Lora y Riveros, 2004). En los suelos que están dominados por las arcillas, la acidez permite el rompimiento de la estructura de los minerales arcillosos y como consecuencia libera Al y Fe. El fósforo que se aplica en el suelo reacciona con dichos elementos y se precipita formándose fosfatos insolubles de aluminio y hierro haciendo que el fósforo no esté disponible para la planta (Espinosa y Molina, 2003).

3.3.5. Alternativas para mejorar la condición de la acidez en el suelo

Para incrementar el valor del pH del suelo depende de algunos factores como son: a) Enmiendas orgánicas: abonos, compost, bocashi, etc; b) La alcalinidad del agua de riego; c) el uso de minerales como: yeso, cal agrícola o azufre; d) El uso de fertilizantes de reacción alcalina o ácida (Intagri, 2008, 2021).

Cuando un suelo es ácido la mejor forma de corregir es el uso de encalamientos ya que ayuda a reducir los niveles de aluminio intercambiable y aumenta la disposición de nutrientes que se han visto afectados por el pH ácido. Por otro lado, en suelos de origen volcánico que tienen una alta concentración de aluminio y elevada fijación del fósforo han tenido mejores resultados con la aplicación de materia orgánica porque inactiva el aluminio y hace que el fósforo presente en el suelo esté disponible, al aplicar enmiendas cálcicas los resultados han sido bajos, por eso es importante realizar pruebas antes de aplicar a gran escala (Intagri, 2021)

3.4. Encalamiento

Consiste en aplicar sales que neutralizan la acidez del suelo, como son los carbonatos, hidróxidos, óxidos, silicatos de calcio y/o magnesio, sulfatos de calcio. La reacción de los materiales de encalado neutraliza los iones H^+ que están presentes en la solución del suelo mediante los iones OH^+ que se producen al momento en que la cal está en contacto con el agua que se encuentra en el suelo (Espinosa y Molina, 2003).

El realizar enmiendas que contengan calcio se debe a que este elemento tiene funciones importantes en la planta por lo que se necesita altos niveles de este nutriente en el suelo para garantizar el crecimiento de las raíces. Las raíces que absorben nutrientes iónicos necesitan de la presencia de calcio, ya que mantiene la funcionalidad de la membrana plasmática, por ende, ayuda a la metabolización de los nutrientes (Espinosa y Molina, 2003).

Ansorena (2001) y Sánchez (1999) mencionan que el producto de neutralizar la acidez del suelo mediante un encalado es un aumento del pH y de la disponibilidad de calcio en el suelo, y una disminución de Al en el complejo de cambio. A su vez, cuando hay más cantidad de arcilla y de humus en el suelo, se necesitará de más cantidad de cal para tener un aumento en el pH.

La aplicación de cal o encalamiento es una de las prácticas más apropiadas para la corrección de suelos ácidos (INPOFOS, 1997; Molina, 2003). En los cultivos una muestra favorable por la aplicación de enmiendas cálcicas es la neutralización de la acidez que se da por el aluminio, hidrógeno, hierro y manganeso, y por el adicionamiento de calcio, magnesio y azufre

En la producción agrícola la aplicación de enmiendas cálcicas puede llevar a niveles óptimos el pH del suelo. El material de encalamiento también provee de nutrientes como el calcio, magnesio y azufre y pueden ser metabolizados por las plantas mediante la absorción (Carey et al., 2006).

Para determinar la calidad de los materiales de encalado se utilizan parámetros como son: el Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT), el equivalente químico de carbonato de calcio (EQ) y la eficiencia o fineza granulométrica (EG) (Carey et al., 2006).

3.4.1. Materiales de encalado

Hay varios materiales de encalado que ayudan a elevar el pH del suelo. Los materiales principales que son utilizados como correctivos o alcalinizantes son los óxidos, carbonatos,

hidróxidos, silicatos de calcio y/o magnesio, debido a la naturaleza química y a la capacidad de neutralización (Chaves, 1993). A continuación de describirán algunos materiales:

- ***Cal agrícola o calcita:*** Principalmente contiene carbonato de calcio (CaCo3), este producto se obtiene mediante la molienda de roca caliza para luego cernirlo en mallas de diferente tamaño. Estas rocas tienen a la vez impurezas como arcilla, hierro, arena y limo que hacen que haya menos cantidad de carbonato (Espinosa y Molina, 2003). Así también, Bernier y Alfaro, (2006) dan a conocer que la calcita en la forma más pura contiene 40% de calcio.

- ***Óxido de calcio (CaO):*** Es un polvo blanco más conocido como cal viva (cal quemada) es difícil de manejarlo por el efecto cáustico. La producción de este material es calcinando la roca caliza. El CaO es de rápida reacción que al ponerse en contacto con el agua hace una reacción exotérmica donde iones de OH^+son liberados (Espinosa y Molina, 2003). Es por ello que este tipo de encalado sea utilizado donde se requieran efectos rápidos a ello también se debe mencionar que este producto tiene alrededor del 71% de calcio (Bernier y Alfaro, 2006)

- ***Dolomita:*** Compuesta por carbonato doble de calcio y magnesio ($CaMg(CO_3)2$) conteniendo en estado puro 13% de magnesio y 22% de calcio. A diferencia del carbonato de calcio esta enmienda reacciona más lento y tiene otra particularidad que suministra al suelo magnesio que es un elemento que con frecuencia está en déficit en los suelos ácidos (Espinosa y Molina, 2003). En suelos ácidos con déficit de Ca y Mg es recomendable el uso de Dolomita.

- ***Magnesita:*** Material a base de carbonato de magnesio (MgCO3) que en forma pura tiene 28.5% de Mg y es una gran fuente de magnesio (Espinosa y Molina, 2003).

- ***Sulfato de calcio o yeso agrícola:*** Está compuesto por sulfato de calcio di-hidratado ($CaSO4·2H2O$). Pudiéndose encontrar en diferentes lugares del mundo, la gran

mayoría se las encuentra en las rocas de evaporitas sedimentarias y también en los procesos industriales como subproducto del ácido fosfórico. Este tipo de material es poco soluble en agua pudiendo reaccionar a largo o mediano plazo en el suelo otra de las ventajas es que es una fuente de calcio y azufre para los diferentes cultivos. El sulfato de calcio está compuesto de 17 a 20% de calcio y de 14 a 18% de azufre (Espinosa y Molina, 2003). Esta enmienda es 200 veces más soluble que la cal agrícola, por lo que hace que el calcio sea más móvil que el calcio que se encuentra en la cal. Así también, tiene la capacidad de una liberación continua de calcio y azufre por tiempos prolongados, esto es dado por la solubilidad moderada que tiene (Molina, 2003).

En algunos casos donde hay pudrición de raíces la aplicación de yeso agrícola ha sido como un control, también ayuda a disminuir la dispersión de las arcillas y reduce la velocidad en la que la superficie del suelo se seca, mejorando la emergencia de las plantas y el establecimiento de un cultivo. Otros estudios afirman que aumenta la producción de los cultivos ya que hay mejor aireación y mayor entrada de agua en el suelo (Espinosa y Molina, 2003).

- ***Óxidos de Magnesio:*** Este producto se le obtiene mediante la calcinación de la magnesita, es un material que solo contiene magnesio con una concentración de 60%, siendo capaz de tener mejores resultados que otros materiales encalantes, la única diferencia es que el tamaño de partícula debe ser muy fina ya que tiene muy poca solubilidad en agua. Otra ventaja es que el sulfato ayuda al crecimiento, consolidación de las paredes celulares de las plantas y desarrollo de la clorofila (Espinosa y Molina, 2003).

3.4.2. Calidad de los materiales de encalado

Al momento de seleccionar un material de encalamiento se debe considerar dos factores importantes para determinar el grado de reactividad: la fineza y la pureza química. Cuando se

refiere a reactividad es la capacidad que tiene el material para contrarrestar la acidez del suelo esto igualmente varía dependiendo del tamaño de las partículas y la composición química del producto que se vaya a utilizar (Molina y Centro de Investigaciones Agronómicas, 2014).

En cuanto a la composición química del material encalante nos indica la cantidad de acidez del suelo que puede neutralizar, para ello haya valores establecidos de neutralización en el caso del carbonato de calcio es de 100%, sulfato de calcio > 90%, Dolomita > 95%, Magnesita de 100-120%, Óxido de calcio 120- 175%. A estos valores se los conoce como Equivalente químico (EQ) (Molina y Centro de Investigaciones Agronómicas, 2014).

Por otro lado, el tamaño de las partículas indica la velocidad con la que el material de encalamiento neutraliza la acidez del suelo. El material a ser utilizado se mide la fineza a través de cribas o zarandas con diámetros de 10 a 60 mesh, si el material a ser utilizado pasa por la malla de 60 mesh que es muy fina teniendo una eficiencia de granulometría (EG) de 100% para neutralizar la acidez del suelo (Molina, 2003).

Obteniendo los resultados de composición química (EQ) y de la eficiencia granulométrica (EG), se puede calcular el Poder relativo de neutralización total (PRNT) (Molina y Centro de Investigaciones Agronómicas, 2014).

Tabla 11

Equivalentes químicos y composición química de materiales de encalados.

Material	**Equivalente químico**	**Fórmula**	**Contenido Ca (%)**	**Contenido S (%)**
Carbonato de calcio	100	CaCO3	40	-
Sulfato de calcio	136	CaSO4	23%	18

Nota: Tomado y adaptado de Fertilab, (2013).

3.4.3 Poder Relativo de Neutralización Total

$$\%\boldsymbol{PRNT} = \frac{\%\boldsymbol{EG}\ \boldsymbol{x}\ \%\boldsymbol{EQ}}{\mathbf{100}}$$

El Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT) indica el % equivalente químico del cual la enmienda es capaz de reaccionar en un tiempo de tres meses. Con este índice se puede calcular la dosis de enmienda en conjunto con la calidad de este. Si el valor de PRNT es más alto, el efecto de la neutralización del suelo será mayor (Espinosa y Molina, 2003).

Las dosis recomendadas por Espinosa y Molina, (2003) para la aplicación de enmiendas en los diferentes tipos de suelos siempre y cuando el PRNT es del %100 (ver tabla 12).

Tabla 12

Necesidad de enmienda agrícola según textura de suelo.

Cambio deseado del pH	**Cantidad de enmienda cálcica (t/ha) según la textura.**						
	Arenoso	**Franco Arenoso**	**Franco**	**Franco Limoso**	**Franco Arcilloso**	**Arcilloso**	**Orgánico**
0,5	0,7	1,2	2,0	2,6	3,3	4	4,9
1	1,3	2,0	3,3	4	5,1	6,1	9,6
1,5	2,0	3,2	4,9	5,7	7,1	8,5	10,3
2,0	2,8	4,6	7,0	7,9	9,4	11,3	15,2
2,5	3,9	6,3	9,1	10,1	11,7	14	20,4
3	5,2	8,4	11,9	13,3	5,6	18,7	26,0

Nota: Tomado de Rodríguez et al., (2020).

3.4.4. Reacciones de la cal en el suelo

La reacción de los materiales para el encalamiento ayuda a la neutralización de iones hidrógeno que se encuentran en la solución del suelo por medio de iones OH que son el producto del contacto de la cal con el agua que está en el suelo, es por ello que la cal es más efectiva cuando el suelo esté húmedo. Por lo que la separación o disociación del $CaCO_3$ (carbonato de calcio) se relaciona con los iones OH que son removidos del suelo por la neutralización de los iones hidrógeno y la formación de H_2O. De esta forma el pH aumenta ya que disminuye la concentración de iones hidrógeno en la solución del suelo (Espinosa y Molina, 2003)

Cabe recalcar que el ion calcio viene de la disolución del $CaCO_3$ y este no interviene en el aumento del pH. El calcio pasa solo a ocupar los sitios de intercambio de los coloides del suelo y será de uso como nutriente para las plantas. Es así que, la reacción de la cal disminuye la acidez haciendo que el pH del suelo aumente. El exceso de iones hidrógeno se convierten en agua, por lo que sí se ve más allá de las reacciones el incremento del pH favorece a la precipitación del aluminio, eliminando así este efecto tóxico de las plantas y la fuente principal de iones hidrógeno (Espinosa y Molina, 2003).

3.4.5. Método y época de aplicación

La mejor forma y más efectiva de aplicar las enmiendas es incorporar el material en los 10 a 20 cm del suelo, así se asegura un mayor contacto con el suelo ya que la mayoría de las enmiendas cálcicas no son muy solubles, es por ello la incorporación del suelo para que reaccione completamente. Una de las mejores formas de incorporar la enmienda es el uso rastra o arado permitiendo que se mezcle el suelo con el material donde posteriormente se encontraran las raíces de los cultivos. Si el material de encalamiento se lo hace con arados este debe ser distribuido de manera uniforme, en los cultivos ya establecidos como pastos y forrajes perennes, la aplicación de las enmiendas se hace en la superficie del suelo. El inconveniente de ser aplicada en la superficie del suelo es que la reacción va ser más lenta y no muy completa a diferencia de la que es incorporada directamente al suelo, por lo que estos suelos deben ser reencalados

frecuentemente. En los cultivos perennes que tienen distancia de siembra la enmienda debe ser aplicada en el área de gotera que es donde más se encuentran las raíces (Portal frutícola, 2017).

Como se mencionaba anteriormente las enmiendas cálcicas necesitan de humedad para una buena reacción, por lo que la época apropiada para que se aplique las enmiendas cálcicas es al inicio de la época de lluvia, Sin duda no hay limitaciones en cuanto a la época de aplicación siempre y cuando el suelo esté húmedo y no haya coincidencias con los ciclos de aplicación de fertilizantes del suelo. En cuanto se aplica la enmienda cálcica se debe esperar 1 mes como tiempo prudencial, para que reaccione antes de aplicar el fertilizante. Ya que cuando hay el contacto de la cal con fertilizantes nitrogenados hay la formación de carbonatos de amonio en la superficie del suelo, este después se transforma en amonio por lo que se perdería el nitrógeno por la volatilización. Otro factor es cuando hay el contacto con fertilizantes que tienen fosfatos, aquí hay pérdidas de los elementos por la formación de fosfatos cálcicos que son insolubles (Portal frutícola, 2017).

3.4.6. Efecto de sobredosis del encalamiento

Gran parte de los trabajos fueron realizados en USA, en cultivos como maíz y leguminosas en suelos de arcilla con carga variable. Lo que se evidenció es que aplicando cantidades muy elevadas de cal en el suelo los rendimientos de producción fueron disminuyendo, se deterioró la estructura del suelo y a la par bajo la disponibilidad de nutrientes como el fósforo, boro, magnesio y zinc. A esto se lo llamó sobre encalamiento y es más común verlo en suelos tropicales a los que se les ha puesto dosis altas de enmiendas para neutralizar el aluminio (Espinosa y Molina, 2003; Kamprath, 1972; Sánchez, 1981).

3.4.7. Beneficios del encalamiento

Cuando se realiza un encalado el mayor beneficio en los suelos ácidos es el aumento de la solubilidad del manganeso y el aluminio, ya que aun en bajas dosis estos elementos son tóxicos para las plantas. Las altas concentraciones de aluminio inhiben la absorción del calcio y magnesio (Espinosa y Molina, 2003).

3.5. Pasturas

Se les llama pastos a las plantas cultivadas o naturales destinadas para el consumo de animales herbívoros (Cuesta, 2012). Romero (2002) afirma que los pastos son una fuente de alimento para bovinos, ovinos, camélidos etc., el uso de este se debe a la capacidad de tener rebrotes en determinado tiempo, además de generar nutrientes importantes a los animales; la producción de un pasto tiene como finalidad brindar la mayor cantidad de forraje en una superficie.

Clapperton (2003) menciona que en las pasturas hay dos familias poaceae y fabaceae. Las fabáceas o conocidas como leguminosas son pastos que toleran las sequias, dependiendo de la madurez aportan desde 15% a 30% de cantidad de proteína cruda; por otro lado, las gramíneas son de gran importancia en el pastoreo ya que contienen mas fibra y energía, a diferencia de las leguminosas no toleran las largas sequias.

En la actualidad es importante establecer las variedades y mezclas forrajeras con el fin de mejorar la productividad. Esto permite contar con especies de ciclos diferentes, que toleren la variedad climática y las precipitaciones. Los pastos y las mezclas forrajeras tienen una gran variación en su contenido nutricional dependiendo de la etapa fenológica y en la fracción de la planta (Oña, 2018).

3.5.1. Mezclas forrajeras

Para que haya una mejor producción en un potrero, en cuanto a calidad y cantidad, es eficiente realizar la mezcla de gramíneas con leguminosas. En los cultivos forrajeros es de suma importancia estas asociaciones ya que se puede incluir dentro de las alternativas de cultivos. Años atrás los pastizales no eran de suma importancia para el estudio, pero desde hace tres décadas atrás se han realizado mejores estudios, por lo que las técnicas de explotación agronómica y agropecuaria han progresado (León et al., 2018). Para que haya una buena mezcla forrajera depende de algunos factores como: adaptación de las especies a los climas locales, la fertilidad que tiene el suelo, las malezas del terreno, la topografía, las necesidades de horas luz,

la durabilidad, el riesgo a las enfermedades, tipo de suelo, pH y sobre todo tener acceso a agua (León, 2003).

Para una buena mezcla forrajera se recomienda realizar una mezcla botánica adecuada en el que tenga del 70% a 75% de gramíneas, un máximo de leguminosas del 30% y hasta un 3% de malezas. (Vélez, 2014). Jaramillo (2010) manifiesta que las gramíneas tienen un alto rendimiento, buen desarrollo y gran aporte de energía. Por otra parte, las leguminosas tienen un crecimiento lento, aportan con calcio, fosforo y proteína. Así también que n una mezcla forrajera se pueden obtener valores de 18 a 28 % de proteína, una energía de 2,5 a 2,7 Mcal/Kg y una digestibilidad superior al 70%.

Gran parte de las mezclas forrajeras se conforma por las gramíneas como pasto azul *(Dactylis glomerata*), rye grass anual (*Lolium multiflorum),* rye grass perenne (*Lolium perenne)* y en las leguminosas como la alfalfa (*Medicago sativa*), trébol blanco (*Trifolium reens)* y trébol rojo (*Trifolium pratense)* y otras especies que se encuentran en las praderas como el holco (*Holcus lanatus)* (Barrera 2004).

Vélez (2014) hace mención que para la mejora de los pastizales hay tres puntos clave: la variedad, las técnicas de explotación y la fertilización, con estos parámetros se asegura una mejor producción. Paladines (2002) esclarece que las mezclas forrajeras tienen casi los mismos requerimientos nutricionales que como cualquier otro cultivo en la que se deben diferenciar dos aspectos importantes:

- Los forrajes son defoliados repetidamente a lo largo del año, por lo que necesita de nutrientes en todo el año y por los años que perdure la mezcla forrajera (Jaramillo, 2010; Paladines, 2002).
- Al ser utilizado como alimento de animales, estos pueden recibir los nutrientes de dos formas: por la descomposición de material vegetal y las deyecciones líquidas y sólidas de los animales que consumen el forraje (Jaramillo, 2010; Paladines, 2002).

3.5.2. Condiciones de suelo, clima y crecimiento

Los forrajes, pastizales a lo largo del año tienen un comportamiento dinámico esto dependerá de la humedad y de temperatura que es fundamental para la germinación y rebrotes. Las mezclas forrajeras se adatan fácilmente al suelo cuando hay una buena humedad, sobre todo cuando hay mayor cantidad de especies disponibles por metro cuadrado haciendo posibilidades de que se adapten de mejor manera las especies a utilizar. En el caso de las leguminosas tienen la capacidad de implantarse rápidamente lo que les permite soportar escasez de agua (Jaramillo, 2010; Paladines, 2002).

La fertilidad en el suelo es de gran importancia por no decir el más importante, ya que muestra la productividad de los pastos, por lo que se debe realizar planificaciones de fertilización a lo largo del año. Así también, tener en cuenta con respecto al clima local y el tiempo con el fin de tener máximos rendimientos en Kg Materia Seca por superficie (Jaramillo, 2010).

3.5.3. Fertilización de las mezclas forrajeras

La fertilidad de los suelos es el principal factor en una mezcla forrajera, se debe tener un buen manejo de fertilizantes orgánicos e inorgánicos. La fertilización aporta a las plantas los nutrientes que el suelo no es capaz de proveer, por lo que ayuda a corregir las deficiencias de los macro y microelementos que no tiene el suelo (Jaramillo, 2010).

Una buena fertilización tiene un efecto directo en el crecimiento y el rendimiento de las plantas, otros factores como agua que ayuda al metabolismo de la planta. En la ecuación de Fits, se menciona que una buena fertilización tiene los siguientes factores (Espinosa et al., 2022):

Rendimiento = Función (Cultivo, clima, manejo y suelo)

La ecuación hace relación al suelo, planta y animal; donde puede haber tres problemas en la nutrición animal: 1) En donde los animales tienen mayores requerimientos nutricionales que las plantas; 2) Las plantas acumulan elementos, pero algunos pueden ser tóxicos para los animales

un claro ejemplo es el exceso de molibdeno, cobre y el selenio; 3) Los elementos que se encuentran en la planta están en una concentración similar a la que necesitan los animales (Jaramillo, 2010).

3.5.4. Problemática del suelo ácido en mezclas forrajeras

En suelos ácidos el fósforo es deficiente ya que se encuentra bloqueado es así que afecta el rendimiento de los forrajes, para esto recomienda la aplicación de cales, roca fosfórica ayudando así la mineralización del Nitrógeno, que la planta tenga una mayor disponibilidad del fósforo, disminución del aluminio, aumento del molibdeno en la planta y sobre todo aumento del pH (Portillo et al., 2021).

3.5.5. Problemática en la producción de forrajes por suelos ácidos

El suelo es la base fundamental en la producción de pastos, por lo tanto, los minerales que se encuentran en el suelo tienen que estar disponibles para las plantas; sin embargo, la disponibilidad de los nutrientes como boro, zinc, molibdeno es limitado por la acides del suelo (Gonzales, 2021).

El mismo autor menciona que en pasturas la presencia de aluminio en suelos ácidos es un tema de suma importancia, ya que más del 50% de los suelos cultivados de todo el mundo presentan problemas de acides, toxicidad y limitantes en la producción agrícola-ganadera. El aluminio es un mineral que se encuentra en diversas concentraciones, por lo que en exceso genera toxicidad y limitante en el crecimiento de los forrajes. Así también, como la reducción de la capacidad de profundizar las raíces, inhibe la elongación radicular, limita la nutrición y producción de materia verde, se hacen más sensibles a (fríos, inundaciones, sequias y el sobre pastoreo).

En las plantas la concentración de aluminio no debe ser mayor del 200 mg/kg. Los animales que consumen forrajes con concentraciones altas de aluminio tienen a tener posibles riesgos en la salud por intoxicaciones (Demanet, 2017).

3.5.6. Criterios para diagnosticar problemas de acidez en la producción de pasturas

Algunos criterios que nos permiten establecer si hay problemas de acidez en el cultivo forrajero es mediante la observación del forraje ya que en suelos ácidos presentan problemas en el desarrollo de las raíces, disminución de la absorción de nutrientes del suelo, las plantas que no son resistentes a sequian serán más susceptibles, no hay buen crecimiento y producción del forraje (Demanet, 2017).

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

Materiales de campo

- Libreta
- Costales
- Hoz
- Moto guadaña de disco
- Cámara de fotos
- Piola
- Estacas
- Barrenador
- Penetrómetro
- Detector de humedad
- Balanza

Materiales de laboratorio:

Para la determinación de la materia seca

- Balanza analítica (Marca: Adam, Modelo: PW254)
- Estufa (Marca: Memmert, Modelo: NB300)

Para la determinación de la proteína, por medio del método Kjeldahl, se utilizó:

- Molino (Marca:Retsch, Modelo:Grindomix)
- Destilador (Marca: Tecnal, Modelo:TE-0364)
- Sistema de digestión (Marca:Berh, Modelo:InKjel)
- Ácido sulfúrico
- Peróxido de hidrógeno
- Pastillas catalizadoras
- Hidróxido de sodio
- Ácido bórico 4%
- Rojo tashiro 4%
- Ácido clorhídrico al 0,2 N

Para la determinación de la energía:

- Bomba calorífica (Marca:Parr, Modelo: 6100)
- Balanza analítica (Marca:Adam, Modelo:PW254)
- Agua destilada

Para determinación de fósforo.

- Espectrofotómetro (Marca: ThermoSpectronic, Modelo: Genesys 20)
- Ácido ascórbico
- Molibdato de amonio
- Tartrato de antimonio y potasio
- Ácido sulfúrico

Determinación de Calcio, Potasio y Manganeso.

- Espectrofotómetro de absorción atómica (Marca: GBC, Modelo: Sens AA)
- Soluciones estándar de Ca, K, Mn.
- Agua ultra pura desionizada

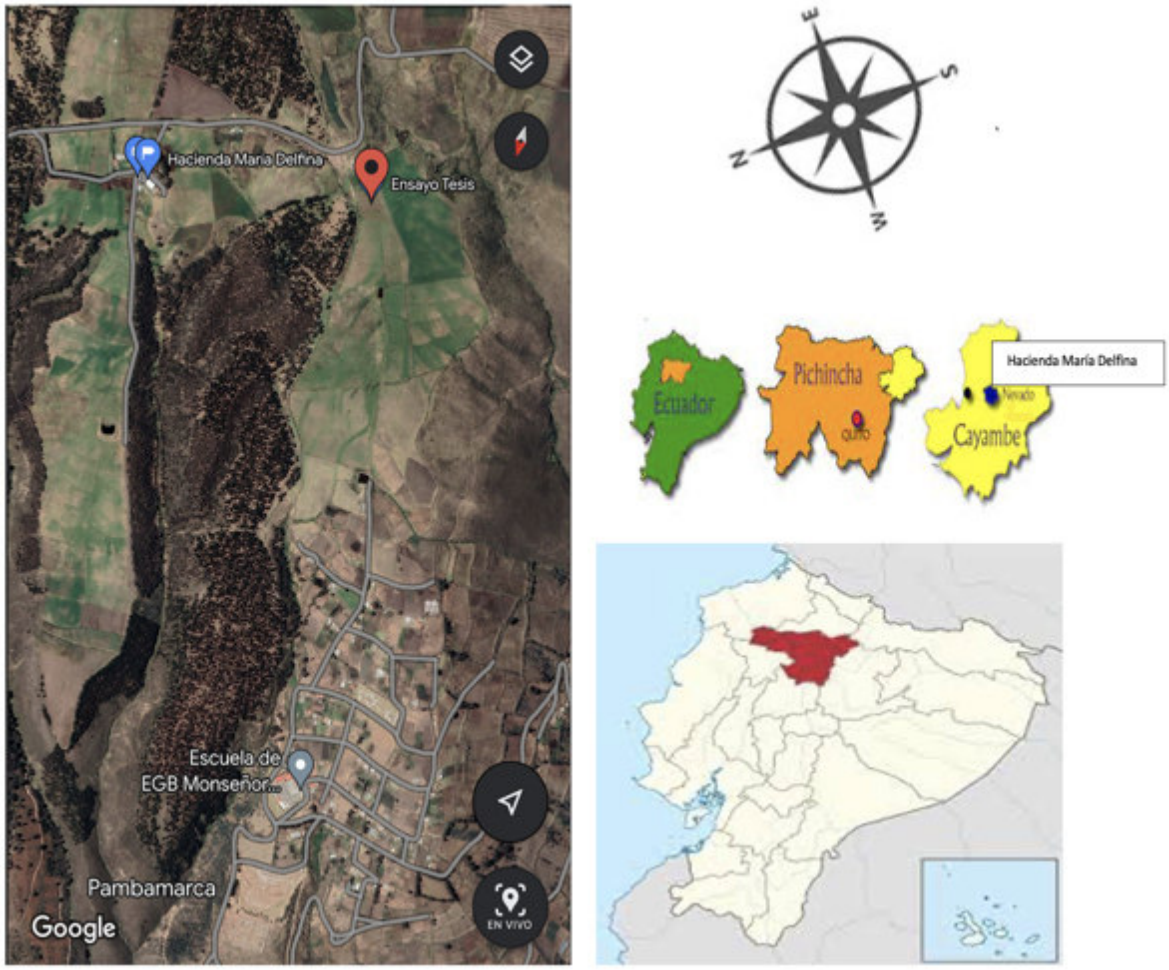
4.2. Método

4.2.1. Ubicación del estudio

La presente investigación se llevó a cabo en el cantón Cayambe, parroquia Otón de la provincia de Pichincha. La zona se encuentra con las siguientes coordenadas 567322.90; 1314785.12 a una altitud de 3200 m s.n.m (ver figura 1).

Figura 1

Ubicación del predio donde se realizó el presente trabajo de investigación.



Nota: Tomado y adaptado de Google maps, (2022)

4.2.2. Características edafoclimáticas del sector

En el cantón Cayambe, provincia de Pichincha presenta las siguientes características edafoclimáticas (Tabla 13).

Tabla 13

Descripción edafoclimática de Cayambe, sector Pambamarca.

Características	Descripción
Clima	Frio a templado
Precipitación anual	600 – 800 mm
Humedad relativa	80%
Temperatura media anual	15 °C
Temperatura máxima mensual	8 °C
Temperatura mínima mensual	22 °C
Tipo de suelo	Franco - Franco arcillosa – Franco arenosas

Nota: Tomado y adaptado de INAMHI, (2022).

4.2.3. Preparación del experimento

Para el establecimiento del ensayo se recopilo información de análisis de suelos que contaba la hacienda, en donde se evidencia que los suelos son ligeramente ácidos, con desbalances nutricionales por ende hay una deficiente producción de materia seca por hectárea. Con los indicios anteriormente mencionados y previo al análisis de suelo, se seleccionó un lote, basado en las siguientes características:

- ✓ Buena mezcla forrajera,
- ✓ Acceso al agua de riego,
- ✓ Vías de acceso para la utilización de maquinaria y para la aplicación de las enmiendas cálcicas.

En la siguiente tabla se detalla la información del lote asignado para la investigación.

Tabla 14

Datos informativos del lugar asignado para la investigación.

Datos	Descripción
Lugar:	Hacienda María delfina Finca 2
Lote:	6
Forrajes establecidos:	Mezcla forrajera: (*Medicago sativa, Dactylis glomerata, Trifolium repends, Pennisetum clandestinum).*
Fecha de siembra:	Noviembre del 2019
Método de simbra:	Al voleo
Cultivo anterior:	Avena (*Avena sativa)*
Densidad de siembra:	70% gramíneas 30% leguminosas
Fertilizaciones químicas anteriores:	Las fertilizaciones se las realiza cada dos pastoreos, siendo la última aplicación con: 50Kg Nitrato de amonio + 50kg 10-30-10 para 1 hectárea.
Fertilizantes orgánicos:	Una vez al año aproximadamente.
Promedio de días entre rebrote:	Invierno: de 38 a 45días Verano: de 46 a 55 días

4.2.4. Diseño experimental

Para la siguiente investigación se realizó un diseño experimental completamente al azar (DBCA), con prueba estadística Tukey al 5% de margen de error. El ensayo conto con 3

tratamientos y un testigo, teniendo un total de 4 tratamientos y tres repeticiones cada uno; por lo tanto, se establecieron 12 unidades experimentales (tabla 15), cada unidad experimental tubo un área de 100 m2 (figura 2), el área total fue de 1.500 m2.

4.2.4.1.Tratamientos:

T1: Testigo
T2: Sulfato de calcio.
T3: 50% Carbonato de calcio y 50% de sulfato de calcio
T4: Carbonato de Calcio

Tabla 15.

Descripción de los tratamientos, dosis y enmiendas a utilizar.

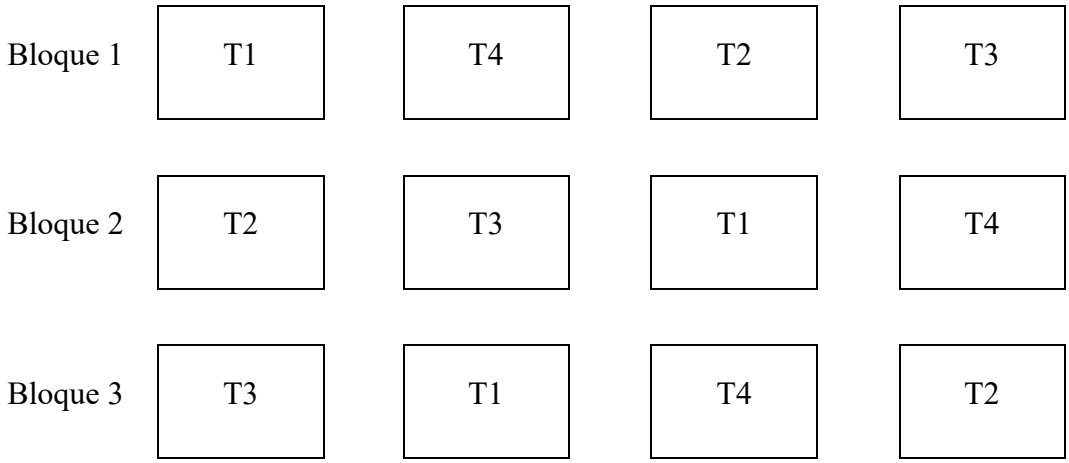
Tratamientos	Dosis ($Lb/100m^2$)	Dosis (t/ha)	Descripción
T1	0	0	Testigo
T2	72,75	3,3	Sulfato de calcio
T3	36,38	1,65	Carbonato de calcio +.
	36,38	1,65	Sulfato de calcio
T4	72,75	3,3	Carbonato de calcio

4.2.4.2. Unidades experimentales

En la Figura 2, se evidencia el diseño experimental (DBCA) realizado en campo, para lo cual cada bloque cuenta con sus tratamientos respectivos dando un total de 12 unidades experimentales, cada una con un área de 100 m^2 con una distancia entre unidades experimentales de 2 m.

Figura 2.

Diseño de las unidades experimentales en campo.



4.2.4.3. Factores en estudio

Los factores de estudio para la siguiente investigación son los siguientes:

- ✓ Enmiendas cálcicas
- ✓ Características físicas y químicas del suelo.
- ✓ Condición forrajera.

4.3. Evaluación de la efectividad de dos enmiendas cálcicas y su mezcla, aplicadas al suelo, mediante análisis de laboratorio, como alternativa en la mejora de las condiciones físico químicas del suelo.

4.3.1. Toma de muestras para el análisis de suelo

Previo al establecimiento del ensayo se tomaron muestras de suelo basados en la metodología de Alvarenga y Alberto, (2015), donde, se muestreo en zig-zag por todo el lote asignado, con ayuda de barrenador, obteniendo un total de 25 submuestras para luego homogenizarlas y

obtener una sola muestra compuesta de 500g que se llevó al laboratorio AGARPROJEK, para su respectivo análisis físico químico (ver anexo 1).

4.3.3. Aplicación de las fuentes de calcio establecidas para cada tratamiento

Previo a la aplicación de las fuentes de calcio se determinó el Poder Relativo de Neutralización total (PRNT) del carbonato de calcio y el sulfato de calcio, para ello se envió al laboratorio Química de Suelos de la PUCESI, donde se realizó la eficiencia granulométrica (EG), a través de mallas o zarandas de 10 a 100 mesh. Se recomienda que el 70% a 80% del material encalante pase por una malla 60, si todos los materiales pasan por esta la reacción y efectividad se darán a partir de los tres meses de aplicado al suelo. Por otro lado, los materiales que pasan por una malla 80 o superior su reacción será de uno a tres meses (Campillo, 2014).

Para poder establecer el %PRNT es la eficiencia química (EQ) del material encalante, estos valores están ya establecidos por tablas donde se muestra la eficiencia para cada material encalante a utilizar, en tal virtud los valores de eficiencia granulométrica y eficiencia química se calcularán para obtener el %PRNT (Molina y Centro de Investigaciones Agronómicas, 2014).

$$\%PRNT = \frac{\%EG\ x\ \%EQ}{100}$$

Al conocer el %PRNT nos ayuda ajustar la dosis de enmienda a utilizar (Molina y Centro de Investigaciones Agronómicas, 2014) .

Dosis a aplicar = (Dosis recomendada x 100) /PRNT

4.3.4. Evaluación de la compactación

Para la medición de la compactación se usó el penetrómetro, para lo cual, al tomar las lecturas el suelo debe estar en capacidad de campo, o esperar 24 horas después de una lluvia. Ya en campo la varilla de penetrómetro se introduce al suelo a una velocidad de 1 pulgada por segundo, a medida que se empuja el penetrómetro verificar la profundidad y anotar los valores que da el equipo en PSI. Para Intagri (2021) si la resistencia no sobrepasa los valores de 285 PSI, esto indica que no hay compactación severa en la que las raíces se vean afectadas, pero si la resistencia pasa los 300 PSI indica que hay una zona de compactación, para Rey, (2012), estos valores deben tomarse en cuenta no solo en función del suelo, sino en la capacidad de desarrollo radicular y longitud del cultivo establecido, puesto que pueden estos mismos valores ser condicionantes de un crecimiento adecuado.

4.4. Estimación del efecto de los reguladores de suelo en la conformación de la planta, composición química y rendimiento (Ms/Ha), en mezclas forrajeras establecidas.

4.4.1. Cálculo de la materia seca del forraje y rendimiento de materia seca por hectárea

En campo las muestras fueron recolectadas en fundas plásticas previamente identificadas, se llevaron al laboratorio de la Pontificia universidad Católica del Ecuador sede Ibarra; donde se pesó 100 g por cada muestra, las mismas que se colocaron en bandejas y posteriormente se llevaron a estufa a 110 °C, por un tiempo de 24 horas; transcurrido este tiempo cada muestra fue pesada y posteriormente se calculó el porcentaje de materia seca, en base a la siguiente fórmula tomada de Calistro, (2011).

$$\%MS = \frac{bx100}{a}$$

En donde, A= peso inicial de la muestra; B= peso de la muestra después del secado.

Para la obtención de Kg Ms/hectáreas se realizan los siguientes cálculos.

Kg Ms/ha= [(gramos de peso fresco x (materia seca/100) x Factor de corrección (40)] (Calistro, 2011)

4.4.2. Longitud de raíces

Se estableció tomar una muestra representativa de 20cm x 20cm, a fin de poder agrupar a todas las especies que conformar la mezcla forrajera, posterior se colocaron las raíces en un papel cuadriculado o en una hoja que se pueda medir, este papel nos ayudará a medir la longitud de las raíces, y se obtuvo una media del total de raíces medidas. Otra forma de medir la longitud de la raíz es con una regla o un flexómetro. Para las dos opciones la medición la raíz se lo hará desde la base o la corona hasta el final de la raíz (Krosagro, 2021).

4.4.3. Composición química y bromatológica de los forrajes establecidos

Energía

Para la obtención de energía se determinó a través de la utilización de la bomba calorimétrica analítica, donde el resultado se expresa en gramos de caloría basándose en la metodología del laboratorio de bromatología de la PUCESI. Para la obtención de valores de este nutriente se pesó 5 gramos de la muestra seca y se colocó en la máquina; en donde el resultado nos dio en gramos de caloría por kg de muestra (Cáceres y Gonzáles, 2000)

Proteína

Para la obtención de proteína cruda se evaluó mediante el método Kjeldahl, el cual consiste en degradar la materia orgánica de la muestra exponiéndola a tres etapas que son la digestión donde se pesa 2 gramos de la muestra y se coloca en un tubo de ensayo agregando 10ml de H_2SO_4 concentrado, 2ml de H_2O_2 al 10% y una pastilla catalizadora y llevar a digestar alrededor de tres a cuatro horas; se neutralizó la muestra ya digestada añadiendo 50 ml de agua destilada más hidróxido de sodio al 35 %; en la destilación se añadió 25 ml de ácido

bórico más 4 gotas de rojo tashiro y se colocó la muestra a destilar. Para finalizar se tituló con HCL al 0,2 N obteniendo el porcentaje de nitrógeno para luego ser transformado por un factor en proteína ya estandarizado (Soest, 2017).

$$\%N\ total = \frac{ml\ HCL * 0{,}14 * 0{,}2 * 100}{m}$$

$$\%Proteína\ bruta = \%\ N\ total * 6{,}25$$

Donde:
ml HCL= cantidad de ácido utilizado en la titulación. 0,2= normalidad del ácido
m= peso de la muestra

En donde el factor de conversión para el caso de los pastos es de 6,25 (Soest, 2017).

Análisis de calcio (Ca), potasio (K), manganeso (Mn), magnesio (Mg) y Hierro (Fe)

Para el análisis de las muestras forrajeras de cada tratamiento se realizaron los protocolos de Antanasopoulos (2014) en los Laboratorio de cromatografía de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra. Para la obtención del contenido de calcio, potasio y manganeso se utilizó el espectrofotómetro de absorción atómica. En donde se realizaron soluciones estándar que son patrones (1000 ppm), con el fin de determinar las curvas para cada elemento de interés y poder hacer el uso de la absorción atómica.

Desde la solución stock de 1000 ppm se tomó 1mL de solución de calcio, potasio y manganeso, luego se enraso con 10mL de agua ultra pura desionizada y se procedió a homogenizar. Este protocolo se realizó con las diferentes soluciones de calcio, potasio y manganeso.

Para establecer las curvas de calibración estas fueron ajustadas según el elemento a analizar y de igual forma con los respectivos estándares.

Calcio. Los estándares fueron 0,1 - 0,3 – 0,5 – 0,7 – 1,0 – 1,2 (ppm)
Potasio: Los estándares fueron 0,1 – 0,3 – 0,5 – 0,7 – 1,0 – 1,2 (ppm)
Manganeso: Los estándares fueron 0,1 – 0,2 – 0,25 – 0,3 (ppm)
Análisis de fósforo (P)

Para el análisis de fósforo soluble en agua por el método de ácido ascórbico (Lasso et al., 2007). Los reactivos a usar son ácido sulfúrico, tartrato de antimonio y potasio, molibdato de amonio, ácido ascórbico. Mezclamos los reactivos (reactivos combinados) como se menciona en el protocolo (siempre se debe agitar después de adicionar cada reactivo). Por otro lado, realizamos una solución patrón, donde colocamos 0,25g de fosfato diácido de potasio, llevamos a secar a 105 *C por 2 horas. Luego del secado diluimos 0,21g de fosfato diácido de potasio en 1000 mL y almacenamos en la nevera hasta el momento de usarlo.

Para la curva de calibración, a partir de la solución patrón de fosfato se preparan los estándares con las diferentes concentraciones: 0,03- 0,10- 0,50 y 1 mg; así mismo, se debe preparar los estándares de control de 0,10 mg/l y 1,00mg/l.

Para proceder a analizar preparamos el espectrofotómetro, la lectura del fósforo se hace a 880 nm, las celdas de vidrio a utilizar deben estar limpias sin manchas. Cuando se inicia la determinación del fósforo se mezclan 25 ml de estándares con 4 ml del reactivo combinado, se espera 10 min y no más de 30 min para proceder a leer en el espectrofotómetro. Los resultados que dará será la absorbancia, para luego ser utilizado en la ecuación dada por la curva de calibración y obtener la concentración (Lasso et al., 2007)

.

$$\text{Absorbancia} = 0{,}00655683 + 0{,}575433 * \text{concentración}$$

El resultado que se obtendrá será la concentración de fosforo que hay en la muestra expresado en mg/L.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis de normalidad y homogeneidad

Se realizo las pruebas de normalidad y homogeneidad de Shapiro Wilk, para cada uno de las variables que serán evaluadas. Los datos que se observan en la Tabla 16 se pueden apreciar que están distribuidos normalmente.

Tabla 16

Prueba de normalidad de Shapiro Wilk de las variables a evaluar.

Variables	Antes de aplicar las enmiendas				Después de aplicar las enmiendas			
	Promedio	Desviación estándar	W°	P-value	Promedio	Desviación estándar	W°	P -value
Resistencia a la penetración								
De 0 a 8 cm de profundidad	135,16	5,58	0,968	0,899	160,18	10,13	0,967	0,877
De 9 a 24 cm de profundidad	168,91	16,04	0,928	0,359	164,43	9,74	0,958	0,765
De 25 a 40 cm de profundidad	207,08	16,26	0,945	0,578	178,08	6,42	0,945	0,566
Longitud radicular								
Longitud radicular	11,72	0,79	0,963	0,832	15,18	1,03	0,911	0,221
Kg Ms/ha/corte								
Kg. Ms/ha/corte	2720,33	214,86	0,924	0,324				
Kg. Ms/ha/1er corte					2878,28	303,43	0,959	0,78
Kg. Ms/ha/2do corte					3376,52	438,14	0,943	0,547
% de cobertura de								

la mezcla forrajera								
Cobertura	73,83	1,851	0,943	0,544	86,5	4,23	0,88	0,089
Análisis bromatológico de la mezcla forrajera								
% Proteína	13,98	1,25	0,898	0,149	21,21	0,44	0,862	0,052
Energía	4,02	0,07	0,931	0,391	4,21	0,04	0,943	0,545
Análisis químico foliar de la mezcla forrajera								
Fosforo	0,26				0,40	0,03	0,953	0,69
Potasio	0,0847				0,0847	0,00055	0,936	0,451
Calcio	0,075				0,518	0,065	0,953	0,691
Manganeso	0,0059				0,005	0,0007	0,966	0,875
Hierro	0,026				0,021	0,003	0,911	0,22

Tabla 17

Promedios de las variables analizadas en el ensayo

Variables	Promedios	
	Antes de la enmienda	Después de la enmienda
Materia orgánica (%)	8	8,58
pH	5,3	5,58
Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100g)	18	17,58
Conductividad Eléctrica (mS/cm)	0,05	0,12
Saturación de bases (%)	56	47,75
Nitrógeno (meq/kg)	5,5	19,18
Fosforo (meq/kg)	33,4	35,65
Potasio (meq/kg)	32	44
Calcio (meq/kg)	482	550,5
Manganeso (meq/kg)	65,5	66,5
Hierro (meq/kg)	326	289,25

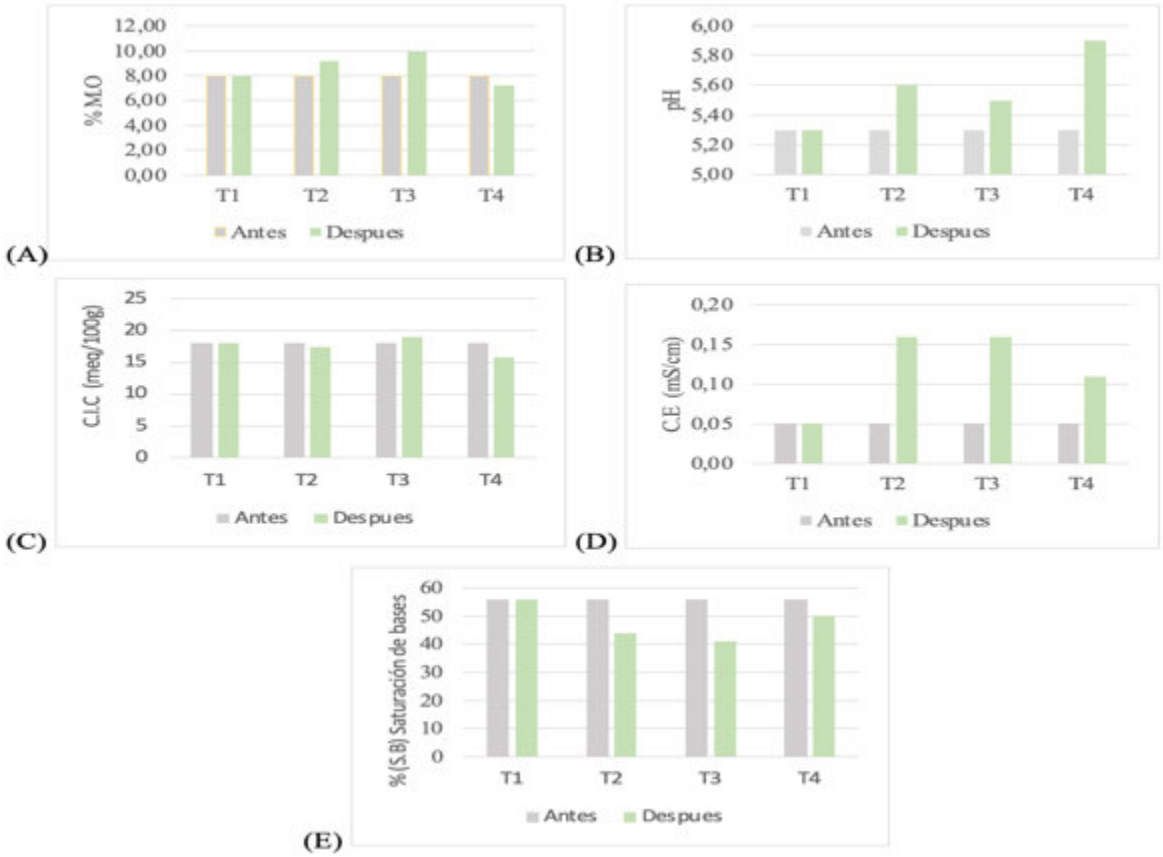
5.2. Evaluación de la efectividad de dos enmiendas cálcicas y su mezcla, aplicadas al suelo, mediante análisis de laboratorio, como alternativa en la mejora de las condiciones físico químicas del suelo.

5.2.1. Composición química del suelo

5.2.1.1. Promedios de resultados de: (A) M.O; (B) pH; (C) C.I.C; (D) C.E; (E) S.B, antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas

Figura 3

Efecto de la aplicación de enmiendas cálcicas en la % M.O, pH, C.I.C, C.E y % de saturación de bases.



En la Figura 3 (A), los efectos de la aplicación de las enmiendas cálcicas sobre la % M.O; el tratamiento con el mejor resultado corresponde al T3, expresando un resultado de 9,9 % a diferencia del T4 el cual se obtuvo resultados de 7,2 % siendo de esta manera el más bajo.
Es así que al hablar de enmiendas calizas, tal como lo menciona Fuentes (2021), estas ayudan al metabolismo del suelo ya que aceleran el proceso de descomposición favoreciendo de esta manera a la fijación simbiótica del nitrógeno la cual es proveniente de la atmosfera, siendo entonces que la aplicación de carbonato de calcio como lo expresan Ramos et al. (2016) se convierte en una técnica que contribuye de manera positiva para conseguir elevar el pH del suelo el cual contribuye incrementar la proliferación de microorganismos dando lugar a la descomposición y mineralización de la materia orgánica que ya se encuentra presente, en tal sentido el T3, el cual además de carbonato de calcio más sulfato de calcio determinó un incremento en el contenido de M.O., debido estas dos fuentes de calcio vinculan la materia orgánica con la arcilla del suelo, lo cual genera una estabilidad en los agregados (Fuentes, 2021).
Otros de los factores que se consideran de suma importancia que interviene en las características físico químicas es la altitud en la cual se encuentra los suelos, tal como lo establecen Sánchez et al., (2005) al mencionar que los suelos cultivables que se encuentran ubicados sobre los 3000 m s.n.m presentan una menor tasa de mineralización, por esto es que dichos suelos expresan un elevado contenido de M.O

Tal como se muestra en la Figura 3 (B) referente al pH del suelo, el tratamiento T4 es el que expresa mejores resultados ya que promedio se obtiene un nivel de 5,9, mientras que el valor del T3 refleja un valor de 5,5, afirmando de esta manera los ensayos establecidos por Solano (2013), en los cuales las aplicaciones de carbonato de calcio en una relación de 2 t/ha se obtuvo un incremento de 0,3 puntos al igual que el trabajo realizado por Rodríguez et al.,(2020) donde se menciona que con una aplicación de 3,3 t/ha se obtiene un incremento de 0,5puntos en el nivel de pH, sin embargo, dan a conocer que aplicaciones superiores a los establecidos en los ensayos provoca bloqueos en la absorción de microelementos con lo que se acelera la descomposición de la M.O, reduciendo así los años de producción que puede mantener el suelo.

Entre otros aspectos de las características químicas del suelo se encuentra la C.I.C la cual dentro del ensayo no reflejo cambios significativos durante el tiempo de desarrollo del ensayo ya que como se presenta en la Figura 3 (C) el incremento más significativo se presentó en el T3 el cual expresó un incremento de 1 unidad, evidenciando mejores resultados debido a la relación del incremento de la M.O expresada en la figura 3 (A), tal como lo indica la FAO (2022) y Valero (2000) establecieron que la C.I.C se relaciona directamente con la cantidad de materia orgánica, arcillas y principalmente el pH presente en el suelo, expresando además que suelos con un C.I.C comprendido entre 15 y 25 meq/100g se conocen como suelos medios ricos a nivel de nutrientes y estos a su vez se encuentran presentes en franco a franco limosos, por otra parte se puede apreciar que en tratamiento T4 presento una disminución en la C.I.C lo cual corresponde a resultados dados a conocer por Cabeza (2016) donde, se obtuvieron resultados iniciales de 19 meq/100g y finales de 17 meq/100g por lo cual se establecido que no existieron cambios significativos en los tratamientos y por ende en el suelo.

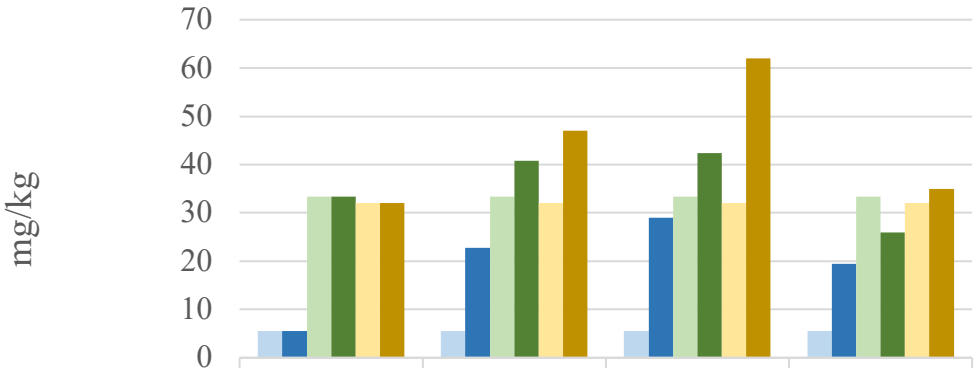
Continuando con los resultados obtenidos, en este caso la C.E, se establece mediante la diferencia entre tratamientos T2 y T3, los cuales expresan los valores más altos posterior a la aplicación del ensayo con valores de 0,16 mS/cm para ambos tratamientos, lo cual en el caso del T3 corresponde de manera similar a los resultados obtenidos por Cañar (2021) donde al aplicar un tratamiento de enmienda de 2 t/ha (50% Sulfato de calcio + 50% Carbonato de calcio) se obtuvo resultados iniciales de 0,48 mS/cm finalizando en 0,88 mS/cm, de esta manera se puede confirmar que la información dada a conocer por Juca (2017) donde expresa que la cantidad y el tipo de enmienda aplicada tiene relación con la C.E ya que a más concentración de calcio la C.E incrementa debido al contenido de carbonatos presentes en las diferentes enmiendas. Además, como un factor que puede utilizarse para el lixiviado de sales presentes en el suelo Castellanos (2000) da a conocer que el yeso contribuye en esta acción además de mejorar las propiedades químicas tal como se observa en el Anexo 1.

Finalmente analizando los resultados correspondientes s la saturación de bases se establece que el T1 expresa los mejores resultados ya que se mantuvo el %S.B, mientras que en los demás tratamientos presentaron una baja, siendo así que el tratamiento menos afectado fue el T4 diferencia de los tratamientos restantes tratamientos, por lo que Moro (2015) y Morón (2014) mencionan que la saturación de bases va de la mano con la C.I.C, M.O y los nutrientes presentes en la solución del suelo, es así que los tratamientos T2, T3 y T4 presentaron valores bajos debido a que hubo una mejor asimilación de los nutrientes quedando en desbalance los principales cationes como el Ca, Mg y K, por lo que se debe incurrir a fertilizaciones para equilibrar el desbalance tal y como lo menciona Ramírez, (1997) que en mezclas forrajeras la saturación de bases debe estar comprendida de un 80 a 90 % a medida que el pH acerca su nivel a la neutralidad, siendo entonces que dicho equilibrio se consigue por un equilibrio entre el K, Ca, Mg; por lo cual en el desarrollo del ensayo los resultados en cuanto al % de saturación de bases se ve afectado de manera negativa es por el desequilibrio que existe entre los tres elementos considerados para este análisis, dada la capacidad antagónica que tiene el Ca y el K comprometiendo el equilibrio deseado para llegar al % ideal y considerando de igual manera que el nivel de pH aún no se encuentra cercano a la neutralidad.

5.2.1.2. Promedios de resultados de los macroelementos nitrógeno, fosforo, potasio, antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

Figura 4

Efectos de las fuentes de enmiendas en los macroelementos presentes en el suelo antes y después de la aplicación.



	T1	T2	T3	T4
Nitrógeno (N), antes	5,5	5,5	5,5	5,5
Nitrógeno (N), después	5,5	22,7	29	19,5
Fosforo (P), antes	33,4	33,4	33,4	33,4
Fosforo (P), después	33,4	40,8	42,4	25,9
Potasio (K), antes	32	32	32	32
Potasio (K), después	32,00	47,00	62,00	35,00

En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos de la aplicación de los diferentes tratamientos donde se puede evidenciar los cambios generados para cada tratamiento y su relación con cada elemento obteniendo los siguientes resultados:

- ✓ Nitrógeno: En una etapa inicial los resultados de N se encuentran en 5,5 mg/kg, para posteriormente finalizado el ensayo el mejor resultado se obtiene en los tratamientos T2 y T3 que alcanzaron un resultado de 22,7 y 29 mg/kg respectivamente, esto atribuido a los efectos ocasionados en el incremento de la actividad microbiana como se explica en la Figura 8 (A), contrarrestando con el T4 en donde presenta el menor incremento de N para los tres

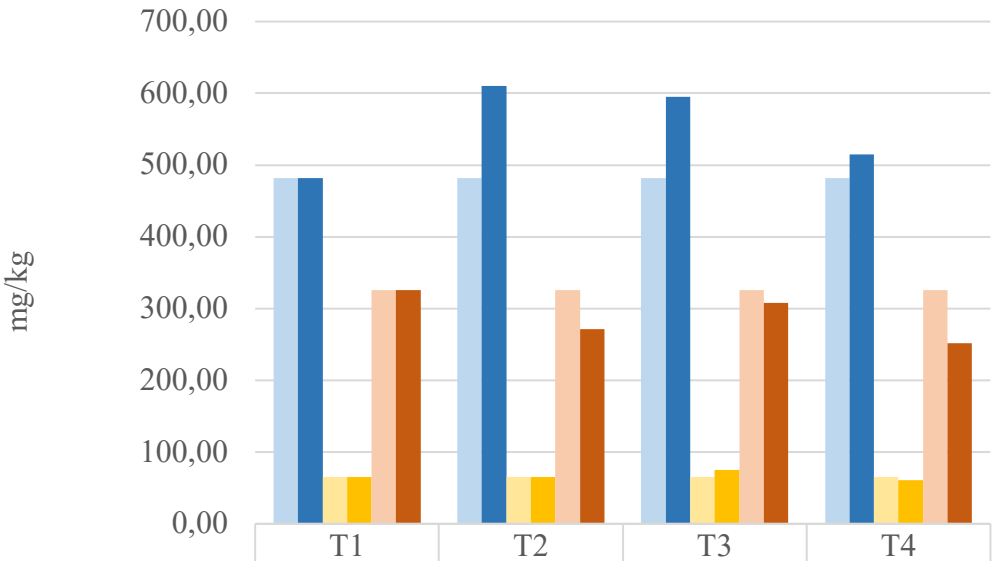
tratamientos esto atribuido a la disminución de la M.O. y en el incrementó en el pH lo que contribuyó a la disponibilidad y fácil asimilación hacia la planta (Alonso et al., 2008).

- ✓ Fosforo: Dentro de los resultados obtenidos del ensayo el T2 y T3 expresan de igual forma un mayor incremento en su concentración con un resultado de 40,8 y 42,4 mg/kg respectivamente, esto atribuido a la aplicación de Sulfato de calcio + Carbonato de calcio como lo establece Cañar, (2021) donde expreso un incremento en el contenido de fosforo del suelo con valores iniciales de 55 mg/kg y finales de 84 mg/kg manteniéndose en una alta concentración debido a que el pH del suelo aún no se encuentra en un nivel óptimo para dar paso a la solubilización hacia la planta, como lo expresa Alvarado, (2005) en su investigación donde se atribuye que la disminución en la concentración de fosforo a nivel de suelo se debe a la solubilidad generada por el pH optimo y por ende su asimilación eficiente por parte de la planta, determinando una menor concentración en el suelo.
- ✓ Potasio: El contenido de K mediante lo resultados obtenidos del ensayo reflejan que los tratamientos T2 y T3 presentan un mayor incremento en la concentración de este nutriente en el suelo debido a la solubilidad de las enmiendas aplicadas en su respectivo tratamiento tal como lo establece Cañar, (2021), las enmiendas que utilizan sulfato de calcio + Carbonato de calcio aportan de manera positiva a la liberación del K en el suelo, por otra parte en el T4 se puede apreciar que no existen grandes cambios en la concentración de este elemento en el suelo esto atribuido al antagonismo que existe entre la enmienda utilizada a base de carbonato de calcio y el elemento K (Solano, 2013).

5.2.1.3. Promedios de resultados de los microelementos calcio, manganeso, hierro, antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas presentes en el suelo.

Figura 5

Efectos de las fuentes de enmiendas en los microelementos presentes en el suelo.



	T1	T2	T3	T4
Calcio (Ca), antes	482,00	482,00	482,00	482,00
Calcio (Ca), después	482	610	595	515
Manganeso (Mn) antes	65,50	65,50	65,50	65,50
Manganeso (Mn), después	65,50	65,00	75,00	60,50
Hierro (Fe), antes	326,00	326,00	326,00	326,00
Hierro (Fe), Después	326	271	308	252

En la Figura 5 se muestran los resultados obtenidos de la aplicación de las enmiendas de los diferentes tratamientos donde se puede evidenciar los cambios generados en la concentración de micronutrientes:

- Calcio: Lo niveles de calcio en una etapa inicial reportaron una concentración de 482 mg/kg para posteriormente finalizado el ensayo los mejores resultados se mostraron en el T2 y T3 con resultados de 610 y 595 mg/kg respectivamente, esto se atribuye a los efectos ocasionados por el tipo de metodología aplicada, como

lo menciona Alvarado (2005) donde al inicio de su ensayo reporta datos iniciales de 1186 mg/kg Ca y al finalizar 1851 mg/kg de Ca elevando las concentraciones de este elemento en el suelo ya que las enmiendas están constituidas principalmente por calcio.

- Manganeso: En lo referente a contenidos de Mn los resultados del trabajo realizado reflejan que al iniciar el ensayo las concentraciones se establecían en 65,50 mg/kg para posteriormente al finalizar el ensayo, el tratamiento T3 presento valores más altos a diferencia del T4 que disminuyo los contenidos de dicho elemento, esto atribuido al poder de solubilidad que tiene el carbonato de calcio tal como lo refleja en su trabajo Solano (2013) donde reporto que existe una disminución del contenido de Mn debido al incremento generado en el nivel de pH desplazando así a este elemento y haciéndolo más susceptible a procesos de lixiviación.
- Hierro: Este elemento en los resultados obtenidos se puede apreciar que inicialmente se encuentran en una concentración 326 mg/kg, siendo los tratamientos T2 y T4 los que al finalizar el ensayo demostraron mejores resultados puesto que se evidencio una disminución en el contenido de Fe manteniendo similitud de resultados al trabajo presentado por Solano (2013), donde se obtuvieron resultados que demostraban la disminución en la concentración de este elemento, concordando con lo dado a conocer por (Intagri, 2008) quien detalla que por el efecto de cambio en el pH se consigue un desplazamiento de Fe y Mn a medida que se acerca a la neutralidad.

5.2.2. Resistencia a la penetración en el suelo

5.2.2.1. Compactación del suelo hasta los 8 cm de profundidad antes de la enmienda.

La Tabla 18 muestra el análisis de varianza para la variable compactación del suelo hasta los 8 cm de profundidad antes de la enmienda,

Tabla 18

Análisis de varianza para la compactación del suelo hasta los 8 cm de profundidad antes de las enmiendas cálcicas.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	615,5	205,16	4,759	0,050	ns
Bloques	2	8,6	4,32	0,100	0,906	ns
Error	6	2,587	43,11			
Total	11					
C.V (%)	4,857					
Promedio	135,16					

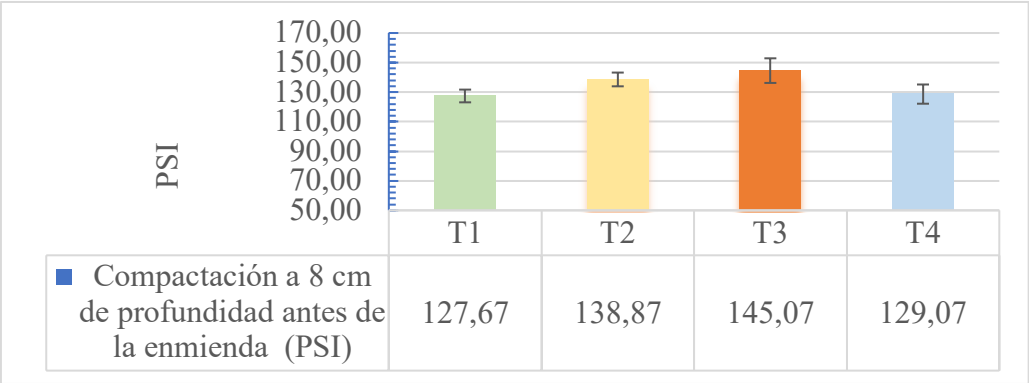
Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

Para la variable compactación del suelo hasta los 8 cm de profundidad antes de la enmienda, tras el análisis ANOVA, se evidencio que no hay diferencias significativas al 5% entre los diferentes tratamientos, mientras que entre bloques no hay diferencias significativas. Con un promedio entre tratamientos de 135,16 (PSI), de igual manera se observa un coeficiente de variación de 4,85% lo que demuestra que hay una baja variabilidad entre los datos y confiabilidad en los resultados

En la Figura 6, se presentan los promedios de la compactación del suelo hasta los 8 cm de profundidad antes de la enmienda. El T3 (Carbonato de calcio + Sulfato de calcio) presentó la mayor compactación (145,07 PSI). El de menor compactación presento el tratamiento T1 (Testigo) con un valor de 127,67 PSI

Figura 6

Promedios para la compactación del suelo de hasta 8cm de profundidad antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.2.2.2. Compactación del suelo hasta los 8 cm de profundidad después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

La Tabla 19 muestra el análisis de varianza para la variable compactación del suelo hasta los 8 cm de profundidad después de la enmienda.

Tabla 19

Análisis de varianza para la compactación del suelo hasta los 8 cm de profundidad después de las enmiendas cálcicas.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	2254.0	751,3	4,928	0,0466	*
Bloques	2	100,8	50,4	0,331	0,7308	ns
Error	6	914,9	152,5			
Total	11					
C.V (%)	7,70					
Promedio	160,18					

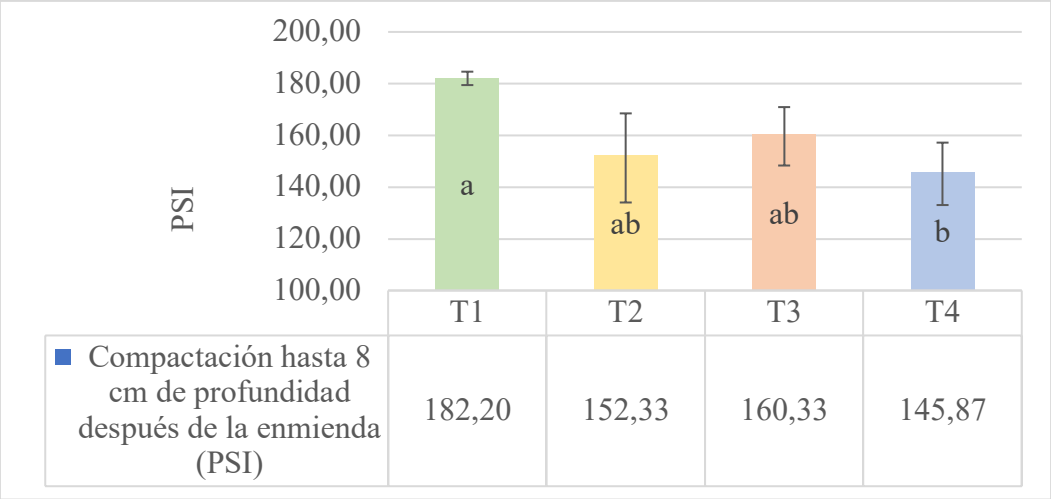
Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

Para la variable compactación del suelo hasta los 8 cm de profundidad después de la enmienda, tras el análisis ANOVA, se evidencio que hay diferencias significativas al 5% entre los diferentes tratamientos, esto nos indica que al menos un tratamiento es diferente a los demás; mientras que entre bloques no hay diferencias significativas. De igual manera se observa un coeficiente de variación de 7,70% indicando que hay poca variabilidad en los datos, lo que demuestra que hay confiabilidad en los datos, así también, se evidencia un promedio de todos los tratamientos de 160,18 (PSI).

En la prueba tukey al 5% para la compactación del suelo hasta los 8 cm de profundidad después de la enmienda (figura 7), se formó 3 rangos: En el rango A con más alta compactación se observa al tratamiento T1 (Testigo) con 182,20 PSI, mientras que en el rango B con más baja compactación presenta el tratamiento T4 (Carbonato de calcio) con 145,87 PSI, por otra parte, el T2 y T3 se situan en el rango AB debido a que los valores tienen una similitud estadística con el rango A y B

Figura 7

Prueba de significancia Tukey al 5% para la variable compactación del suelo de hasta 8cm de profundidad después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.2.2.3. Compactación del suelo hasta los 24 cm de profundidad antes de la enmienda.

La Tabla 20 muestra el análisis de varianza para la variable compactación del suelo hasta los 24 cm de profundidad antes de la enmienda.

Tabla 20

Análisis de varianza para la compactación del suelo hasta los 24 cm de profundidad antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	2312,19	771,0	2,958	0,120	ns
Bloques	2	606,2	303,1	1,163	0,374	ns
Error	6	1536,8	260,6			
Total	11					
C.V (%)	9,55					
Promedio	168,91					

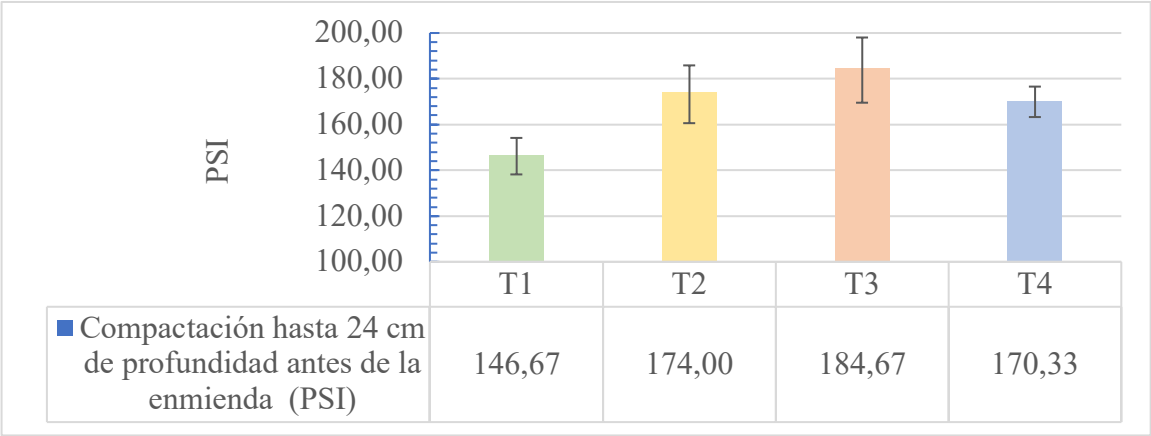
Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

Para la variable compactación del suelo hasta los 24 cm de profundidad antes de la aplicación de las enmiendas calizas, tras el análisis ANOVA, no se evidencia diferencias significativas al 5% entre los diferentes tratamientos así mismo, por bloques no se evidencia diferencias significativas. En cuanto al coeficiente de variación refleja 9,55% lo que demuestra poca variabilidad en los datos, por ende, hay mayor confiabilidad en los resultados. Así también, se refleja un promedio de todos los tratamientos de 168,91 (PSI).

En la Figura 8, se presentan los promedios de la compactación del suelo hasta los 24 cm de profundidad después de la enmienda. Donde el tratamiento T3 con la aplicación de (Carbonato de calcio + Sulfato de calcio) presento la mayor compactación (184,20 PSI) y siendo el de menor compactación el tratamiento T1 (Testigo) con un valor de 146,67 PSI.

Figura 8

Promedios para la compactación del suelo de hasta 24 cm de profundidad antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.2.2.4. Compactación del suelo hasta los 24 cm de profundidad después de la enmienda.

La Tabla 21 muestra el análisis de varianza para la variable compactación del suelo hasta los 24 cm de profundidad después de la enmienda.

Tabla 21

Análisis de varianza para la compactación del suelo hasta los 24 cm de profundidad después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	1886,4	628,8	8,767	0,013	*
Bloques	2	397,8	198,9	2,773	0,140	ns
Error	6	430,3	71,7			
Total	11					
C.V (%)	5,15					
Promedio	164,43					

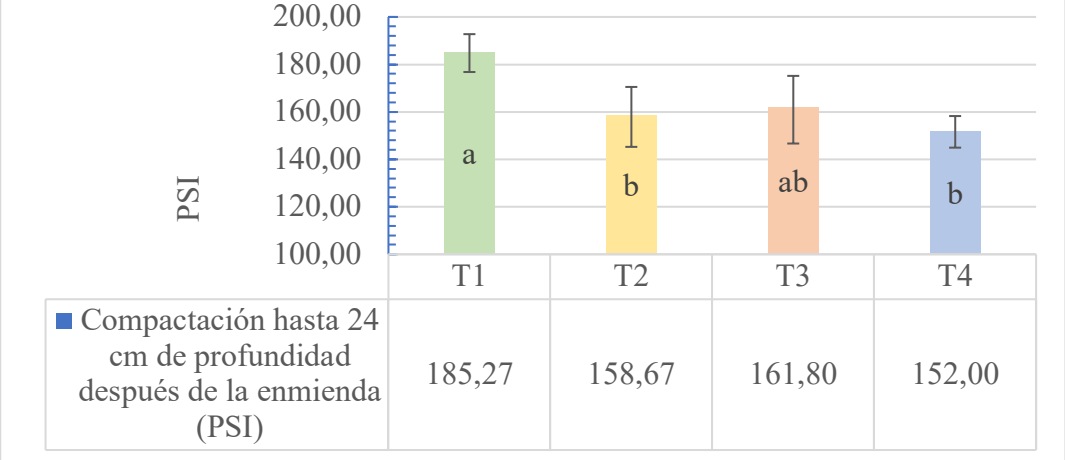
Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

Para la variable compactación del suelo hasta los 24 cm de profundidad después de la enmienda, tras el análisis ANOVA, para los diferentes tratamientos en las que se aplicó enmiendas cálcicas, no se evidencio diferencias significativas entre bloques, mientras que entre tratamientos se evidencio diferencias significativas, obteniendo un promedio de 164,43 PSI, con un coeficiente de variación de 5,15% lo que indica que hay una baja variación entre datos, por lo que se demuestra que los resultados son más confiables.

En la prueba tukey al 5% para la compactación del suelo hasta los 24 cm de profundidad después de la enmienda (figura 9), se formaron 4 rangos, en el rango B con menos compactación se encuentra el T2 (Sulfato de calcio) y T4 (Carbonato de calcio) con valores de 158,67 y 152,00 PSI respectivamente debido a que los valores son similares, en el rango AB el T3 (Carbonato de calcio + Sulfato de calcio) con valor de 161,80 PSI debido a que el resultado se parece estadísticamente a los del rango A y B. Con mayor compactación en el rango A se sitúa el tratamiento T1 (Testigo) con una mayor compactación de 185,27 PSI.

Figura 9

Prueba de significancia Tukey al 5% para la variable compactación del suelo de hasta 24 cm de profundidad después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.2.2.5. Compactación del suelo hasta los 40 cm de profundidad antes de la enmienda.

La Tabla 22 muestra el análisis de varianza para la variable compactación del suelo hasta los 40 cm de profundidad antes de la enmienda.

Tabla 22

Análisis de varianza para la compactación del suelo hasta los 40 cm de profundidad antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	5768	1922,7	6,181	0,289	*
Bloques	2	432	198,9	0,695	0,5354	ns
Error	6	1867	311,1			
Total	11					
C.V (%)	8,51					
Promedio	207,08					

Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

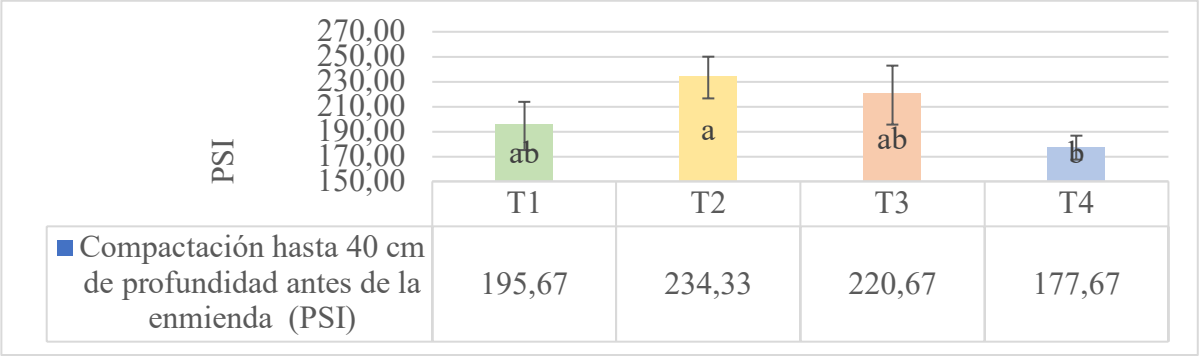
En la Tabla 22, se observa el análisis de varianza para la variable compactación del suelo hasta los 40 cm de profundidad antes de la enmienda, tras el análisis ANOVA, en el que se evidencio diferencias significativas al 5% entre los diferentes tratamientos, esto nos indica que al menos un tratamiento es diferente a los demás, mientras que entre bloques no se presenta diferencias significativas. De igual manera se observa un coeficiente de variación de 8,51% con lo que demuestra que la variabilidad de los datos es baja, demostrando confiabilidad en los resultados y un promedio de compactación para todos los tratamientos de 207,08 (PSI).

En la prueba tukey al 5% para la compactación del suelo hasta los 40 cm de profundidad antes de la enmienda (figura 10), se formaron 3 rangos de significancia, en el rango A con mayor compactación se sitúa el tratamiento T2 con 234,33 PSI; en el rango AB debido a que

los valores son similares estadísticamente al del rango A y B se encuentran el T1 con 195,67 PSI y el T3 con 220,67 PSI, en el rango B con menor compactación se encuentra en tratamiento T4 con 177,67 PSI

Figura 10

Prueba de significancia Tukey al 5% para la variable compactación del suelo de hasta 40 cm de profundidad antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.2.2.6. Compactación del suelo hasta los 40 cm de profundidad después de la enmienda.

La Tabla 23 muestra el análisis de varianza para la variable compactación del suelo hasta los 40 cm de profundidad después de la enmienda.

Tabla 23

Análisis de varianza para la compactación del suelo hasta los 40 cm de profundidad después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	2128,9	709,6	22,19	0,0012	**
Bloques	2	236,2	118,1	3,693	0,0900	ns
Error	6	191,8	32,0			
Total	11					
C.V (%)	3,17					
Promedio	178,08					

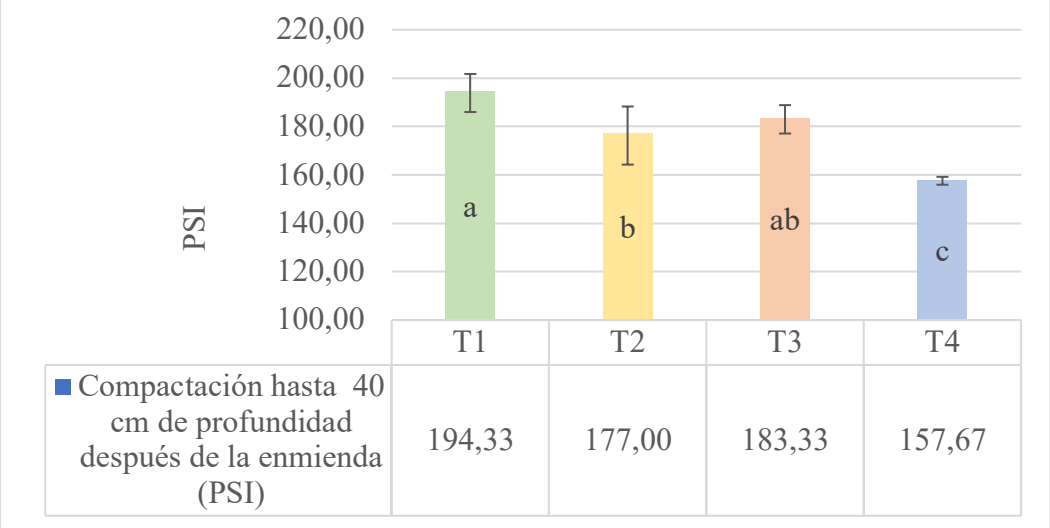
Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

Para la variable compactación del suelo hasta los 40 cm de profundidad después de la enmienda, tras el análisis ANOVA, para los diferentes tratamientos, el promedio de compactación es de 178,08 PSI, mostrando un coeficiente de variación de 3,17% lo que significa que hay una baja variación de datos, cuyos resultados dan mayor confiabilidad y se evidencia diferencias altamente significativas entre tratamientos, mientras que entre bloque no se demuestra que hay diferencias.

En la prueba tukey al 5% para la compactación del suelo hasta los 40 cm de profundidad después de la enmienda (figura 11), se formaron 4 rangos, en el rango A con la mayor compactación se encuentra el tratamiento T1 con 194,33 PSI, en el rango AB se encuentra el tratamiento T3 con 183,33 PSI demostrando este rango que tiene valores estadísticamente similares al del rango A y B; en el rango B se sitúa el tratamiento T2 con 177,00 PSI y en el rango C con la mas baja compactación el tratamiento T4 con 157,67 PSI.

Figura 11

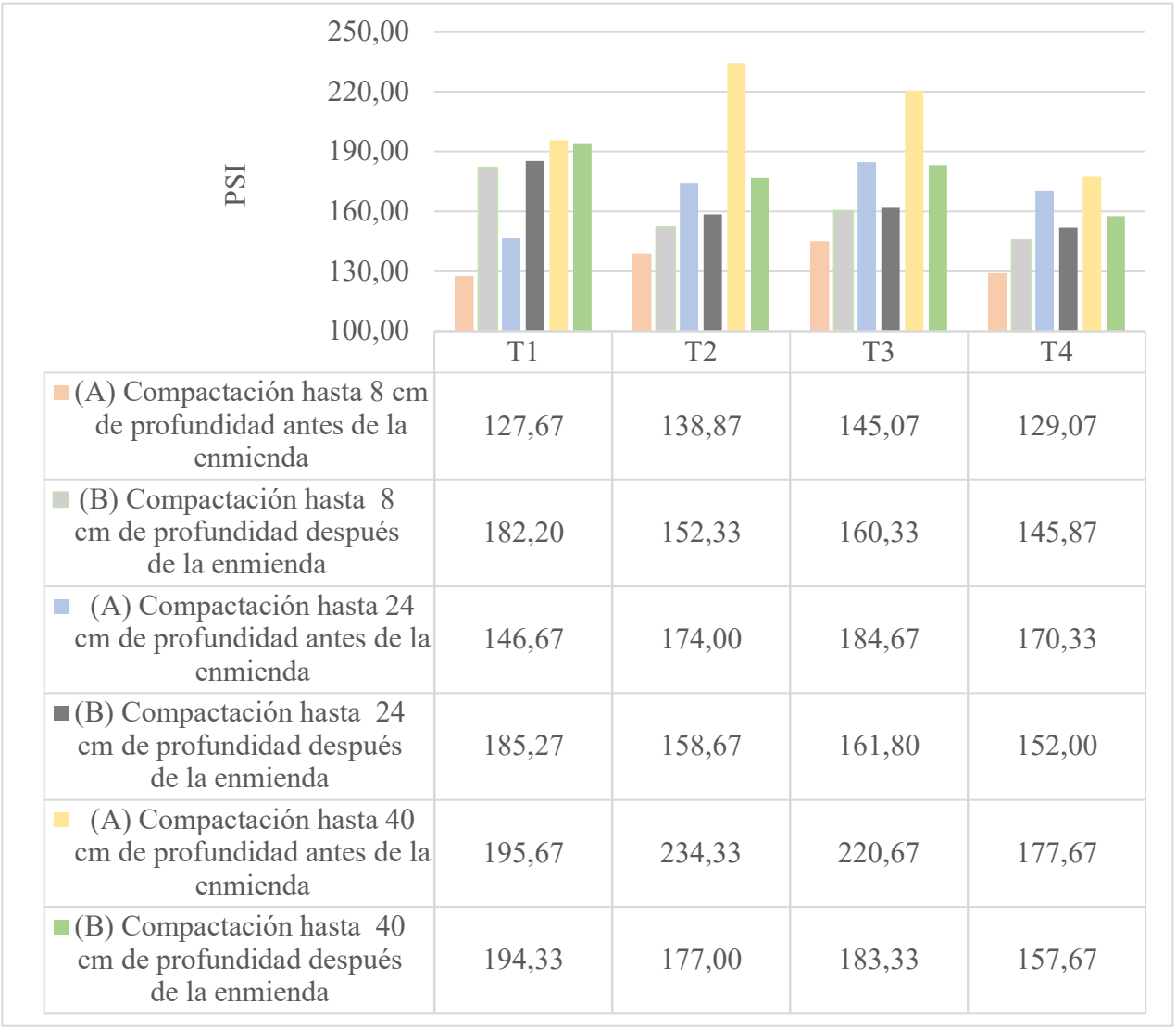
Prueba de significancia Tukey al 5% para la variable compactación del suelo de hasta 40 cm de profundidad después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.2.2.7. Promedios de compactación del suelo antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

Figura 12

Promedios de la compactación del suelo en las diferentes profundidades antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



	T1	T2	T3	T4
(A) Compactación hasta 8 cm de profundidad antes de la enmienda	127,67	138,87	145,07	129,07
(B) Compactación hasta 8 cm de profundidad después de la enmienda	182,20	152,33	160,33	145,87
(A) Compactación hasta 24 cm de profundidad antes de la enmienda	146,67	174,00	184,67	170,33
(B) Compactación hasta 24 cm de profundidad después de la enmienda	185,27	158,67	161,80	152,00
(A) Compactación hasta 40 cm de profundidad antes de la enmienda	195,67	234,33	220,67	177,67
(B) Compactación hasta 40 cm de profundidad después de la enmienda	194,33	177,00	183,33	157,67

En la Figura 12, la compactación de 0-8 cm después de la aplicación de la enmienda podemos observar que en todos los tratamientos se observa un incremento en la compactación del suelo en condiciones regulares para el desarrollo del cultivo, este incremento se considera debido

a que en el momento de muestreo se lo realizo en época de lluvias, lo cual condicionó la compactación del suelo.

Continuando con los muestreos de compactación, esta vez hasta los 24 cm se puede apreciar que a estos niveles de profundidad el efecto generado por las enmiendas a base calcio empieza a expresar una descompactación del suelo ya que se puede ver en los resultados de los tratamientos T3 y T4 disminuyeron en promedio de 20 unidades, esto atribuido a la capacidad de infiltración que presenta el sulfato de calcio para llegar a las capas más profundas tal y como lo indica Fertilab (2018), siendo a partir de esta profundidad apreciable los resultados de mejoramiento a nivel de propiedades físicas.

Finalmente al analizar profundidades que sobrepasan los 25 cm hasta los 40 cm se pueden identificar resultados más evidentes respecto al mejoramiento de la compactación del suelo, ya que a este nivel el T2 presenta una descompactación de 57 unidades seguido del tratamiento T3 con 37 unidades, confirmando así que la capacidad de infiltración que presenta el sulfato de calcio como tratamiento de enmienda expresa sus mejores resultados al alcanzar mayores profundidades y durante el proceso también genera desplazamiento de elementos tóxicos como el Al, Mn y Fe lo que genera una mejor calidad del suelo y proporciona mejores características para el desarrollo radicular del cultivo establecido (Intagri, 2008)

5.3. Estimar el efecto de los reguladores de suelo en la conformación de la planta, composición química y rendimiento (kg Ms/ha), en mezclas forrajeras establecidas.

5.3.1. Longitud radicular

5.3.1.1. Longitud radicular de la mezcla forrajera antes de aplicar las enmiendas cálcicas

La Tabla 24 muestra el análisis de varianza para la variable longitud radicular de la mezcla forrajera antes de la *aplicación de las enmiendas.*

Tabla 24

Análisis de varianza para la longitud radicular de mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	2,951	0,9835	1,318	0,353	ns
Bloques	2	1,401	0,7004	0,939	0,442	ns
Error	6	4,477	0,7462			
Total	11					
C.V (%)	7,36					
Promedio	11,72					

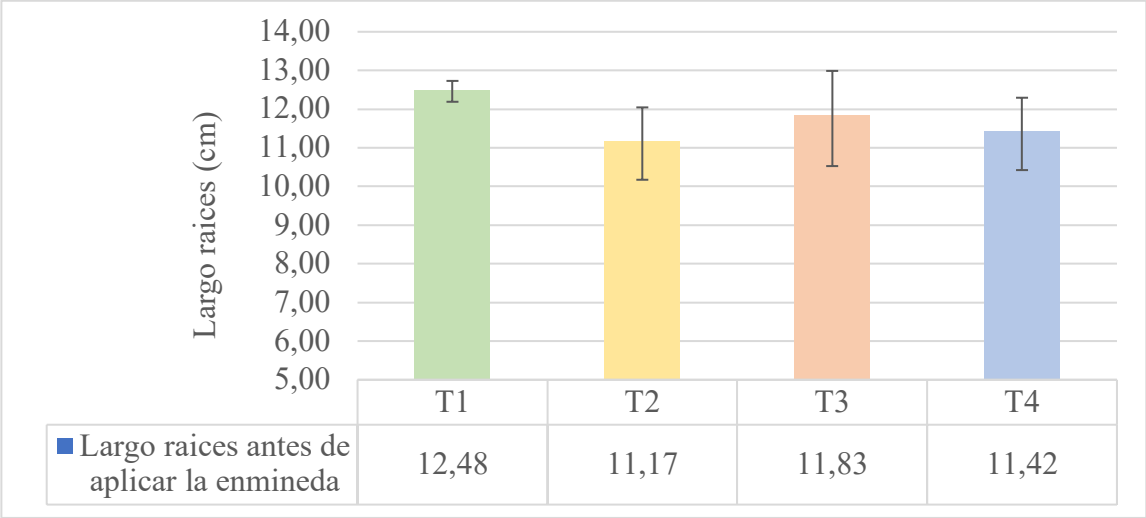
Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

Para la variable longitud radicular de la mezcla forrajera antes de aplicar las enmiendas tras el análisis ANOVA, no se evidencio diferencias significativas al 5% entre los diferentes tratamientos y tampoco se evidencia diferencias entre bloques. De igual manera se observa un coeficiente de variación de 7,36% lo que indica que la variación de los datos es muy baja, or lo que los resultados son de mayor confiabilidad y un promedio de todos los tratamientos de 11,72 cm de longitud radicular.

En la Figura 13, se presentan los promedios la longitud radicular de la mezcla forrajera antes de aplicar las enmiendas. Donde el T1 (Testigo) presento mayor longitud radicular con 12,48 cm y el de menor longitud radicular el T2 (Sulfato de calcio) con un valor de 11,17 cm.

Figura 13

Promedios para la longitud radicular antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.3.1.2. Longitud radicular de la mezcla forrajera después de aplicar las enmiendas

La Tabla 25 muestra el análisis de varianza para la variable longitud radicular *después de la aplicación de las enmiendas.*

Tabla 25

Análisis de varianza para la longitud radicular de mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	21,754	7,251	5,327	0,0397	*
Bloques	2	3,959	1,979	1,454	0,3055	ns
Error	6	8,167	1,361			

Total	11
C.V (%)	7,68
Promedio	15,18

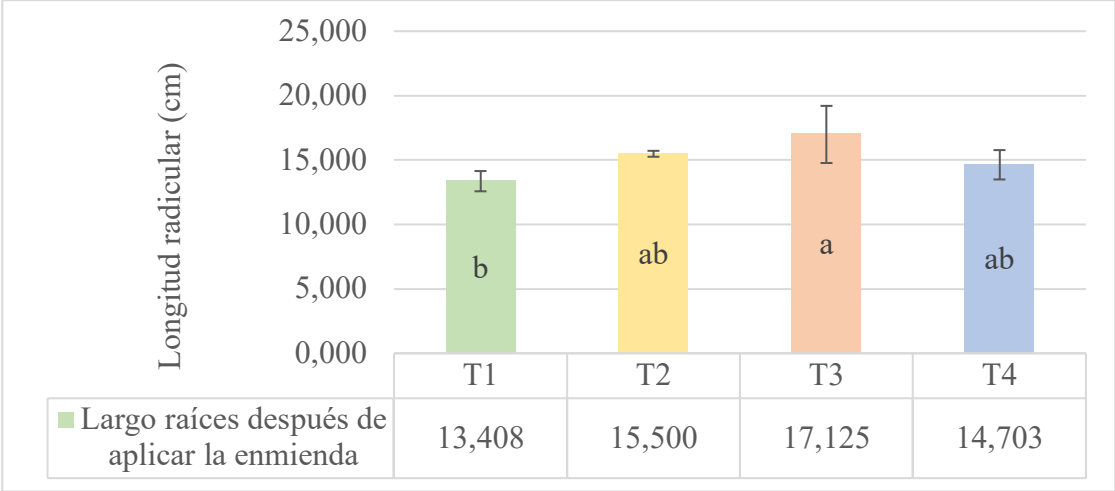
Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

Para la variable longitud radicular de mezcla forrajera después de aplicar las enmiendas tras el análisis ANOVA, se evidencio que hay diferencias significativas al 5% entre los diferentes tratamientos evaluados, esto nos indica que al menos un tratamiento es diferente a los demás; mientras que entre bloques no hay diferencias significativas. En el coeficiente de variación muestra un valor de 7,68% lo que indica que una baja variabilidad en los dato, por este los resultados son mas confiables, así también, muestra un promedio de todos los tratamientos de 15,18 cm de longitud radicular.

En la prueba tukey al 5% para la longitud radicular de mezcla forrajera después de aplicar las enmiendas (figura 14), se forman 4 rangos, en el rango B se encuentra el T1 (testigo) de menor longitud radicular con valores de 13,40 cm, en el rango AB en el tratamiento T2 (sulfato de calcio) yT4 (Carbonato de calcio) con valores de 15,50 cm y 14,70 cm respectivamente dicho rango muestra similitudes estadísticas con el rango A y el B, en el rango A el trtamiento T3 (Sulfato de calcio + Carbonato de calcio) expresa una mayor longitud radicular de 17,12 cm de largo.

Figura 14

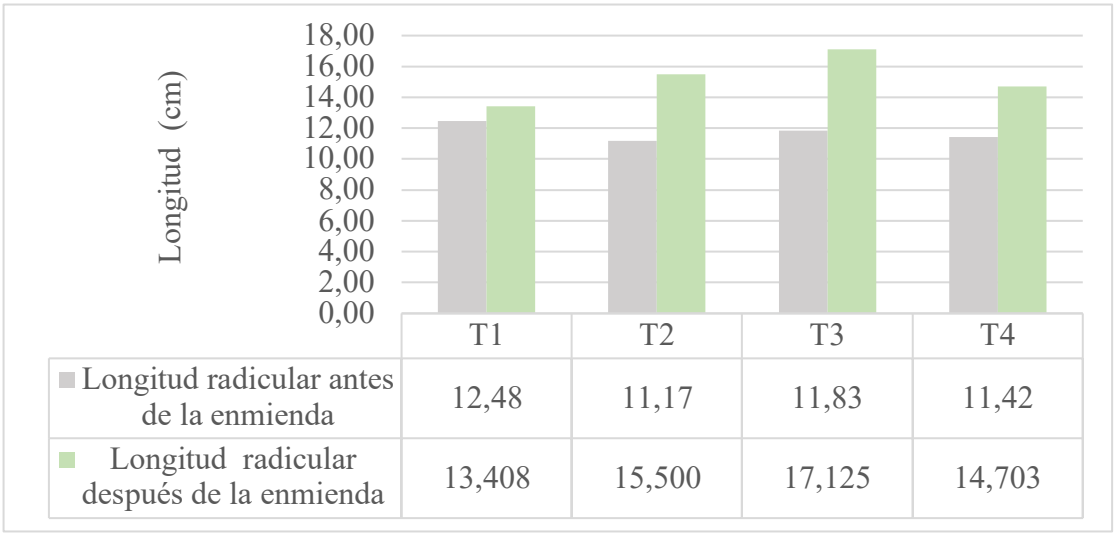
Prueba de significancia Tukey al 5% de la variable longitud radicular de mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.3.1.3. Promedios de la longitud radicular de la mezcla forrajera antes y después de aplicar las enmiendas cálcicas

Figura 15

Promedios de la longitud radicular antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



Al observar la Figura 15 se puede determinar que la aplicación de enmiendas calizas utilizadas en los diferentes tratamientos generan cambios evidentes como se presenta los resultados obtenidos en el tratamiento T3, el cual favorece de forma positiva el desarrollo radicular seguido por el tratamiento T2, esto gracias a la características que Intagri, (2008) da a conocer de ese tipo de tratamientos en los cuales se resalta la adición del yeso para estimular el desarrollo radicular de las plantas presentes en el cultivo.

5.3.2. Porcentaje de cobertura

5.3.2.1. Porcentaje de cobertura de la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas

La Tabla 26 muestra el análisis de varianza para la variable porcentaje de cobertura antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

Tabla 26

Análisis de varianza para el porcentaje de cobertura antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	49,62	16,54	4,59	0,053	ns
Bloques	2	9,07	4,54	1,26	0,349	ns
Error	6	21,59	3,60			
Total	11					
C.V (%)	2,56					
Promedio	73,83					

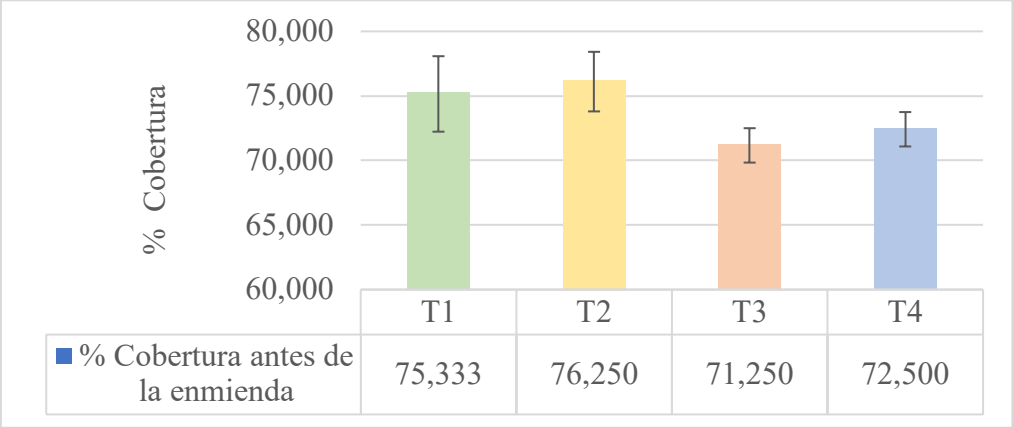
Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

Para la variable porcentaje de cobertura antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas tras el análisis ANOVA, se observa un coeficiente de variación de 2,56% lo que demuestra una baja variabilidad en los datos haciendo que los resultados sean confiables y con un promedio entre tratamientos de 73,83% de cobertura. Se evidencia que no hay diferencias significativas al 5% entre los diferentes tratamientos evaluados y que tampoco hay diferencias entre bloques. De igual manera

En la Figura 16, se presentan los promedios de porcentaje de cobertura antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas. Donde el T2 (Sulfato de calcio) presento 76,25% de cobertura siendo el valor más alto y con menor porcentaje de cobertura presento el tratamiento T3 (Sulfato de calcio + Carbonato de calcio) con un valor de 71,25%.

Figura 16

Promedios del porcentaje de cobertura en la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.3.2.2. Porcentaje de cobertura de la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas

La Tabla 27 muestra el análisis de varianza para la variable porcentaje de cobertura después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

Tabla 27

Análisis de varianza para el porcentaje de cobertura después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	557,7	185,89	9,88	0,0097	**
Bloques	2	36,5	18,25	0,97	0,43	ns
Error	6	112,8	18,81			
Total	11					
C.V (%)	5,01					
Promedio	86,5					

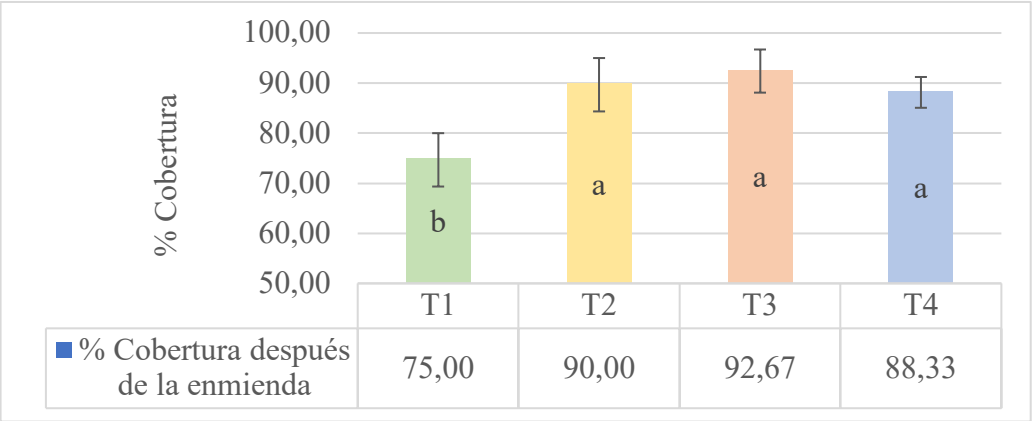
Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

Para la variable porcentaje de cobertura después de la aplicación de las enmiendas cálcicas tras el análisis ANOVA, se evidencio que entre tratamientos hay diferencias altamente significativas al 5% entre los diferentes tratamientos evaluados, por lo que al menos uno de los tratamientos es diferente a los demás y entre bloques no se muestran diferencias significativas. De igual manera se observa un coeficiente de variación de 5,01% lo cual el valor es bajo demostrado que la variabilidad de los datos no es alta, por ende los resultados con confiables, igualmente presenta un promedio entre tratamientos de 86,5% de cobertura.

En la prueba tukey al 5% para el porcentaje de cobertura después de aplicar las enmiendas (figura 17), muestra que extinte dos rangos, en el rango B se encuentra el T1 (testigo) de menor porcentaje de cobertura con valores de 75% y en el rango A se encuentra el T2, T3 y T4 con valores de 90%, 92,67% y 88,33% respectivamente.

Figura 17

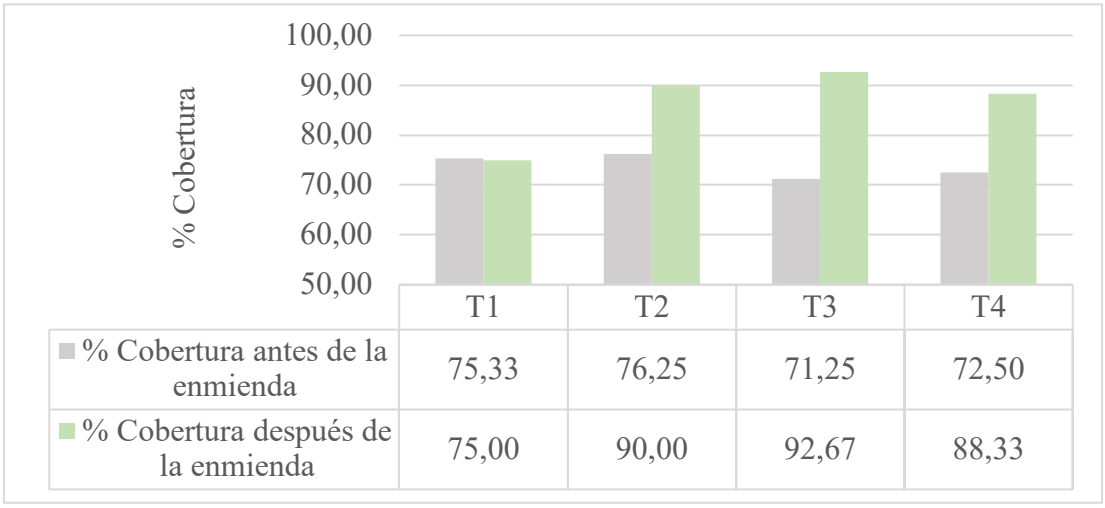
Prueba de significancia Tukey al 5% de la variable porcentaje de cobertura después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.3.2.3. Promedio del porcentaje de cobertura en la mezcla forrajera del antes y después de aplicar las enmiendas cálcicas

Figura 18

Promedio de la longitud radicular en mezcla forrajera antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



En la figura 18 se muestran los resultados obtenidos correspondientes al % de cobertura de la mezcla forrajera alcanzado por los diferentes tratamientos aplicados, donde para los tres

tratamientos se reporta un porcentaje alrededor del 90% de cobertura, en comparación al testigo que no registra variacion en el alcance de cobertura manteniendose en el 75%. Resultados similares obtuvieron Anganoy y Naspiran, (2021) establecen que a mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo se debe al efecto de la implementación de yeso agrícola, donde reportaron datos de incremento de porcentaje de cobertura sobre el 90%.

5.3.3. Rendimiento de kilogramos de materia seca por hectárea (Kg Ms/ha)

5.3.3.1. Rendimiento kg Ms/ha antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas

La Tabla 28 muestra el análisis de varianza para la variable rendimiento kg Ms/ha antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

Tabla 28

Análisis de varianza para los Kg Ms/ha/corte en la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	259240	86413	1,185	0,391	ns
Bloques	2	3578	1789	0,025	0,976	ns
Error	6	437496	72916			
Total	11					
C.V (%)	9,92					
Promedio	2720,33					

Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

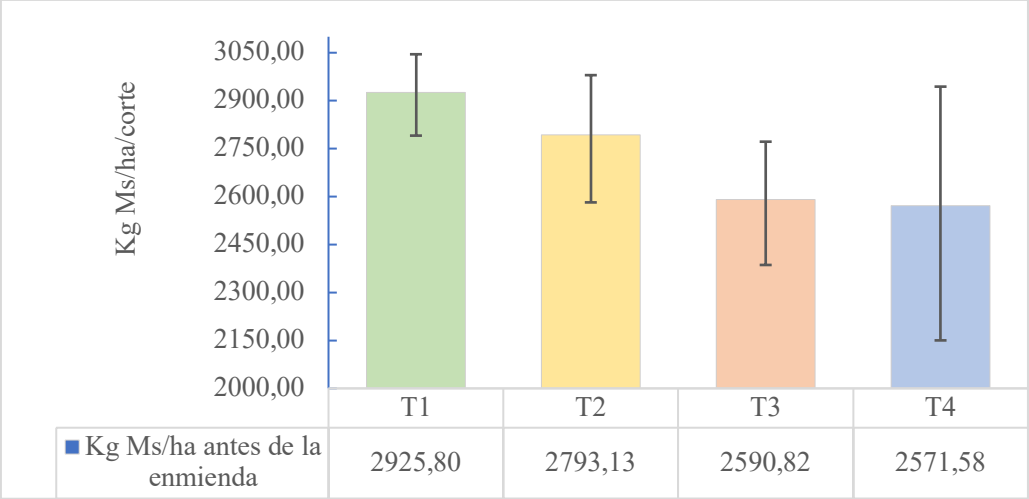
Para la variable rendimiento kg Ms/ha/corte antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas tras el análisis ANOVA, se evidencio que no hay diferencias significativas al 5% entre los

diferentes tratamientos evaluados y que tampoco hay diferencias entre bloques. De igual manera se observa un coeficiente de variación de 9,92% lo que demuestra que la variabilidad de los datos es baja, cuyos resultados son más confiables y un promedio entre tratamientos de 2720,33 kg Ms/ha/corte.

En la Figura 19, se presentan los promedios de rendimiento kg Ms/ha/corte antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas. Donde el T1 (Testigo) presento 2925,80 kg Ms/ha siendo el valor más alto y con menor rendimiento presento el tratamiento T4 (Carbonato de calcio) con un valor de 2571,58 kg Ms/ha.

Figura 19

Promedios de Kg Ms/ha en la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.3.3.2. Rendimiento kg Ms/ha en la mezcla forrajera al primer corte después de la aplicación de las enmiendas cálcicas en la mezcla forrajera.

La Tabla 29 muestra el análisis de varianza para la variable rendimiento kg Ms/ha al primer corte después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

Tabla 29

Análisis de varianza para los Kg Ms/ha en la mezcla forrajera al primer corte después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	352392	117464	1,076	0,427	ns
Bloques	2	212298	106149	0,972	0,431	ns
Error	6	655040	109173			
Total	11					
C.V (%)	11,47					
Promedio	2878,28					

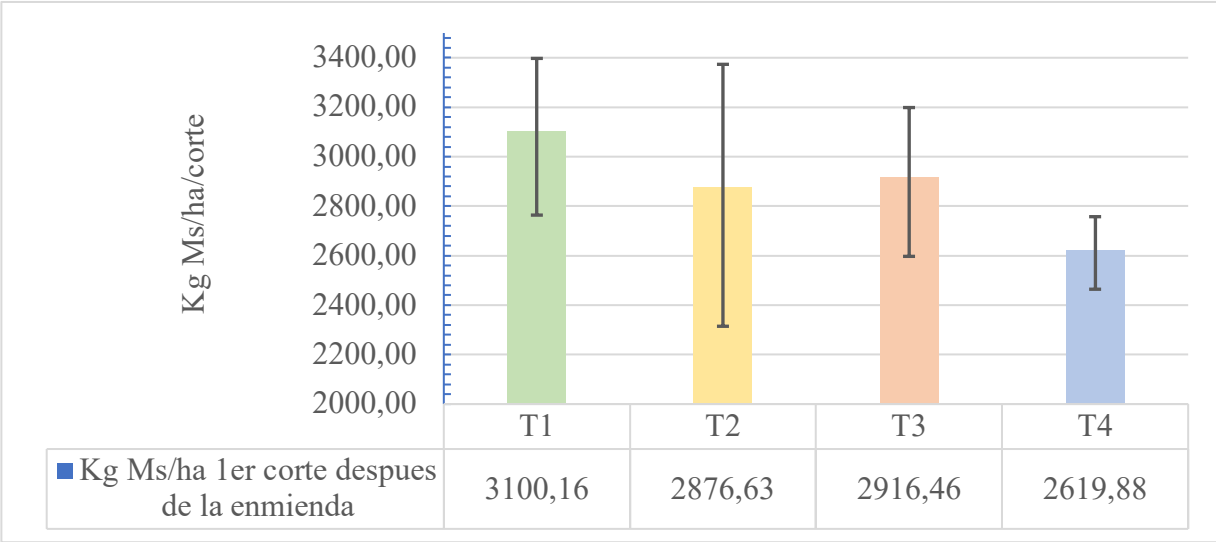
Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

Para la variable rendimiento kg Ms/ha/corte al primer corte después de la aplicación de las enmiendas cálcicas tras el análisis ANOVA, se evidencio que no hay diferencias significativas al 5% entre los diferentes tratamientos evaluados y que tampoco hay diferencias entre bloques. De igual manera se observa un coeficiente de variación de 11,47% y un promedio entre tratamientos de 2878,28 kg Ms/ha/corte.

En la Figura 20, se presentan los promedios de rendimiento kg Ms/ha al primer corte después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. Donde el T1 (Testigo) presento 3100,16 kg Ms/ha/corte siendo el valor más alto y con menor rendimiento presento el tratamiento T4 (Carbonato de calcio) con un valor de 2619,88 kg Ms/ha/corte.

Figura 20

Promedios de Kg Ms/ha en la mezcla forrajera al primer corte después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.3.3.3. Rendimiento kg Ms/ha al segundo corte después de la aplicación de las enmiendas cálcicas en la mezcla forrajera.

La Tabla 30 muestra el análisis de varianza para la variable rendimiento kg Ms/ha al segundo corte después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

Tabla 30

Análisis de varianza para los Kg Ms/ha en la mezcla forrajera al segundo corte después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	4077362	1359121	4,134	0,0659	ns
Bloques	2	86333	43167	0,131	0,8794	ns
Error	6	1972823	328804			
Total	11					
C.V (%)	16,98					

Promedio	3376,53

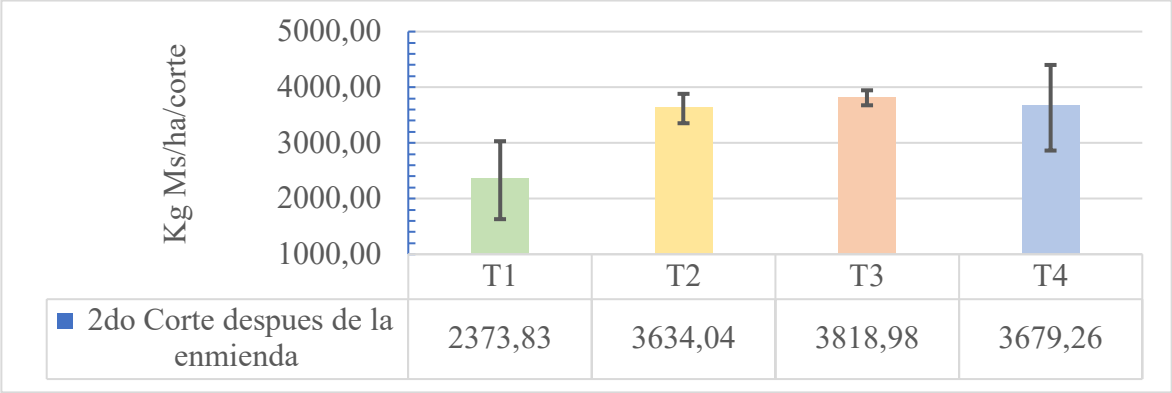
Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

Para la variable rendimiento kg Ms/ha al segundo corte después de la aplicación de las enmiendas cálcicas tras el análisis ANOVA, se observa un coeficiente de variación de 16,98% por lo que demuestra baja variabilidad de los datos estando en los rangos aceptables demostrando así que, los resultados son confiables, obteniendo también un promedio entre tratamientos de 3376,52 kg Ms/ha/corte. se evidencio que no hay diferencias significativas al 5% entre los diferentes tratamientos evaluados y que tampoco hay diferencias entre bloques.

En la Figura 21, se presentan los promedios de rendimiento kg Ms/ha al segundo corte después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. Donde el T3 (Sulfato calcio + Carbonato de calcio) presento 3818,98 kg Ms/ha/corte siendo el valor más alto y con menor rendimiento presento el tratamiento T4 (testigo) con un valor de 2373,83 kg Ms/ha/corte.

Figura 21

Promedios de Kg Ms/ha en la mezcla forrajera al segundo corte después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.3.3.3. Análisis de todos los cortes en base a los kg Ms/ha de la mezcla forrajera después la aplicación de las enmiendas cálcicas.

La Tabla 31 muestra el análisis de varianza para todos los cortes en base a los kg Ms/ha después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

Tabla 31

Análisis de varianza para todos los cortes en base a los Kg Ms/ha después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	454051	151350	0,444	0,739	ns
Cortes	2	496494	496494	1,457	0,314	ns
Error	6	1022534	340845			
Total	11					
C.V (%)	18,67					
Promedio	3127,404					

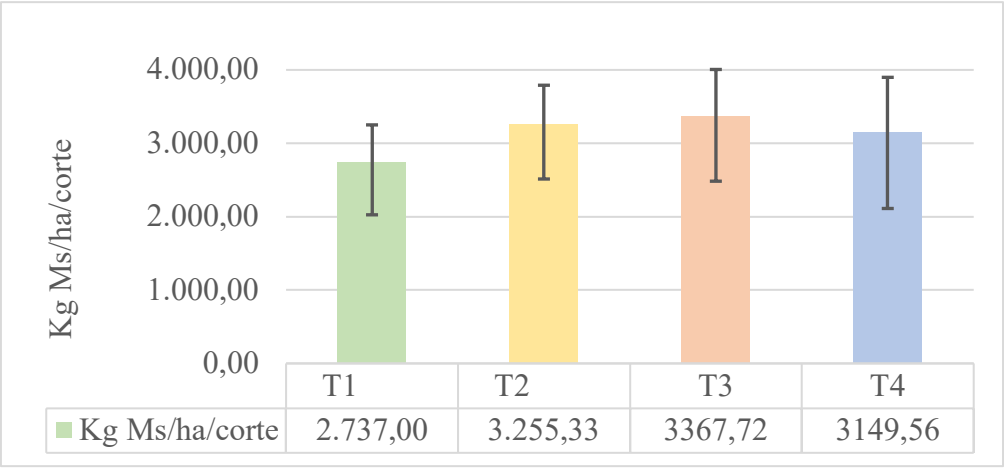
Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

Para la variable rendimiento kg Ms/ha de los cortes después de la aplicación de las enmiendas cálcicas tras el análisis ANOVA, se evidencio que no hay diferencias significativas al 5% entre los diferentes tratamientos evaluados y que tampoco hay diferencias entre bloques. De igual manera se observa un coeficiente de variación de 18,67% y un promedio entre tratamientos de 3127,404 kg Ms/ha.

En la Figura 22, se presentan los promedios de rendimiento kg Ms/ha al segundo corte después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. Donde el T3 (Sulfato calcio + Carbonato de calcio) presento 3818,98 kg Ms/ha/corte siendo el valor más alto y con menor rendimiento presento el tratamiento T4 (testigo) con un valor de 2373,83 kg Ms/ha/corte.

Figura 22

Promedio de los kg Ms/ha/corte de la mezcla forrajera antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



En la Figura 22 se puede determinar que antes de aplicar la enmienda y luego del primer corte no existe diferencias estadísticas entre los tratamientos, sin embargo, la diferencia matemática que presenta mayor rendimiento de Ms es el tratamiento T1 (2925 kg Ms/ha) antes de aplicar la enmienda, mientras que en la Figura 32, luego del segundo corte se evidencia que el mejor tratamiento presentó el T3 (3818,9kg Ms/ha) (50% de carbonato de calcio y 50% de sulfato de calcio). Los resultados finales obtenidos en promedios representados en la Figura 33 sostienen que el T3 es el que aporta un mayor rendimiento en la producción de la materia seca con un total de 3367,72 kg Ms/ha, el cual corresponde en resultados obtenidos en investigaciones similares de Anganoy y Naspiran (2021) donde obtuvieron un rendimiento de 3040 kg Ms/ha por la aplicación de yeso agricola como tratamiento para enmienda del suelo. Estos resultados muestran la combinación con sulfato de calcio es más eficiente debido a que el yeso agrícola es un mineral muy suave compuesto por sulfato de calcio di-hidratado ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) moderadamente soluble en agua (2,5 g/l), aproximadamente 200 veces mayor que la cal agrícola. Esta característica de solubilidad del yeso hace que el calcio sea más móvil que el calcio de la cal y le permite moverse con mayor facilidad a través del perfil del suelo (Intagri, 2008, Intagri, 2021).

5.3.4. Análisis bromatológico de la mezcla forrajera

5.3.4.1. Análisis energético presente en la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas

La Tabla 32 muestra el análisis de varianza para la variable energía de la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

Tabla 32

Análisis de varianza de la energia presente en la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	0,120	0,040	7,97	0,016	*
Bloques	2	0,015	0,007	1,544	0,287	ns
Error	6	0,030	0,005			
Total	11					
C.V (%)	1,76					
Promedio (Mcal/kg)	4,02					

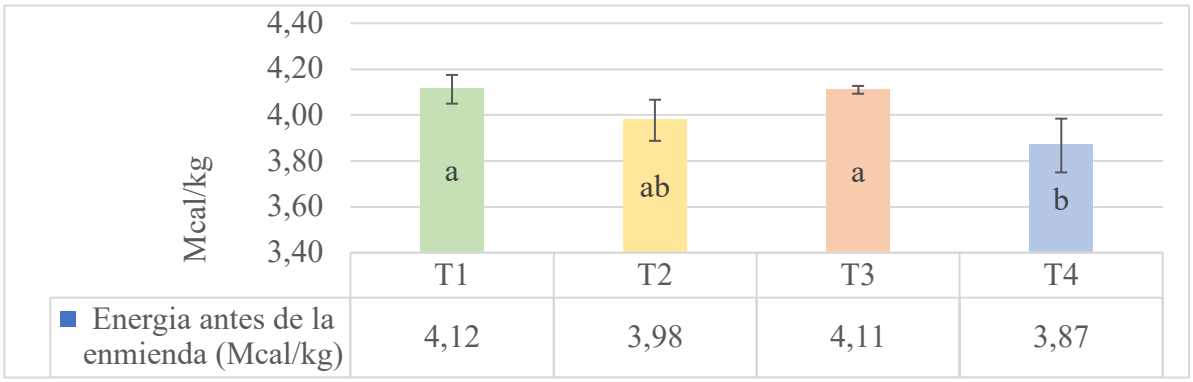
Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

Para la variable análisis energético de la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas tras el análisis ANOVA, se evidencio que hay diferencias significativas al 5% entre los diferentes tratamientos evaluados, esto nos indica que al menos un tratamiento es diferente a los demás; mientras que entre bloques no hay diferencias significativas. De igual manera se observa un coeficiente de variación de 1,76% lo cual demuestra que hay una baja variabilidad de los datos demostrando una alta confiabilidad en los resultados y un promedio entre tratamientos de 4,02 Mcal/kg

En la prueba tukey al 5% para el análisis energético de la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas (figura 23), muestra que extinte tres rangos, en el rango B con valores bajos se encuentra el T4 (Carbonato de calcio) con 3,87 Mcal/kg, en el rango intermedio AB presentando similitud estadística con los rangos A y B se encuentran el tratamiento T2 (sulfato de calcio) con 3,98 Mcal/kg y en el rango A con altos valores el T1 (testigo) y T3 (Sulfato de calcio + Carbonato de calcio) con 4,12 y 4,11 Mcal/kg respectivamente.

Figura 23

Prueba de significancia Tukey al 5% de la variable energía presente en la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.3.4.2. Análisis energético presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas

La Tabla 33 muestra el análisis de varianza para la variable energía de la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

Tabla 33

Análisis de varianza de la energía presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	0,0335	0,011	9,59	0,010	*

Bloques	2	0,006	0,003	2,85	0,134	ns
Error	6	0,0006	0,001			
Total	11					
C.V (%)	0,81					
Promedio	4,21					

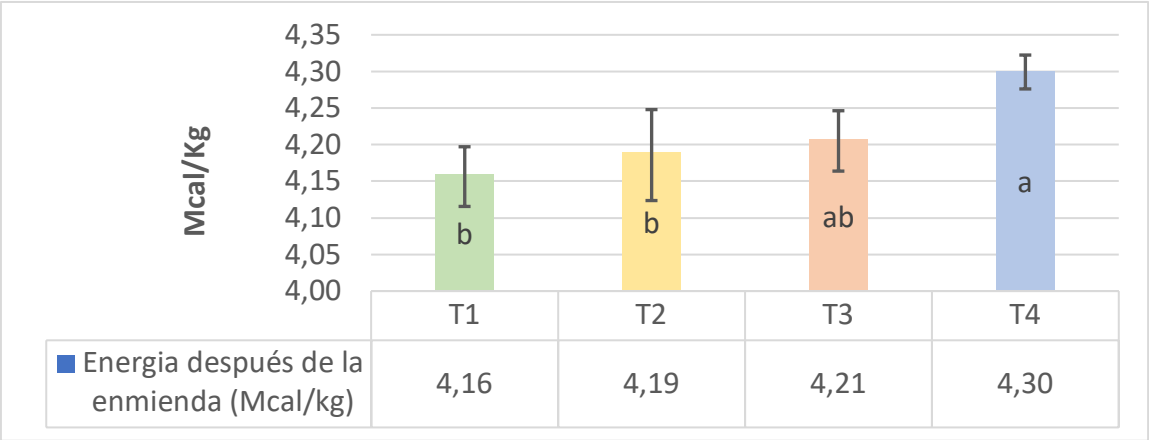
Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

Para la variable análisis energético de la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas tras el análisis ANOVA, se evidencio que hay diferencias significativas al 5% entre los diferentes tratamientos evaluados, esto nos indica que al menos un tratamiento es diferente a los demás; mientras que entre bloques no hay diferencias significativas. De igual manera se observa un coeficiente de variación de 0,81% y un promedio entre tratamientos de 4,02 Mcal/kg

En la prueba tukey al 5% para el análisis energético de la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas (figura 24), muestra que extinte tres rangos, en el rango B se encuentra el tratamiento T1 (Testigo) y el T2 (Sulfato de Calcio) con 4,16 y 4,19 Mcal/kg respectivamente estos dos con la menor energía. En el rango AB el T3 (Carbonato de calcio + Sulfato de calcio) con 4,21 Mcal/kg; y en el rango A se encuentra el tratamiento T4 (Carbonato de calcio) con la mayor energía, con un valor de 4,30 Mcal/kg.

Figura 24

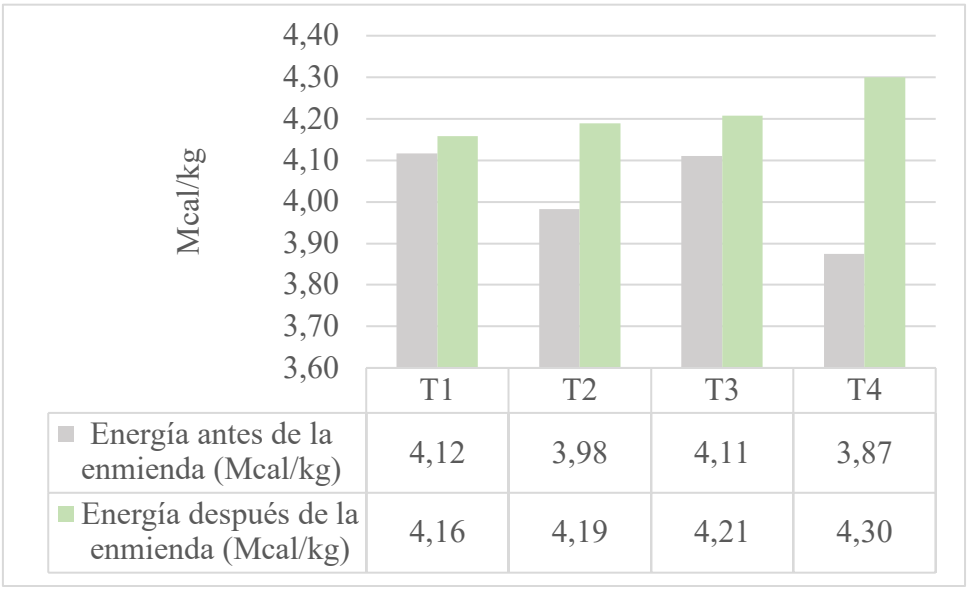
Prueba de significancia Tukey al 5% de la variable energía presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.3.4.3. Promedios de la energía presente en la mezcla forrajera antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas

Figura 25

Promedios de energía del antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



En la Figura 25, se puede identificar que existe diferencias significativas entre tratamientos, antes y después de la aplicación de enmiendas cálcicas, para León, Bonifaz y Gutiérrez, (2018) determinan que el valor energético de una pastura depende de la genética. Los mismos autores mencionan que al trabajar en mezclas forrajeras existe una variabilidad en la composición química debido al porcentaje de especies, como a las familias que interactúan en dicha mezcla. Por lo antes mencionado el número de especies forrajeras que integraron la mezcla en la presente investigación, al igual que la proporción en la que se encontraron en el potrero determinó la variabilidad de su valor nutritivo, en este sentido se comprende del porque la diferencia del contenido energético entre tratamientos, antes y después de la aplicación de enmiendas cálcicas.

Asimismo, Buttery et al., (1992) dan a conocer que enmiendas a base de calcio y azufre promueve un incremento en el nivel de energía ya que se presenta una disminución en la pared celular por presencia de estos elementos lo que conlleva a la transformación de energía metabólica presente en la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

5.3.4.4. Análisis proteico presente en la mezcla forrajera antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas

La Tabla 34 muestra el análisis de varianza para la variable proteína de la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

Tabla 34

Análisis de varianza de la proteína presente en la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	5,155	1,718	2,013	0,2137	ns
Bloques	2	8,412	4,206	4,926	0,0542	ns
Error	6	5,123	0,854			
Total	11					

C.V (%)	6,60
Promedio	13,98

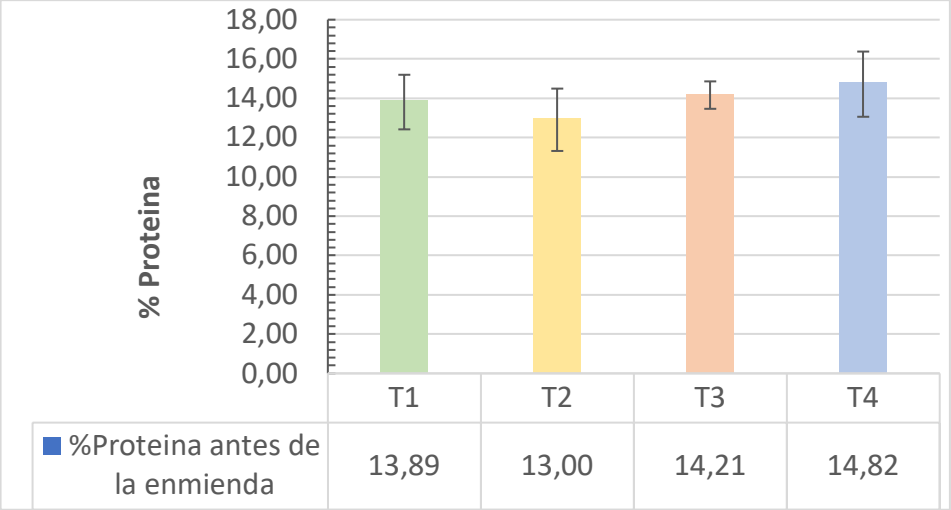
Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

Para la variable análisis proteico de la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas tras el análisis ANOVA, se evidencio que no hay diferencias significativas al 5% entre los diferentes tratamientos evaluados y que entre bloques tampoco hay diferencias significativas. De igual manera se observa un coeficiente de variación de 6,60% lo que demuestra que hay una baja variabilidad en los datos lo que da a conocer que los datos son confiables y un promedio entre tratamientos de 13,98% de proteína

En la Figura 26, se presentan los promedios del análisis proteico de la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas. Donde el T4 (Carbonato de calcio) presento mayor valor proteico con 14,82% y con menor valor proteico el T2 (Sulfato de calcio) con un valor de 13,00 %.

Figura 26

Promedios de la proteína presente en la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.3.4.5. Análisis proteico presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas

La Tabla 35 muestra el análisis de varianza para la variable proteína de la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

Tabla 35

Análisis de varianza de la proteína presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	278,26	92,75	367,32	3,47e-07	**
Bloques	2	0,54	0,27	1,069	0,401	ns
Error	6	1,52	0,25			
Total	11					
C.V (%)	2,36					

Promedio	21,22

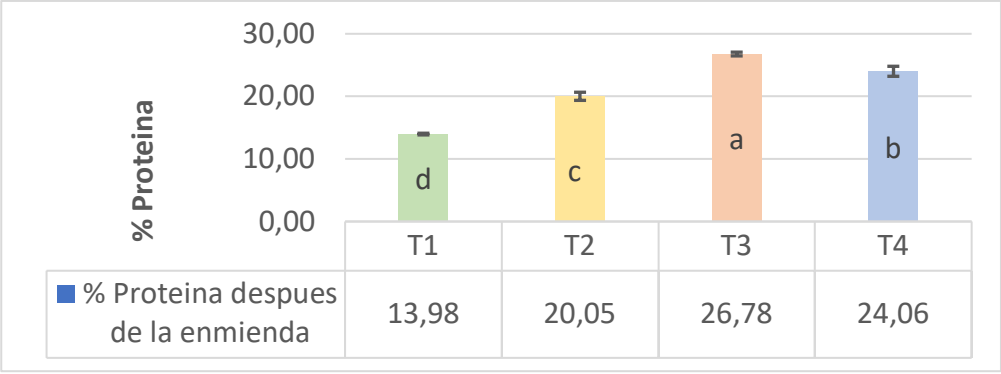
Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

Para la variable análisis proteico de la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas tras el análisis ANOVA, se evidencio que hay diferencias altamente significativas al 5% entre los diferentes tratamientos evaluados, esto nos indica que al menos un tratamiento es diferente a los demás; mientras que entre bloques no hay diferencias significativas. De igual manera se observa un coeficiente de variación de 2,36% estos valores indican que la variabilidad de datos es baja, demostrando así que los resultados son confiables y un promedio entre tratamientos de 21,22 % de proteína.

En la prueba tukey al 5% para el análisis proteico de la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas (figura 27), se forman 4 rangos, en el rango C se encuentra el tratamiento T1 (Testigo) con la menor cantidad de proteína con valores de 13,98%. En el rango; En rangos intermedios el T2 (Sulfato de calcio) con 20,05% de proteína, el T4 (Carbonato de calcio) con 24,06% de proteína y con la mayor cantidad de proteína el T3 (Sulfato de calcio + Carbonato de calcio) con valores de 26,78% de proteína.

Figura 27

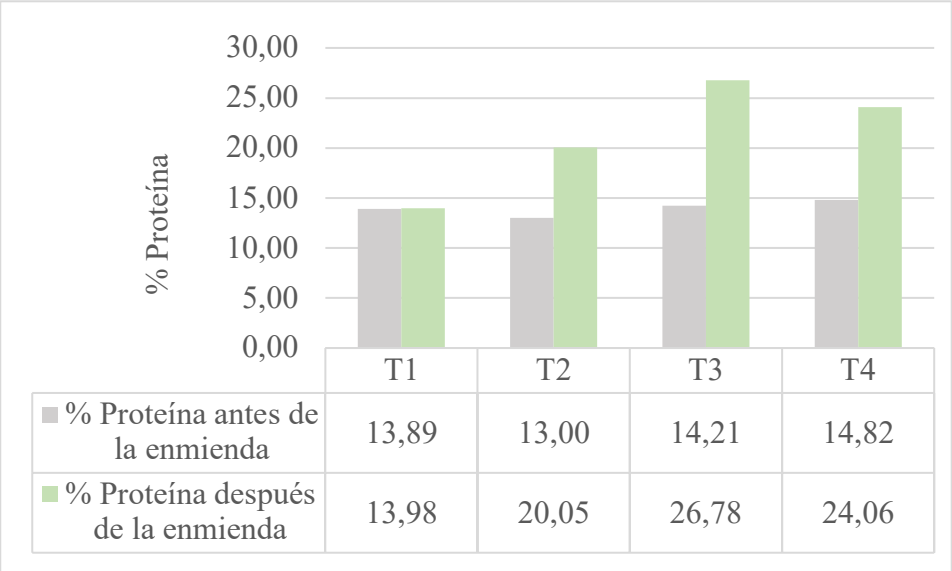
Prueba de significancia Tukey al 5% de la variable proteína presente en la mezcla forrajera despues de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.3.4.6 Promedios de proteína, antes y después de las enmiendas cálcicas.

Figura 28

Promedios de proteina antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



	T1	T2	T3	T4
% Proteína antes de la enmienda	13,89	13,00	14,21	14,82
% Proteína después de la enmienda	13,98	20,05	26,78	24,06

Los resultados obtenidos para el porcentaje de proteína antes y después de los tratamientos, se obtuvieron mejores resultados en el tratamiento T3, que refleja un incremento en el porcentaje de proteína del 14,21% a 26,78%, datos similares fueron reportados por Anganoy y Naspiran (2021), los cuales se obtuvieron un incremento del 15,75% al 29,56% de proteína para el cultivo forrajero establecido en su ensayo, gracias a la aplicación de enmiendas cálcicas. Según Chamorro (2009), una de las ventajas de la aplicación de yeso agrícola radica en el aporte de SO4, el cual es un elemento gravitante en el proceso de nutrición en leguminosas y a su vez en la estructura de las proteínas presentes en el forraje (ver figura 28).

5.3.5. Análisis químicos foliares de la mezcla forrajera

5.3.5.1 Análisis foliar de Fosforo (P) en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas

La Tabla 36 muestra el análisis de varianza para la variable fosforo (P) en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

Tabla 36

Análisis de varianza del fosforo presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	0,012	0,004	3,75	0,078	ns
Bloques	2	0,0004	0,0002	0,198	0,825	ns
Error	6	0,006	0,001			
Total	11					
C.V (%)	8,20					
Promedio	0,40					

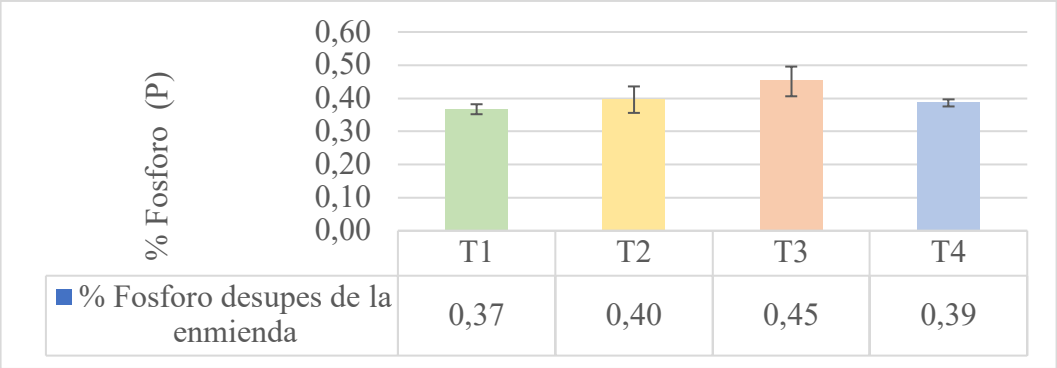
Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

Para la variable análisis de fosforo (P) en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas tras el análisis ANOVA, se evidencio que no hay diferencias significativas al 5% entre los diferentes tratamientos evaluados, también no hay diferencias significativas entre bloques. De igual manera se observa un coeficiente de variación de 8,20% demostrando una baja variabilidad en los datos, or lo que los resultados son confiables y un promedio entre tratamientos de 0,40 % de fosforo.

En la Figura 29, se presentan los promedios del análisis de % de fosforo en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. Donde el T1 (Testigo) presento menor valor % de fosforo con valores de 0,37% y con mayor cantidad de fosforo el T3 (Carbonato de calcio + Sulfato de calcio) con valores de 0,45% de fosforo.

Figura 29

Promedios del fosforo presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.3.5.2. Análisis foliar de Potasio (K) en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas

La Tala 37 muestra el análisis de varianza para la variable potasio (K) en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

Tabla 37

Análisis de varianza del potasio presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	1,089e-06	3,63e-07	0,804	0,536	ns
Bloques	2	6,520e-08	3,26e-08	0,072	0,931	ns
Error	6	2,71e-06	4,51e-07			
Total	11					

C.V (%)	1,09
Promedio	0,0847

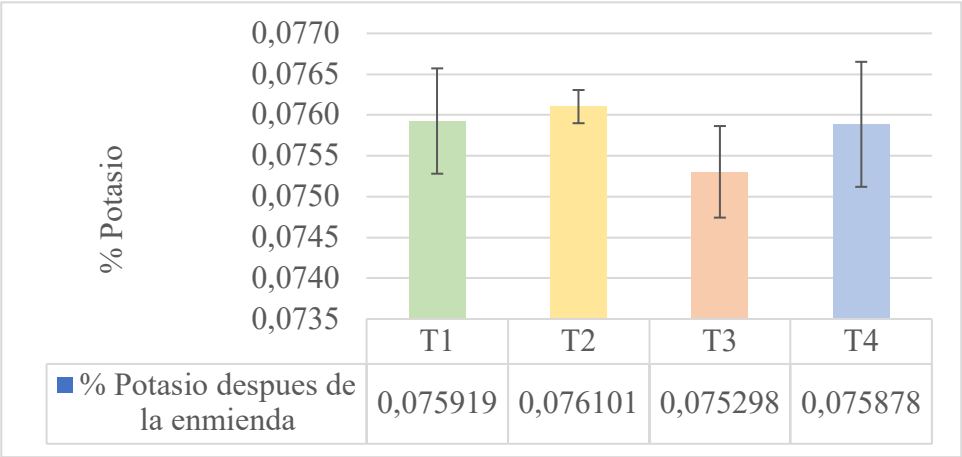
Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

Para la variable análisis de potasio (K) en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas tras el análisis ANOVA, se evidencio que no hay diferencias significativas al 5% entre los diferentes tratamientos evaluados, también no hay diferencias significativas entre bloques. De igual manera se observa un coeficiente de variación de 1,09% y un promedio entre tratamientos de 0,084% de potasio.

En la Figura 40, se presentan los promedios del análisis de % de potasio en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. Donde el T3 (Sulfato de calcio + Carbonato de calcio) presento menor valor % de potasio con valores de 0,075298% y con mayor cantidad de potasio el T2 (Sulfato de calcio) con valores de 0,076101 % de potasio.

Figura 30

Promedios del potasio presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.3.5.3. Análisis foliar de Calcio (Ca) en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas

La Tabla 38 muestra el análisis de varianza para la variable Calcio (Ca) en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas

Tabla 38

Análisis de varianza del calcio presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	1,089e-06	3,630e-07	0,804	0,536	ns
Bloques	2	6,520e-08	3,260e-08	0,072	0,931	ns
Error	6	2,710e-06	4,517e-07			
Total	11					
C.V (%)	0,886					
Promedio	0,0758					

Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

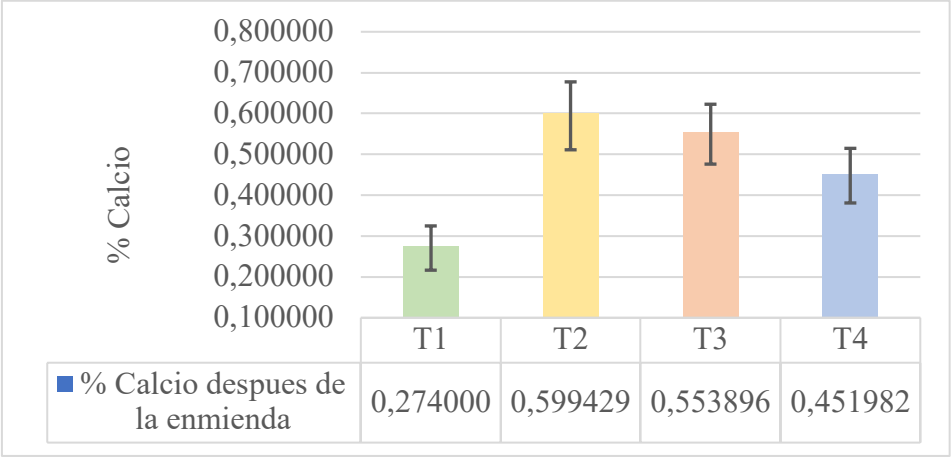
Para la variable análisis de Calcio (Ca) en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas tras el análisis ANOVA, se evidencio que no hay diferencias significativas al 5% entre los diferentes tratamientos evaluados y no se evidencia diferencias significativas entre bloques. De igual manera se observa un coeficiente de variación de 0,886% la variación de los datos en sumamente baja, por lo que los resultados son confiables y un promedio entre tratamientos de 0,0758% de calcio.

En la Figura 31, se presentan los promedios del análisis de % de Calcio en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. Donde el T4 (Carbonato de calcio)

presento menor valor cantidad de calcio con valores de 0,4519% y con mayor cantidad de calcio el T3 (Sulfato de calcio) con valores de 0,5994% de calcio.

Figura 31

Promedios del calcio presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.3.5.4. Análisis foliar de Manganeso (Mn) en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas

La Tabla 38 muestra el análisis de varianza para la variable Manganeso (Mn) en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas

Tabla 39

Análisis de varianza del manganeso presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	1,025e-05	3,416e-06	2,596	0,148	ns
Bloques	2	6,490e-07	3,250e-07	0,247	0,789	ns
Error	6	7,898e-06	1,316e-06			
Total	11					

C.V (%)	22,27
Promedio	0,00514

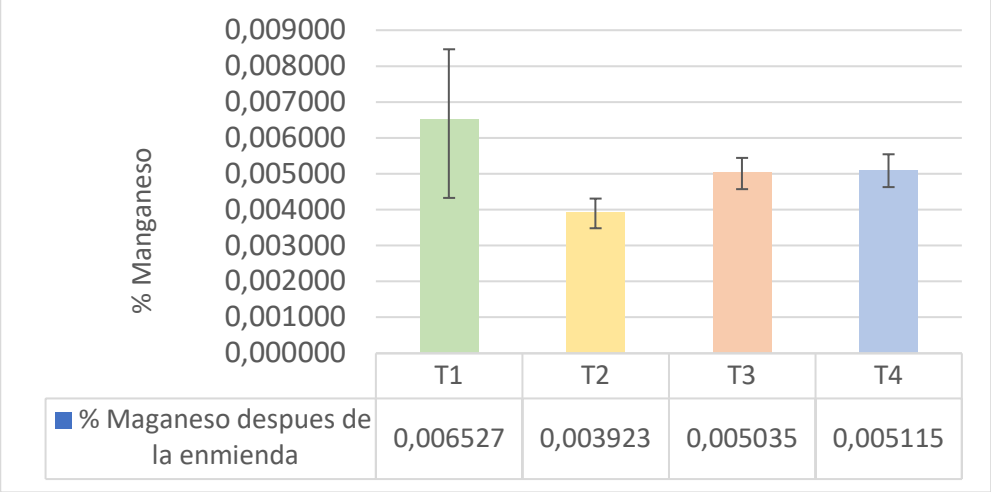
Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

Para la variable análisis de Manganeso (Mn) en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas tras el análisis ANOVA, se evidencio que no hay diferencias significativas al 5% entre los diferentes tratamientos evaluados y no se evidencia diferencias significativas entre bloques. De igual manera se observa un coeficiente de variación de 22,27% y un promedio entre tratamientos de 0,00514% de manganeso.

En la Figura 41, se presentan los promedios del análisis de % de Manganeso en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas. Donde el T2 (Sulfato de calcio) presento menor cantidad manganeso con valores de 0,0039% y con mayor cantidad de manganeso el T1 (Testigo) con valores de 0,00652% de manganeso.

Figura 32

Promedios del manganeso presente en la mezcla forrajera antes de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.3.5.5. Análisis foliar de Hierro (Fe) en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas

La Tabla 39 muestra el análisis de varianza para la variable hierro (Fe) en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

Tabla 40

Análisis de varianza del hierro presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fo	F 0.05	Significancia
Tratamientos	3	0,00055	1,865e-04	14,908	0,00346	**
Bloques	2	0,00011	5,575e-05	4,458	0,06510	ns
Error	6	0,000075	1,251e-05			
Total	11					
C.V (%)	16,32					
Promedio	0,021					

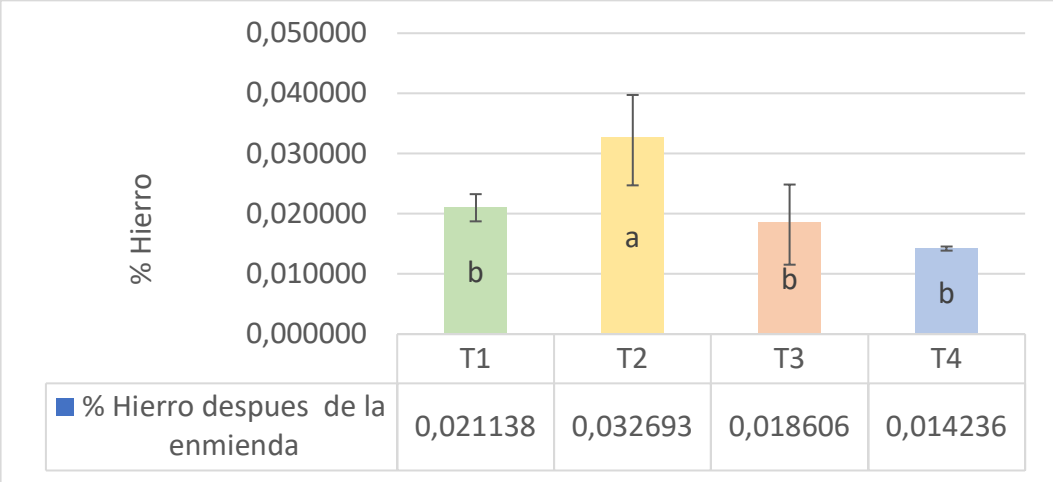
Nota: F.V: Fuentes de variación, G.L: Grados de libertad, S.C: Suma de cuadrado, C.M: Cuadrados medios, Fo: valor de F calculado, F 0.05: valor de F tabulado al 5% con una 95% de valor alfa de confiabilidad, *: Diferencias significativas, **: Diferencias altamente significativas, ns: No existen diferencias significativas.

Para la variable análisis de hierro en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas tras el análisis ANOVA, se evidencio que hay diferencias altamente significativas al 5% entre los diferentes tratamientos evaluados, y que no hay diferencias significativas entre bloques. De igual manera se observa un coeficiente de variación de 16,32% y un promedio entre tratamientos de 0,021% de hierro.

En la prueba tukey al 5% para el análisis de hierro en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas (figura 33), se forman 2 rangos, en el rango B se encuentra el tratamiento T1 (Testigo), T3 (Sulfato de calcio + Carbonato de Calcio), T4 (Carbonato de calcio) con la menor cantidad hierro con valores de 0,021%, 0,018%, y 0,014% respectivamente. Y con más alto contenido de hierro el T2 (Sulfato de calcio) con valores de 0,032% de hierro.

Figura 33

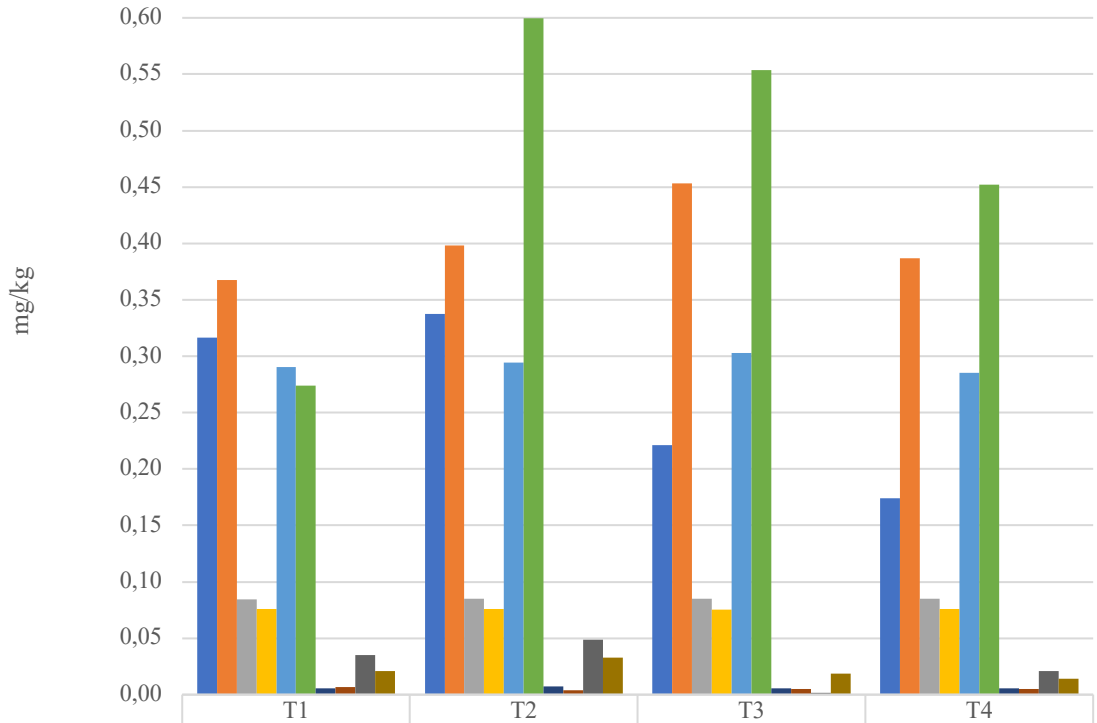
Prueba de significancia Tukey al 5% de la variable hierro presente en la mezcla forrajera después de la aplicación de las enmiendas cálcicas.



5.3.5.6. Promedios de resultados de los elementos fósforo, calcio, manganeso, hierro, antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas presentes en la mezcla forrajera

Figura 34

Promedios de los macro y micro elementos presentes en el follaje de la mezcla forrajera



	T1	T2	T3	T4
Fosforo antes	0,32	0,34	0,22	0,17
Fosforo después	0,37	0,40	0,45	0,39
Potasio antes	0,084	0,085	0,085	0,085
Potasio después	0,076	0,076	0,075	0,076
Calcio antes	0,290	0,294	0,303	0,285
Calcio después	0,274	0,599	0,554	0,452
Manganeso antes	0,0054	0,0073	0,0059	0,0054
Manganeso después	0,0065	0,0039	0,0050	0,0051
Hierro antes	0,0349	0,0485	0,0016	0,0212
Hierro después	0,0211	0,0327	0,0186	0,0142

En la Figura 34 se establecen los resultados obtenidos del análisis bromatológico de las mezclas forrajeras correspondientes a la aplicación de los diferentes tratamientos y su relación con los elementos de interés que son: P, K, Ca, Mn, Fe, generando las siguientes variaciones en los resultados.

- ***Fosforo:*** El % de este elemento aprovechado por la planta corresponde al tratamiento T3 el cual antes de establecer el ensayo presenta un resultado de 0,22% el cual se eleva a 0,45% una vez aplicado el ensayo del tratamiento T3, siendo a nivel estadístico el que presento un mayor incremento a diferencia del T1 que no represento mayor diferencia a lo largo del ensayo. Ya que como lo establece Chamorro, (2009) el uso de calcio promueve la disponibilidad del fosforo en el suelo y a su vez su rápida asimilación a nivel de follaje lo que refleja resultados de incremento en el % de promedio asimilados por la planta.
- ***Potasio***: Según lo establecido en los resultados obtenidos al finalizar el ensayo, el potasio se presenta en un menor % de concentración a nivel forrajero en todos los tratamientos, esto debido a que este es requerido principalmente para la planta para la conformación de semillas y frutos, por lo cual en el estado de corte de forraje la planta no requiere asimilar este elemento ya que su etapa fisiológica no se encuentra para esta función tal como lo expresa Cañar (2021), detallando que las plantas requieren asimilar niveles más altos de potasio en la formación de frutos y semillas y estas no lo asimilaran pese a que este elemento se encuentre en abundancia en el suelo.
- ***Calcio:*** Los resultados obtenidos para este elemento expresan que existe una mejor asimilación por parte de la planta para los tratamientos T2 y T3 en los cuales consigue casi duplicar el % de asimilación de calcio en la estructura a nivel foliar esto debido a que la enmienda utilizada aporta el calcio en su estado asimilable para la planta lo cual Rodríguez et al., (2020) da a conocer que el % alcanzado corresponde a 0,56% para la aplicación de mezclas forrajeras tratadas con enmiendas cálcicas.
- ***Manganeso:*** En el caso de este elemento se ve afectado de manera significativa respecto a la disminución de Mn en la estructura foliar de la mezcla forrajera lo cual se establece por la capacidad de desplazamiento que genera los tratamientos implementados a base de enmiendas calizas correspondiendo a lo expresado por (Intagri, 2008).

- ***Hierro:*** Mediante el análisis de los resultados para este elemento se establece que su concentración se ve disminuida en los tratamientos aplicados correspondiente a enmiendas cálcicas ya que de igual manera como ocurrió en el caso del Mn este es un elemento que es desplazado por la implementación de tratamientos que incluyen elementos a base de calcio que actúan como antagonista para los metales pesados y evitan que estos estén disponibles para las plantas (Fertilab, 2018; Intagri, 2008).

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- En la evaluación de la efectividad de dos enmiendas cálcicas y su combinación, aplicadas al suelo como una estrategia para mejorar las condiciones físico químicas del suelo, podemos mencionar:

  - ❖ Se evidencio que el T4 (Carbonato de calcio) a nivel de pH se dieron resultados favorables de 5,3 a 5,9 permitiendo la disponibilidad de cationes como el calcio, fósforo, potasio y magnesio que se encontraban bloqueados por el pH ácido, mientras que para los tratamientos T2 y T3 reflejaron cambios positivos en: M.O, C.E, C.I.C y sobre todo la disminución de concentración del Fe y Mn considerados como elementos tóxicos en altas concentraciones para las plantas.

  - ❖ Al analizar la compactación de suelo a distintos niveles de profundidad, se determinó lo siguiente: En el nivel de 0-8 cm después de la aplicación de la enmienda en todos los tratamientos y testigo se incrementó la compactación, esto se considera debido a que en el momento de muestreo se lo realizó en época de lluvias, lo cual influyó en los datos; para el nivel de 9 a 24 cm se puede apreciar que a estos niveles de profundidad el efecto generado por las enmiendas a base calcio empieza a expresar una descompactación del suelo, sobre todo en los tratamientos T3 y T4 disminuyendo en promedio de 20 unidades; para el nivel de 25 a 40 cm se puede identificar resultados más evidentes respecto al mejoramiento de la compactación del suelo, ya que a este nivel el T2 presenta una descompactación de 57 unidades seguido del tratamiento T3 con 37 unidades.

  - ❖ Como respuesta a la conclusión anterior se determina que la capacidad de infiltración que presenta el sulfato de calcio, se evidencia los resultados de mejoramiento a nivel de propiedades físicas y durante el proceso también genera

desplazamiento de elementos como el Mn y Fe lo que genera una mejor calidad del suelo y proporciona mejores características para el desarrollo radicular del cultivo establecido.

- En la estimación de los efectos reguladores del suelo en la conformación de la planta, composición química y rendimiento de (Ms/ha), presentaron una influencia en la mezcla forrajera establecida:

  - Para la producción de Kg Ms/ha se evaluaron posterior a la aplicación de enmiendas cálcicas, los promedios de dos cortes de los tratamientos, observándose un incremento de 500 kgMs/Ha versus el testigo, siendo estos datos: T1 (testigo) con 2.737kgMs/Ha; T2 (sulfato de calcio) con 3.255 kgMs/Ha; T3 (sulfato de calcio + carbonato de calcio) con 3367kgMs/Ha y T4 (carbonato de calcio) con 3149 kgMs/Ha, si bien es cierto no existe una diferencia significativa, sin embargo, a nivel productivo influye positivamente, generando más alimento por superficie, bajo las mismas condiciones de manejo de la mezcla forrajera. Cabe destacar que en un futuro con la evaluación de más cortes se puede tener mejores resultados, ya que como se menciona en la literatura la aplicación de enmiendas en mezclas forrajeras establecidas, los cambios se visualizan a partir de los 3 meses de aplicada la enmienda.

  - En lo referente a la variable de composición nutricional y bromatológica, el T4 (sulfato de calcio + Carbonato de calcio) mostro diferencias significativas al incrementar los valores de proteína, energía, calcio, potasio, fosforo en la mezcla forrajera, lo cual se debe a la mejora reportada en la presente investigación en cuanto a las propiedades físico químicas del suelo, lo cual conduce a una mejora en la disponibilidad de los nutrientes para la planta.

- En la variable de longitud de raíces, el Tratamiento T3 (Sulfato de calcio + Carbonato de calcio) se evidencio una mayor elongación de raíces de la mezcla forrajera debido a la variación de pH, C.I.C, CE.
- Para finalizar, la evaluación de los efectos de la aplicación de Sulfato de calcio, Carbonato de calcio y la combinación de estas dos enmiendas, como reguladores de la acidez de los suelos, permitió concluir que la aplicación de enmiendas cálcicas tiene un efecto positivo en algunos aspectos, principalmente en la disminución de la acidez del suelo, lo cual conlleva a mejorar propiedades físico químicas del suelo, incrementa las poblaciones microbianas, mineralización de materia orgánica, disponibilidad de nutrientes para la planta, generando con todo esto una productividad eficiente en los sistemas agropecuarios.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- En base a los resultados obtenidos con el uso de la combinación de sulfato de calcio y cal en proporción de 50% para cada una, se considera que se desarrollen más estudios, sobre todo en explotaciones ganaderas, donde, uno de los principales problemas que aqueja a la productividad de las pasturas es la compactación de suelos.

- Establecer ensayos donde el uso de enmiendas cálcicas y su combinación, se lleve a cabo durante un año, tiempo en el cual se puede apreciar de mejor manera la movilidad de las enmiendas y los cambios en las propiedades físico químicas del suelo, lo cual influirá en los ciclos productivos y el efecto sobre la conformación de las pasturas bajo pastoreo, con esto se podrá evidenciar de manera más adecuada la interacción, suelo-planta- animal.

- Como Universidad y sobre todo como Escuela sería oportuno que en base al desarrollo de las prácticas de vinculación se puedan establecer capacitaciones a las comunidades, donde se difundan los resultados obtenidos de las investigaciones realizadas, a fin de llegar a más agricultores y ganaderos, y poner a consideración el manejo, uso y conservación del suelo, lo cual contribuirá a generar espacios de aprendizaje enfocados en una producción sostenible y sustentable.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrego, F. (2012). Determinación de la capacidad de intercambio catiónico. *Calidad Ambiental de Suelos*.

Alonso, M., Rozados, J., Ignacio, J., Rojas, V., Manas, S., Chapela, D., y Fontúrbel, M. (2008). Nitrogeno foliar como estimador de clorofila en una población de Laurus Nobilis del Parque Nacional de las Islas Atlánticas, Galicia. *Sociedad Española de Ciencias Forestales*, *61*(25), 61–66.

Alvarado, S. (2005). *Determinación de un método para evaluar los requerimientos de cal en suelos ácidos de origen volcánico y no volcánico del Ecuador* [Tesis de Doctorado, Escuela Superior Politécnica Del Chimborazo]. https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1418/4/iniapsctA472de.pdf

Alvarenga, F., y Alberto, D. (2015). Técnica de toma de remisión de muestras de suelos. *Manejo de Suelos, INAT*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-tcnicas_de_toma_y_remisin_de_muestras_de_suelos.pdf

Anganoy, G., y Naspiran, E. (2021). *Efecto de diferentes fuentes y dosis de enmienda sobre el rendimiento de la alfalfa* [Tesis de pregrado Universidad Nacional Abierta a Distancia, Colombia].

Ansorena, J. (2001). El suelo en la agricultura y el medio ambiente. In *Laboratorio agrario. departamento de agricultura y espacios naturales*.

Antanasopoulos, N. (2014). Flame methods manual atomic absorption. *GBC Scientific Equipment PTY LTD*.

Atwell, B. (1993). Response of roots to mechanical impedance. *Environmental and Experimental Botany*, *33*(1), 27–40.

Barbaro, L., Karlanian, M., y Mata, D. (2018). Importancia del pH y la conductividad eléctrica en los sustratos para plantas. *INTA*.

Benton, E., y Agropal. (2003). *El pH del suelo en la agricultura*. Nutrición y Salud Vegetal, http://www.agropal.com/es/el-ph-del-suelo/

Bernier, R., y Alfaro, M. (2006). *Acidez de los suelos y efectos del encalado.* INIA.

Botero, R. (2013). *Renovación de pasturas degradadas en suelos ácidos de América Tropical*. Engomix. https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/renovacion-pasturas-degradadas-suelos-t29932.htm

Cabeza, R. (2016). *Efecto de fuentes de encalado en las propiedades químicas del suelo ecuatoriano de diferente material parental* [Tesis de pregrado, Universidad Central Del Ecuador].

Caceres, O., y Gonzáles, E. (2000). *Metodología para la determinación del valor nutritivo de los forrajes tropicales.* HAL. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01190063/document

Calistro, E. (2011). Cálculo práctico de forraje disponible. *Sitio Argentino de Producción Animal*, 1–2. www.produccion-animal.com.ar

Campillo, R. (2014). *Corrección de suelos acidificados mediante enmiendas calcáreas*.

Cañar, J. (2021). *Efecto de la aplicación de enmiendas en las propiedades químicas del suelo y su incidencia en la producción de banano* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Machala, Ecuador]. http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17477/1/TTUACA-2021-IA-DE00059.pdf

Carey, P., Ketterings, Q., y Hunter, M. (2006). Liming Materials. In *Hoja divulgativa de agronomía #7*. Universidad de Cornell.

Casierra, f, y Aguilar, O. (2007). Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *1*(2), 246–257. https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwit7Oehibb6AhUVmYQIHV2UCA0QFnoECC8QAQ&url=https%3A%2F%2Flacolina.com.ec%2Fel-impacto-negativo-del-aluminio-en-el-suelo%2F&usg=AOvVaw3bfuFQ1gXzIyJnPRw_BL8i

Castellanos, J. (2000). Manual de Interpretación de Análisis de Suelos, Aguas. *Ed. Intagri*, 186.

Castellanos, J., y Lake, B. (2000). *Entendiendo el pH del Suelo*. https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/Entendiendo%20el%20pH%20del%20suelo.pdf

Castro, H., y Munevar, Ó. (2013). Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalates. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*, *16*(2), 409–416. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262013000200015

Catalan, G., y Agropal. (2016, November 8). *El pH del suelo en la agricultura - Agropal*. Nutrición y Salud Vegetal, http://www.agropal.com/es/el-ph-del-suelo/

Catalan, G., y Edward, A. (2000). *El pH del suelo en la agricultura*. Nutrición y Salud Vegetal. http://www.agropal.com/es/el-ph-del-suelo/

Chaves, M. (1993). Importancia de las características de calidad de los correctivos de acidez del suelo: desarrollo de un ejemplo práctico para su cálculo. In *DIECA*.

Clapperton, J. (2003). Nutrición animal. *Ruminates*, *18*, 47–54.

CONtexto Ganadero. (2016). *5 causas de la acidez de suelos y la forma de enmendar*. Ganadería Sostenible. www.madrimasd.org

CONtexto ganadero. (2017). *La importancia de conocer la capacidad de intercambio catiónico*. Ganadería Sostenible. https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/la-importancia-de-conocer-la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo

Cuesta, G. (2012). *Establecer los rendimientos de los pastos Alemán (Echynochloa polystachia) y rabo de gallo (Hymenachne amplexicaulis) con 4 niveles de fertilización completa en la hacienda "LA MINA" Parroquia la Victoria, Cantón Salitre.* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. file:///D:/Users/Juan/Downloads/Tesis%20Gina%20(1).pdf

Demanet, R. (2017). *¿Qué efecto tiene en las pasturas la presencia de aluminio en el suelo y en la planta?* Engormix. https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/que-efecto-tiene-pasturas-t41226.htm

Dobermann, A., y Fairhurst, T. (2000). Toxicidad de hierro en arroz. *Nutrient Disorders y Nutrient Management. Rice: Nutrient Disorders y Nutrient Management. Potashand Phosphate Institute and International Rice Research Institute*, *43*.

Espinosa, J., y Molina, E. (2003). *Acidez y encalado de los suelos.* http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez%20y%20encalado%20de%20suelos,%20libro%20por%20%20J%20Espinosa%20y%20E%20Molina.pdf

Espinosa, J., Moreno, J., y Bernal, G. (2022). *Suelos del Ecuador clasificación, uso y manejo*.

FAO. (2022a). *Capacidad de intercambio catiónico*. Propiedades Químicas, FAO. https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/

FAO. (2022b). *Propiedades Físicas del Suelo*. Portal de Suelos de La FAO.

Fernandez, l, Rojas, N., Rodán, T., Ramírez, M., Zerraga, H., Henández, R., Reyes, R., Hernández, D., y Arce, J. (2006). Análisis físico y químico en el suelo. *Manual de Técnicas de Análisis de Suelos Aplicadas a La Remediación de Sitios Contaminados*, 20–80. https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CG008215.pdf

Fertilab. (2018). Diferencia entre cal y yeso agrícola. *Introducción*. https://www.laica.co.cr/biblioteca/servlet/Downloa

Fuentes, J. (2021). *Enmiendas Calizas*. La Verdadera Forma de Los Alimentos. NotasAGRO. https://wwwnotasagropecuariasjaviermarin.blogspot.com/2017/05/enmiendas-caliza.html

Gonzales, K. (2021). *Como cambiar el pH de suelos ácidos para mejorar su productividad*. Zootecnia y Veterinaria Es Mi Pasión. https://zoovetesmipasion.com/pastos-y-forrajes/cambiar-ph-los-suelos-acidos/

Hicks, P. (2017). *Conozca todo sobre la CIC*. Agua y Suelo Para La Agricultura. https://asa.crs.org/2017/05/conozca-todo-sobre-la-cic/

INAMHI. (2022). *Estación Tomalón - Tabacundo*. Red de Estaciones Automáticas Hidrometeorológicas. http://186.42.174.236/InamhiEmas/#

INPOFOS. (1997). Manual internacional de fertilidad de suelos. In *Instituto de la potasa y fosfato*.

Intagri. (2008). Manual de uso del yeso agrícola como mejorador de suelos. *Intagri*. https://www.intagri.com/articulos/suelos/manual-de-uso-del-yeso-agricola#:~:text=El%20yeso%20agr%C3%ADcola%20es%20un,y%20los%20romanos%20lo%20utilizaron.

Intagri. (2017a). Fósforo y Calcio en el Crecimiento de la Raíz. *Serie Nutrición Vegetal*, *104*, 3. https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms%2Ffiles%2F133897%2F1663894849104._Fosforo_y_Calcio_en_el_Crecimiento_de_la_Raiz.pdf?utm_campaign=todo_mx_-_fosforo_y_calcio_en_el_crecimiento_de_la_raiz-cakmak-mx&utm_medium=email&utm_source=RD+Station

Intagri. (2017b). La Conductividad Eléctrica del suelo en el desarrollo de los cultivos. *Artículos Técnicos de Intagri*, 5.

Intagri. (2018). Disponibilidad de nutrimentos y el pH del suelo. *Artículos Técnicos de Intagri*, 4. https://www.intagri.com/articulos/ganaderia/requerimientos-del-cultivo-de-

Intagri. (2021a). *Disponibilidad de nutrimentos y el pH del suelo*. Intagri. https://doi.org/10.0

Intagri. (2021b). *Propiedades físicas del suelo y el crecimiento de las plantas*. https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas

Jaramillo, A. (2010). *Efecto de la vinaza, en el rendimiento de una mezcla forrajera establecida en un andisol* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador]. https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1688/1/CD-2651.pdf

Juca, K. (2017). *Variación de la capacidad tampón en suelos ácidos de origen aluvial y piemonte costero en la provincia de El Oro* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Machala, Ecuador].

Kamprath, E. (1972). *Soil acidity and liming* (In Soil of the Humid Tropic National Academy of Sciences, Ed.).

Krosagro. (2021). *Tres mejores formas de medir el crecimiento de las plantas*. Guía, Túneles Plásticos. https://krosagro.com/es/tuneles-de-plastico/3-mejores-formas-de-medir-el-crecimiento-de-las-plantas/

León, R. (2003). *Pasto y forraje: producción y manejo* (1er Edición). CientíIfica Agustin Alvarez.

León, R., Bonifaz, N., y Gutiérrez, F. (2018). Pastos y forrajes del Ecuador Siembra y producción de pasturas. In Universitaria Abya-Yala (Ed.), *Universidad Politécnica Salesiana* (1ra edición, Vol. 1). Universidad Poliécnica Salisina. https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjisdefyab5AhV2STABHbpyDMQQFnoECAgQAQ&url=https%3A%2F%2Fdspace.ups.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F19019%2F4%2FPASTOS%2520Y%2520FORRAJES%2520DEL%2520ECUADOR%25202021.pdf&usg=AOvVaw2DKz6wUV-JBIEwwAG63RsP

López, J. (2022a). *La función del magnesio en el cultivo de plantas*. Pro-MIx Centro de Formación. https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-magnesio-en-el-cultivo-de-plantas/

López, J. (2022b). *Rol del calcio en el cultivo de plantas*. Pro-Mix Centro de Formación. https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-calcio-en-el-cultivo-de-plantas/

López, J. (2022c). *Rol del molibdeno en el cultivo de plantas*. Centro de Formación Pro-Mix. https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-molibdeno-en-el-cultivo-de-plantas/

Lora, R., y Riveros, G. (2004). Problemas fisiológicos en suelos ácidos.-. *Suelos Ecuatoriales "Acidez y Encalamiento En El Trópico"*, *3*(1), 24–42.

Molina, E. (2003). Encalado para corrección de la acidez del suelo. *ACCS*.

Molina, E., y Centro de Investigaciones Agronómicas. (2014). *Acidez de suelos y uso de enmiendas.* www.cia.ucr.ac.cr

Montanarella, L., Pennock, D., y Mckenzie, N. (2015). *Estado mundial del recurso suelo* (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo

Técnico Intergubernamental del suelo, Eds.). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. www.fao.org/publications

Moro, A. (2015). *Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos*. Agricultura, Análisis Agrícolas. AQM. http://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/

Morón, A. (2014). Alfalfa: Fertilidad de suelos y estado nutricional en sistemas agropecuarios de Uruguay. *Informaciones Agronómicas Del Cono Sur*. http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/F94E2B122D5BC4038525799C0058EB12/$FILE/AlfalfaUruguay.pdf

Mula, J. A. (2022). *Como solucionar un suelo compacto*. Agromática. https://www.agromatica.es/soluciones-ante-un-suelo-compactado/

Oña, C. (2018). *Determinación del período óptimo de cosecha de mezclas forrajeras en base al valor nutritivo* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica Del Ecuador Sede Ibarra]. https://dspace.pucesi.edu.ec/bitstream/11010/228/1/1.INFORME%20FINAL%20TESIS%20CARLA%20OÑA.pdf

Paladines, O. (2002). *Fertilización y pastizales*. Universidad Central del Ecuador.

Pellegrini, A. (2019). *El suelo y la producción vegetal*. Curso de Edafología. http://prepa.chapingo.mx/wp-content/uploads/2019/01/ANTOLOGIA-IIII2.pdf

Pires da Silva, A., Inhoff, S., y Corsi, M. (2003). Evaluation of soil compaction in an irrigated short duration grazing system. *Soil y Tillage Research*, *70*(1), 83–90.

Portalfruticola. (2017). Encalados y aplicaciones de enmiendas orgánicas y minerales al suelo, tipos características y dosis. *Portalfruticula*. https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/09/14/encalados-y-aplicacion-de-enmiendas-organicas-y-minerales-al-suelo-tipos-caracteristicas-productos-y-dosis/

Portillo, P. A., Meneses, D. H., Lagos, E., Duter, M. E., y Castro, E. (2021). Adaptación de mezclas forrajeras a diferentes niveles de enmienda y riego en Nariño, Colombia. *Agronomy Mesoamerican*, *32*(2), 538–555. https://doi.org/10.15517/am.v32i2.41265

Ramirez, R. (1997). *Propiedades fisicas, quimicas y biologicas de los suelos.* Produmedios.

Ramos, C., Obrador, J., García, L., Pérez, J., y Carrillo, E. (2016). Efecto del encalado en la materia orgánica del suelo en un sistema agroforestal. *Agroproductividad*, *9*(12), 28–33. https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/857/721

Rey, D. (2012). *Usos y aplicaciones del penetrómetro de cono* [Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico de Sonoroa Mexico].

Rietra et al. (2015). *Sinergismos y Antagonismos entre Nutrientes*. Universidad Agrícola. https://universidadagricola.com/sinergismos-y-antagonismos-entre-nutrientes/

Rodriguez, L., Falcon, M., y Ordoñez, Y. (2020). Caracterización de residuos sólidos para encalar y fertilizar portadores de calcio y nitrógeno. *Cultivos Tropicales*, *41*.

Romero, L. (2002). *El pasto y cómo conseguirlo*. INTA - EEA Rafaela. http://www.produccion-animal.com.ar/

Rosas, G., Puentes, Y. J., y Menjivar, J. C. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *18*(3), 529–541. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:742

Sánchez, B., Ruiz, M., y Ríos, M. (2005). Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Ma. *Agronomía Tropical*, *56*(4). http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2005000400004

Sánchez, P. (1999). Suelos del trópico. Características y manejo. In *Instituto internacional de cooperación para la agricultura*.

Soest, S. (2017). *Lección 3. Análisis de alimentos* (pp. 1–6).

Solano, M. (2013). *Evaluación de dosis y fuentes de enmiendas en la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas de banano in vitro en condiciones de vivero* [Tesis de pregrado Universidad de Costa Rica].

Stivers, L., y Pennsylvania State University. (2017). Introducción a los suelos: La calidad de los suelos. *PennState Extension*, 16802. https://extension.psu.edu/introduccion-a-los-suelos-la-calidad-de-los-suelos

Tisdale, S., Nelson, W., Beat, J., y Havlin, J. (1992). *Soil fertility and fertilizers* (Mc Millan, Ed.; Quinta edicion). Columbus.

Toledo, M. (2016). Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras. *Secretaria de Agricultura y Ganadería de Honduras, PRICA, ICA*. https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3108/BVE17069071e.pdf

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. (2014). *Dinámica de las relaciones nutricionales: antagonismos y sinergismos*.

Valero, S. (2000). Interpretación de análisis de suelos. *Hojas Divulgadoras*, *5*(93).

Vélez, D. (2014). *Evaluación de seis alternativas de fertilización en dos épocas de aplicación en la producción de pastos en la parroquia de San Juan provincia de Chimborazo* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica de Chimborazo Ecuador]. http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3763/1/17T1231.pdf

Zapata, R. (2004). *Química de la acidez del suelo.* Universidad Nacional de Colombia Medellin.

Zerpa, G. (2006). *Degradación de suelos en uso pasturil* [Tesis para obtener el grado de Magister en Manejo y Conservación de Recursos Naturales.]. Universidad Nacional de Rosario.

Zerpa, G., Sosa, O., Berardi, J., Bolatti, J. P., Galindo, A., y Maldonado, J. (2013). La resistencia mecánica a la penetración en pasturas. *Agromensajes*, *35*, 64–68.

ANEXOS

Anexo 1

Reporte de análisis de suelos inicial y final.

Análisis de suelos antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas

Análisis	Unidad	Niveles óptimos para pastos	Resultados antes de la aplicación de las enmiendas	Resultados después de la aplicación de las enmiendas			
				T1	T2	T3	T4
Textura	–	Franco arenosa a franco arcillosa	Franca arcillosa	Franca arcillosa	Franca arcillosa	Franca arcillosa	Franca arcillosa
Materia Orgánica (M.O)	(%)	5--15	8	8	9,2	9,9	7,2
Saturación de bases	(%)	> 65	56	56	44	41	50
Capacidad de intercambio Catiónico (C.I.C)	meq/100g	> 15	18	18	17,4	19,1	15,8
Aluminio Intercambiable	meq/100g	< 0,3	0,05	0,05	0,08	0,06	0,09
Conductividad Eléctrica (C.E)	mS/cm	0,2 - 0,5	0,05	0,05	0,16	0,16	0,11
pH (KCl)	mg/kg	5,5 - 7,5	5,3	5,3	5,6	5,5	5,9
Nitrógeno (N)	mg/kg	30 - 50	5,5	5,5	22,7	29	19,5
Fosforo (P)	mg/kg	20 - 35	33,4	33,4	40,8	42,4	25,9
Potasio (K)	mg/kg	125 - 250	32	32	47	62	35
Magnesio (Mg)	mg/kg	45 - 90	149	149	186	184	183
Calcio (Ca)	mg/kg	400 - 1200	482	482	610	595	515
Azufre (S)	mg/kg	10 -- 20	2,6	2,6	7	3,4	2,2
Hierro (Fe)	mg/kg	20 - 50	326	326	271	308	252
Manganeso (Mn)	mg/kg	4-- 20	65,5	65,5	65	75	60,5

Deficiente	
Optimo	
Exceso	

Anexo 2

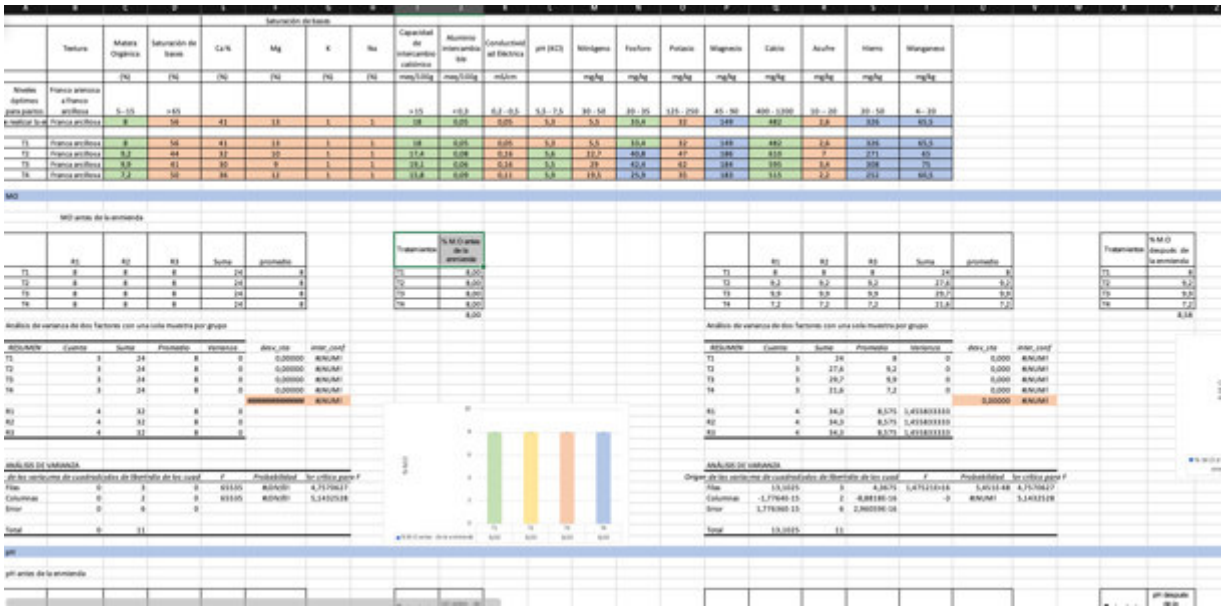
Análisis químico bromatológico de la mezcla forrajera.

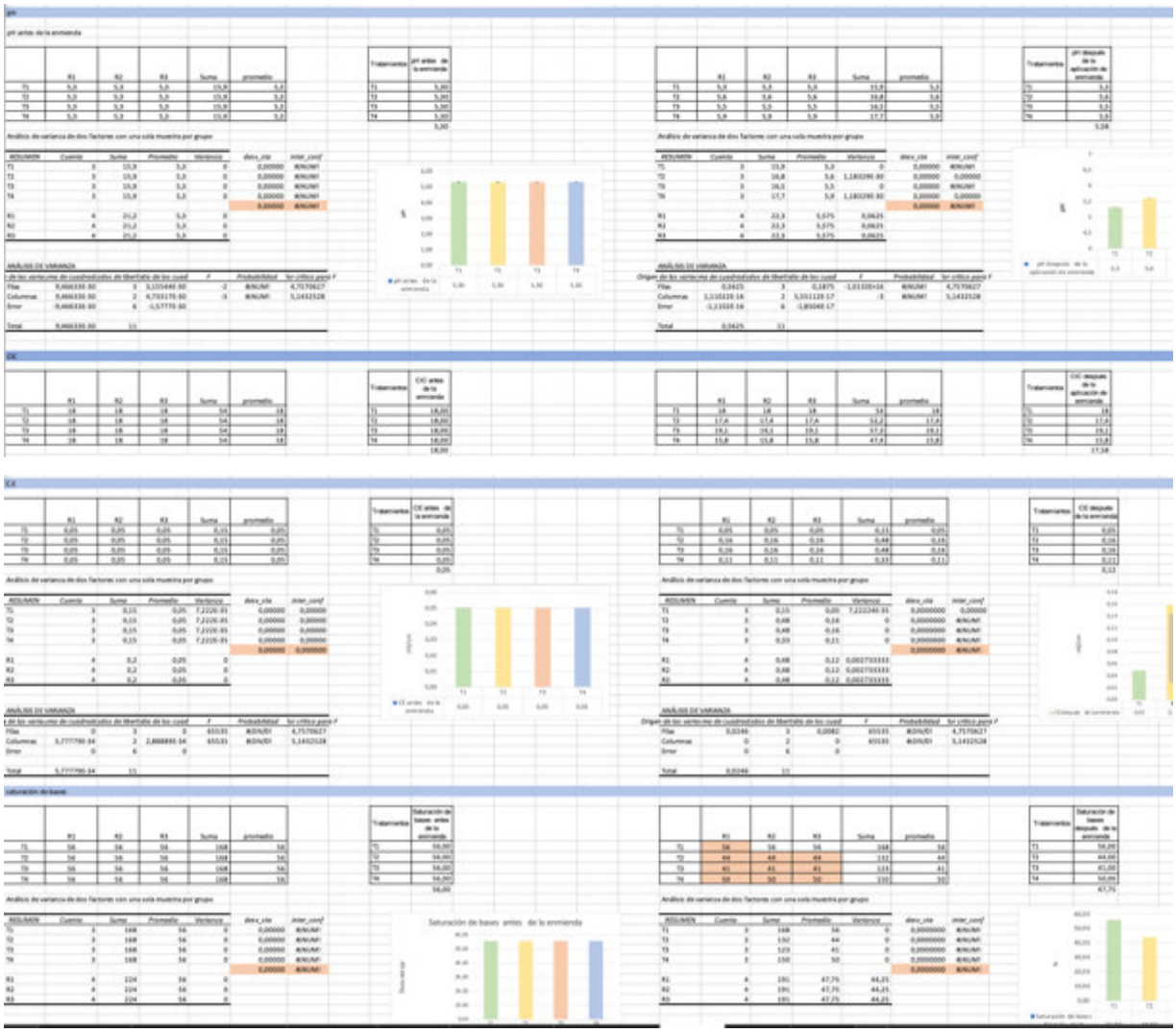
Análisis químico bromatológico de la mezcla forrajera antes y después de las enmiendas calcicas

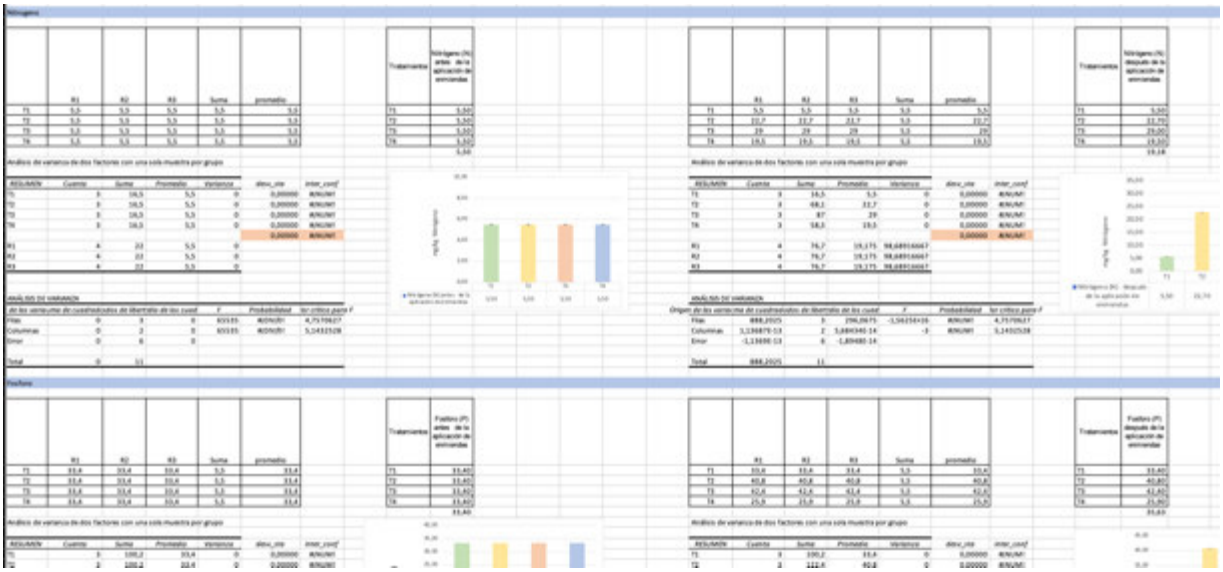
Análisis	Unidad	T1 Antes	T1 Después	T2 Antes	T2 después	T3 Antes	T3 Después	T4 Antes	T4 después
Proteína	%	13,89	13,98	13.00	20,05	14,21	26,78	14,82	24,06
Energía	Mcal/kg	4,12	4,16	3,98	4,19	4,11	4,21	3,87	4,3
Fosforo	(%)	0,32	0,37	0,34	0,4	0,22	0,45	0,17	0,39
Potasio	%	0,084	0,076	0,085	0,076	0,085	0,075	0,085	0,076
Calcio	%	0,29	0,468	0,294	0,599	0,303	0,554	0,285	0,452
Manganeso	%	0,0054	0,0065	0,007	0,0039	0,0059	0,005	0,0054	0,0051
Hierro	%	0,0349	0,0211	0,049	0,0327	0,0016	0,0186	0,0212	0,0142

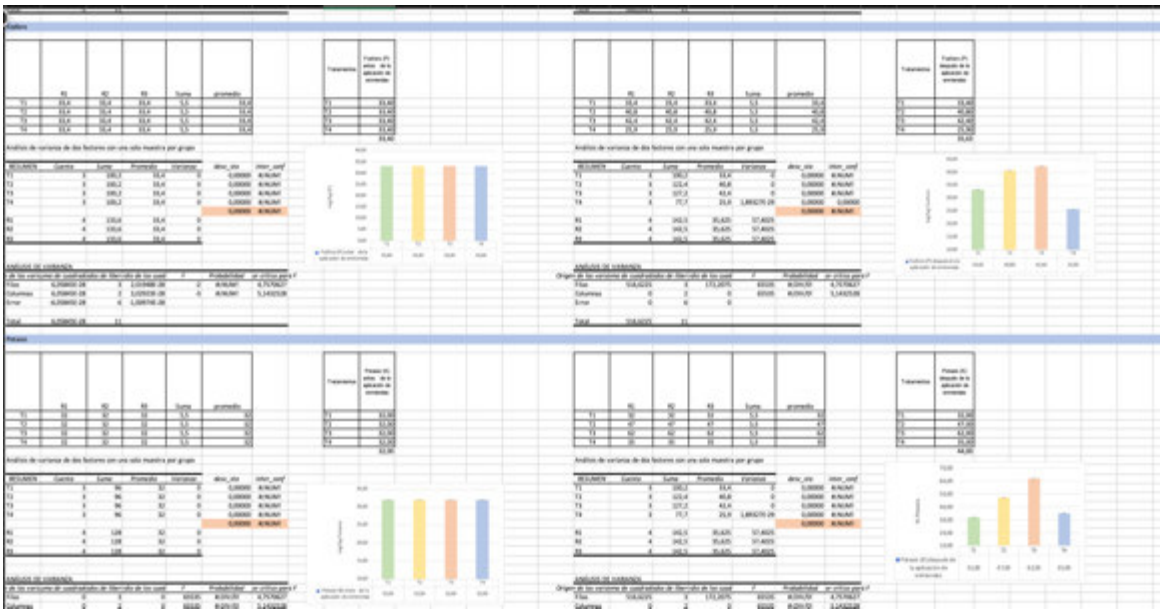
Anexo 3

Base de datos del suelo.









Anexo 4

Base de datos Kg Ms/ha/corte



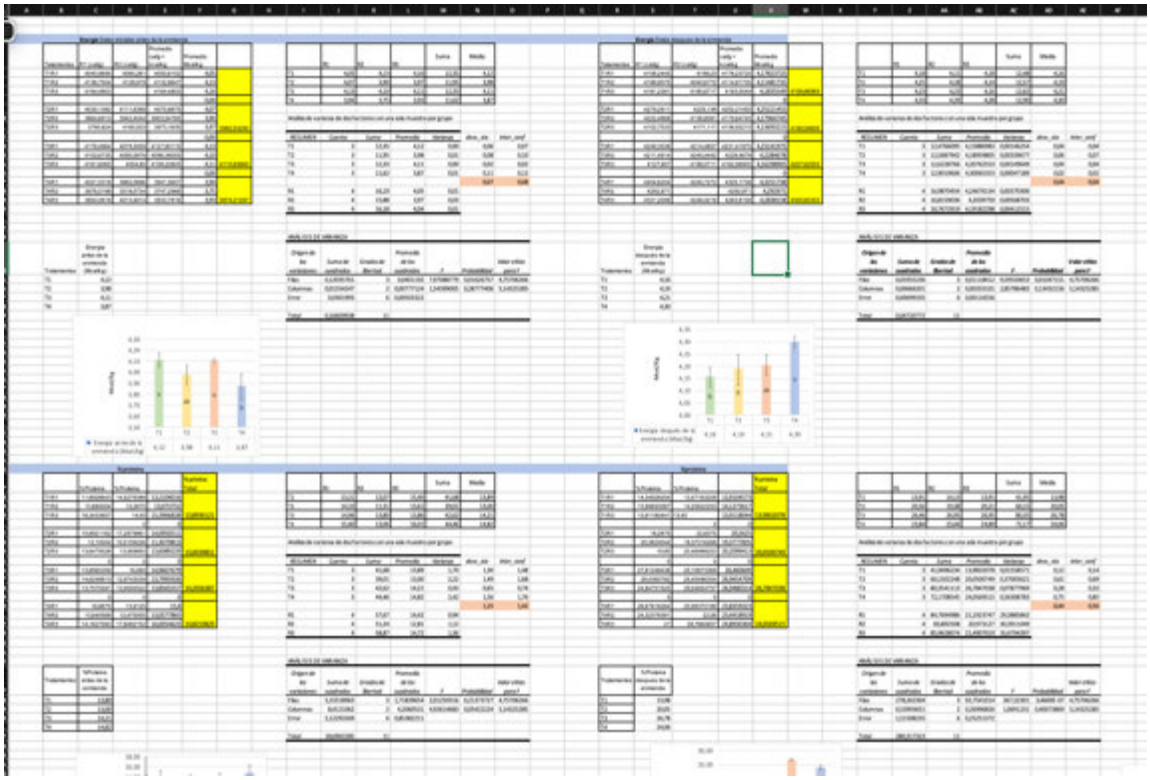
Anexo 5

Base de datos longitud raíces.



Anexo 6

Base de datos bromatológicos de la mezcla forrajera





Anexo 7

Establecimiento de los tratamientos en campo



Anexo 8

Toma de datos con el penetrómetro y barrenador.



Anexo 9

Medición de longitud radicular de la mezcla forrajera en los diferentes tratamientos.



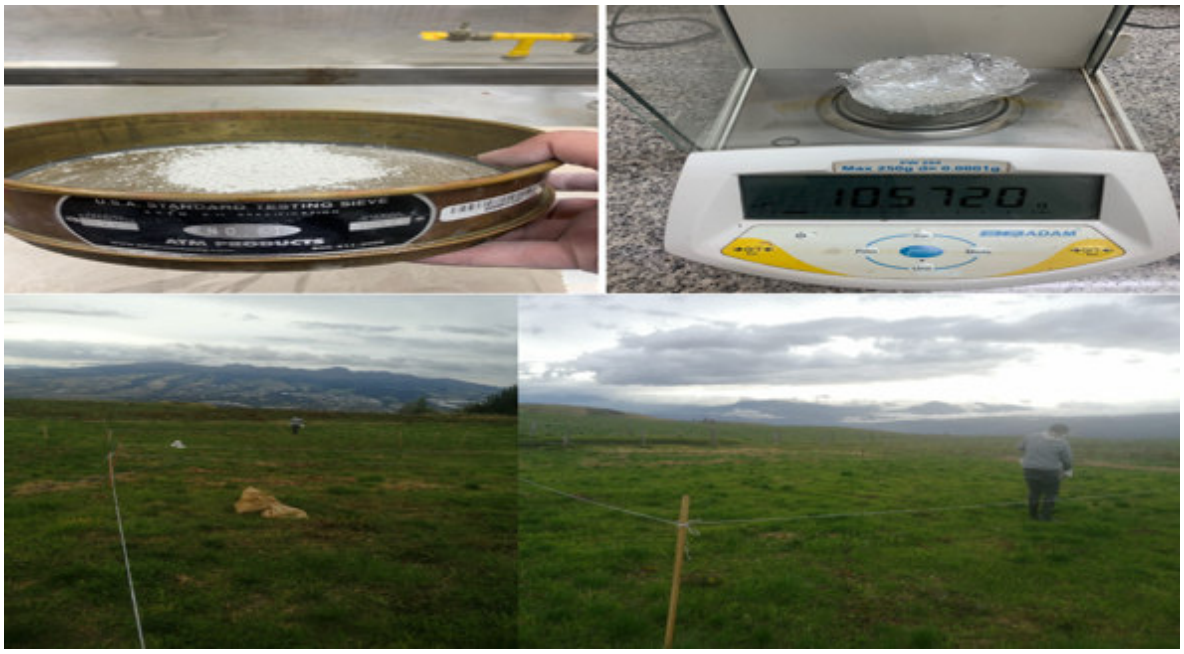
Anexo 10

Recolección de datos para la evaluación de los kg Ms/ha/corte



Anexo 11

Prueba de eficiencia granulométrica en las mallas melsh y aplicación en los diferentes tratamientos.



Anexo 12

Análisis químico y bromatológico de la mezcla forrajera.



Anexo 13

Diferencias de la mezcla forrajera, antes y después de la aplicación de las enmiendas cálcicas



Anexo 14

Resultados del análisis de datos antes de la enmienda por agrarProjekt.

agrarPROJEKT Consultancy & Laboratory Services

Trabajamos bajo la Norma ISO 17025

Agrarprojekt S.A.
Urb. El Condado, Calle V #941 y Av. A, Quito
Tel: 02-2490575/02-2492148/0984-034148
info@agrarprojekt.com
www.agrarprojekt.com

RESULTADOS

Código Agrarprojekt: BXH-110222 **Pág 2/2**

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS	
Tipo de Muestra:	Suelo
Cultivo:	Pastos
Número de Muestra:	**# 1**
Información Proporcionada por el Cliente:	Muestra Suelo

Contenido de macro- y microelementos en mg / kg de suelo seco

	Análisis	Unidad	*Método de Extracción	*Niveles Óptimos para Pastos - Cultivo Intensivo	Resultado
Características del Suelo	Materia Orgánica	%	-	5 - 15	8,0
	% de Saturación de Bases	%	-	> 65	56% (Calificación: moderado en bases)
	Distribución de Bases en el % de Saturación	%	-	-	Ca: 41 %, Mg: 13 %, K: 1 %, Na: 1 %
	**Capacidad de Intercambio Catiónico - CIC	meq/100g	-	> 15	18,0
	Acidez Intercambiable	meq/100g	-	< 0,5	0,43
	Aluminio Intercambiable	meq/100g	-	< 0,3	< 0,05
	Conductividad (CE)	mS/cm	Vol. 1:2	0,2 - 0,5	0,05
	pH (en H_2O)	-	Vol. 1:2	-	6,6
	pH (en KCl)	-	Vol. 1:2	5,5 - 7,5	5,3
Macronutrientes	Nitrato (NO_3-N)	mg/kg	Extracto Agua	-	2,2
	Amonio (NH_4-N)	mg/kg	NaCl 0.05 M	-	3,3
	(NO_3+NH_4)-N	mg/kg	-	30 - 50	5,5
	Fósforo (P)	mg/kg	$NaHCO_3$ 0.5M	20 - 35	33,4
	Potasio (K)	mg/kg	NaCl 0.05 M	125 - 250	32,0
	Magnesio (Mg)	mg/kg	NaCl 0.05 M	45 - 90	149
	Calcio (Ca)	mg/kg	NaCl 0.05 M	400 - 1200	482
	Azufre (SO_4-S)	mg/kg	Extracto Agua	10 - 20	2,6
Micronutrientes	Hierro (Fe)	mg/kg	DTPA/$CaCl_2$	20 - 50	326
	Manganeso (Mn)	mg/kg	DTPA/$CaCl_2$	4 - 20	65,5
	Cobre (Cu)	mg/kg	DTPA/$CaCl_2$	1,3 - 5,0	5,8
	Zinc (Zn)	mg/kg	DTPA/$CaCl_2$	2,5 - 10	9,1
	Boro (B)	mg/kg	Extracto Agua	0,15 - 0,60	0,27
Peligro de Salinidad	Sodio (Na)	mg/kg	Extracto Agua	< 140	6,3
	Cloruro (Cl^-)	mg/kg	Extracto Agua	< 210	7,2
	Sales Totales	mg/kg	Extracto Agua	< 2000	40,0

* Fuente: Soil Science Society of America Inc. (Ed.). 2001. Methods of Soil Analysis. 1390 pp.
** CIC-Potencial, utilizando Acetato de Amonio 1M pH= 7,0
- = No Aplica

Nota: - Los datos y resultados están basados en la información y muestras entregadas por el cliente para quien se ha realizado este informe de manera exclusiva y confidencial.
- La fecha de ensayo y los métodos utilizados estan a disposición del cliente cuando lo requiera.
- El Laboratorio no realizó el muestreo por lo tanto no certifica el origen de las muestras.
- Prohibida la reproducción total o parcial de los resultados. No procede copia.

Anexo 15

Resultados de análisis de datos después de las enmiendas en cada uno de los tratamientos de la enmienda por agrarProjekt.

agrarPROJEKT Consultancy & Laboratory Services

Trabajamos bajo la Norma ISO 17025

Agrarprojekt S.A.
Urb. El Condado, Calle V #941 y Av. A, Quito
Tel: 02-2490575/02-2492148/0984-034148
info@agrarprojekt.com
www.agrarprojekt.com

RESULTADOS

Código Agrarprojekt: BXH-280722 Pág 2/2

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS			
Tipo de Muestra:	Suelo		
Cultivo:	Pastos		
Número de Muestra:	# 1	# 2	# 3
Información Proporcionada por el Cliente:	T2	T3	T4

Contenido de macro- y microelementos en mg / kg de suelo seco

	Análisis	Unidad	*Método Extracción	*Niveles Óptimos para Pastos - Cultivo Intensivo	Resultado	Resultado	Resultado
Características del Suelo	Materia Orgánica	%	-	5 - 15	9,2	9,9	7,9
	Textura	-	-	"franca arenosa" hasta "franca arcillosa"	franca	-	-
	Fracción de Particulas	%	-	-	Arena: 38 % - Limo: 47 % - Arcilla: 15 %	-	-
	% de Saturación de Bases	%	-	> 65	44% (Calificación: moderado en bases)	41% (Calificación: moderado en bases)	50% (Calificación: moderado en bases)
	Distribución de Bases en el % de Saturación	%	-	-	Ca: 32 % - Mg: 10 % K: 1 % - Na: 1 %	Ca: 30 % - Mg: 9 % K: 1 % - Na: 1 %	Ca: 36 % - Mg: 12 % K: 1 % - Na: 1 %
	**Capacidad de Intercambio Catiónico - CIC	meq/100g	-	> 15	17,4	19,1	15,8
	Conductividad (CE)	mS/cm	Vol. 1:2	0,2 - 0,5	0,16	0,16	0,11
	pH (en H_2O)	-	Vol. 1:2	-	6,7	6,7	7,1
	pH (en KCl)	-	Vol. 1:2	5,5 - 7,5	5,6	5,5	5,9
Macronutrientes	Nitrato (NO_3-N)	mg/kg	Extracto Agua	-	16,8	24,4	13,6
	Amonio (NH_4-N)	mg/kg	NaCl 0.05 M	-	5,9	4,6	5,9
	(NO_3+NH_4)-N	mg/kg	-	30 - 50	22,7	29,0	19,5
	Fósforo (P)	mg/kg	$NaHCO_3$ 0.5M	20 - 35	40,8	42,4	25,9
	Potasio (K)	mg/kg	NaCl 0.05 M	125 - 250	47,0	62,0	35,0
	Magnesio (Mg)	mg/kg	NaCl 0.05 M	45 - 90	186	184	183
	Calcio (Ca)	mg/kg	NaCl 0.05 M	400 - 1200	610	595	515
	Azufre (SO_4-S)	mg/kg	Extracto Agua	10 - 20	7,0	3,4	2,2
Micronutrientes	Hierro (Fe)	mg/kg	DTPA/$CaCl_2$	20 - 50	271	308	252
	Manganeso (Mn)	mg/kg	DTPA/$CaCl_2$	4 - 20	65,0	75,0	60,5
	Cobre (Cu)	mg/kg	DTPA/$CaCl_2$	1,3 - 5,0	6,2	6,0	6,1
	Zinc (Zn)	mg/kg	DTPA/$CaCl_2$	2,5 - 10	5,6	6,2	3,9
	Boro (B)	mg/kg	Extracto Agua	0,15 - 0,60	0,22	0,24	0,18
Peligro de Salinidad	Sodio (Na)	mg/kg	Extracto Agua	< 140	7,2	8,3	6,6
	Cloruro (Cl^-)	mg/kg	Extracto Agua	< 210	3,3	4,4	2,9
	Sales Totales	mg/kg	Extracto Agua	< 2000	130	137	95,0

* Fuente: Soil Science Society of America Inc. (Ed.). 2001. Methods of Soil Analysis. 1390 pp.
** CIC-Potencial, utilizando Acetato de Amonio 1M pH= 7,0
- = No Aplica

Nota: - Los datos y resultados están basados en la información y muestras entregadas por el cliente para quien se ha realizado este informe de manera exclusiva y confidencial.
- La fecha de ensayo y los métodos utilizados estan a disposición del cliente cuando lo requiera.
- El Laboratorio no realizó el muestreo por lo tanto no certifica el origen de las muestras.
- Prohibida la reproducción total o parcial de los resultados. No procede copia.

Agrarprojekt S.A.
Dr. Karl Sponagel
Director del Laboratorio