

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

**INFLUENCIA DE DIFERENTES DENSIDADES DE SIEMBRA DE
TRÉBOL ROJO (*Trifolium pratense* L.) EN ASOCIACIÓN CON RYE
GRASS (*Lolium multiflorum* L.) EN LA FERTILIDAD QUÍMICA DEL
SUELO Y LA PRODUCTIVIDAD FORRAJERA EN SONDOR NUEVA
ESPERANZA-MATARA-CAJAMARCA.**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentada por:

JOSÉ AMABLE VALLEJOS COTRINA

Asesor:

Dr. WILFREDO POMA ROJAS

Cajamarca, Perú

2023

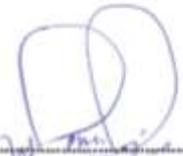
CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
José Amable Vallejos Cotrina
DNI: 41731784
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias. Programa de Maestría en Ciencias. Mención: Gestión Ambiental
2. Asesor: Dr. Wilfredo Poma Rojas
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:

Influencia de diferentes densidades de siembre de trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) en asociación con rye Grass (*Lolium multiflorum* L.) en la fertilidad química del suelo y la productividad forrajera en Sondor Nueva Esperanza-Matara-Cajamarca
6. Fecha de evaluación: 24/02/2025
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 16%
9. Código Documento: 3117: 424620497
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 25/02/2025

*Firma y/o Sello
Emisor Constancia*



Dr. Wilfredo Poma Rojas
DNI: 26719942

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2023 by
JOSÉ AMABLE VALLEJOS COTRINA
Todos los derechos reservados



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD

Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

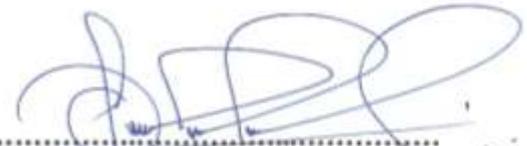
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las10:00..... horas, del día 24 de abril de dos mil veintitrés, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. JUAN EDMUNDO CHÁVEZ RABANAL**, **Dr. ELFER GERMAN MIRANDA VALDIVIA**, **Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA**, y en calidad de Asesor el **Dr. WILFREDO POMA ROJAS**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada: **INFLUENCIA DE DIFERENTES DENSIDADES DE SIEMBRA DE TRÉBOL ROJO (*Trifolium pratense* L.) EN ASOCIACIÓN CON RYE GRASS (*Lolium multiflorum* L.) EN LA FERTILIDAD QUÍMICA DEL SUELO Y LA PRODUCTIVIDAD FORRAJERA EN SONDOR NUEVA ESPERANZA-MATARA-CAJAMARCA.**

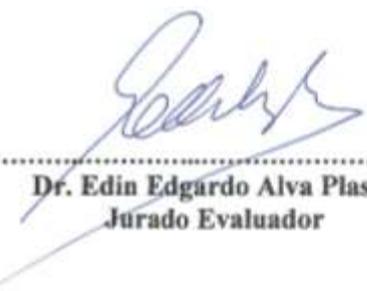
Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación se acordó.....APROBADA.....con la calificación de DECISES (76).....la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bachiller en Zootecnia JOSÉ AMABLE VALLEJOS COTRINA**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, con Mención en Gestión Ambiental.

Siendo las 11:00..... horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Dr. Wilfredo Poma Rojas
Asesor


.....
Dr. Juan Edmundo Chávez rabanal
Jurado Evaluador


.....
Dr. Elfer Germán Miranda Valdivia
Jurado Evaluador


.....
Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

A:

La memoria de mi querido padre (S. V.V.), en el cielo, por el tiempo que estuviste conmigo, compartiendo tus experiencias, conocimientos y consejos, por tu amor, porque seguirás siempre presente en mi vida, y ser la luz y guía en este camino de mi vida mi gratitud eterna y que el Divino hacedor lo preserve hoy y en la eternidad.

A mi madre, Que sin ella no hubiera logrado una meta más en vida profesional. Mamá, gracias por estar a mi lado en esta etapa de mi vida, tu apoyo moral e incondicional en todas y cada una de mis decisiones, por inculcarme los valores que le dan sentido a la vida, por enseñarme a luchar con tenacidad para alcanzar mis metas Mamá, te dedico con mucho cariño mis logros y mi trabajo como muestra de mi eterna gratitud y admiración.

A:

Mis hermanos, por brindarme su apoyo en los momentos más álgidos, por estar siempre a mi lado y formar parte de este viaje de trascendencia que resulta la vida. A quienes los llevo en mi mente y mi corazón, razón para amarlos y quererlos todos los días de la vida.

AGRADECIMIENTOS

...A:

Dios por concederme la vida, salud y sabiduría a lo largo del estudio de la maestría y tener la oportunidad de realizar la presente, por estar con nosotros en cada momento, por guiar nuestros pasos cada día y renovar nuestro conocimiento. Agradezco también a mi alma mater, Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a la Escuela Posgrado; a mis maestros por compartir sus conocimientos, experiencias y enseñanzas que ayudaron a dar paso a continuar en el desarrollo de la vida profesional.

Al Dr. Wilfredo Poma Rojas, por su inconmensurable asesoramiento en la presente investigación, y el Dr. Toribio Nolberto Tejada Campos por su orientación, tiempo y esfuerzo en la realización de este trabajo.

Mi agradecimiento especial además a todos mis amigos involucrados en la presente, sus sugerencias y observaciones en la realización de esta investigación han sido de gran ayuda para mí.

EPÍGRAFE

*El éxito es el resultado
del esfuerzo y perseverancia
en momentos difíciles de la vida*

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS -----	vi
ÍNDICE DE TABLAS -----	xi
RESUMEN-----	xii
ABSTRACT -----	xiii
CAPÍTULO I -----	1
INTRODUCCIÓN -----	1
Objetivos -----	4
Objetivo General-----	4
Objetivos Específicos -----	4
CAPITULO II -----	5
MARCO TEÓRICO -----	5
2.1. Antecedentes-----	5
2.2. Bases teóricas. -----	8
2.2.9. Fertilidad del suelo. -----	8
2.2.2. Propiedades físicas. -----	8
2.2.9. Propiedades químicas del suelo. -----	11
2.2.9. Asociaciones forrajeras. -----	13
2.2.5. Ganadería y Degradación de Pasturas. -----	14
2.2.6. Factores que Causan Degradación de Pasturas. -----	15
2.2.7. Fertilización del Suelo -----	15
2.2.8. Tipo de nutrientes -----	16
2.2.9. Potasio -----	16
2.2.10. Fósforo -----	17
2.2.11. Nitrógeno -----	18

CAPÍTULO III -----	22
MATERIALES Y MÉTODOS -----	22
3.5. Ubicación -----	22
3.5. Accesibilidad -----	23
3.3. Clima-----	23
3.5. Historial de campo experimental -----	24
3.5. Equipos, materiales, herramientas e insumos -----	25
3.5.1. Equipos -----	25
-Balanza electrónica-----	25
-Cámara fotográfica -----	25
-Guincha -----	25
-GPS -----	25
-Equipo de laboratorio para análisis químicos de suelos y pastos -----	25
3.5.2. Materiales-----	25
3.5.3. Herramientas -----	25
3.6.2. Insumos -----	26
3.6. Instalación del experimento -----	26
3.6.2. Labores Culturales -----	28
3.6.2. Evaluaciones realizadas.-----	28
CAPITULO IV -----	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	30
4.1. Características químicas del suelo-----	30
4.1.1. Potencial de Hidrógeno (pH). -----	31
4.1.2. Materia orgánica (MO) -----	33
4.1.3. Fósforo (P) -----	35
4.1.4. Potasio (K) -----	37
4.1.5. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) -----	39

4.1.6.	Calcio (Ca)	40
4.1.7.	Magnesio (Mg)	42
4.1.8.	Potasio (K)	43
4.1.9.	Sodio (Na)	44
4.1.10.	Aluminio (Al+H)	45
4.1.11.	Nitrógeno. (N)	47
4.2.	Productividad de forraje	48
4.2.1.	Productividad de forraje verde	50
4.2.2.	Rendimiento de materia seca (Biomasa)	52
4.2.3.	Tasa de crecimiento del forraje (TC)	53
4.2.4.	Niveles de materia seca (%)	54
CAPITULO V		56
CONCLUSIONES		56
RECOMENDACIONES		57
CAPITULO VI		58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características químicas del suelo inicial y post investigación en las diferentes densidades de siembra de trébol rojo (<i>Trifolium pratense L.</i>) en asociación con Rye grass (<i>Lolium multiflorum L.</i>).....	30
Tabla 2. Productividad de forraje verde, materia seca y tasa de crecimiento en diferentes densidades de siembra de trébol rojo (<i>Trifolium pratense l.</i>) en asociación con Rye grass (<i>Lolium multiflorum l.</i>).....	49
Tabla 3. Análisis de varianza para la Materia Seca (%).....	71
Tabla 4. Análisis de varianza para el Forraje Verde.....	71
Tabla 5. Análisis de varianza para la tasa de crecimiento.....	71
Tabla 6. Análisis de varianza para la Biomasa.....	72

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar la influencia de diferentes densidades de siembra de trébol rojo (*Trifolium pratense L.*) en asociación con ryegrass (*Lolium multiflorum L.*) ecotipo cajamarquino en la fertilidad química del suelo y la productividad forrajera en el caserío de Sondor distrito de Matara-Cajamarca,

Las densidades de siembra fueron: 2kg, 4kg, y 6kg de semilla de trébol rojo (*Trifolium pratense L.*) por hectárea, las cuales fueron asociadas con ryegrass (*Lolium multiflorum L.*) "ecotipo cajamarquino" utilizando: 28kg, 26kg y 24kg de semilla por hectárea y el monocultivo de trébol rojo (*Trifolium pratense L.*), ryegrass (*Lolium multiflorum L.*) ecotipo cajamarquino utilizando 25kg y 30kg por hectárea respectivamente para cada tratamiento.

La respuesta en la fertilidad química del suelo y la productividad forrajera, al final del experimento fueron diferentes al análisis inicial para la densidad de siembra de 4kg de semilla de trébol rojo asociada a 26kg de semilla de ryegrass. Además, los niveles de fósforo en el suelo disminuyeron cuando la proporción de trébol fue mayor (6kg) o cuando se instaló como monocultivo. Sin embargo, el potasio aumentó en todos los tratamientos. Los mejores promedios de rendimiento productivo (biomasa y tasa de crecimiento), alcanzaron para el tratamiento que utilizó 6kg de trébol rojo + 24kg de ryegrass, 4kg de trébol rojo + 26 kg de ryegrass y cuando se utilizaron 2 kg de trébol + 28kg de ryegrass con 13705,83, 12488,27 y 12577,14 kg MS/ha por día, y 37,56, 34,21 y 34,46 kg MS/ha por día respectivamente. No se evidenciaron diferencias significativas para el rendimiento de forraje verde, pero el tratamiento que utilizó 25kg de semilla de trébol mostró valores de materia seca de 20,73%.

Palabras clave: Trébol rojo, ryegrass, productividad forrajera, fertilidad química del suelo.

ABSTRACT

The objective of the present study was to determine the influence of different sowing densities of red clover (*Trifolium pratense* L.) in association with ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) Cajamarcan ecotype on soil chemical fertility and forage productivity in the Sondor village. Matara-Cajamarca district,

The sowing densities were: 2kg, 4kg, and 6kg of red clover (*Trifolium pratense* L.) seed per hectare, which were associated with ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) "Cajamarca ecotype" using: 28kg, 26kg and 24kg of seed per hectare and the uniculture of red clover (*Trifolium pratense* L.), ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) Cajamarquino ecotype using 25kg and 30kg per hectare respectively for each treatment. The response in soil chemical fertility and forage productivity at the end of the experiment were different from the initial analysis for the sowing density of 4kg of red clover seed associated with 26kg of ryegrass seed. Furthermore, phosphorus levels in the soil decreased when the proportion of clover was higher (6kg) or when it was installed as a monoculture. However, potassium increased in all treatments. The best averages of productive performance (biomass and growth rate) were achieved for the treatment that used 6kg of red clover + 24kg of ryegrass, 4kg of red clover + 26 kg of ryegrass and when 2 kg of clover + 28 kg of ryegrass with 13705.83, 12488.27 and 12577.14 kg DM/ha per day, and 37.56, 34.21 and 34.46 kg DM/ha per day respectively. No significant differences were evident for green forage yield, but the treatment that used 25kg of clover seed showed dry matter values of 20.73%.

Keywords: Red clover, ryegrass, forage productivity, soil chemical fertility.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Cajamarca se caracteriza por ser una región dedicada a la actividad agrícola y ganadera por excelencia, debido a la diversidad existente; estas actividades se desarrollan en diferentes pisos altitudinales bajo un sistema de producción de tipo extensivo y con base a un manejo tradicional. Es así bajo estas condiciones se encuentran suelos degradados de condiciones nutricionales como pobres y muy pobres; como consecuencia la producción y calidad de los forrajes disponibles son deficientes, tanto en su rendimiento y valor nutricional.

Se conoce que la base de la alimentación del ganado vacuno en esta zona geográfica está constituida de pastos naturales y cultivados tanto de gramíneas y leguminosas; entre ellas la asociación de Rye Grass (*Lolium multiflorum L.*) ecotipo cajamarquino con Trébol blanco (*Trifolium repens*), observándose el predominio de las gramíneas; así mismo, se visualiza la pérdida de la densidad de las leguminosas, como una consecuencia del manejo inadecuado de los potreros, el sobrepastoreo y la carga animal inadecuada, las que ejercen presión sobre la pastura y el suelo; sin tener en cuenta la topografía del lugar y las condiciones climáticas (Florián, 2019).

Vallejos (2009) indica que en el manejo de pastos, el uso de las leguminosas ayudan a la recuperación de las áreas agrícolas, pudiendo favorecer al sistema de crianza de los animales que pastorean en el lugar; así mismo, traen cambios favorables a los suelos, los cuales se manifiestan en sus propiedades físico - químicas, con un desarrollo adecuado de la microbiota, siendo imprescindible para la contribución a la conservación de su bioestructura, enriqueciendo el suelo con nitrógeno y favoreciendo la movilización del fósforo. Conocedores de nuestra realidad agropecuaria, se planteó el presente trabajo de investigación que tiene como objetivo principal, determinar la influencia de diferentes

densidades de siembra de trébol rojo (*Trifolium pratense L.*) en asociación con Rye Grass (*Lolium multiflorum L.*) ecotipo cajamarquino en la fertilidad fisicoquímica del suelo y la producción forrajera en el caserío de Sondor Distrito de Matara.

En el Caserío de Sondor - Nueva Esperanza, distrito de Matara, Región Cajamarca, la explotación de ganado vacuno se realiza bajo un sistema de tipo extensivo de manera tradicional, donde los agricultores han optado por el uso de grandes cantidades de fertilizantes químicos para mejorar la producción forrajera en cierto nivel; esto es debido a que los suelos se caracterizan por poseer bajos niveles de nutrientes, tales como de materia orgánica (MO), potasio (K), Nitrógeno total (N₂), así como un alto contenido de arena; como consecuencia, se ha visto afectada la disponibilidad de la cantidad y calidad nutricional de los forrajes por unidad de superficie; así mismo, hay una mala práctica de pastoreo, pues, se utilizan más de la capacidad de carga de unidades animales, y no se consideran las condiciones de topografía, lo que genera un sobrepastoreo con largos períodos de ocupación y pocos días de descanso. Eso ha conllevado a un sobre pastoreo y una mayor presión sobre la pastura y el suelo; el cual conlleva a la degradación de pasturas en asociación con la erosión del suelo.

Los problemas principales que presentan los suelos, es la degradación física y compactación. Así mismo la degradación de la estructura del suelo es un problema generado por el mal manejo de pasturas en los potreros, esto genera un colapso o disminución de los espacios porosos, que es la causa más común de restricción física, afectando el sistema radicular de las plantas, limitando el crecimiento y desarrollo de las raíces, como agravante, la degradación de la estructura del suelo (Medina, 2016).

Por otra parte, la introducción de nuevas especies forrajeras, el mal manejo de las pasturas, la compactación y erosión del suelo, el establecimiento en zonas con suelos frágiles con baja capacidad de uso mayor, asociado a los factores climáticos extremos, como las

precipitaciones, también influyen sobre la producción de forraje, pues en épocas de lluvia hay una mayor producción que en épocas de estiaje (Benavides, 2013).

Así mismo, se debe mencionar que las extensas áreas de tierra en la zona, están cubiertas por pasturas raigrás anual (*Lolium multiflorum L.*) “ecotipo cajamarquino” - trébol blanco (*Trifolium repens L.*) variedad Ladino, y constituyen la base principal de la alimentación del ganado vacuno productor de leche (Vallejos *et al.*, 2020) en las últimas décadas esta asociación gramínea-leguminosa ha perdido sus características agronómicas y nutricionales, debido al manejo inadecuado del suelo y la pastura (Vallejos, 2009), afectándose el rendimiento y por ende el nivel de ingresos económicos de la población rural dedicada a la actividad lechera.

Las leguminosas forrajeras anuales son además importantes desde el punto de vista ambiental ya que permiten iniciar procesos de rehabilitación de los suelos degradados mediante las contribuciones de materia orgánica y nitrógeno procedentes de la fijación simbiótica (Ovalle *et al.*, 2002), además, su sistema radicular (raíces) es muy profundo, el cual ayuda a sostener las plantas y crea espacios en el suelo para el aire y agua (Reynoso, 2016); por ende, se debe de tener en cuenta que las mejores pasturas son aquellas en que las leguminosas están asociadas con las gramíneas; en pasturas de clima templado el trébol blanco y el trébol rojo son las leguminosas más usadas en pasturas pastoreadas (Durand, 2014).

Siendo conocedores de dicha problemática se planteó el presente trabajo de investigación que permita brindar conocimientos para establecer algunas posibles soluciones en el mejoramiento de la fertilidad química del suelo y el rendimiento productivo de las pasturas a través de actividades orientadas al manejo sostenible del recurso suelo, las mismas que permitan alcanzar sistemas de producción de bajo costo y amigables con el medio ambiente.

Para ello se buscó la respuesta a la pregunta ¿Cuál es la influencia de diferentes densidades de siembra de trébol rojo (*Trifolium pratense L.*) en asociación con Rye grass (*Lolium multiflorum L.*) ecotipo cajamarquino en la fertilidad química del suelo y la productividad forrajera en el caserío de Sondor Nueva Esperanza distrito de Matara - Cajamarca?

Objetivos

Objetivo General

Determinar la influencia de diferentes densidades de siembra de trébol rojo (*Trifolium pratense L.*) en asociación con Rye grass (*Lolium multiflorum L.*) ecotipo cajamarquino en la fertilidad química del suelo y la productividad forrajera en el caserío de Sondor distrito de Matara – Cajamarca

Objetivos Específicos

- Evaluar la influencia de diferentes densidades de siembra de trébol rojo (*Trifolium pratense L.*) en asociación con Rye Grass (*Lolium multiflorum L.*) ecotipo cajamarquino en la fertilidad química del suelo.
- Determinar la influencia de diferentes densidades de siembra de trébol rojo (*Trifolium pratense L.*) en asociación con Rye Grass (*Lolium multiflorum L.*) ecotipo cajamarquino en la productividad forrajera.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Se han encontrado algunos antecedentes sobre el rendimiento productivo de las pasturas en asociaciones y sus efectos sobre las características químicas del suelo.

Oliva et al. (2018), estudiaron el rendimiento de forraje verde y materia seca de la asociación de *Lolium multiflorum* y *Trifolium repens*, en la que realizaron un aporte al suelo de 200 a 250 kg N por ha al año mediante fertilización, y encontraron rendimientos de forraje verde desde 0.548 hasta 0.769 kg/m² para el *Lolium multiflorum* y de 0.109 hasta 0.154 kg/m² para el *Trifolium repens*. Por otro lado, Guy et al. (2018) reportan que la incorporación de *Trifolium repens* L. en un cultivo de *Lolium perenne* L incrementa la producción de materia seca (biomasa) en +1468 kg/ha, así como una mejora del valor nutritivo y una mayor utilización en el pastoreo. Además, que una pradera de *Lolium perenne* L con la inclusión de *Trifolium* permite la reducción del uso de Nitrógeno en la fertilización de 250 kg/ha/año a 150 kg/ha/año, considerándose un biorremediador y facilitador del ciclo para la fijación de nitrógeno aérea al suelo (Egan et al., 2018).

Fontana (2014) indica que el potencial productivo de suelos de zonas semiáridas ha experimentado una disminución debido a la creciente agriculturización, esto implica la ausencia de rotaciones de cultivos, insuficiente reposición de nutrientes y caída de la materia orgánica (MO) al suelo. La incorporación de cultivos fijadores de elementos nutrientes (N₂) puede ser una herramienta para atenuar estos procesos de degradación de los suelos.

La incorporación de leguminosas puede mejorar las condiciones de una pastura, es así como Florián et al. (2004), incorporaron alfalfa a la asociación de *Lolium*

multiflorum y *Trifolium repens* en la campiña de Cajamarca, usando labranza mínima, así lograron incrementar en un 22% la presencia de leguminosas de leguminosas, 72% de gramíneas y solamente el 6% de malezas. Así mismo, lograron una producción de 17 500 kg/ha/corte de forraje verde y 3 863 kg/ha/corte del Materia Seca, mejorando también la composición química deseable, logrando aumenta el porcentaje de la proteína de 11.2% hasta 17.6%, calcio de 0.53% hasta 0.60%, fósforo de 0.52% hasta 0.57% y el magnesio de 0.58% hasta 0.61%.

Vallejos *et al.* (2020) mencionan que la actividad lechera, basada en pasturas, representa la fuente de ingreso primordial de la población rural de los andes del norte del Perú. Además, que el *Lolium perenne L.* en una altitud de 2300 a 2800 msnm proporciona un rendimiento promedio de 7 662 kg de materia seca (MS) ha⁻¹año⁻¹ y con una tasa de crecimiento 21,0 kg MS ha⁻¹día⁻¹, en cambio el *Lolium multiflorum L.* puede llegar a una producción promedio de 11 618 kg MS ha⁻¹año⁻¹ y una tasa de crecimiento de 31,8 kg MS ha⁻¹día⁻¹.

Ogura et al., (2016) demostraron que la biomasa vegetal derivada de pastos y / o maderas es una enmienda que mejora el suelo ya que genera retención de agua, estabilidad estructural y el crecimiento de las plantas; así mismo, Choudhary et al., (2018) en estudio realizado demostraron que la retención de residuos de plantas mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Por ello, los abonos verdes incluidos en una rotación pueden lograr una mejora en la sustentabilidad del recurso suelo. Por otro lado, las mezclas de cultivos de leguminosas con otros cultivos no leguminosas pueden mejorar la productividad del suelo; por ende, aumentar la productividad; así mismo disminuyen la lixiviación de N al agua subterránea y aumentan el secuestro de COS; además, las especies de raíces profundas como las

leguminosas podrían ayudar con la resiliencia de los cultivos de gramíneas (Abdalla et al., 2019).

Ñaupari y Flores, (2000) mencionan que la asociación o mezcla de dos o más especies de pastos se hace con la finalidad de mejorar la calidad y cantidad de forraje, obteniendo mayor volumen, más nutrientes, mejor palatabilidad y digestibilidad basándose en el uso apropiado de los nutrientes del suelo y su disponibilidad para los animales. Entre tanto, Vallejos et al., (2021) en su investigación realizada sostienen que todos los genotipos de *Trifolium pratense* y *Trifolium repens* deben considerarse como una buena alternativa para asociarse con pastos en las tierras altas del norte del Perú.

Llanos (2004), realizó el estudio de “corrección de dos suelos ácidos y producción de avena (*avena sativa*), vicia (*vicia sativa*) y rye grass (*Lolium multiflorum L.*) con roca sedimentaria en el distrito de la encañada”, el mismo que indica que mostro algunos cambios para el pH, concentración de Aluminio, materia orgánica, fosforo disponible; donde, el pH varió de 4.75 hasta 6.6 para una localidad I y para la otra de 4.48 hasta 6.95; por el contrario el aluminio disminuyo de 3.4 hasta 0.4, y de 4.7 a 0.4 de cada localidad respectivamente. La materia orgánica encontrada fue de un rango de 4.59 a 12.7% y el nitrógeno total va desde 0.29 hasta 0.61%. Además, el fosforo que reporta el análisis de suelo va desde 61 a 119 ppm y el potasio va desde 117 a 258 ppm.

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Fertilidad del suelo.

Es la capacidad natural del suelo que permite aportar los nutrientes apropiados, en las cantidades necesarias y en el equilibrio adecuado para favorecer el crecimiento vegetal. Debido a la complejidad del suelo, es importante diferenciar:

- a) La fertilidad física, se refiere a la que capacidad para retener y facilitar el paso del agua y el aire, elementos esenciales para el crecimiento vegetal. Estas cualidades están determinadas por características como la textura, la estructura, la porosidad y la permeabilidad del suelo.
- b) Fertilidad química, viene definida por propiedades fisicoquímicas y químicas, las cuales influyen en su capacidad para almacenar y suministrar nutrientes aprovechables por las plantas. Dentro de los cuales tiene como indicadores al: pH, la capacidad de intercambio catiónico y el porcentaje de saturación de bases.
- c) Fertilidad biológica, hace referencia a la actividad de los organismos del suelo (microorganismo, microfauna, raíces) que determinan, sobre todo, el estado de la materia orgánica del suelo que influye decisivamente en la fertilidad física y química (Pérez, 2019).

2.2.2. Propiedades físicas.

Las propiedades físicas del suelo actúan como indicadores de su calidad, ya que muestran cómo el suelo absorbe, retiene y distribuye el agua hacia las plantas. Además, estas propiedades revelan posibles obstáculos para el crecimiento de las raíces, la salida de las plántulas, la infiltración y el flujo de agua a lo largo del perfil del suelo; estas propiedades son determinadas por la proporción de los componentes del suelo, materiales sólidos, líquidos (agua) y gaseosos (aire), entre ellas; textura, estructura, consistencia, densidad,

porosidad, permeabilidad, temperatura y color. A su vez la importancia radica en que determinan el movimiento de los gases y el agua, la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo radical y la dinámica microbiana (Hosokay, 2015).

a. Textura del suelo.

La textura se refiere a la proporción de los componentes inorgánicos del suelo, arena, limo y arcilla. Esta propiedad influye en la fertilidad y la capacidad de retención de agua, aireación y contenido de materia orgánica (Espinoza et al., 2018). Un suelo con mayor cantidad de arenas es un suelo de textura o suelo gruesos, mientras que uno con mayor cantidad de arcillas es un suelo de textura fina o un suelo fino. El suelo ideal es aquel que tiene una textura franca; esto es un contenido alrededor de 40% de arenas, 40% de limos y 20% de arcillas (Díaz y Medina, 2015).

b. Estructura del suelo

La estructura del suelo se define como la capacidad que tiene la masa de suelo de disgregarse por sí misma en separaciones de distintas formas y tamaños, la cual se puede evaluar mediante la estabilidad de los agregados (Bernal y Hernández, 2017).

Además, la forma en que las arenas, limos y arcillas se asocian para formar agregados o terrones; esta propiedad afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión (Díaz y Medina, 2015).

c. Color

El color de los suelos guarda una estrecha relación con los componentes sólidos (materia orgánica, textura, composición mineralógica, morfología), es una característica de gran importancia, esta variable permite conocer

algunos aspectos importantes de la composición del suelo; el cual se orienta a la toma de decisiones sobre el manejo del cultivo (Bautista, 2020). Los suelos oscuros se calientan más que los suelos claros y normalmente están asociados con mayor contenido de materia orgánica y menor retención de humedad; además, el hierro, en sus diferentes estados de oxidación, es el principal elemento que determina el color de los suelos (Díaz y Medina, 2015).

d. Porosidad del suelo

La porosidad del suelo hace referencia al porcentaje de espacio libre entre las partículas sólidas, el cual se puede determinar mediante la densidad aparente y la densidad real. Este espacio se divide en macroporos (mayores de 250 μm) y microporos (menores de 250 μm). Los macroporos facilitan el drenaje y la circulación del aire, permitiendo también el crecimiento de las raíces, ya que no retienen agua frente a la gravedad. En contraste, los microporos almacenan agua, parte de la cual es accesible para las plantas (Díaz y Medina, 2015).

e. Temperatura

Según Díaz y Medina (2015), la temperatura del suelo desempeña un papel fundamental en el desarrollo de las plantas y en los procesos químicos y biológicos que ocurren en su interior, además de influir en el movimiento del aire dentro del suelo. Esta temperatura está determinada principalmente por la cantidad de calor que el suelo absorbe y las pérdidas que sufre debido a la radiación y la evapotranspiración de la humedad. Factores como el clima, el color del suelo, la altitud, la orientación del terreno y la cantidad de vegetación presente afectan directamente este proceso. Asimismo, la

cobertura del suelo (viva, muerta o artificial) y el contenido de agua contribuyen a regular su temperatura.

2.2.2. Propiedades químicas del suelo.

Son características que se identifican o cuantifican mediante las transformaciones químicas que tienen lugar en el suelo. Estas propiedades describen el comportamiento de los elementos, sustancias y componentes que integran el suelo entre ellas están el pH, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), el contenido de materia orgánica (MO) y de elementos (nutritivos o tóxicos) (Díaz y Medina, 2015).

a. Materia Orgánica del Suelo.

La materia orgánica (MO) del suelo proviene de los restos de plantas y animales, ya sea de los desechos que generan durante su vida o de sus tejidos tras morir. Estos residuos se descomponen en distintos grados, dando lugar a dos tipos de fracciones: la lábil y la recalcitrante. La fracción lábil se descompone rápidamente gracias a la acción de los microorganismos, por lo que permanece poco tiempo en el suelo. En cambio, la fracción recalcitrante, conocida como humus, es más estable debido a su composición de compuestos químicos complejos como los ácidos húmicos, fúlvicos y las huminas, lo que le permite mantenerse en el suelo por períodos más largos. El humus desempeña funciones clave, como regular el pH, reducir la pérdida de nutrientes por lixiviación y mejorar la capacidad del suelo para retener agua, entre otros beneficios (Díaz y Medina, 2015).

b. pH del Suelo

El pH del suelo es una de las propiedades fisicoquímicas más relevantes, ya que influye directamente en la disponibilidad de nutrientes para las

plantas. Se mide en una escala de 1 a 14, donde un valor de 7 representa un pH neutro, indicando un equilibrio entre iones de hidrógeno (H^+) e hidroxilo (OH^-). Si el pH es menor a 7, el suelo se considera ácido, y cuanto más desciende, mayor es su acidez. Por el contrario, si el pH supera el 7, el suelo se clasifica como alcalino o básico, aumentando su alcalinidad a medida que el pH se eleva. Aunque cada planta tiene preferencias específicas respecto al pH, en general, se considera que un rango entre 6.0 y 7.0 ofrece mejores condiciones para la absorción de nutrientes (Toledo, 2016).

Además de influir en la acidez o alcalinidad, el pH del suelo regula la capacidad de las partículas del suelo para absorber iones de hidrógeno (H^+), afectando la solubilidad, movilidad y disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas (Díaz y Medina, 2015).

c. Conductividad eléctrica (C.E)

Según Díaz y Medina (2015), la conductividad eléctrica (CE) del suelo representa su capacidad para transmitir corriente eléctrica a través de su solución acuosa, dependiendo directamente de la cantidad de sales disueltas o ionizadas presentes. Su unidad de medida suele expresarse en miliSiemens por metro (mS/m), ó en deciSiemens por metro (dS/m). Además, destacan que la conductividad eléctrica es un indicador esencial para evaluar la salinidad del suelo.

d. Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) se refiere a la cantidad de cargas negativas presentes en la superficie de los minerales del suelo, como arcillas e hidróxidos, así como en los componentes orgánicos, como la materia orgánica. Esta capacidad determina la cantidad de cationes (Ca^{2+} , K^+ ,

Na⁺, entre otros) que el suelo puede retener, influyendo directamente en la disponibilidad y el potencial de nutrientes para las plantas. La CIC se mide en centimoles de carga por kilogramo de suelo (cmol/kg) o en miliequivalentes de carga por 100 gramos de suelo (meq/100g). Un rango adecuado de CIC se sitúa entre 15 y 25 cmol/kg o meq/100g. Sin embargo, suelos arenosos o con bajo contenido de materia orgánica suelen presentar valores reducidos de CIC (Díaz y Medina, 2015).

2.2.3. Asociaciones forrajeras.

La asociación de especies forrajeras combina plantas con diferentes características que pueden complementarse, logrando una producción igual o superior a la de cultivos puros. La elección de las especies debe considerar el suelo, el clima y su capacidad de convivir en mezcla, mientras que su uso dependerá de su capacidad de establecerse y producir simultáneamente (Durand, 2014).

a. Trébol Rojo (*Trifolium pratense* L.).

El trébol rojo es una especie anual, de alta producción, puede usarse para corte o pastoreo en praderas asociadas. Tiene un alto valor nutritivo y produce predominantemente en épocas de lluvia. Hay variedades que están adaptadas a la defoliación (pastoreo) frecuente las que se pueden incluir dentro de una mezcla permanente para generar una alta producción en lluvias, pero deben pastorearse con bajas cargas para permitir su persistencia. Esta especie se caracteriza por su rápido y fácil establecimiento y por el gran vigor de sus plántulas; presenta tallos vigorosos con rápida y buena recuperación al corte (Príncipe, 2008).

b. Ryegrass Italiano (Ecotipo Cajamarquino).

El ryegrass ecotipo cajamarquino, aunque es una gramínea bianual, actúa como perenne gracias a un periodo de descanso promedio de 50 días que permite la maduración de semillas. Estas caen al suelo y, durante el pastoreo, se incorporan al terreno, facilitando la "resiembra natural" y el rápido establecimiento de nuevas plantas. Además, se asocia eficazmente con el trébol blanco (*Trifolium repens*). Este ecotipo ha desarrollado, a lo largo de 60 años desde su introducción junto con el ryegrass inglés (*Lolium perenne*), el ryegrass italiano (*Lolium multiflorum*) y el trébol blanco, una notable tolerancia a la sequía, heladas, plagas, enfermedades y al pisoteo del ganado (Florián, 2013).

2.2.5. Ganadería y Degradación de Pasturas.

Durante los últimos años se ha incrementado el interés sobre el efecto de la ganadería en la degradación de la tierra y pérdida de biodiversidad considerando que con el tiempo, estos daños podrían ser irreversibles (Benavides y Fernanda, 2013); así mismo, dentro de las alternativas finales que toman algunos agricultores cuando sus suelos se encuentran desgastados y/o explotados es la ganadería, actividad que actualmente presenta un creciente interés por la alta demanda de proteína animal y subproductos en el mercado y, sumado al acelerado incremento de la población mundial, cada vez será más relevante la explotación de esta (Steinfeld, 2006 citado por Benavides y Fernanda, 2013).

En Latinoamérica, las pasturas son el principal uso del suelo en sistemas ganaderos extensivos de monocultivo, pero más del 50% de estas áreas están degradadas, afectando la sostenibilidad y aumentando el riesgo con el

crecimiento del sector ganadero (Sepúlveda et al., 2011). La gestión inadecuada de pastizales provoca la pérdida de cobertura vegetal, exponiendo el suelo y alterando el balance hídrico al favorecer la evaporación sobre la transpiración. La degradación se evalúa considerando factores bióticos, como la reducción de cobertura, diversidad, productividad y calidad del forraje, y factores abióticos, como la pérdida de nutrientes, compactación y erosión del suelo (Babel et al., 2014).

2.2.6. Factores que Causan Degradación de Pasturas.

La degradación de pasturas se manifiesta en la reducción de nutrientes y de materia orgánica del suelo, así como una disminución en la capacidad de transporte y retención de agua en el perfil del suelo, este deterioro puede deberse a factores como: la introducción de especies forrajeras, el pastoreo excesivo, la compactación del suelo, la erosión, establecimiento en zonas vulnerables como suelos con altas pendientes, quema frecuente e incontroladas y el agotamiento de nutrientes en el suelo, las cuales aceleran el proceso de degradación, afectando la productividad y sostenibilidad de los ecosistemas pastoriles (Benavides, 2013).

2.2.7. Fertilización del Suelo

Según Anabel y Ramírez (2015), la fertilización del suelo consiste en la incorporación de materiales externos para reponer los nutrientes que las plantas extraen durante su crecimiento, evitando así el agotamiento del suelo. Este proceso es esencial para mantener la productividad agrícola, ya que busca asegurar que los cultivos dispongan de los elementos necesarios para alcanzar su máximo potencial. Existen dos tipos de fertilizantes, sintéticos y orgánicos, cuya aplicación, generalmente realizada por el ser humano, es una

práctica clave en la agricultura empresarial, permitiendo optimizar el rendimiento de los cultivos y garantizar su sostenibilidad.

2.2.8. Tipo de nutrientes

Se clasifica para los nutrimentos derivados del suelo en tres grupos para el propósito de entrar en tratamiento de sus funciones de las plantas.

- a. Nutrimentos primarios (N, P₂O, K₂O). Se les denomina de esta manera porque el suelo, por lo general, no puede proporcionar estos nutrientes en las cantidades suficientes que las plantas requieren para un desarrollo óptimo (Anabel y Ramírez, 2015).
- b. Nutrimentos secundarios (Ca, Mg, S). Reciben esta denominación porque las plantas los requieren en cantidades óptimas para su adecuado desarrollo. No obstante, su disponibilidad varía según la región, estando presentes en niveles suficientes en algunas zonas y siendo limitados en otras (Anabel y Ramírez, 2015).
- c. Micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn). También se les conoce como huellas de nutrientes, ya que las plantas los necesitan en cantidades mínimas. Aunque en muchos suelos suelen estar disponibles en niveles adecuados, los suelos arenosos y turbosos tienden a ser los más deficientes. A pesar de la baja demanda por parte de las plantas, la falta de algún micronutriente puede afectar significativamente los rendimientos de la cosecha (Anabel y Ramírez, 2015).

2.2.4. Potasio

El potasio (K) es un nutriente esencial para las plantas, requerido en grandes cantidades para su adecuado crecimiento y reproducción. Es considerado el segundo nutriente más importante después del nitrógeno y es conocido como

el "nutriente de calidad" debido a su impacto directo en la forma, tamaño, color y sabor de los cultivos, así como en otras características que determinan la calidad del producto. Las plantas absorben el potasio a través de sus raíces en forma de ion K^+ , aunque comúnmente se expresa como óxido potásico. En las hojas de las plantas superiores, aproximadamente el 30% del potasio se encuentra en los coloides del citoplasma y el 70% en las vacuolas. Este elemento desempeña un papel clave al neutralizar los ácidos orgánicos generados por el metabolismo y mantener estable la concentración de H^+ en los jugos celulares, garantizando así el equilibrio interno de la planta (Anabel y Ramírez, 2015).

La corteza terrestre posee alrededor de un 2,5% de potasio (K), con una mayor concentración en las rocas ígneas en comparación con las sedimentarias. En los suelos, los niveles de potasio suelen variar entre el 0,04% y el 3%, aunque en situaciones particulares, como en suelos alcalinos, pueden alcanzar hasta un 8%. El potasio disuelto en la solución del suelo está disponible directamente para las plantas; sin embargo, bajo ciertas condiciones, puede perderse por percolación, reduciendo su presencia en el suelo. Estas pérdidas pueden fluctuar entre 5 y 250 kg/ha al año, dependiendo del contenido de potasio, la intensidad de las lluvias y la cobertura vegetal (Anabel y Ramírez, 2015).

2.2.10. Fósforo

El fósforo (P) es uno de los 16 nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, desempeñando funciones vitales que no pueden ser reemplazadas por ningún otro elemento. Clasificado como un nutriente primario, es fundamental para que las plantas crezcan y se reproduzcan de

forma óptima. Sin embargo, su deficiencia es común en la agricultura, ya que los cultivos lo requieren en cantidades relativamente altas para alcanzar su máximo potencial productivo (Anabel y Ramírez, 2015).

En los suelos, la concentración de fósforo en los cultivos varía entre el 0,1% y el 0,5%, y su origen proviene exclusivamente de la descomposición de la roca madre durante la meteorización, representando cerca del 0,1% de la corteza terrestre. Su presencia suele ser mayor en suelos jóvenes o vírgenes y en regiones con lluvias abundantes. Sin embargo, gran parte del fósforo en el suelo no está disponible para las plantas debido a su baja solubilidad. Para que pueda ser absorbido, debe encontrarse en formas solubles como PO_4H_2 o PO_4H^{2-} en la solución del suelo (Anabel y Ramírez, 2015).

2.2.11. Nitrógeno

El nitrógeno (N) es un elemento esencial para todos los seres vivos, ya que forma parte de las proteínas, los ácidos nucleicos (ADN y ARN) y diversos compuestos orgánicos clave en el metabolismo vegetal. Es considerado el factor limitante más común para el crecimiento de las plantas, y su deficiencia puede reducir significativamente la producción vegetal, afectando la fuente de nutrientes esenciales para humanos y animales. En las plantas, el nitrógeno representa aproximadamente el 2% de su peso seco, alcanzando concentraciones más altas (entre 5,5% y 6,5%) en tejidos jóvenes. A medida que la planta envejece, la cantidad de celulosa aumenta, disminuye el contenido de nitrógeno y se eleva la relación carbono/nitrógeno (C/N) (Anabel y Ramírez, 2015).

En los suelos, el nitrógeno no proviene de la descomposición de la roca madre, sino que se origina principalmente del nitrógeno atmosférico a través de procesos naturales de fijación. Uno de estos procesos es la oxidación del nitrógeno durante descargas eléctricas, generando óxidos que llegan al suelo con las lluvias en forma de ácido nitroso o nítrico. Otro proceso clave es la fijación biológica, realizada por ciertos microorganismos que incorporan el nitrógeno atmosférico a sus estructuras. Al morir, estos microorganismos y las plantas asociadas liberan nitrógeno al suelo, mayormente en la materia orgánica. Las plantas absorben este nutriente principalmente en forma de sales amónicas y nitratos, las formas más accesibles para su metabolismo (Anabel y Ramírez, 2015).

a. Fijación simbiótica de las leguminosas.

La fijación biológica de nitrógeno es un proceso esencial realizado por ciertos microorganismos capaces de transformar el nitrógeno atmosférico en compuestos aprovechables por las plantas, como el amoníaco. Este proceso ocurre gracias a bacterias que establecen una simbiosis con las raíces de las plantas, formando nódulos donde se lleva a cabo la fijación. Estos nódulos se desarrollan en la rizosfera, una zona rica en interacción entre raíces y diversos microorganismos del suelo, como bacterias, hongos, algas, protozoos y nematodos. La enzima nitrogenasa, presente en estas bacterias, es clave en la ruptura del fuerte enlace del nitrógeno molecular (N_2), aunque este proceso requiere un alto gasto energético (16 moléculas de ATP por cada N_2 reducido). A través de esta simbiosis, la planta obtiene nitrógeno esencial para su crecimiento, mientras que la bacteria recibe malato como fuente de energía y refugio (García, 2011).

Entre las bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno destacan los rizobios, un grupo de bacterias del suelo que se sienten atraídas por los compuestos liberados por las raíces. Estos microorganismos incluyen especies como *Rhizobium*, que nodula leguminosas en climas templados y subtropicales; *Azorhizobium*, que forma nódulos en tallos y raíces; y *Bradyrhizobium*, asociado principalmente a nódulos en soja. También existen otros microorganismos como *Phyllobacterium* y *Agrobacterium*, aunque su capacidad de fijación es incierta. Las leguminosas (Fabáceas) son las plantas simbiontes más conocidas por su papel fundamental en la alimentación humana y animal, aportando cultivos como lentejas, alubias y guisantes, así como forrajes como trébol, arveja y alfalfa (García, 2011).

b. Nódulos Radiculares

Los nódulos radiculares son estructuras formadas en las raíces de ciertas plantas como resultado de una simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno, principalmente del género *Rhizobium*. Este proceso inicia cuando la planta emite señales químicas, como flavonoides, que atraen a las bacterias del suelo. Al entrar en contacto, las bacterias se transforman en bacteroides, activando la enzima nitrogenasa, que permite fijar el nitrógeno atmosférico en una forma asimilable por la planta, beneficiando a ambos organismos (García, 2011).

La formación del nódulo radicular sigue tres fases esenciales. Primero, la planta y la bacteria se reconocen mediante señales químicas. Luego, la bacteria invade la raíz formando un tubo de infección que se extiende hacia la corteza. Finalmente, se establece el simbiosoma, donde la bacteria continúa

fijando nitrógeno, mientras la planta proporciona nutrientes y refugio, asegurando el éxito de esta relación simbiótica (García, 2011).

CAPÍTULO III

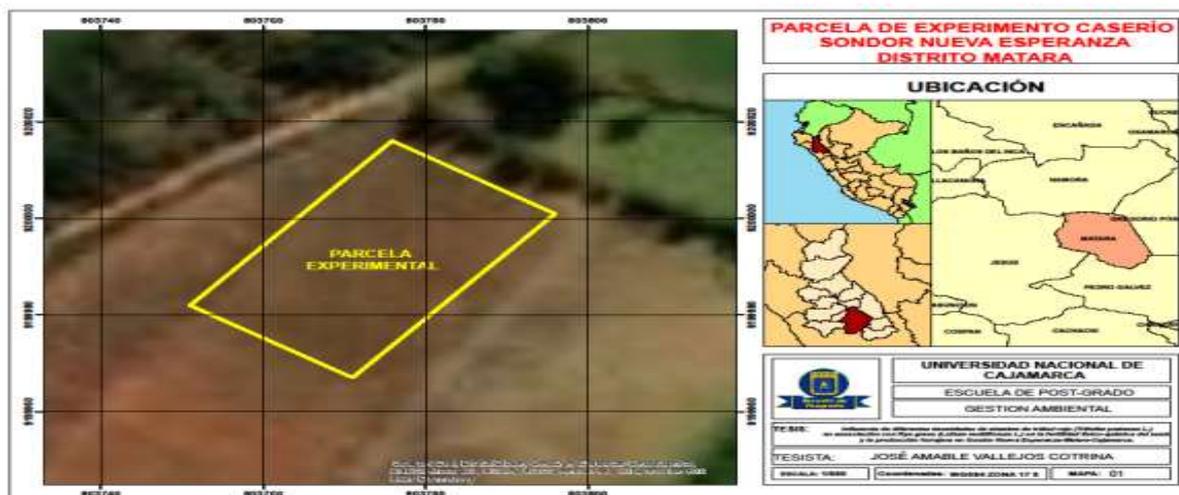
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

El trabajo de investigación se ejecutó en la parcela agrícola del Sr. Esteban Mendo Flores, ubicada en el caserío de Sondor Nueva Esperanza compresión del distrito de Matara, de la provincia y departamento de Cajamarca, en el norte del Perú, el distrito de Matara limita por el norte con el distrito de Namora y al oeste con el distrito de Jesús, ambos de la provincia de Cajamarca; mientras que al sur limita con el distrito de Pedro Gálvez y al este con el distrito de Gregorio Pita de la provincia de San Marcos. La ubicación geográfica es de $7^{\circ} 14' 12.75''$ Latitud Sur, $78^{\circ} 12' 45.43''$, Longitud Oeste y con una altitud de 2820 m.s.n.m. el área de la parcela de investigación fue de 1300m^2 , con las siguientes coordenadas, UTM 08033797 E – 919994 N, (GARMIN- GPSmap 60CSx).

Figura 1

Ubicación geográfica del experimento



3.2. Accesibilidad

El caserío de Sondor Nueva Esperanza compresión del distrito de Matara provincia y departamento de Cajamarca, cuenta con el acceso por la vía asfaltada con la ruta de la ciudad de Cajamarca- Namora- ingresando por la misma vía al distrito de Matara cruzando los dos puentes carrozables del distrito de Namora y luego desviando por la trocha carrozable que se sigue al caserío de Sondor Nueva Esperanza, Matara ubicado a 39km de la ciudad de Cajamarca.

3.3. Clima

De acuerdo con los datos obtenidos de la estación meteorológica ubicada en el caserío de Sondor-Matara (Senamhi-2018), presenta una Altitud de 2908msnm. con un clima templado subhúmedo y una temperatura promedio anual de 13 °C, máxima 19.34 °C, mínima 7.28°C, humedad relativa de 74.75 % y una precipitación pluvial d 570-11.3m.m, con presencias de lluvias: diciembre a marzo y heladas: en noviembre, luego desde mayo hasta agosto. La estación “SONDOR”- MATARA” se encuentra a una distancia en línea recta aproximada 04.10 km de la UT- Caserío Sondor Nueva Esperanza; como se muestran en la Figura 2.

Figura 2

Ubicación de las estaciones meteorológicas. Fuente: Google Earth-2019



3.3. Historial de campo experimental

La localidad del área utilizado para la conducción del experimento no conto con ningún cultivo encontrándose cubierto de pasto natural kikuyo, chocho silvestre, etc. (figura 3).

Figura 3

Vista panorámica de la parcela previa al estudio



3.4. Equipos, materiales, herramientas e insumos

3.4.1. Equipos

- Balanza electrónica
- Cámara fotográfica
- Guincha
- GPS
- Equipo de laboratorio para análisis químicos de suelos y pastos

3.4.2. Materiales

- Bolsas
- Sacos de nailon
- Plásticos
- Tijera
- Balde de plástico
- Libreta de campo
- Cinta Masking
- Lapiceros
- Plumón indeleble
- Rafia
- Letreros
- Estacas de madera

3.4.3. Herramientas

- Palana
- Sapa pico
- Arado
- Machete
- Metro cuadrado

-Hoces

3.4.4. Insumos

-Semillas

3.5. Instalación del experimento

A. Preparación del terreno

Esta actividad se realizó a los 45 días antes de la siembra, para ello se utilizó la forma mecánica y manual con el arado y yunta tanto para la aradura y cruza la cual facilito el mullido y la nivelación del suelo, quedando en óptimas condiciones para la demarcación del campo experimental.

B. Obtención de muestras para análisis de suelo

Después de la preparación del terreno se procedió a la toma de muestra en forma de zig- zag de toda el área experimental haciendo un total de 10 kg de cuál de ello se mezcló y se dividió en cuatro partes iguales hasta obtener un 1kg de peso, muestra que fue llevado al laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina, para los análisis de suelo caracterización + N total.

C. Material experimental.

El material experimental que se empleó en el presente trabajo de investigación fue de semillas de pastos forrajeros como:

-Trébol rojo (*Trifolium pratense*), con 90% de pureza, procedente del laboratorio HORTUS- Cajamarca.

-Rye grass (*Lolium multifloru, L.*) ecotipo cajamarquino *procedente de* Bivet-Agroveterinaria Lurdis- Cajamarca, con 90% de poder germinativo, 90% de pureza y 150 días de periodo vegetativo.

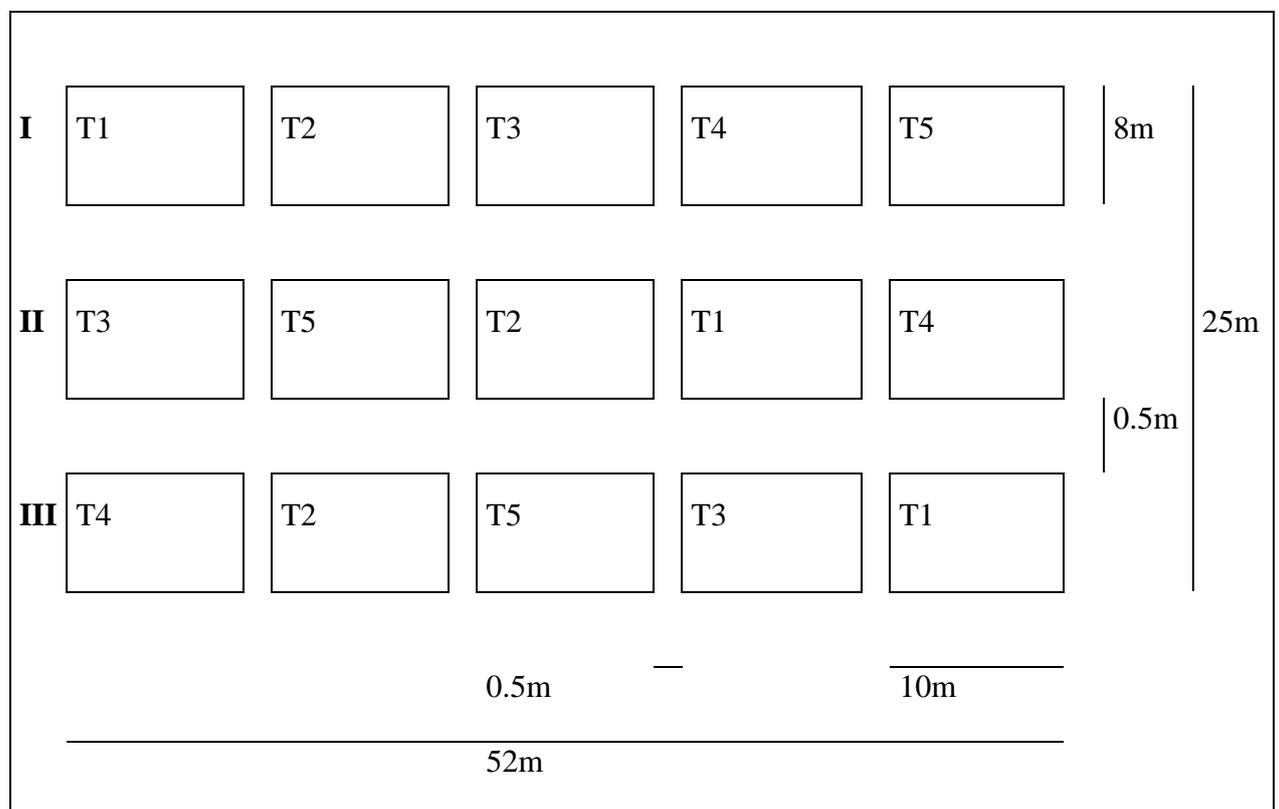
D. Delimitación del área experimental

Una vez preparado el suelo y limpiado de malezas, se procedió a marcar y medir los bloques y parcelas experimentales según los tratamientos en estudio, para ello se utilizó huincha metálica, estacas y cordel.

En la Figura 4 se muestra la representación gráfica de la distribución de parcelas considerando los tratamientos de la asociación trébol rojo más ryegrass (*Lolium multiflorum L.*) ecotipo cajamarquino.

Figura 4

Campo experimental y distribución de los tratamientos



E. Siembra

Se realizó en forma manual al voleo, por separado cada semilla, según la distribución de los tratamientos; primero se aplicó el ryegrass (*Lolium multiflorum L.*), luego el trébol rojo (*Trifolium pratense*), en la cantidad establecida para cada tratamiento respectivamente, en

donde con la ayuda de una rama de árbol se tapó en forma superficial, actividad que se realizó el día 29 de julio del 2018

➤ **Tratamientos diseño experimental**

- T1 = Asociación de 2kg de semilla de trébol rojo (*Trifolium pratense*), 28kg de semilla ryegrass (*Lolium multiflorum L.*) ecotipo cajamarquino/ hectárea.
- T2 = Asociación de 4kg de semilla de trébol rojo (*Trifolium pratense*), 26kg de semilla ryegrass (*Lolium multiflorum L.*) ecotipo cajamarquino/ hectárea.
- T3 = Asociación de 6kg de semilla de trébol rojo (*Trifolium pratense*), 24kg de semilla ryegrass (*Lolium multiflorum L.*) ecotipo cajamarquino/ hectárea.
- T4= Unicultivo de trébol rojo (*Trifolium pratense*), 25 kg de semilla/hectárea
- T5= Unicultivo de rye grass (*Lolium multiflorum L.*), ecotipo cajamarquino: 30 kg de semilla / hectárea).

3.5.1. Labores Culturales

En cuanto al riego, esta actividad se realizó a los 5 días después de la siembra a todas las parcelas, a través de sistema de riego por aspersion e inundación luego cada 11 días, turno de programación de riego del fundo donde se realizó la presente investigación; además la eliminación de se realizaron de forma manual utilizando herramientas apropiadas para esta actividad.

3.5.2. Evaluaciones realizadas.

a. Fertilidad del suelo

Para la determinación del análisis físico-químico del suelo se consideró 01 muestra de suelo de toda el área en estudio al inicio y 01 muestra de suelo por tratamiento haciendo un total 05 muestras de suelo al finalizar el experimento, las mismas que fueron colocadas en bolsas de plástico con su respectivo código de identificación y luego fueron trasladadas al laboratorio de análisis de suelos y plantas de la Facultad de Agronomía de la UNALM, en

donde se determinó mediante análisis de suelo la caracterización + N total. (Materia orgánica, N, P, K, pH, textura del suelo, % arcilla, % arena y % de limo).

b. Producción de forraje verde y biomasa

Se realizaron tres cortes del forraje verde por tratamiento durante todo el experimento, los cuales se realizaron en los (126, 189 y 249) días después de la siembra, para ello se realizó el corte manual utilizando (hoz) y el metro el cuadrado, cuando el ryegrass (*Lolium multiflorum L.*) se encontraba en estado fenológico de grano lechoso y trébol rojo (*Trifolium pratense*) cuando se encontraba en estado de inicio floración, de las mismas que se tomó tres muestras por repetición de cada tratamiento, seguidamente se pesó todo el forraje cortado del metro cuadrado, en una balanza electrónica, a fin de calcular el rendimiento de F.V. Kg por m², rendimiento de F.V Kg por hectárea x año el rendimiento de materia seca (biomasa) Kg por hectárea x año y la tasa de crecimiento (Kg MS/ha/día).

c. Determinación de materia seca

Las muestras de forraje verde obtenidas en campo de los diferentes tratamientos fueron identificadas con su código y llevadas al laboratorio de servicios de suelos, aguas, abonos y pastos del Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA- Baños del Inca- Cajamarca, para la determinación de humedad más materia seca por diferencias de pesos.

3.6.3 Análisis de laboratorio

Para los análisis de suelo y forraje verde se tomaron muestras representativas de campo experimental. Para ello se realizó el análisis fisicoquímico del suelo, en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina, en donde se determinó mediante análisis de suelo la caracterización + N total y para las muestras de forraje verde se realizó en el laboratorio de servicios de suelos, aguas, abonos y pastos del Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA- Baños del Inca- Cajamarca, en donde se determinó humedad más materia seca.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características químicas del suelo

Tabla 1

*Características químicas del suelo inicial y post investigación en las diferentes densidades de siembra de trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) en asociación con rye grass (*Lolium multiflorum* L.)*

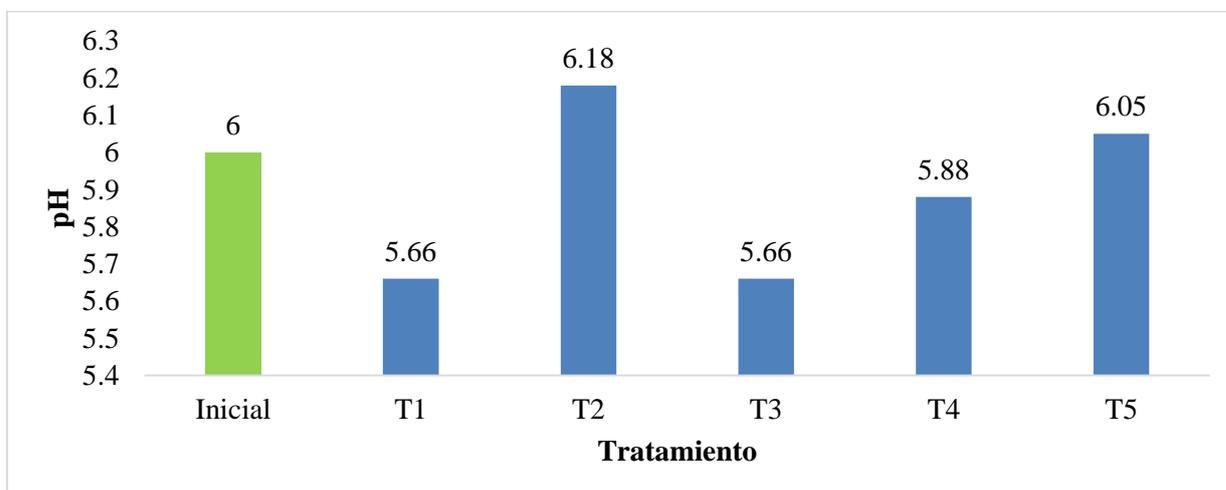
Variable	INICIAL	POST TRATAMIENTO				
		T1	T2	T3	T4	T5
pH ¹ (1:1)	6.00	5.66	6.18	5.66	5.88	6.05
C.E ² (dS/m)	0.11	0.24	0.36	0.13	0.22	0.33
M.O ³ (%)	1.72	1.53	1.42	1.38	1.38	1.30
P ⁴ (ppm)	15.9	15.3	16.1	12.4	11.6	13
K ⁵ (ppm)	85	124	122	105	158	253
CIC ⁶ (ppm)	6.4	6.4	6.72	5.6	6.72	6.4
Ca ⁷ (mEq/100g)	2.64	2.43	3.33	2.72	2.74	3.23
Mg ⁸ (mEq/100g)	0.63	0.5	0.65	0.5	0.57	0.67
K ⁹ (mEq/100g)	0.19	0.35	0.36	0.21	0.61	0.61
Na ¹⁰ (mEq/100g)	0.17	0.32	0.37	0.36	0.34	0.33
Al+H ¹¹ (mEq/100g)	0	0.1	0	0.1	0.05	0
N-Total % ¹²	0.09	0.1	0.1	0.11	0.11	0.09

La presente tabla presenta los resultados de los análisis químicos del suelo inicial y post investigación y los elementos químicos analizados son: Potencial de hidrogeno, ² Conductividad eléctrica, ³ Materia Orgánica, ⁴ Fosforo, ⁵ Potasio, ⁶ Capacidad de Intercambio Catiónico, ⁷ Calcio, ⁸ Magnesio, ⁹ Potasio, ¹⁰ Sodio, ¹¹ Aluminio, ¹² Nitrógeno total, T1 = Asociación de 2kg de semilla de trébol rojo (*Trifolium pratense*), 28kg de semilla ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) ecotipo cajamarquino/ hectárea, T2 = Asociación de 4kg de semilla de trébol rojo (*T. pratense*), 26kg de semilla ryegrass (*L. multiflorum* L.) ecotipo cajamarquino/ hectárea, T3 = Asociación de 6kg de semilla de trébol rojo (*T. pratense*), 24kg de semilla ryegrass (*L. multiflorum* L.) ecotipo cajamarquino/ hectárea, T4= Unicultivo de trébol rojo (*T. pratense*), 25 kg de semilla/hectárea y T5= Unicultivo de ryegrass (*L. multiflorum* L.), ecotipo cajamarquino: 30 kg de semilla / hectárea).

4.1.1. Potencial de Hidrógeno (pH).

Figura 5

Características químicas del suelo, inicial y post investigación del Potencial hidrogenión (pH) por tratamiento.



En la tabla 1 y figura 5, se observa el análisis químico del suelo en los diferentes tratamientos; en el cual los niveles de pH encontrados fluctúan desde 5.66 a 6.18; clasificándose como suelos que van desde moderadamente ácidos a ligeramente ácidos. Así mismo, comparados con el pH (6.00) del suelo antes de la investigación se observa que los tratamientos T1, T3 y T4 disminuyó y en los T2 y T5 un incremento ligeramente. La disminución del pH se debe a que en estos tratamientos contienen concentraciones de Al^{3+} lo que hace que el suelo se acidifique, ocurriendo que una alta proporción de los sitios de intercambio está siendo saturada por Al^{3+} el cual genera problemas de toxicidad, generando la inhibición del crecimiento de las raíces y con ello el crecimiento y desarrollo de las plantas. Por consiguiente, la presente investigación presenta cierta similitud con los resultados de la investigación de (Rahman *et al.*, 2018).

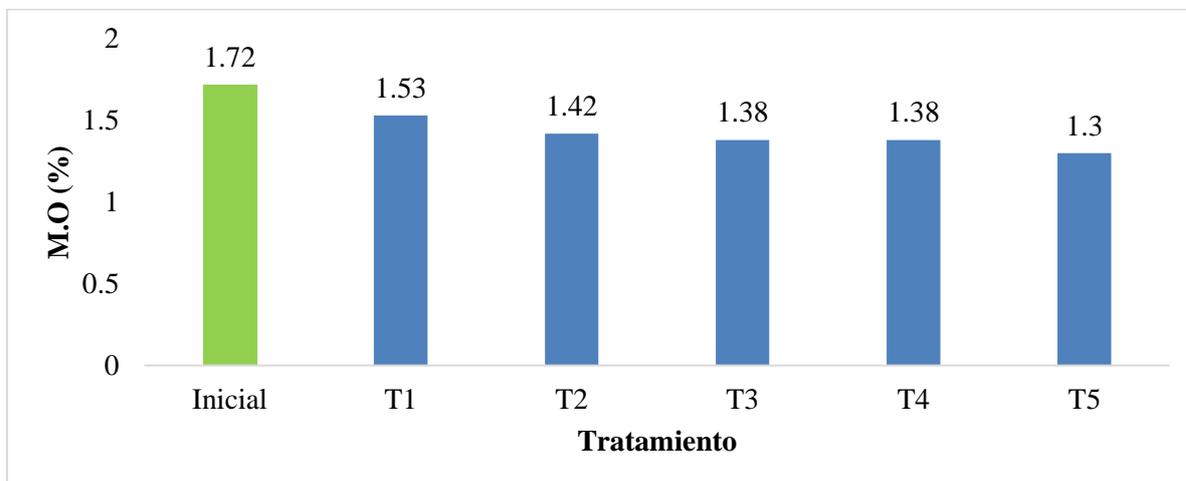
Antes esto, es importante mencionar que las plantas presentan de alguna manera un pH óptimo de crecimiento; en el caso del Rye grass, los estudios indican que este puede variar según la especie y las condiciones propias del suelo de siembra; ante esto, Viera (2018)

menciona que la mayoría de especies de Rye grass prosperan de mejor manera en un pH entre ligeramente ácido a neutro, lo que concuerda con los hallazgos obtenidos en esta investigación, pues se muestra (Figura6) que los tratamientos con pH más cercanos al neutro presentan una densidad mayor de siembra con respecto al ryegrass (Hart & Mellbye, 2000). De igual manera, el trébol rojo tiene un rango de pH de crecimiento muy parecido al del ryegrass; sin embargo, los tratamientos en los que esta leguminosa se encuentra en mayor proporción presentan un pH por debajo de 6, esto se podría deber a las interacciones propias de las plantas, entre otros factores (L. A. Vallejos Fernández et al., 2021). Algunos estudios indican que durante el proceso de fijación de nitrógeno realizada por parte del trébol rojo se emiten algunos ácidos orgánicos, causando una reducción del pH, ello explicaría los resultados encontrados en esta investigación. Es relevante mencionar también que la competencia entre plantas, la actividad microbiana, la exudación de raíces, entre otras razones, pueden influir en el pH del suelo, en ese sentido existe la necesidad de seguir complementando este tipo de estudios con el objetivo de llenar algunos vacíos en el tema.

4.1.2. Materia orgánica (MO)

Figura 6

Características químicas del suelo, inicial y post investigación de la materia orgánica (MO %) por tratamiento.



En tabla 1 y el figura 6, se muestra en cuanto a los niveles de materia orgánica en todos los tratamientos evaluados presentan contenidos que fluctúan desde 1.30% a 1.53%; así mismo, comparados con el análisis de MO (1.72% nivel bajo) antes de la investigación se observa una reducción de los niveles en todos los tratamientos. Esto básicamente se debe a las características del suelo (concentración de arena superior al 75 %)¹, motivo por el cual no se produce la retención de la materia orgánica en la parcela. De esta manera se cumple en parte el argumento teórico de (Schoonover y Crim, 2015); quien expone que el contenido de MO tiene una profunda influencia tanto en los diversos procesos como en la calidad del suelo); dicha MO se mineraliza por los procesos naturales y favorece la disponibilidad de nutrientes para las plantas, por lo cual es necesario la incorporación permanente para que las especies forrajeras puedan expresar su potencial genético, además, ayuda a retener humedad con lo cual permite disponer de suficientes nutrientes los son absorbidos a través de las raíces mediante presión osmótica (Viera, 2018).

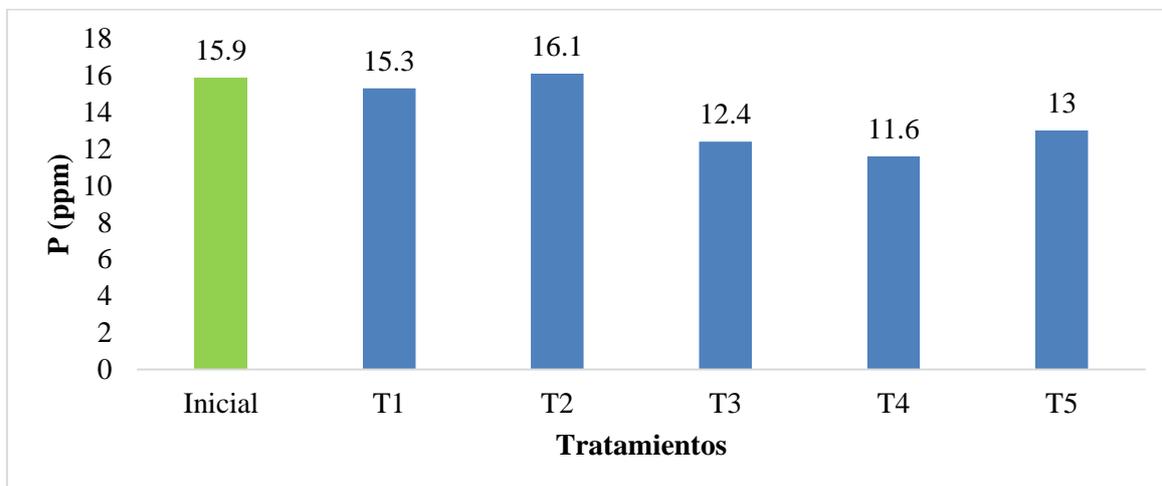
¹ Según el análisis inicial de la composición física del suelo (realizado en el laboratorio de la universidad agraria la Molina, 2018) la clase textura es franco arenoso con un 77 % de composición de arena.

Además, los hallazgos aquí presentados muestran una ligera disminución de la materia orgánica en el suelo, lo cual se debe a factores como la descomposición de residuos vegetales debido a que conforme las plantas van creciendo y desarrollándose, van consumiendo los nutrientes y la materia orgánica del suelo; además, se conoce que los cultivos como el Rye grass y el trébol rojo pueden aumentar la actividad microbiana y con ellos acelerar los procesos de descomposición de la materia orgánica (Julca-Otiniano et al., 2006; L. Vallejos Fernández, 2019). Por otro lado, la disminución de la materia orgánica en los diferentes tratamientos se puede deber también a que las plantas con las que se trabajó esta investigación tienen una tasa de descomposición muy alta y un contenido bajo de carbono en cuanto al nitrógeno; al incorporar estas plantaciones al suelo, aumentaría la demanda de nitrógeno por parte de los microorganismos descomponedores, y ello conduce a una rápida descomposición de la materia orgánica, disminuyendo sus niveles (Osorio-Vega, 2009).

4.1.3. Fósforo (P)

Figura 7

Características químicas del suelo, inicial y post investigación del Fósforo (P) por tratamiento



En relación con las concentraciones de fósforo, se encontró que el T2 (16.1 ppm) presenta los mejores contenidos en comparación a los demás tratamientos, así mismo el T4 (11.6 ppm) presenta los valores más bajos; por otro lado, comparando con el nivel de fosforo (15.9 ppm, nivel alto) del análisis previo al experimento se observa en la tabla 1 y figura 7, que los tratamientos T3, T4 y T5 disminuyeron. Esto se debe a que probablemente la toma de muestra inicial fue del total experimental (una muestra), lo que significa que para obtener una mejor precisión era menestar tomar una muestra inicial y final por cada tratamiento.

Considerando además que el fósforo (P) es un elemento esencial en el desarrollo de las plantas ya que mediante dicho elemento forman los ácidos nucleicos ADN y ARN y almacenan y transfieren energía; además, promueve el crecimiento temprano de las plantas y la formación de las raíces a través de su papel en la división y organización de las células (Nathan, 2017); así mismo; se considera el principal factor limitado en la producción de pastos forrajeros, seguido del nitrógeno, disminuyendo la biomasa y persistencia de los pastos (Serra et al., 2018).

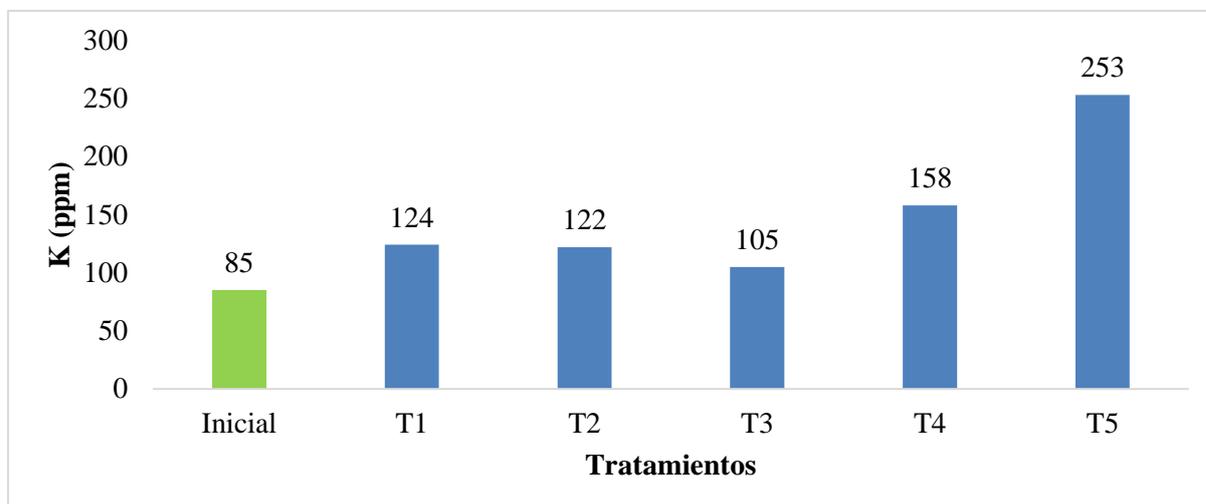
Por otro lado, Moore et al., (2019) indican que los niveles adecuados de fósforo en el suelo son importantes para la producción de raíces en pastos tanto en gramíneas y leguminosas (trébol) por lo tanto apoya el crecimiento de leguminosas en un pastizal de gramíneas / leguminosas. Síntomas visuales de pastos con P inadecuado incluye una masa y profundidad de raíces limitadas, forraje aéreo atrofiado (hojas cortas y pequeñas) y un color púrpura claro a oscuro en las hojas y / o tallos de pastos y tréboles, lo que nos permite relacionar en nuestro estudio con el T1 y T2 como suelos con niveles adecuados de presencia de fósforo en el suelo.

Con respecto a la disminución de fósforo, como ocurre en los tratamientos T1, T3, T4, T5, puede estar relacionado con la absorción de este compuesto debido a que es necesario para su desarrollo, sin embargo, es necesario considerar que las condiciones climáticas, así como las de manejo del suelo pueden llevar también a pérdidas en la concentración de fósforo en el suelo. Además, depende también de la forma en la que se encuentre el fósforo en el suelo; es decir, si esta se encuentra no disponible para las plantas, se puede realizar una competencia entre plantas, y también entre microorganismos entre plantas por la limitada forma inorgánica del fósforo, haciendo de esta manera que su concentración disminuya (Subero et al., 2016). Por otro lado, los niveles de fósforo también pueden aumentar, en este caso se observa que en el tratamiento T2 hay un ligero aumento, debido probablemente a las actividades de fijación de fósforo, que permite la liberación de ácidos orgánicos y ayuda con la solubilización y disponibilidad de fósforo en el suelo (Gueçaimburu et al., 2019).

4.1.4. Potasio (K)

Figura 8

Características químicas del suelo inicial y post investigación del Potasio (K) por tratamiento



En la tabla 1 y figura 8 se aprecia en cuanto a las concentraciones de potasio el T5 (252ppm) presenta el valor más alto y el T3 (105ppm) fue el valor más bajo; sin embargo, en todos los tratamientos aumentó considerablemente los niveles de potasio comparado con el análisis previo de suelo (potasio: 85 ppm, nivel bajo). Esto se debe probablemente a que en los tratamientos finales divergen los resultados con respecto al tratamiento inicial debido a que solo se tomó una muestra por cada tratamiento en relación al tratamiento inicial único para toda el área experimental. Para obtener resultados más precisos debió efectuarse un análisis inicial por cada tratamiento. Al respecto sobre los niveles adecuados de potasio en el suelo, Moore et al., (2019) sostienen que la deficiencia de potasio se indica por manchas de color claro alrededor de los márgenes de las hojas de trébol y coloración de amarillo a marrón en las puntas de las hojas de las pasturas. Sobre la necesidad de potasio en las plantas para la translocación de azúcares y para la formación de almidón, también genera un uso eficiente del agua debido a su papel en la apertura y cierre de pequeñas aberturas (estomas) en la superficie de las hojas. Por otro lado, aumenta la resistencia de las plantas a las

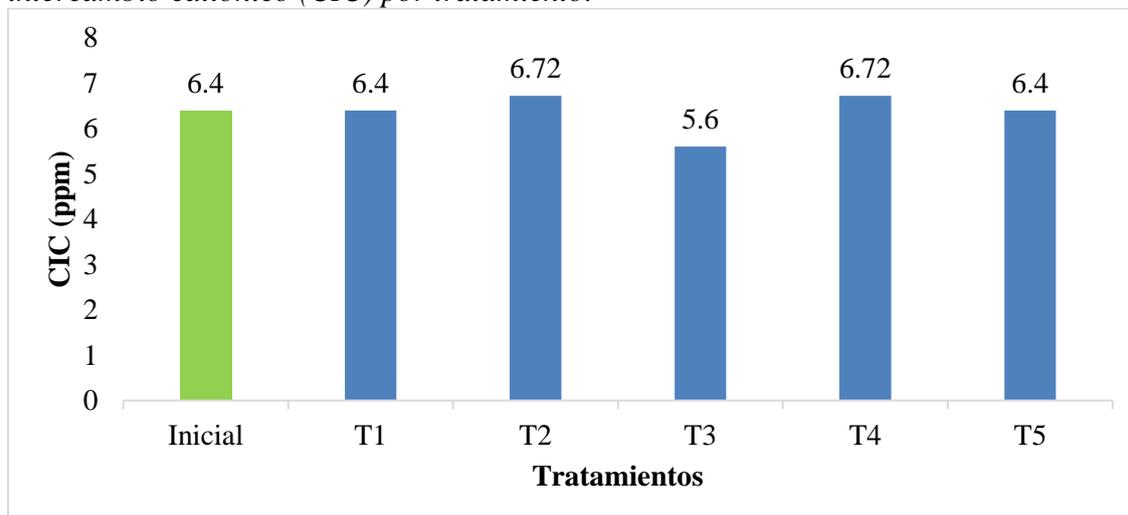
enfermedades y ayuda en la activación de las enzimas y la fotosíntesis (Nathan, 2017). Los cultivos forrajeros son exigentes a la fertilización a base de fósforo principalmente cuando las praderas son establecidas a base de leguminosas ya que requiere de fertilización fosforada, puesto que una alta respuesta a fertilización nitrogenada requiere la provisión de fósforo (Vera, 2018). Asimismo, el K potasio es particularmente importante para las especies de leguminosas, ya que las gramíneas compiten con los tréboles por K; disminuyendo los valores de K del suelo (Moore et al., 2019).

Así mismo, el aumento de la disponibilidad de potasio en los tratamientos se debe probablemente a procesos como las interacciones entre plantas y microorganismos que afectan el ciclo de este nutriente en el suelo; entre estos procesos se puede describir a la exudación de las raíces que puede liberar ácidos que luego descomponen los minerales presentes en el suelo y aumentan la disponibilidad del potasio por la liberación de iones de K^+ , este proceso también se puede dar por producto de la fijación biológica de nitrógeno por parte del trébol rojo, un planta conocida particularmente por tener la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico de forma simbiótica con las bacterias fijadoras de nitrógeno que se encuentran en sus raíces, lo que conduce también a la liberación de ácidos (Bader et al., 2021). Además, durante el desarrollo de las plantas como el Rye grass y el trébol rojo, se puede liberar potasio como parte de la descomposición de tejidos y/o residuos vegetales. Por último, esto también se puede asociar a procesos de intercambio catiónico y absorción de cationes, que puede influir en el equilibrio de cargas en el suelo, aumentando de esta manera las concentraciones de potasio en el suelo (Thilakarathna et al., 2017).

4.1.5. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Figura 9

Características químicas del suelo inicial y post investigación de la Capacidad de intercambio catiónico (CIC) por tratamiento.



Respecto a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) que se muestran en la Tabla 1 y figura 9, se observa que varían desde 5.60 ppm hasta 6.72 ppm; que comparado con la CCI (6.4 meq/100g) del análisis de suelo previo; el tratamiento T2 y T4 hubo un ligero aumento; sin embargo, el T3 disminuyó su CIC. Esto debe a que la capacidad de intercambio catiónico depende del tipo de humus y de la proporción y tipo de arcilla en el suelo, y si consideramos que el suelo es mayoritariamente arenoso y presenta niveles bajos de arcilla, lo cual disminuye la capacidad de intercambio catiónico en el suelo.²

Es importante mencionar que cuando es mayor la CIC más cationes puede retener el suelo; se consideran suelos con baja CIC cuando estos se encuentran en los rangos 1 a 10 meq/100g; los cual nos indica que tiene alto nivel de arena y baja capacidad de retención de agua (Nathan, 2017), sin embargo, es deseable que todo el suelo presente una Capacidad de Intercambio Cationico alta (Mayor a 20 meq/100g) asociada con alta saturación de bases ya

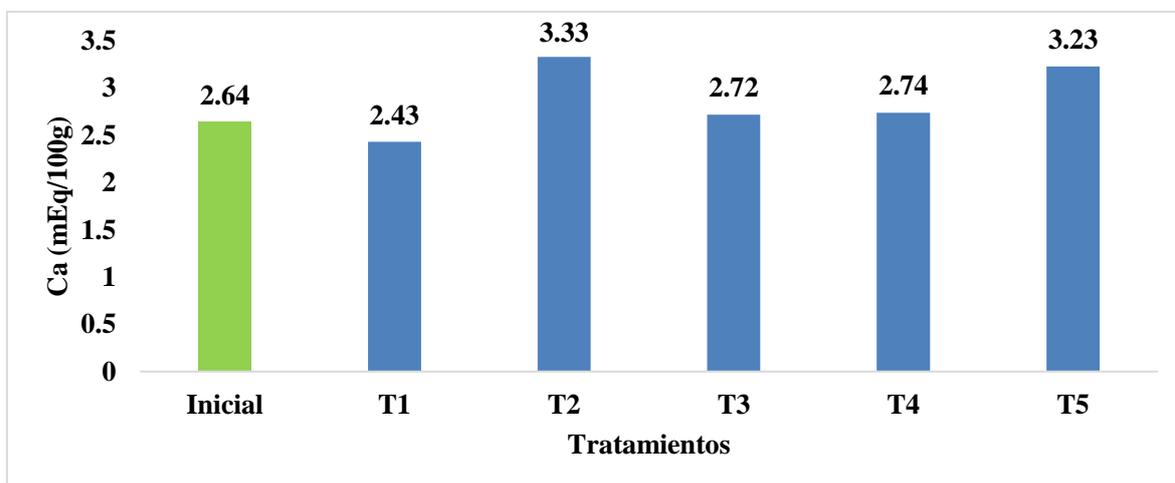
² De acuerdo a los resultados del análisis físico químico del suelo realizado en el laboratorio de la universidad agraria la Molina en el 2018 tenemos que: El área de experimento presenta: Arena = 77% y arcilla=11%. Por otro lado, la clase textura es franca arenosa.

que esta situación indica una gran capacidad potencial para suministrar Calcio, Magnesio y potasio a las plantas (Villasanti., *et al* 2013); así mismo CCI es una propiedad química que designa los procesos de absorción de cationes por el Complejo arcillo-húmico desde la solución suelo y la liberación de cationes desde el Complejo de Cambio hacia la solución suelo; siendo esta propiedad atribuible a la arcilla (coloide mineral) y el humus (coloide orgánico), de manera que la cantidad y tipo de arcilla; la cantidad de humus y el pH o reacción del suelo define el CIC de un suelo (MINAGRI, 2011). Otros autores indican que, los cambios en la CIC pueden estar influenciados por procesos como el intercambio catiónico, cambios en la proporción de cationes, así como la formación de complejos de intercambio (Mukhopadhyay et al., 2019).

4.1.6. Calcio (Ca)

Figura 10

Características químicas del suelo inicial y post investigación del Calcio (Ca) por tratamiento.



Los niveles de calcio encontrados en la presente investigación como se observa en la Tabla 1, y figura 10, el T2 presenta mayores niveles en comparación a los demás tratamientos; además, se observa un aumento de calcio en los tratamientos T3, T4 y T5 comparados al calcio (2.64 meq/100g) del análisis de suelo previo a la investigación. De acuerdo con el

departamento de suelos y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina³, los contenidos de calcio en nivel medio (intervalo 1,0 meq/100g – 5,0 meq/100g); por lo tanto, en la presente investigación se cumplen la regla debido a que en todos los tratamientos son superiores 1,0 meq/100g y no superan los 5,0 meq/100g. Lo que nos permite concluir que las concentraciones de calcio en las unidades experimentales tienen un nivel medio.

Es importante mencionar que el calcio es un nutriente esencial para las plantas, interviene en procesos como en el alargamiento celular, en la regulación estomática, forma parte de la estructura de la pared de las células; el cual es absorbido por las plantas como ion Ca^{+2} y en menor proporción mediante intercambio directo entre los pelos radicales y el complejo coloidal. (Pellegrini, 2017), el cual promueve el vigor y la rigidez de las plantas para el crecimiento adecuado de raíces y tallos (Nathan, 2017). Así mismo, es importante mencionar que las leguminosas son plantas que demandan mucho más calcio de la solución del suelo para el proceso de nodulación (Pellegrini, 2017). Además, el mantenimiento de los niveles de calcio y magnesio está asociado con la corrección del pH del suelo; por lo tanto, mantener el pH en los niveles adecuados favorece a mantener los niveles de calcio y magnesio en el suelo (Villasanti., et al 2013).

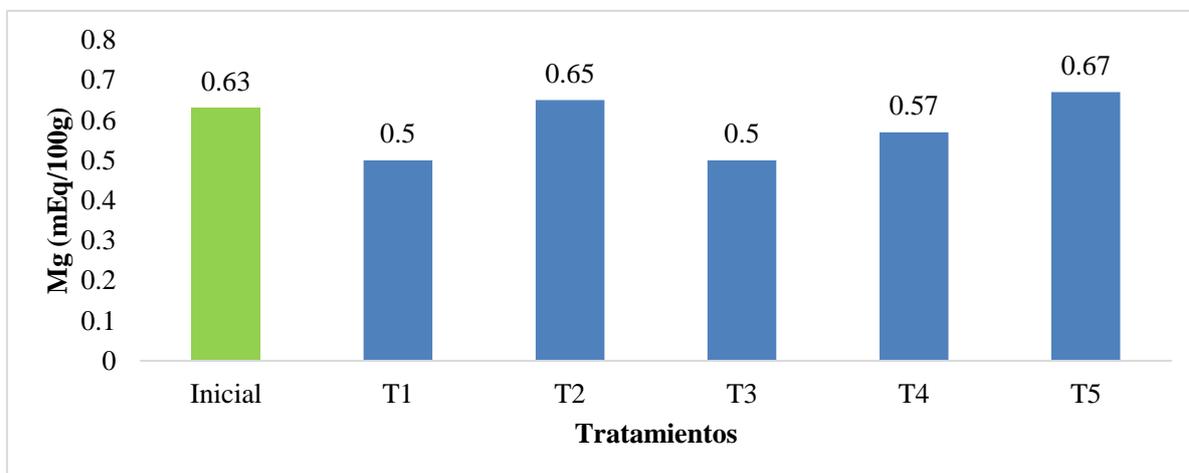
Al igual que en la mayoría de cambios en las concentraciones de compuestos en el suelo, el aumento o la disminución de calcio en el suelo también se ve afectada por las prácticas propias de manejo de suelos, así como por la interacción planta-planta, planta-microorganismos y demás procesos biológicos (White & Broadley, 2003).

³ Escala de medición de datos de la Universidad Nacional Agraria la Molina (nivel bajo = < de 1,0; nivel medio = 1,0 – 5,0; nivel alto = 5,0 a 15,0).

4.1.7. Magnesio (Mg)

Figura 11

Características químicas del suelo inicial y post investigación del Magnesio (Mg) por tratamiento.



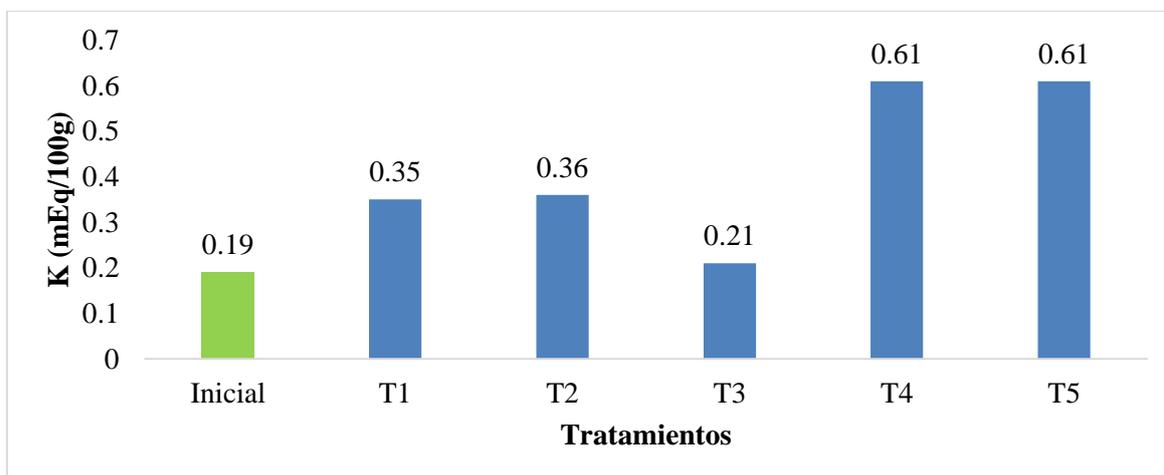
En cuanto a las concentraciones de magnesio presentes en la investigación como se observa en la tabla 1 y figura 11, el tratamiento T5 presenta mayores concentraciones en comparación a los demás tratamientos; además comparados con el Mg (0.63 meq/100g) del análisis previo a la investigación, se observa que los tratamientos T1, T2 y T4 disminuyeron las concentraciones. Los niveles de magnesio en los suelos de la presente investigación son catalogados como pobres por encontrarse dentro del rango (0.5 a 1.0 meq/100 g) (MINAGRI, 2011). Entre tanto el magnesio (Mg) es eficaz para disminuir la actividad del aluminio en la membrana plasmática del ápice de la raíz y el cual puede prevenir la citotoxicidad del Calcio inducida por la toxicidad del aluminio (Rahman et al., 2018). Asimismo, en las plantas el Mg es constituyente esencial de la molécula de clorofila; pigmento que da a las plantas su color verde y lleva a cabo el proceso de la fotosíntesis; se absorbe por las plantas como ion Mg^{+2} (Pellegrini, 2017).

El magnesio como elemento esencial para el desarrollo de las plantas puede verse afectado la distribución y las propiedades químicas del material de la roca fuente y su grado de meteorización, factores climáticos y antropogénicos específicos del sitio y, en los sistemas agrícolas, en gran medida de las prácticas de manejo agronómico establecidas en el lugar; así también por el sitio de producción específico, incluidas las especies cultivadas y la rotación de cultivos, la intensidad de cultivo y la práctica de fertilización orgánica y mineral (Gransee & Führs, 2013). Así también, la biodisponibilidad del magnesio puede verse afectada por las interacciones entre cationes en el suelo, así como los cambios en la concentración de otros cationes, así como las condiciones climáticas en la que se tomaron las muestras del suelo, que puede afectar o influir en la distribución y disponibilidad del magnesio alterando su concentración (Jin et al., 2022).

4.1.8. Potasio (K)

Figura 12

Características químicas del suelo inicial y post investigación del Potasio (K) por tratamiento.



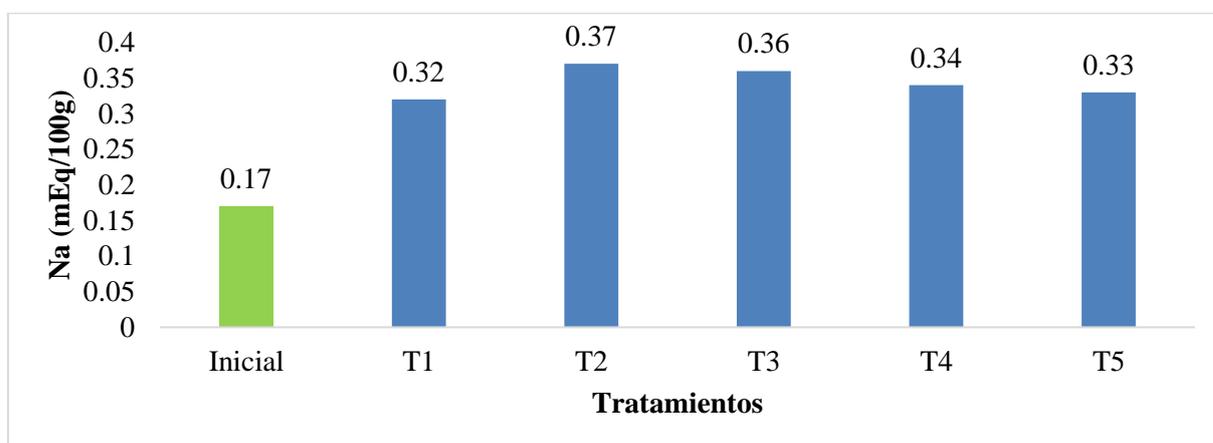
Niveles de potasio expresado en (meq/100 g) presentes en la investigación se presentan en la Tabla 1 y figura 12, en donde se observa que los tratamientos T4 y T5 presentan los mejores valores; así mismo comparados con el nivel de potasio (0.19 meq/100g) previo a la investigación; se observa que todos los tratamientos tuvieron una tendencia de aumentar.

Así mismo los valores de los tratamientos T4 y T5 son considerados como normales debido a que se encuentran dentro del rango (0.5 a 0.8 meq/100 g); sin embargo, el T3 presenta los valores más bajos considerado como pobre por estar dentro del rango (0.1 a 0.3 meq/100 g) (MINAGRI, 2011). El potasio apoya el transporte de agua y la función metabólica en los pastos y, por lo tanto, es esencial para el crecimiento de las plantas (Moore et al., 2019).

4.1.9. Sodio (Na)

Figura 13

Características químicas del suelo inicial y post investigación del Sodio (Na) por tratamiento.



Respecto a los niveles de sodio presentes en la investigación como se observa en la Tabla 1 y figura 13, varían desde (0.32 hasta 0.37 meq/100 g); observándose un aumento de los niveles comparado con el sodio (0.17 meq/100 g) de análisis previo a la investigación. Estos niveles de sodio son considerados como deseables por están dentro del rango ideal (menor a 2) para el aprovechamiento de las plantas (MINAGRI, 2011).

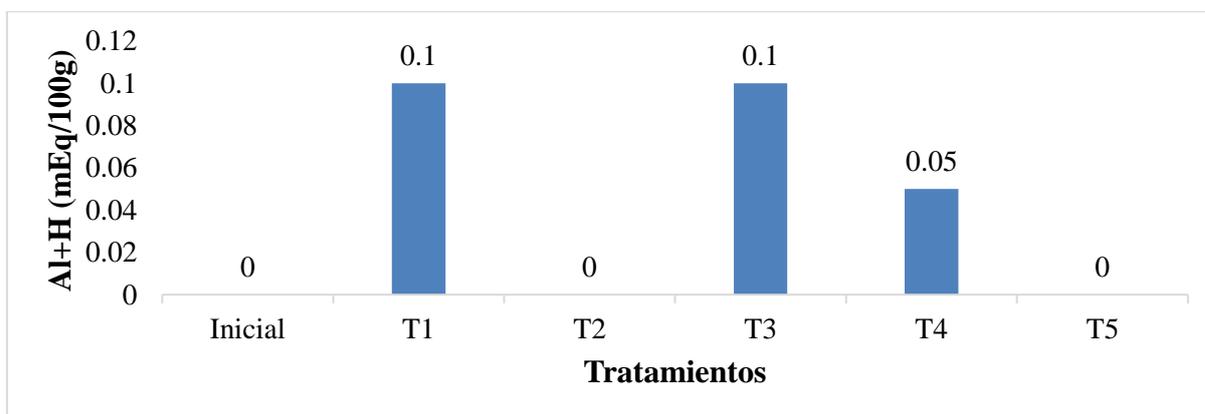
La disponibilidad del sodio en los suelos puede verse afectada por problemas de salinidad y sodicidad en el suelo, los resultados aquí obtenidos muestran un ligero aumento de este mineral, y es necesario tener cuidado con ello, debido que este puede afectar el desarrollo normal de las plantas, los cambios en la concentración del sodio se deben principalmente a un drenaje insuficiente, así como al tipo de suelo y su textura, es decir, un suelo que contenga

más arcilla puede retener menos el sodio haciendo que este se encuentre en mayor concentración (Santiago-Rosario et al., 2021), con respecto a los niveles de arcilla este se encuentra en un porcentaje parejo en todos los tratamientos. por ello los cambios no son significativos, ello quiere decir que el ligero aumento obtenido puede deberse a otras razones, lixiviación insuficiente, alta concentración de sodio en el agua de riego, entre otros (Machado & Serralheiro, 2017). Por lo tanto, es de vital importancia controlar y gestionar los niveles de sodio en los suelos, con el fin de no afectar de forma negativa a la productividad.

4.1.10. Aluminio (Al+H)

Figura 14

Características químicas del suelo inicial y post investigación del Aluminio (Al+H) por tratamiento.



En la Tabla 1 y figura 14, se observa los niveles de aluminio encontrados en los diferentes tratamientos, donde los T1, T3 y T4; presentaron contenidos de aluminio en comparación a los T2 y T5 que no presentaron aluminio. Asimismo, el aluminio en el suelo se encuentra principalmente incorporado en forma de minerales como óxidos de aluminio o aluminosilicatos inocuos; sin embargo, la solubilización y la especiación del aluminio dependen del entorno químico y del pH de la solución del suelo. En suelos ácidos a pH bajo (4,3), el Al se solubiliza en $[Al(H_2O)_6]^{3+}$, que normalmente se denomina Al^{3+} ; el aluminio también formula otras especies como $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)_2^+$, $Al(OH)_3^-$ y Al

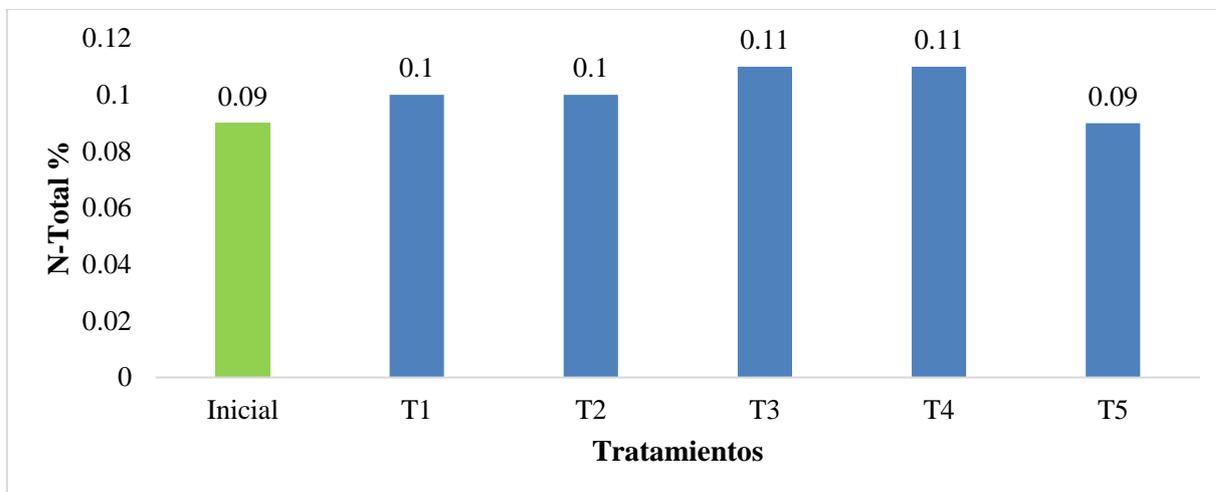
(OH)⁴⁻, donde Al³⁺ se considera la forma más tóxica que tiene un enorme impacto en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Rahman *et al.*, 2018); pH extremadamente ácidos con elevados contenidos de Al³⁺ causan una disminución general en su crecimiento y desarrollo (Méndez *et al.*, 2016); uno de los primeros síntomas de la planta que presenta por toxicidad del aluminio es la reducción del crecimiento radicular (Rahman *et al.*, 2018 y Shetty *et al.*, 2020); reducción del crecimiento de los brotes, la reducción de la producción de biomasa, desequilibrio de nutrientes, así como en los procesos fisiológicos y metabólicos alterados los cuales son responsables de un menor rendimiento y calidad de los cultivos y, por ende, una menor variabilidad y productividad de la tierra (Shetty *et al.*, 2020). La enmienda de Ca (encalado) es eficaz para corrección de la acidez del suelo y aliviar la toxicidad del aluminio; sin embargo, se necesita más tiempo para solubilizar y neutralizar la acidez del suelo (Rahman *et al.*, 2018).

Además, la presencia del Al⁺ se relaciona en algunos casos con la absorción de cationes como el calcio y el magnesio por la raíz de las plantas, ello produce la liberación del aluminio al suelo. Además, como ya se mencionó mucho depende también de la acidificación del suelo, esto concuerda en parte con los resultados de la medición de pH, pues estos presentaron una ligera acidificación (Li *et al.*, 2022). Por otro lado, hay autores que mencionan que muchos de los cationes, incluso el Al⁺ se pueden ver afectados por la fijación del nitrógeno atmosférico por parte de trébol rojo, que en este proceso libera ácidos que solubilizan minerales de aluminio, ello podría estar sucediendo en este caso, pues se observa que el tratamiento T5 que solo presentan ryegrass no ha aumentado sus niveles de aluminio con respecto al suelo inicial.

4.1.11. Nitrógeno. (N)

Figura 15

Características químicas del suelo inicial y post investigación del Nitrógeno. (N) por tratamiento



Finalmente, las concentraciones de nitrógeno de la presente investigación varían desde 0.09 a 0.11%, en los tratamientos; así mismo, comparados con el nitrógeno total (0.09%) del análisis previo a la investigación; se observa un ligero aumento en los tratamientos T1, T2, T3 y T4; como se muestra en la Tabla 1 y figura 15, en el tratamiento T5 no aumentó el nitrógeno fijado en el suelo, posiblemente se deba a que en este tratamiento estuvo compuesto solo por Rye Grass, sin la mezcla con alguna leguminosa.

La mayor parte del nitrógeno del suelo está atrapado en materia orgánica, el cual es absorbido por las plantas en forma de iones de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) a partir de compuestos inorgánicos de nitrato y amonio (Nathan, 2017); así mismo, el nitrógeno inorgánico del suelo cambia a través de la inmovilización biótica-rem mineralización, la inmovilización abiótica, la mineralización del nitrógeno orgánico del suelo y la mineralización del nitrógeno orgánico de los residuos vegetales (Chen et al., 2014); además, participa en la composición de las más importantes sustancias, como: clorofila, aminoácidos, proteína, ácidos nucleicos, etc; por lo tanto, estas sustancias sirven de base para la mayoría

de los procesos que rigen el desarrollo, crecimiento y multiplicación de la planta (Viera, 2018).

Las asociaciones o cultivos mixtos de pastos donde se incluye las leguminosas son importantes ya que proporcionan forraje de alta calidad y agregan nitrógeno al sistema de cultivo; debido a la gran capacidad de fijación de nitrógeno. (Dahlin y Stenberg, 2010). Por otro lado, (Frankow-Lindberg y Dahlin, 2013) indica que la fijación simbiótica de N_2 por las leguminosas templadas como *T. pratense L.* está bien estudiada ya que esta especie pueden derivar una gran proporción de su N del aire particularmente cuando se cultivan en mezclas con pastos; además, indica que la transferencia de N de las leguminosas a las no leguminosas se produce en la parte superior del perfil del suelo.

4.2. Productividad de forraje

En la tabla 2 que presento a continuación se muestran los valores de la productividad de forraje verde, productividad de materia seca (biomasa), la tasa de crecimiento, y los niveles de materia del forraje en las diferentes densidades de siembra del de trébol rojo (*Trifolium pratense L.*) en asociación con Rye grass (*Lolium multiflorum L.*), donde se visualiza que hay diferencias significativas para la materia seca (%), la biomasa o rendimiento de materia seca y la tasa de crecimiento ($p < 0.05$). Así mismo, es importante tener en cuenta que la calidad del suelo juega un papel importante en la productividad, ya que los nutrientes, así como las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo pueden afectar o influenciar directamente los rendimientos (Avilés, 2016); además, la baja temperatura y el ambiente seco y frígido, así como la intensa radiación solar (Rojas *et al.*, 2016) y el tipo de labranza influye en el nivel de MO, en el flujo del aire y el agua y en el desarrollo radical de los pastos, (Leyva *et al.*, 2014) afectando los rendimientos productivos de los pastos.

Tabla 2.

Productividad de forraje verde, materia seca y tasa de crecimiento en diferentes densidades de siembra de trébol rojo (Trifolium pratense L.) en asociación con Rye grass (Lolium multiflorum L.)

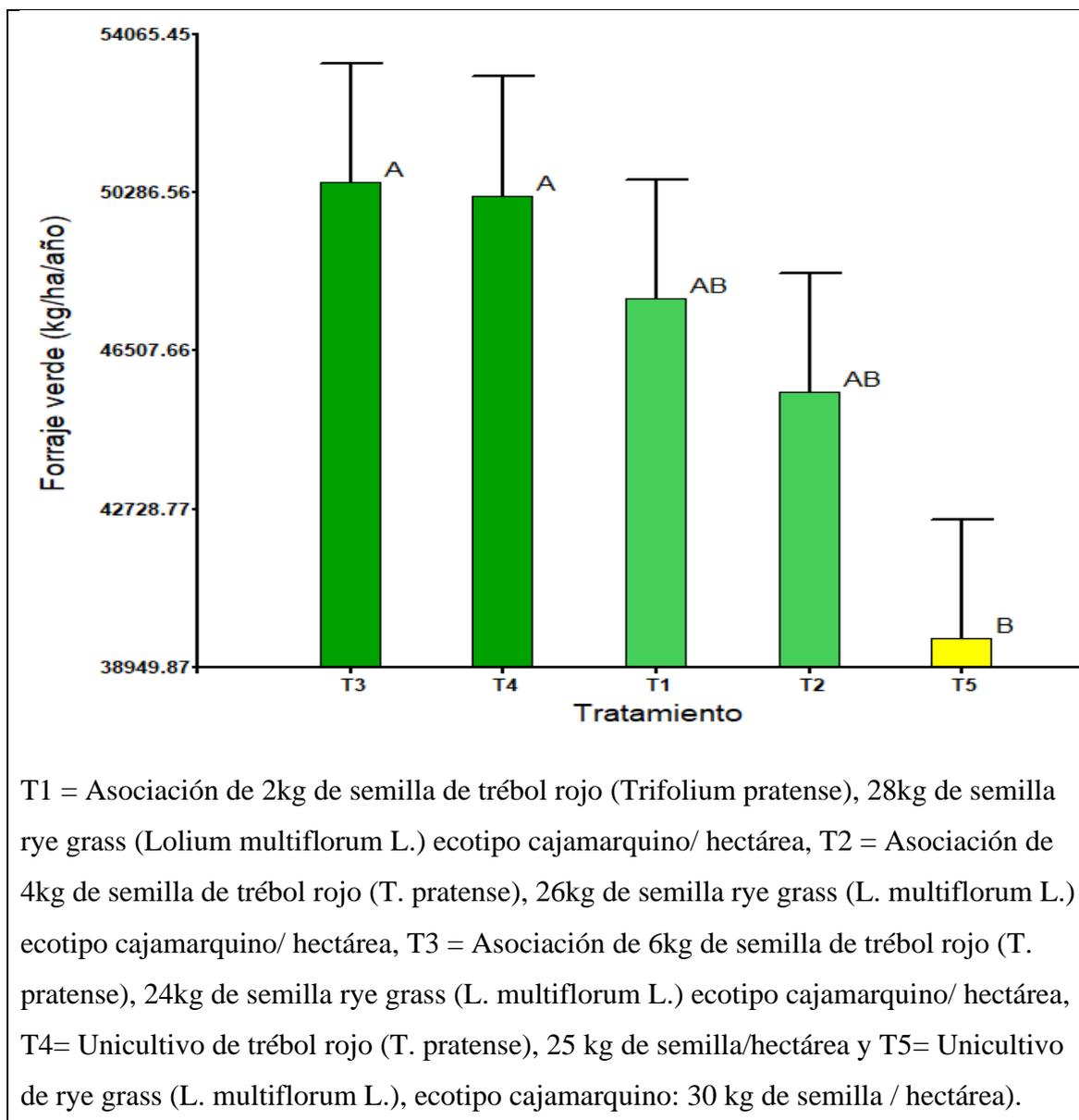
Tratamientos	Materia seca (%)	Forraje verde (kg/ha/año)	Biomasa (kg MS/ha/año)	Tasa de crecimiento (Kg MS/ha/día)
T1	26.26b	47756.21	12577.14 ^a	34.46 ^a
T2	27.46ab	45518.32	12488.27 ^a	34.21 ^a
T3	27.20ab	50531.56	13705.83 ^a	37.56 ^a
T4	20.73c	50210.72	10289.60b	28.20b
T5	29.34a	39636.94	11529.96ab	31.58ab

Promedio con letras diferentes (a, b y c) indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de Duncan ($p < 0,05$). T1 = Asociación de 2kg de semilla de trébol rojo (*Trifolium pratense*), 28kg de semilla rye grass (*Lolium multiflorum L.*) ecotipo cajamarquino/ hectárea, T2 = Asociación de 4kg de semilla de trébol rojo (*T. pratense*), 26kg de semilla rye grass (*L. multiflorum L.*) ecotipo cajamarquino/ hectárea, T3 = Asociación de 6kg de semilla de trébol rojo (*T. pratense*), 24kg de semilla rye grass (*L. multiflorum L.*) ecotipo cajamarquino/ hectárea, T4= Unicultivo de trébol rojo (*T. pratense*), 25 kg de semilla/hectárea y T5= Unicultivo de rye grass (*L. multiflorum L.*), ecotipo cajamarquino: 30 kg de semilla / hectárea).

4.2.1. Productividad de forraje verde

Figura 16

Comparación de rango múltiples para el rendimiento de forraje verde. Duncan ($p < 0.05$).



La productividad de forraje verde encontrados en la presente investigación muestra que los tratamientos: T1, T2 no presentan diferencias estadísticas respecto a los tratamientos: T3 y T4 ($P < 0.05$); sin embargo, son mejores al tratamiento: T5 ($p < 0.05$) como lo indica en la Tabla 2 y Figura 16. Esto se debe a que: en comparación con los demás tratamientos, T1,

T2, T3, T4 (pastos asociados), el tratamiento 5 corresponde a un unicultivo de Rye Grass (*Lolium multiflorum L.*).

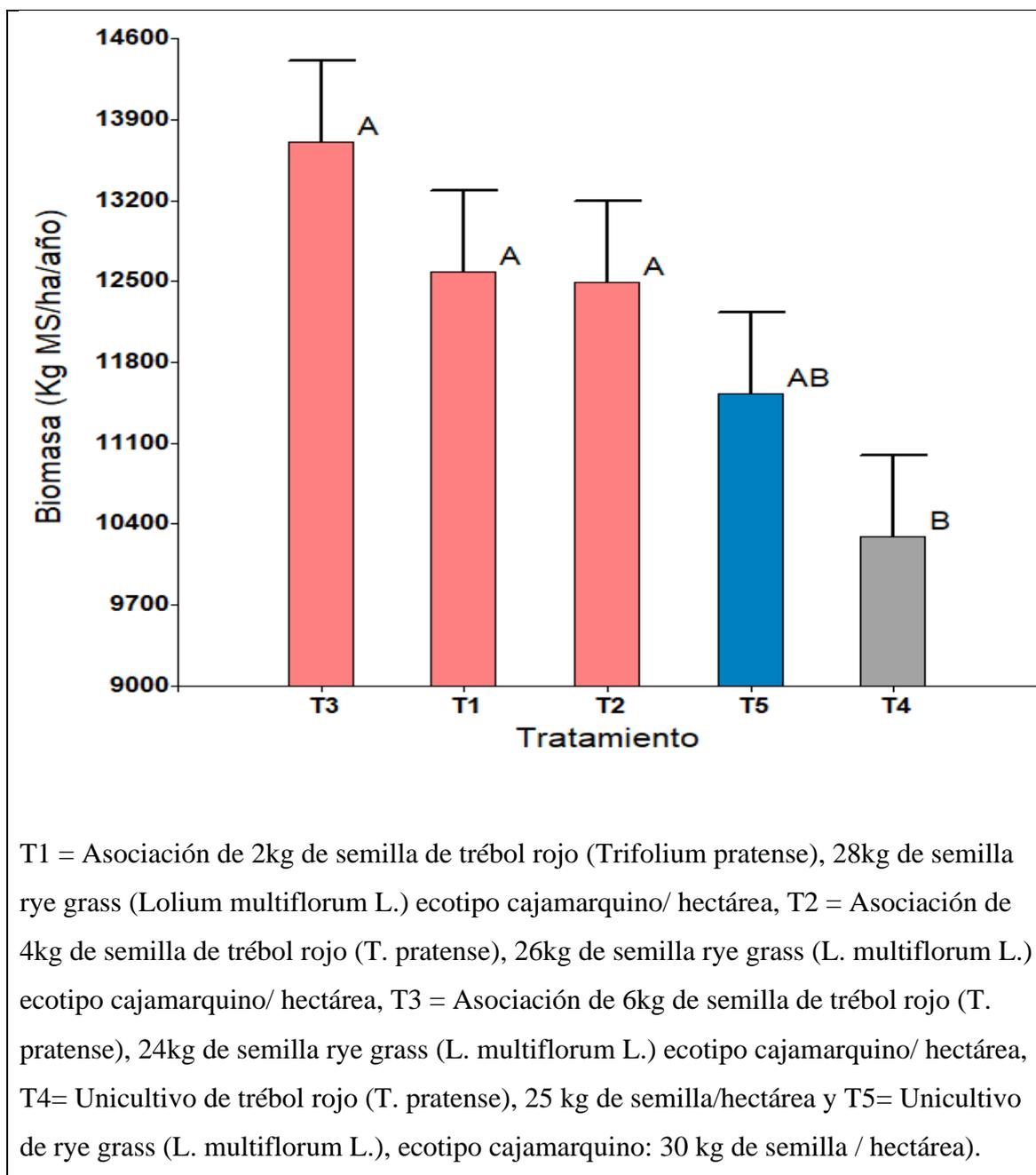
Los datos de la presente investigación son superiores a los reportes de Yalli (2015) quien encontró en su investigación niveles de 24.01 toneladas por ha. Básicamente se debe a que el tipo de suelo y clima, sumado a esto el manejo de las pasturas y la adaptación del Rye gras según el tipo de suelo constituyen un elemento importante en la producción final de la pastura.

Además, valores del tratamiento T5 encontrados en la presente investigación son inferiores comparados a los valores reportados por Vásquez *et al.*, (2017); quienes encontraron valores de 60 a 70 toneladas por ha.

4.2.2. Rendimiento de materia seca (Biomasa)

Figura 17

Comparación de rango múltiples para el rendimiento de Materia Seca (biomasa). Duncan ($p < 0.05$).



La productividad de materia seca expresados en t/ha/año en la presente investigación muestran que los tratamientos: T1, T2 y T3 no presentan diferencias estadísticas respecto al tratamiento: T5 ($P < 0.05$); sin embargo, son mejores al tratamiento: T4 ($p < 0.05$); mostrando

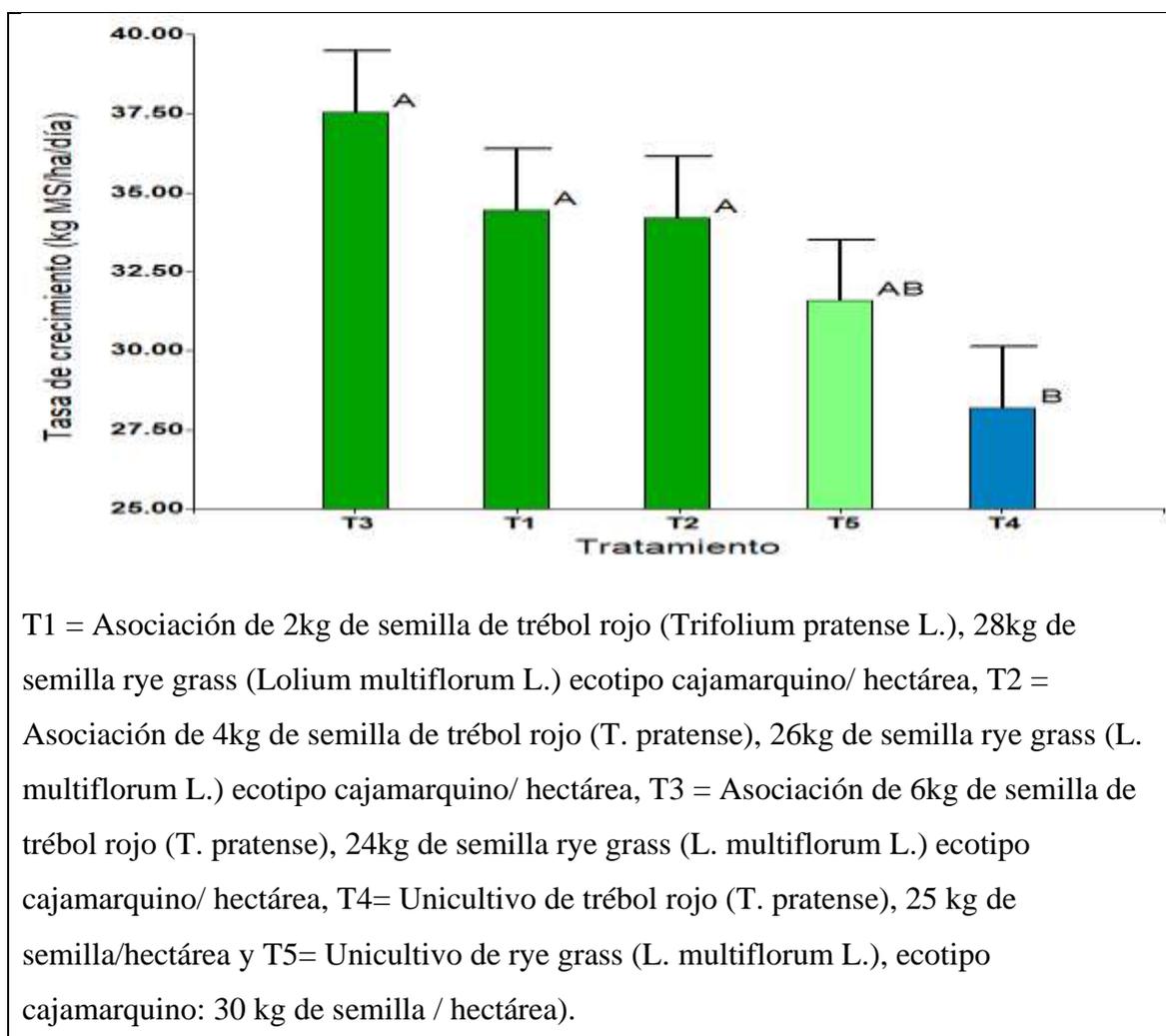
este último los rendimientos inferiores a los demás tratamientos como lo indica en la Tabla 2 y Figura 17. Datos de la presente investigación son similares a los reportes de Florián (2019), quien encontró niveles de 11.91 t/ha/año; sin embargo, son datos inferiores a los reportados por Bojórquez (2011) y Flores *et al.*, (2015); quienes encontraron niveles de 22,590 t/ha/año y 20.31 toneladas por ha año; así mismo, superiores a los reportes de Yalli (2015) quien encontró niveles de 6.10 toneladas por ha. Además, valores del tratamiento T5 encontrados en la presente investigación son inferiores comparados a los valores reportados por Vásquez *et al.*, (2017); quienes encontraron valores de 12 a 14 toneladas por ha y 42.26 toneladas por ha.

4.2.3. Tasa de crecimiento del forraje (TC)

Los valores de tasa de crecimiento encontrados en la presente investigación muestran que los tratamientos: T1, T2 y T3 no presentan diferencias estadísticas respecto al tratamiento T5 ($P < 0.05$); sin embargo, difieren al tratamiento: T4 ($p < 0.05$); siendo la tasa de crecimiento del T4 inferior a los demás tratamientos como lo indica la Tabla 2 y Figura 18 que muestro a continuación. Datos de la presente investigación son inferiores a los reportes de Florián (2019) y Bojórquez (2011); quienes encontraron niveles de 63.44 kg por ha por día y 83.0 kg por ha por día. Comparando los resultados de ambas investigaciones expongo que en la presente se muestra el resultado sobre la tasa de crecimiento del forraje del tratamiento es inferior a los demás tratamientos debido a que este unicultivo tiene una capacidad de desarrollo más lenta en relación a los pastos asociados gramíneas.

Figura 18

Comparación de rango múltiples para la tasa de crecimiento. Duncan ($p < 0.05$).

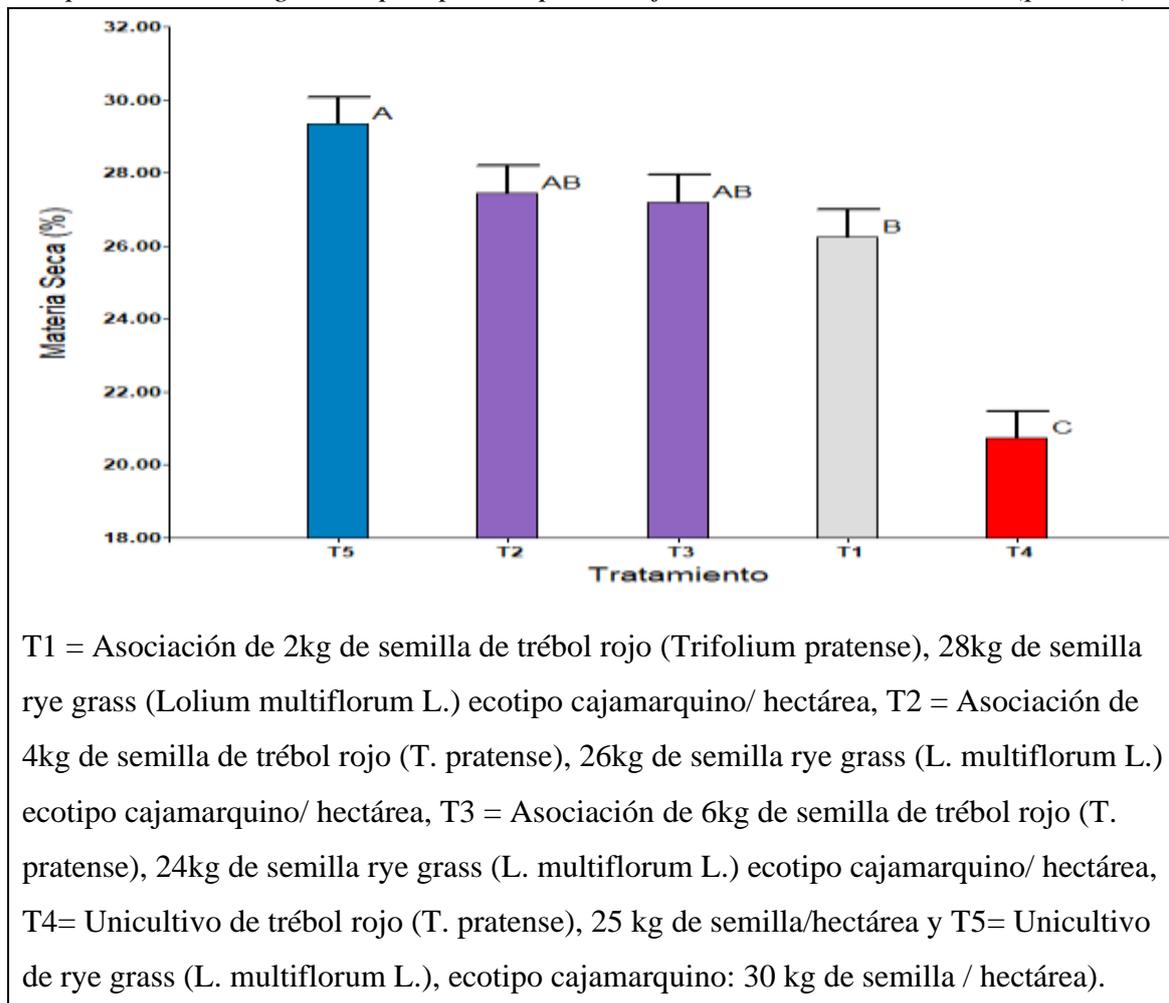


4.2.4. Niveles de materia seca (%)

Los valores MS expresados en porcentajes de la presente investigación, se observa que el tratamiento: T5 no presentan diferencias estadísticas respecto los tratamientos: T2 y T3 ($P < 0.05$); sin embargo, difiere a los tratamientos: T1 y T4 ($p < 0.05$) como lo indica la Tabla 2 y Figura 19 que presento a continuación. Datos encontrados en la presente investigación de los tratamientos T1, T2, T3 y T5 son superiores a los reportados por Florián (2019) y Llasac (2014); quienes encontraron niveles de 25.01% y 19.04% de materia seca para la asociación de rey gras-Trébol.

Figura 19

Comparación de rango múltiples para el porcentaje de materia seca. Duncan ($p < 0.05$).



CAPITULO V

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio y dentro de los lineamientos perseguidos a través de los objetivos trazados, se concluye lo siguiente:

- Los niveles de fósforo en el suelo disminuyen cuando se instala la asociación con una mayor proporción de *Trifolium pratense* o cuando éste se instala como monocultivo, sin embargo, el Potasio se incrementa en el suelo con la instalación de los diferentes tratamientos. Para los demás parámetros químicos no se notaron cambios sustanciales en la composición del suelo.
- Mejores promedios del rendimiento productivo para biomasa y tasa de crecimiento lo obtuvieron el T3 (6kg de *Trifolium pratense* + 24 kg de *Lolium multiflorum*), T2 (4kg de *Trifolium pratense* + 26 kg de *Lolium multiflorum*) y el T1 (2kg de *Trifolium pratense* + 28 kg de *Lolium multiflorum*) con 13705.83, 12488.27 y 12577.14 Kg MS por ha por día, y 37.56, 34.21 y 34.46 Kg MS por ha por día respectivamente.
- Para la producción de forraje verde no se evidenció diferencias significativas, en cambio el T4 (25 kg de semilla de *Trifolium pratense*) mostro valores de materia seca de 20.73%.
- La densidad de siembra en la asociación Rye grass más trébol influye positivamente sobre los parámetros del rendimiento en la productividad forrajera.
- Existe una variación significativa en el rendimiento de los forrajes cuando se producen asociados en relación a los unicultivos, esto debido a la diferencia genética entre la gramínea y las leguminosas, sumado a esto un factor determinante es el tipo y calidad del suelo agrícola para que el forraje demuestre su potencial de desarrollo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la evaluación de la composición química de las pasturas obtenidas bajo la asignación de densidades de siembra descritas en este trabajo de investigación.
- Además, se debe establecer una evaluación de la composición florística con los diferentes tratamientos asignados para evaluar la invasión de malezas en el tiempo y la evolución de los cultivares.
- Continuar realizando investigaciones con similares características químicas del suelo, para determinar la influencia de diferentes densidades de siembra de trébol rojo (*Trifolium pratense L.*) en asociación con ryegrass (*Lolium multiflorum L.*)
- Evaluar investigaciones en zonas no intervenidas, utilizando diferentes densidades de siembra en asociación con gramíneas y leguminosas para determinar niveles de aporte materia orgánica y nitrógeno al suelo.
- Se recomienda a los centros de investigación como INIA, UNC, ONGs y otros: Repetir el experimento en diferentes pisos altitudinales de la región durante un periodo de tiempo continuo a fin de determinar el nivel de variación de la fertilidad química de los suelos en la región Cajamarca en relación a la producción de pastos asociados y unicultivos.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdalla, M., Hastings, A., Cheng, K., Yue, Q., Chadwick, D., Espenberg, M., & Smith, P. (2019). A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity. *Global change biology*, 25(8), 2530-2543.
- Agricultura. (2016). Rye grass. *Siap*, 6, 1–7.
- Anabel, C., y Ramírez, A. (2015). Software para el manejo de fertilizantes orgánicos en la comunidad de San Bartolo Acolman.
- Avilés Silva, E. A. (2016). Efectos de los sistemas de cultivo-arboles-pastos sobre la erosión laminar y la calidad de suelo en la microcuenca Tecomapa, municipio de Somotillo-Nicaragua (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria, UNA).
- Babel, W., Biermann, T., Coners, H., Falge, E., Seeber, E., Ingrisch, J., & Foken, T. (2014). Pasture degradation modifies the water and carbon cycles of the Tibetan highlands. *Biogeosciences*, 11(23), 6633-6656.
- Bader, B. R., Taban, S. K., Fahmi, A. H., Abood, M. A., & Hamdi, G. J. (2021). Potassium availability in soil amended with organic matter and phosphorous fertiliser under water stress during maize (*Zea mays* L) growth. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(6), 390–394. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.04.006>
- Bautista Niampira, N. G. (2020). Propiedades físicas del suelo, factor de prioritaria atención dentro de la productividad agrícola. Bucaramanga.
- Benavides, M., y Fernanda, M. (2013). Evaluación del impacto socioeconómico de pasturas degradadas en fincas ganaderas de la cuenca media del río Jesús Maria, Costa Rica. Msc. Costa Rica, CATIE.
- Bernal-Fundora, Andy, y Hernández-Jiménez, Alberto. (2017). Influence of different systems of soil use on its structure. *Cultivos Tropicales*, 38(4), 50-57.
- Bojórquez, R. (2011). Producción de pastos cultivados en tres zonas agroecológicas de la Sierra Central. *Rev. de Investigaciones Pecuarias*; 9 (2).
- Chen, B., Liu, E., Tian, Q., Yan, C., & Zhang, Y. (2014). Soil nitrogen dynamics and crop residues. A review. *Agronomy for sustainable development*, 34(2), 429-442.
- Choudhary, M., Sharma, P. C., Jat, H. S., McDonald, A., Jat, M. L., Choudhary, S., & Garg, N. (2018). Soil biological properties and fungal diversity under conservation

- agriculture in Indo-Gangetic Plains of India. *Journal of soil science and plant nutrition*, 18(4), 1142-1156.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. Info Stat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Díaz, M. L., y Medina, H. E. (2015). Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Revista Bioagrobiencias volumen 8 #01*
- Durand, M. J. (2014). Comportamiento productivo de Alfalfa (*Medicago Sativa L.*) en Cultivo Puro y Asociado con Gramineas Forrajeras en el Cip-Camacani.
- Egan, M., Galvin, N. & Hennessy, D. (2018) “Incorporating white clover (*Trifolium repens L.*) into perennial ryegrass (*Lolium perenne L.*) swards receiving varying levels of nitrogen fertilizer: Effects on milk and herbage production”, *Journal of Dairy Science*, 101(4), pp. 3412–3427. doi: 10.3168/jds.2017-13233.
- Espinoza, I. D. N., Zenteno, M. D. C., Chávez, J. C., Moreiral, V. N., Solarte, K. E. A., y Intriago, F. L. M. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas agrarios*, 23(2), 177-187.
- Flores Santiago, E. D. J., Hernández Garay, A., Guerrero Rodríguez, J. D. D., Quero Carrillo, A. R., y Martínez Hernández, P. A. (2015). Productividad de asociaciones de pasto ovinillo (*Dactylis glomerata L.*), ballico perenne (*Lolium perenne L.*) y trébol blanco (*Trifolium repens L.*). *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 6(3), 337-347.
- Florián, R. (2013). Pastos y Forrajes. Texto Editorial Universitaria. Facultad de Ingeniería en Ciencias Pecuarias, Universidad Nacional de Cajamarca. 107 p.
- Florián, R. (2019). Efecto de la fertilización, resiembra y frecuencia de pastoreo sobre el rendimiento, composición florística y química de la asociación rye grass-trébol blanco, en dos pisos altitudinales de Cajamarca.
- Florián, R; Oblitas, A; Rejas, S. (2004). Mejoramiento de pasturas con incorporación de alfalfa mediante labranza mínima en el fundo “El Rebozo”- Cajamarca.
- Fontana, M. (2014). Efecto de la utilización de leguminosas anuales como abono verde sobre las condiciones del suelo y la productividad de cultivos subsiguientes (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Córdoba).
- García, S. C. (2011). Bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno. *Cuadernos del Tomás*, (3), 173-186.

- Gisbert, J. M., Ibañez, S. y Moreno Ramón, H. (2010). La textura del suelo. Recuperado el 10 de julio del 2020 de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7775/Textura.pdf>
- Gransee, A., & Führs, H. (2013). Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant and Soil*, 368(1–2), 5–21. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1567-y>
- Gueçaimburu, J. M., Vázquez, J. M., Tancredi, F., Reposo, G. P., Rojo, V., Martínez, M., & Introcaso, R. M. (2019). Evolution of available phosphorus at different levels of compaction by agricultural traffic in a typical argiudol. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 35(1), 81–89.
- Guy, C. *et al.* (2018) “Comparison of perennial ryegrass, *Lolium perenne* L., ploidy and white clover, *Trifolium repens* L., inclusion for herbage production, utilization and nutritive value”, *Grass and Forage Science*, 73(4), pp. 865–877. doi: 10.1111/gfs.12366.
- Hart, J. M., & Mellbye, M. E. (2000). *Annual Ryegrass Seed Production in Acidic Soil*. 9–12.
- Helliwell, J. R., Sturrock, C. J., Miller, A. J., Whalley, W. R., & Mooney, S. J. (2019). The role of plant species and soil condition in the structural development of the rhizosphere. *Plant, Cell & Environment*, 42(6), 1974–1986. <https://doi.org/10.1111/pce.13529>
- Hosokay Oliveros, M. O. (2015). Calidad de suelo en diferentes sistemas de uso en Supte San Jorge-Tingo María.
- Jin, S., Zhou, W., Meng, L., Chen, Q., & Li, J. (2022). Magnesium Fertilizer Application and Soil Warming Increases Tomato Yield by Increasing Magnesium Uptake under PE-Film Covered Greenhouse. In *Agronomy* (Vol. 12, Issue 4). <https://doi.org/10.3390/agronomy12040940>
- Li, K., Lu, H., Nkoh, J. N., Hong, Z., & Xu, R. (2022). Aluminum mobilization as influenced by soil organic matter during soil and mineral acidification: A constant pH study. *Geoderma*, 418, 115853. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115853>

- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). La Materia Orgánica, Importancia Y Experiencia De Su Uso En La Agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49–61. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292006000100009>
- Kanth, T. A. (2015). *Soil Bulk Density As Related to Texture , Organic Matter Content And Porosity In Kandi Soils of District Kupwara (Kashmir Valley), India Geography*. 2277, 198–200.
- Leyva, Santa L, Masaguer, A, y Baldoquin, Aimé. (2014). Efecto de sistemas de labranza en luvisoles dedicados a la producción de pastos. *Pastos y Forrajes*, 37(4), 408-412.
- Llanos (2004). Corrección de dos suelos ácidos y producción de avena (*avena sativa*), vicia (*vicia sativa*) y Rye gras (*Lolium multiflorum L.*) con roca sedimentaria en el distrito de la encañada. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Llasac Rojas, M. P. (2014). Consumo de fibra detergente neutro en vacas Holstein durante la época de lluvia en Cajamarca.
- Machado, R. M., & Serralheiro, R. P. (2017). Soil Salinity: Effect on Vegetable Crop Growth. Management Practices to Prevent and Mitigate Soil Salinization. In *Horticulturae* (Vol. 3, Issue 2). <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020030>
- Medina, C. (2016). Efectos de la compactación de suelos por el pisoteo de animales, en la productividad de los suelos. *Remediaciones. Rev. Colombiana Ciencia Animal*, 8(1), 88-93.
- Méndez, Y. R., Chacón, L. M., Corzo, M. H., y Angulo, H. M. R. (2016). La toxicidad por aluminio (Al³⁺) como limitante del crecimiento y la productividad agrícola: el caso de la palma de aceite. *Revista Palmas*, 37(1), 11-23
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2011). Guía técnica de orientación al productos: Manejo y fertilidad de suelos. Cadena agroproductiva de papa. Lima, Perú.
- Moore, AD, Pirelli, GJ, Filley, SJ, Fransen, SC, Sullivan, DM, Fery, M. y Thomson, TW (2019). Manejo de nutrientes para pasturas: oeste de Oregon y oeste de Washington. Servicio de Extensión de la Universidad Estatal de Oregon.
- Mukhopadhyay, S., Mastro, R. E., Tripathi, R. C., & Srivastava, N. K. (2019). *Chapter 14 - Application of Soil Quality Indicators for the Phytorestoration of Mine Spoil Dumps* (V. C. Pandey & K. B. T.-P. of P. S. Baudh (eds.); pp. 361–388). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813912-7.00014-4>

- Nathan, M. V. (2017). Soils, plant nutrition and nutrient management. Soil Testing and Plant Diagnostic Service Laboratory. University of Missouri.
- Ñaupari, J., y Flores, E. (2000). Comportamiento nutricional y perfil alimentario de vacas lecheras en pastos cultivados ryegrass/trébol de la UP Consac (Doctoral dissertation, Tesis para optar el grado de Magister en Producción Animal, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú).
- Ogura, T., Date, Y., Masukujane, M., Coetzee, T., Akashi, K., & Kikuchi, J. (2016). Improvement of physical, chemical and biological properties of aridisol from Botswana by the incorporation of torrefied biomass. *Scientific reports*, 6(1), 1-10.
- Oliva, M., Valqui, L., Meléndez, J., Milla, M., Leiva, S., Collazos, R., & Maicelo, J. (2018). Influence of arboreal native species on silvopastoral systems on the yield and nutritional value of *Lolium multiflorum* and *Trifolium repens*. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 579–583. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.14>
- Osorio-Vega, N. W. (2009). Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas. *Materia Orgánica Biología Del Suelo y Productividad Agrícola: Segundo Seminario Regional Comité Regional Eje Cafetero*, 43–71. https://doi.org/10.38141/10791/0003_3
- Ovalle, C; Pozo, A y Aveñado, J. (2002). Leguminosas forrajeras alternativas para suelos ácidos de baja fertilidad de la zona mediterránea de Chile: <http://biblioteca.inia.cl/medios/GEAM/pdf/Fond1000608.pdf>
- Pellegrini, A. (2017). Potasio, calcio y magnesio del suelo. *Recuperado de* http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/35408/mod_resource/content/1/14.
- Phalempin, M., Lippold, E., Vetterlein, D., & Schlüter, S. (2021). Soil texture and structure heterogeneity predominantly governs bulk density gradients around roots. *Vadose Zone Journal*, 20(5), e20147. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/vzj2.20147>
- Pérez, J. (2019). Análisis de fertilidad del suelo y capacidad de producción en predios agrícolas del Ejido Nuevo Volcán Chichonal, Municipio de Juárez, Chiapas (Doctoral dissertation, Facultad de Ingeniería-Ingeniería Ambiental-UNICACH).
- Príncipe, O. (2008). Manual de Producción de Pastos en Sierra. Centro de Estudios para el Desarrollo y la Participación. Proyecto: “Fortalecimiento de la Cadena Productiva de Leche del Distrito De Cusca, Provincia de Corongo”. Perú.

- Rahman, M., Lee, S. H., Ji, H. C., Kabir, A. H., Jones, C. S., & Lee, K. W. (2018). Importance of mineral nutrition for mitigating aluminum toxicity in plants on acidic soils: current status and opportunities. *International journal of molecular sciences*, 19(10), 3073.
- Reynoso, V. (2016). Leguminosas, recuperación para el suelo, vía orgánica a.c. México: <https://viaorganica.org/15451-2/>
- Rojas, P. V., Pari, J. G. Z., Landaeta, J. C. Z., Mamani, F. E., y Úzqueda, J. A. (2016). Evaluación de pastos y capacidad de carga animal en el fundo “Carolina” de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno Perú. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 18(3), 303-310.
- Santiago-Rosario, L. Y., Harms, K. E., Elder, B. D., Hart, P. B., & Dassanayake, M. (2021). No escape: The influence of substrate sodium on plant growth and tissue sodium responses. *Ecology and Evolution*, 11(20), 14231–14249. <https://doi.org/10.1002/ece3.8138>
- Schoonover, J. E., & Crim, J. F. (2015). An introduction to soil concepts and the role of soils in watershed management. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 154(1), 21-47.
- Sepúlveda, C., Ibrahim, M., Bach, O., y Rodríguez, A. (2011). Desarrollo de lineamientos para la certificación de sistemas sostenibles de producción ganadera. *Agroforestería de las Américas*, 48, 14-20. Recuperado de <http://bco.catie.ac.cr/portal-revistas/index.php/AGRO/article/view/88/0>.
- Serra, A. P., Marchetti, M. E., Dupas, E., Ensinas, S. C., Lourente, E. R. P., da Silva, E. F., & Alovise, A. M. T. (2018). Best Management Practices (BMPs) for Nitrogen Fertilizer in Forage Grasses. *New Perspectives in Forage Crops*, 131-148.
- Shetty, R., Vidya, C. S. N., Prakash, N. B., Lux, A., & Vaculík, M. (2020). Aluminum toxicity in plants and its possible mitigation in acid soils by biochar: A review. *Science of The Total Environment*, 142744.
- Subero, N., Ramírez, R., Sequera, O., & Parra, J. (2016). Fraccionamiento de fósforo en suelos cultivados con arroz por largos períodos de tiempo. I. fósforo inorgánico. *Bioagro*, 28(1), 13–20.
- Terroba, N. P. (2020). Efecto de la fertilización NPK en la florística y rendimiento forrajero de *Dactylis* (*Dactylis glomerata*) y Trébol rojo (*Trifolium pratense*) en Cerro de Pasco.

- Thilakarathna, M. S., Papadopoulos, Y. A., Grimmett, M., Fillmore, S. A. E., Crouse, M., & Prithiviraj, B. (2017). Red clover varieties show nitrogen fixing advantage during the early stages of seedling development. *Canadian Journal of Plant Science*, 98(3), 517–526. <https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0071>
- Toledo, M. (2016). Manejo de los suelos ácidos en las zonas altas de Honduras. Tegucigalpa, <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3108/BVE17069071e.pdf;jsessionid=28BE6F14844BF4E14F2F6A4463D3A300?sequence=1>.
- Vallejos, L. (2009). Efecto de la fertilización fosforada y frecuencia de pastoreo sobre el valor nutritivo de la dieta y comportamiento ingestivo de las vacas Holstein en pasturas de ryegrass-trébol en Cajamarca. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú. 117 pp.
- Vallejos Fernández, L. (2019). Rendimiento y composición química de la asociación Rye grass Ecotipo Cajamarquino-Trébol blanco de 30, 40, 50 y 60 días de crecimiento, en el Valle de Cajamarca. *Caxamarca*, 18(1–2), 121–124.
- Vallejos-Fernández, L.A.; Alvarez, W.Y.; Paredes-Arana, M.E.; Pinares-Patiño, C.; Bustíos-Valdivia, J.C.; Vásquez, H.; García-Ticllacuri, R. (2020). Comportamiento productivo y valor nutricional de 22 genotipos de raigrás (*Lolium* spp.) en tres pisos altoandinos del norte de Perú. *Scientia Agropecuaria* 11(4): 537-545.
- Vallejos-Fernández, L.A.; Alvarez-García, W.; Paredes-Arana, M.; Saldanha Odriozola, S.; Guillén-Sanchez, R.; Pinares-Patiño, C.; Bustíos-Valdivia, J. y García Ticllacuri, R. (2021). Comportamiento productivo y valor nutricional de siete genotipos de trébol en tres pisos altitudinales de la sierra norte del Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(1), e17690.
- Vásquez, H. V., Quilcate, C., y Oliva, M. (2017). Evaluación de quince variedades de gramíneas forrajeras para el mejoramiento alimenticio del ganado bovino en la cuenca ganadera Florida. *Revista de Investigación en Ciencia y Biotecnología Animal*, 1(1).
- Vera, A. M. (2018). Bocashi más humus líquido en una mezcla forrajera de *Lolium multiflorum*, *Trifolium pratense* y *Trifolium repens* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1(2), 246-257.

- Villasanti, C., Román, P., y Pantoja, A. (2013). El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas. Paraguay: FAO.
- White, P. J., & Broadley, M. R. (2003). Calcium in plants. *Annals of Botany*, 92(4), 487–511. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg164>
- Yalli, J. C. (2015). Efecto de la aplicación de diferentes niveles de abono foliar en las praderas cultivadas en el centro de producción de vacunos acraquis-Tayacaja (Pampas).

CAPITULO VII

ANEXOS

Figura 20

Panel fotográfico del proceso de instalación del experimento.



Proceso de la instalación del experimento. A: Arado del terreno; B: Nivelación del terreno; C: Asignación de las Unidades Experimentales; D: Peso de las Semillas; E: Siembra de semillas al boleto; F: Instalación de sistema de riego

Figura 21

Identificación de las Unidades experimentales.

**Figura 22**

Vista panorámica de las unidades experimentales.



Figura 23

Eliminación de malezas en las Unidades Experimentales.

**Figura 24**

Elección de las áreas para corte de las muestras de forraje.



Figura 25

Pesaje y etiquetado de muestras para ser llevadas al laboratorio

**Figura 26**

Toma de muestras de suelo post-instalación de los tratamientos para análisis de fertilidad.



Figura 27

Resultados del análisis inicial de suelo para la caracterización fisicoquímica.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : JOSE VALLEJOS COTRINA

Departamento : CAJAMARCA
Distrito : MATARA

Provincia : CASERIO SONDOR NUEVA
Predio : ESPERANZA

Referencia : H.R. 63824-077C-16 Bot: 1607 Fecha : 15/06/18

Lab	Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sal De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
7825	JV-101	6.00	0.11	0.00	1.72	15.9	85	77	12	11	Fr.A.	6.40	2.64	0.63	0.19	0.17	0.00	3.64	3.64	57

A = Arena ; A.Fr = Arena Franca ; Fr.A = Franco Arenoso ; Fr.L = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A = Arcillo Arenoso ; Ar.L = Arcillo Limoso ; Ar = Arcilloso

Lab	Claves	N %
7825	JV-101	0.09

 Dr. Sady García Béndezú
Jefe del Laboratorio

Figura 28

Resultados del análisis final de suelo de acuerdo a los tratamientos.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : JOSE A. VALLEJOS COTRINA

Departamento : CAJAMARCA
Distrito : MATARA

Provincia : CAJAMARCA
Predio : ESPERANZA

Referencia : H.R. 68051-056C-19 Bot: 2887 Fecha : 03/05/19

Lab	Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sal De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
3645	JV-201	5.66	0.24	0.00	1.53	15.3	124	79	10	11	Fr.A.	6.40	2.43	0.50	0.35	0.32	0.10	3.71	3.61	56
3646	JV-202	6.18	0.36	0.00	1.42	16.1	122	81	8	11	Fr.A.	6.72	3.33	0.65	0.36	0.37	0.00	4.70	4.70	70
3647	JV-203	5.66	0.13	0.00	1.38	12.4	105	79	10	11	Fr.A.	5.60	2.72	0.50	0.21	0.36	0.10	3.88	3.78	68
3648	JV-204	5.88	0.22	0.00	1.38	11.6	158	79	10	11	Fr.A.	6.72	2.74	0.57	0.61	0.34	0.05	4.30	4.25	63
3649	JV-205	6.05	0.33	0.00	1.30	13.0	253	81	8	11	Fr.A.	6.40	3.23	0.67	0.61	0.33	0.00	4.83	4.83	76

A = Arena ; A.Fr = Arena Franca ; Fr.A = Franco Arenoso ; Fr.L = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A = Arcillo Arenoso ; Ar.L = Arcillo Limoso ; Ar = Arcilloso

Lab	Claves	N %
3645	JV-201	0.10
3646	JV-202	0.10
3647	JV-203	0.11
3648	JV-204	0.11
3649	JV-205	0.09

 Dr. Sady García Béndezú
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 e-mail: lab_suelos@lamolina.edu.pe

Tabla 3

Análisis de varianza para la Materia Seca (%)

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrados medios	F	p-valor
Tratamiento	381.16	4	95.29	19.56	<0.0001
Bloques	53.48	2	26.74	5.49	0.0081
Error	185.11	38	4.87		
Total	619.75	44			

Tabla 4

Análisis de varianza para el Forraje Verde

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrados medios	F	p-valor
Tratamiento	714599625.7	4	178649906	2.45	0.0627
Bloques	744751470	2	372375735	5.11	0.0109
Error	2771712000	38	72939789.5		
Total	4231063096	44			

Tabla 5

Análisis de varianza para la tasa de crecimiento

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrados medios	F	p-valor
Tratamiento	442.81	4	110.70	3.30	0.0204
Bloques	568.8	2	284.40	8.48	0.0009
Error	1274.32	38	33.53		
Total	2285.93	44			

Tabla 6

Análisis de varianza para la Biomasa

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrados medios	F	p-valor
Tratamiento	59021715.78	4	14755428.9	3.30	0.0204
Bloques	76007193.73	2	38003596.9	8.49	0.0009
Error	170050083.2	38	4475002.19		
Total	305078992.7	44			