



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN AGRICULTURA Y AGRONEGOCIOS SOSTENIBLES

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE MAGISTER EN AGRICULTURA Y AGRONEGOCIOS SOSTENIBLES**

**TEMA: CORRECCIÓN DEL PH EN SUELOS ALCALINOS APLICANDO
MATERIA ORGÁNICA, UREA Y ENMIENDAS DE SULFATO DE CALCIO
Y ROCA FOSFÓRICA BAJO DOS ESTADOS DE HUMEDAD, PARA LA
PRODUCCIÓN DE FORRAJES EN LA HACIENDA SAN MATEO, LASSO**

AUTOR: ING. GONZÁLEZ ANDRADE, JUAN FRANCISCO

DIRECTOR: ING. BASANTES PAZMIÑO, EMILIO. MSC

SANGOLQUÍ

2018



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "Corrección del pH en suelos alcalinos aplicando materia orgánica, urea y enmiendas de sulfato de calcio y roca fosfórica bajo dos estados de humedad, para la producción de forrajes en la Hacienda San Mateo, Lasso", fue realizado por el Ing. Juan Francisco González Andrade, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar al señor Juan Francisco González Andrade para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 14 de Febrero de 2018

ING. EMILIO BASANTES. MSC



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Juan Francisco González Andrade, con cedula de identidad N° 1712675980, declaro que, ideas y criterios del trabajo de titulación, "Corrección del pH en suelos alcalinos aplicando materia orgánica, urea y enmiendas de sulfato de calcio y roca fosfórica bajo dos estados de humedad, para la producción de forrajes en la Hacienda San Mateo, Lasso", es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación es veraz.

Sangolquí, 14 de Febrero de 2018



ING. JUAN FRANCISCO GONZÁLEZ ANDRADE

1712675980



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA

UNIDAD DE GESTIÓN DE POSGRADOS

AUTORIZACIÓN

Yo, Juan Francisco González Andrade, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación "Corrección del pH en suelos alcalinos aplicando materia orgánica, urea y enmiendas de sulfato de calcio y roca fosfórica bajo dos estados de humedad, para la producción de forrajes en la Hacienda San Mateo, Lasso", en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 14 de Febrero de 2018

ING. JUAN FRANCISCO GONZÁLEZ ANDRADE

1712675980

DEDICATORIA

A la mujer que fue una inspiración en mi vida y me inculco el amor por los animales y la tierra, a esa querida mujer que día a día me brinda un amor incondicional y siempre estuvo junto a mí, a mí querida Rosita.

Este trabajo ha sido fruto de un esfuerzo conjunto, por este motivo le agradezco y dedico este logro a mi esposa que gracias a su apoyo voy cosechando muchos logros y espero que sean cientos de logros más, gracias Carlita te amo.

Como no mencionar y dedicar este esfuerzo a mi querido hijo Juan Ignacio, eres el motivo de todo lo que hago y seguiré haciendo, buscando ser el mejor ejemplo para ti y el mejor padre.

A mis padres por ser el motivo de que todo esto se pueda llevar a cabo con su esfuerzo y apoyo constante, siendo ellos los formadores de una gran familia con mucho amor y cariño, muchas gracias Manuel y Susana.

Juan Francisco González

AGRADECIMIENTO

A mis hermanos que gracias a su ejemplo de trabajo y tenacidad he podido lograr muchas de mis metas, gracias por su apoyo constante y por estar ahí siempre en las buenas y en las malas.

A mis compañeros de maestría y de pregrado por los grandes momentos que pasamos, las experiencias y los aprendizajes que pudimos cosechar durante el tiempo que hemos estado juntos.

A Dios por darme la oportunidad de cumplir una meta más y bendecirme con una gran vida y con una gran carrera profesional.

A mí estimado profesor y asesor de tesis Ing. Emilio Basantes por su asesoría y acompañamiento, por sus enseñanzas tanto en el pregrado como en la maestría, gracias por ser un gran apoyo.

A la hacienda San Mateo por ser parte de mi formación profesional y ser mi laboratorio personal, gracias por permitirme ser parte de un gran proyecto.

Juan Francisco González

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORIA RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
INDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	4
1.1.1 General	4
1.1.2 Específicos.....	5
1.2 Hipótesis.....	5
CAPÍTULO II	6
REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Producción de pasturas.....	6
2.2 El suelo	10
2.2.1 pH del suelo	12
2.2.2 pH extremo.....	13

2.2.3 Efectos del pH en las plantas	14
2.2.4 Efecto del pH en la disponibilidad de nutrientes.....	15
2.3 El agua en el suelo.....	18
2.4 Urea	19
2.5 Materia orgánica.....	22
2.6 Enmiendas	24
2.6.1 Yeso agrícola	25
2.6.2 Roca fosfórica	26
2.7 Conductividad Eléctrica (CE).....	27
2.8 Suelos alcalinos	28
CAPÍTULO III	32
MATERIALES Y MÉTODOS	32
3.1 Ubicación del lugar de investigación	32
3.1.2 Ubicación geográfica.....	33
3.2 Materiales.....	34
3.2.1 Materiales de campo	34
3.2.2 Materiales de laboratorio	35
3.2.3 Características del suelo	35
3.3 Métodos	36
3.4 Variables en estudio.....	39
3.4.1 Medición de pH, conductividad eléctrica y temperatura	39
3.4.2 Contenido nutricional del suelo (macro y micronutrientes).....	40
3.4.3 Medición de germinación del forraje.....	41
3.4.4 Cálculo de humedad para el suelo	41

3.4.4 Producción de materia verde y materia seca	42
3.5 Diseño experimental de la investigación	42
3.6 Unidad experimental	43
3.6.1 Variables	43
CAPÍTULO IV	45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1 Efecto de la urea y materia orgánica en el pH	45
4.2 Comportamiento del pH y contenido de nitrógeno	52
4.3 Suelo final	54
4.4 Germinación.....	55
4.5 Producción de forraje (materia verde y seca).....	56
CAPITULO V	60
5.1 Conclusiones	60
5.2 Recomendaciones.....	61
Bibliografía	62

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto del pH en la disponibilidad de nutrientes en el suelo.....	16
Figura 2. Zona 3, circuito Mulaló.....	32
Figura 3. Imagen satelital Hacienda San Mateo	34
Figura 4. Comportamiento del pH durante cuarenta días de muestreo	49
Figura 5. Comportamiento de la conductividad eléctrica (dS/m).....	51
Figura 6. Comportamiento de la temperatura (°C) durante cuarenta días	51
Figura 7. Medias de comportamiento de pH, temperatura y conductividad	52
Figura 8. Comportamiento del pH y contenido de nitrógeno.....	54
Figura 9. Porcentaje de germinación de la semilla de rye grass.....	56
Figura 10. Producción promedio de materia seca por hectárea.	59

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Valores de conductividad eléctrica y su afectación en los suelos</i>	28
Tabla 2. <i>Análisis inicial de suelo previo al establecimiento de los ensayos</i>	36
Tabla 3. <i>Nomenclatura de Tratamientos Fase 1 y Fase 2</i>	37
Tabla 4. <i>Distribución de macetas de estudio en laboratorio de la Fase 1</i>	38
Tabla 5. <i>Distribución de parcelas en campo de la Fase 2</i>	39
Tabla 6. <i>Análisis final de suelo después de aplicar tratamientos a parcelas</i>	46
Tabla 7. <i>Análisis de varianza de los factores en estudio pH, CE y T°</i>	47
Tabla 8. <i>Análisis de medias de la variable pH</i>	48
Tabla 9. <i>Análisis de varianza de producción de materia seca en tres cortes</i>	58

RESUMEN

La Hacienda San Mateo, se dedica en su totalidad a la producción de forrajes para alimentación de ganado lechero. Después de realizar varios análisis de suelo se encontró pH alto (9,2) siendo un problema para el establecimiento de forrajes. Los potreros en condiciones normales producen 2.000 kg de materia seca por hectárea, mientras que los potreros con suelos alcalinos producen 600 kg de materia seca por hectárea. Para mejorar las condiciones de pH se planteó el uso de urea como fuente de nitrógeno, materia orgánica, roca fosfórica y sulfato de calcio. Los tratamientos aplicados en el suelo disminuyeron el pH a 8.81, sin embargo no existieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y repeticiones. En el comportamiento del contenido de nitrógeno va de un mínimo de 69 ppm a los diez días de aplicada la urea, a un máximo de 179 ppm a los treinta días de aplicados; mientras que el pH va en decrecimiento de un pH 9,22 a un pH de 8,81 a los treinta días. La producción de forraje aumento de 600 kg (registros hacienda) de materia seca por hectárea a 849 kg de materia seca por hectárea, esta variación de 249 kilogramos de materia seca generan un ingreso de \$ 1600 en leche para la hacienda.

PALABRAS CLAVE:

- **PRODUCCIÓN DE FORRAJE.**
- **MATERIA SECA.**
- **PH.**

ABSTRACT

The dairy farm San Mateo, is entirely dedicated to the production of feed for dairy cattle. After carrying out several soil analyzes, high pH was found (9.2), this being a problem for the establishment of forages. Paddocks under normal conditions produce 2,000 kg of dry matter, while paddocks with alkaline soils produce 600 kg of dry matter per hectare. To improve the pH conditions, the use of urea as a source of nitrogen, organic matter, phosphate rock and calcium sulphate was proposed. The treatments applied in the soil were able to lower the pH to 8.81, however there were no significant statistical differences between treatments and repetitions. In the behavior of the nitrogen, content goes from a minimum of 69 ppm to ten days of applying the urea, to a maximum of 179 ppm after thirty days of application, while the pH decreases from pH 9.22 to a pH of 8.81 at thirty days. The forage production increased from 600 kg (hacienda records) of dry matter per hectare to 849 kg of dry matter per hectare, this variation of 249 kilograms of dry matter generates an income of \$ 1,600 in milk for the estate.

KEYWORDS:

- **FORAGE PRODUCTION.**
- **DRY MATTER.**
- **PH.**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los forrajes a nivel mundial cubren la mayor parte de la geografía de los países, esto sucede debido a que son parte fundamental en la ornamenta de las ciudades y en la producción de leche y carne sin importar la especie. Dentro de la dieta bovina las pasturas son esenciales llegando a formar parte de hasta el cien por ciento de sus comidas diarias. Los animales al comer un forraje deben ser capaces de ingerir suficientes nutrientes (proteína, grasa, vitaminas, minerales) para mantener un buen estado físico, reproductivo y una buena producción. Para que una pastura cumpla con los requisitos básicos de alimentación de un bovino es necesario que las condiciones del suelo satisfagan los requerimientos nutricionales del pasto, (SANCOR, 2012).

La Hacienda San Mateo ubicada en Lasso Provincia de Cotopaxi, centra su producción en leche y forrajes. Cuenta con veintitrés potreros los cuales se encuentran divididos en franjas de una hectárea cada uno, estos potreros son dedicados en su totalidad a la producción de forrajes (avena, rye grass, alfalfa) para alimentación del ganado lechero y producción de fardos de henolaje.

Dentro de las veintitrés hectáreas, la hacienda presenta problemas de alcalinidad del 15% de su área productiva, lo cual compromete la producción normal de forrajes y en épocas de sequía la aplicación de agua es complicada debido al encostramiento de la capa superficial del suelo. Después de realizar varios análisis de suelo se encuentro

que el pH tiene un promedio de 9,2 y contenidos altos de Boro (21 ppm), siendo este un problema para el establecimiento de pasturas o fuentes de forrajes.

Los suelos alcalinos, son frecuentes en regiones áridas o arenosas, limitando su fertilidad química y confiriéndoles una propiedad física desfavorable (deterioro de la estructura, formación de costras, sellado superficial y baja capacidad de infiltración de agua) que facilitan la incidencia de los procesos de desertificación y baja producción. Las fuentes más comunes de sales son los materiales geológicos, la atmosfera, las aguas de escorrentía, las aguas subterráneas y los residuos vegetales. Otros factores como la topografía, las características edáficas o las actividades humanas (deforestación, agricultura) pueden favorecer la acumulación de sales solubles y/o sodio en el suelo, los suelos alcalinos se caracterizan por tener altas concentraciones de Cl, Na, K y Mg, (Arbelo, 2006).

La alcalinidad interfiere con el crecimiento de la mayoría de los cultivos y plantas sensibles, el crecimiento es escaso, las producciones son menores de las potenciales y los rendimientos económicos también lo son, (Porta, 2011).

Los suelos de la hacienda en condiciones normales producen 2.000 kg de materia seca por ha/corte, mientras que los potreros con suelos alcalinos producen 600 kg de materia seca por hectárea, lo que equivale a un 30% menos de producción por hectárea y lo que limita a su vez la capacidad productiva, ya que uno de los factores predominantes para aumentar una carga animal es la cantidad de forraje que se produce.

Como cualquier cultivo los forrajes requieren de una composición física, química y biológica adecuada en el suelo para satisfacer sus necesidades mínimas y poder producir de manera adecuada. Los pastos necesitan suficiente profundidad para que sus raíces crezcan y aseguren nutrientes, y para que estos nutrientes estén disponibles para las pasturas el suelo debe tener un pH de 5,6 a 6,5 para el caso de las gramíneas y en el caso de las leguminosas el pH puede ser un poco más alcalino adaptándose a un pH 6,5 a 7. Existen casos de variedades que llegan a establecerse en pH más alcalinos como es el caso de la festuca y la alfalfa que es capaz de adaptarse hasta un pH de 8, (León, 2004).

Durante los últimos cinco años se realizaron prácticas culturales en los suelos (labranza cero, aireación, labranza profunda), sin tener efecto alguno, por este motivo se buscó alternativas para la corrección y recuperación de los suelos mediante la aplicación de materia orgánica, urea como fuente de reacción acidificante al suelo y por otro lado establecer pasturas con la ayuda de enmiendas, sulfato de calcio y roca fosfórica para mejorar la disponibilidad de nutrientes para el establecimiento de pasturas.

El manejo de las pasturas en San Mateo se da bajo un sistema pastoril neozelandés, esto indica que el pastoreo es intensivo con un mínimo de diez comidas al año y con una meta de doce comidas por cada hectárea por año. La carga animal es de cuatro animales por hectárea, con un total de ochenta animales en producción, crianza y seco, la meta de la hacienda es sacar mil litros al día y cosechar de todos los potreros dos mil kilogramos de materia seca por hectárea.

Buscando información en la zona se realizó visitas a productores aledaños a la hacienda y se evidenció que es común la presencia de potreros alcalinos o salinos, lo cual es un problema para producción de forrajes, los agricultores y productores de la zona han visto esta limitante y muchos han migrado a la producción de brócoli el cual se adapta mejor a las condiciones del suelo de la zona.

Para controlar los problemas presentes en los suelos de la hacienda se propuso la implementación de un ensayo en laboratorio el cual busco disminuir el pH del suelo aplicando urea como fuente de nitrógeno y materia orgánica por su capacidad tampón, por consecuencia lo que se busca con la aplicación de estos productos es mejorar las condiciones nutricionales para que la producción forrajera aumente y por ende la fuente de materia seca para la alimentación y producción de leche.

Con los resultados obtenidos de la primera fase de la investigación se aplicó los mejores resultados directo al campo para evaluar los rendimientos, a estos resultados se les sumo sulfato de calcio y roca fosfórica, buscando que estas enmiendas logren acondicionar el suelo a un pH más apropiado para un cultivo y esperando que el fosforo se vuelva más disponible para las semillas y raíces.

1.1 Objetivos

1.1.1 General

Corregir el pH en suelos alcalinos aplicando materia orgánica, urea y enmiendas de sulfato de calcio y roca fosfórica bajo dos estados de humedad, para la producción de forraje.

1.1.2 Específicos

- Determinar las dosis de fertilización química y orgánica para la disminución de pH, en el estado de humedad adecuado en el suelo.
- Establecer el contenido de nitrógeno total en función del tiempo, pH, conductividad eléctrica y temperatura.
- Evaluar la respuesta de la materia orgánica y urea en campo para el establecimiento de forrajes.
- Determinar la respuesta de producción de forraje en materia seca por efecto de la aplicación del mejor tratamiento.

1.2 Hipótesis

- La aplicación de materia orgánica y urea disminuye el pH del suelo alcalino de los potreros de la Hacienda San Mateo de Lasso y a su vez permitirá tener mejor establecimiento y producción de potreros.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Producción de pasturas

Los resultados productivos de una hacienda están determinados por el manejo correcto de sus recursos disponibles, por lo general estos recursos son suelo, agua, forraje y mano de obra. Tanto el recurso suelo como el recurso forraje son predeterminantes en el momento de decidir la carga animal de una finca y por ende la producción lechera, (SANCOR, 2012).

La producción de pasturas está determinada por varios factores, estos factores determinan el crecimiento de las pasturas que en esencia son la limitante principal para su utilización y producción, el volumen de producción de una pastura bien manejada puede estar en 2500 kg a 3500 kg de materia seca por hectárea dependiendo el uso que se le vaya a dar (corte o pastoreo), el punto más óptimo de cosecha es a 2.5 hojas, este punto es donde la mayor concentración de proteína (hasta 29%) y azúcares se va a dar en la planta, (Fulkerson & Mike, 1997).

Existen varias metodologías de producción de pasturas, por un lado se encuentra a los reyes del pastoreo que son los Neozelandeses donde su producción se basa en que la mayor cantidad de pasto producido debe ser cosechado por las vacas; por otro lado está el sistema de producción americano donde las vacas no cosechan el pasto, este es suministrado por mezcladoras de alimento, en este sistema la eficiencia está

dada por el número de cortes que es capaz de tener un granjero en la vida útil de la pastura, además de estos dos estilos muy marcados está el sistema de producción racional Voisin, que nos recomienda que las pasturas deben ser comidas cada 35 a 45 días con 8 a 9 cortes al año, (Tuñón, 2016).

Los modelos o técnicas de producción basan sus criterios en los estilos y necesidades de cada geografía, para el caso neozelandés la limitante tierra es muy importante por su geografía no pueden expandirse más , es por esto que para ellos es necesario que su avance en pastoreo sea al máximo comiendo las pasturas entre 2 a 2.5 hojas cada 20 a 25 días; el sistema americano por otro lado lucha contra las estaciones y la disponibilidad de agua, ellos deben ser eficientes en la época de primavera, verano y otoño para poder almacenar la mayor cantidad de forraje para la época de invierno, (Tuñón, 2016).

Según Tuñón (2016), el correcto manejo de una pastura está limitado por la correcta asignación de una potrero (número de animales por el área), un correcto aforo para una correcta asignación (medida semanal de producción de materia seca), un recorrido semanal de las pasturas, no exceder los límites fisiológicos de las plantas en la comida de las vacas (comer hasta los 5cm) para que el rebrote tenga la capacidad de regresar rápido y que tenga fuentes de energía; por ultimo no exceder la regla de las 48 horas, toda pastura comida debe ser vaciada después de 48 horas de haber pastoreada.

La producción de pasturas se da desde los 0 msnm (Nueva Zelanda, Estados Unidos, Australia) hasta los 3.500 msnm (Ecuador, Bolivia, Colombia, Perú), todo depende las variedades que se utilicen y de las expectativas de la explotación agropecuaria, las limitantes principales para el buen crecimiento de una pastura es la fertilidad del suelo, la disponibilidad de agua, la correcta selección de la variedad para el área donde se va a cultivar, el pH del suelo y el manejo que se le vaya a dar al cultivo, (White & John, 2011).

Los principios y prácticas del pastoreo tienen fundamentos científicos y vienen apoyadas de resultados de la experiencia y estudios de muchos técnicos, granjeros y productores que manejan bien el arte de pastorear. El pastoreo no es una cosa sencilla porque trata de la interacción entre dos cosas que están vivas, que son el pasto y el animal, y manejados por personas. Lo bueno es que una vez que un sistema de pastoreo está instalado y funciona los beneficios para el empresario lechero son enormes y perdurables, (Tuñón, 2016).

Las pasturas modificadas se adaptan a distintos tipos de suelos y dependiendo de las variedades unas son más tolerables a suelos ácidos (pH= 4 – 6) y otras variedades son capaces de adaptarse a condiciones de alcalinidad (pH= 7.5 – 8), siendo el óptimo para la producción adecuada un pH entre 6.5 a 7.5 (León, 2004).

Al momento de seleccionar un tipo de pastura se debe tomar en cuenta que existe variedades diploides y tetraploides, a su vez dentro de estas encontramos

variedades que son híbridas o variedades americanas y variedades neozelandesas, (Tuñon, 2016) .

Variedades Americanas: Su característica principal es el tamaño (alturas mayores a 30 cm), son frondosas y por lo general están listas para ser cortadas o comidas a partir del día treinta después de la última comida en condiciones normales, (Tuñon, 2016).

Variedades Neozelandesas: Plantas muy precoces de tamaño pequeño, su fisiología y genética les permite estar listas para comer a partir del día 20 y en muchas zonas de Nueva Zelanda llegan a estar listas desde el día 18 después de la última comida, (Tuñon, 2016).

La condición más importante que se debe tomar en cuenta es que el momento donde la planta va a tener los mejores niveles nutricionales va a ser entre 2 y 2.5 hojas. Por otro lado su mayor producción en volumen se va a dar entre 3 y 3.5 hojas bajando el nivel de proteína en sus hojas y disminuyendo la palatabilidad del forraje, lo que nos indica que si la pastura va a ser consumida en materia verde y extraída por la vaca el número correcto de hojas debe ir de 2 a 2.5 y para el caso que la pasturas quiera ser cortada y almacenada se la debe cortar a 3 o 3.5 hojas, (SANCOR, 2012).

Según lo indicado es importante seleccionar las variedades de pasto no solo por su respuesta productiva, si no también que se adapten de manera correcta al pH del suelo, ya que esto influirá en el volumen de alimento que se va a producir para el hato y a su vez en la cantidad de leche que se pueda sacar de una hacienda o finca

productora de leche. Existen varios forrajes que tienen la capacidad de adaptarse a diferentes medios, los forrajes que se adaptan a los distintos tipos de pH en el suelo son:

- **Suelos Ácidos (pH 4 a 6):** King grass (*Saccharum sinense*), saboya (*Panicum maximum*), pasto estrella (*Cynodon plectostachius*), rye grass (*Lolium perenne*), avena (*Avena sativa*), leguminosas tropicales, kikuyo (*Pennisetum clandestinum*).
- **Suelos Neutros (pH 6.5 a 7):** Alfalfa (*Medicago sativa*), trébol (*Trifolium repens*), rye grass (*Lolium perenne*), festucas (*Festuca sp.*), llantén forrajero (*Plantago sp.*), achicoria (*Cichorium intybus*), avena (*Avena sativa*), kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), pasto azul (*Dactylis glomerata*).
- **Suelos Alcalinos (pH > a 7.5):** Festuca (*Festuca sp.*), alfalfa (*Medicago sativa*), achicoria (*Cichorium intybus*), llantén forrajero (*Plantago sp.*), rye grass (*Lolium perenne*).

Las pasturas en general tienen las características de adaptarse o buscar la manera de sobrevivir al medio donde se las establece si es que tienen las condiciones mínimas de nutrientes y humedad en el suelo, lamentablemente cuando no se elige bien la variedad sus producciones se ven limitadas y en muchas ocasiones nula cuando el pH del suelo no es el adecuado para la variedad escogida, (León, 2004).

2.2 El suelo

América latina, tiene una diversidad de suelos productos de la variedad de materiales parentales y condiciones ambientales sobre las cuales estos se desarrollan. Una vasta área está cubierta por suelos tropicales típicos, sin embargo existen también suelos más jóvenes dominados por arcillas 2:1 y suelos volcánicos derivados de cenizas y otros materiales volcánicos, como cualquier cultivo los forrajes requieren de la atención necesaria en lo que se refiere a la composición física, química y biológica de los suelos, de igual manera los rendimientos de las pasturas responden a una buena preparación, nivelación, labores culturales y a una adecuada fertilización, (Espinoza & Molina, 1999).

El suelo es un cuerpo natural, producto de la interacción de factores químicos, físicos, biológicos y añadiendo fertilizantes y enmiendas sirve para ser cultivado, los suelos permiten el enraizamiento de las plantas con lo que estas pueden obtener agua, oxígeno y nutrientes. Los pastos necesitan suficiente profundidad para que sus raíces se puedan desarrollar y estas puedan asegurar la absorción de nutrientes y agua. Mediante la interacción que existe con el suelo las plantas mediante la fotosíntesis son capaces de producir alimentos, forrajes, fibras, bosques y energía renovable, por esto los suelos son la base de todos los ecosistemas terrestres, (Luzuriaga, 2001).

Los suelos se forman a partir de procesos, estos son físicos (fragmentación) y biogeoquímicos (reacciones químicas, descomposición de la materia orgánica), de la formación del suelo y de su fuente se puede determinar el tipo de forraje que se va a sembrar, en el caso de leguminosas como la alfalfa se necesitan suelos bien drenados

y profundos, las gramíneas por otro lado pueden crecer en suelos superficiales con abundante agua, (Porta, 2011).

Para la producción de forrajes los mejores suelos son los francos que estén compuestos por arcilla (20-30%), limo (20%), arena (50%), caliza (6-12%) y humus o materia orgánica (4-8%). Por otra parte se busca una estructura uniforme y suelos que no sean muy compactados, (León, 2004).

2.2.1 pH del suelo

La reacción de un suelo describe la acidez o alcalinidad de este, estas reacciones pueden afectar o favorecer el crecimiento de las plantas, es por esto que el pH del suelo es una de las propiedades químicas más relevantes ya que controla la movilidad de iones, la precipitación y disolución de minerales, las reacciones redox, el intercambio iónico, la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes. La remoción de bases (calcio, magnesio, potasio) sin reposición de las mismas, lleva a una disminución de la saturación del complejo de intercambio y acidificación de suelos, (Sainz, Hecheverria, & Angelini, 2010).

La acidez o la alcalinidad se miden en unidades de pH (concentración de iones de hidrógeno) con una escala de 1 a 14. Las lecturas entre 0 y 7 se dicen que son ácidas, mientras que las lecturas que oscilan entre 7 y 14 son alcalinas o básicas, si bien los valores extremos no ocurren en los suelos agrícolas. El pH=7 es neutro. La acidez aumenta con los valores de 7 a 4 y la alcalinidad de 7 a 10, (Rawson & Gómez, 2017).

La escala de pH indica lo básica o lo ácida que es una solución proporcionando la concentración de los iones de hidrógeno. La escala de pH es una graduación especial que expresa la concentración de iones de hidrógeno. Cuando menor es el número de la escala de pH, más fuerte es la acidez, (Plaster, 2005).

El pH mide únicamente la actividad de iones hidrógenos y se expresa en términos logarítmicos. En la práctica significa que esta relación logarítmica es que cada unidad de cambio en el pH del suelo significa un aumento de diez veces en la cantidad de acidez o basicidad, lo que nos indica, que un suelo con un pH de 6.0 tiene diez veces más H^+ activo que un suelo con un pH de 7.0, lo que significa que la necesidad de encalar aumenta en forma muy rápida a medida que el pH baja, (Bernal, 2003).

2.2.2 pH extremo

El pH está condicionado por las reacciones de los minerales que contenga y sus interacciones con el agua; un pH bajo es producido por la percolación de agua medianamente ácida, que resulta del reemplazo de bases intercambiables por iones de hidrogeno. Los suelos muy básicos (pH mayor a 8) están más del cien por ciento base saturados, esto no indica que los sitios de intercambio se llenan de bases, y el suelo contiene partículas de carbonatos minerales (CO_3), como el carbonato de calcio ($CaCO_3$). Este pH muy alcalino es básicamente el resultado de las reacciones de los carbonatos con el agua para formar iones hidroxilos, (Plaster, 2005).

Los suelos extremadamente ácidos son relativamente jóvenes, estos no han sido expuestos a periodos largos de meteorización y lixiviación y comparten su pH con el de

sus materiales originarios. Los materiales originales ácidos incluyen granito, arenisca y esquisto, (Plaster, 2005).

La medición de pH se la puede realizar por dos métodos, uno de ellos es utilizar un método de diagnóstico rápido en campo que son los papeles indicadores, este método debe ser utilizado por operadores con experiencia para evitar errores, pero es un buen índice de campo que permite hacer un diagnóstico bastante aproximado del pH en el suelo, (Espinoza & Molina, 1999).

El método más preciso y ampliamente utilizado usa el potenciómetro para medir el pH del suelo, esta determinación se puede hacer en laboratorio, pero actualmente existen equipos portátiles que miden el pH con la misma precisión de los equipos convencionales, en este caso se determina el pH al poner en contacto una suspensión, hecha con suelo y agua destilada, aquí se mide el pH de la suspensión, (Espinoza & Molina, 1999).

2.2.3 Efectos del pH en las plantas

Según Fitzpatrick (1985), cada cultivo crece mejor en un rango de pH específico, la mayoría de las plantas que crecen en suelos minerales se desarrollan bien en un rango de pH 6.0-7.0; para suelos orgánicos los cultivos prefieren un pH 5.5 a 6.0. Excepto por pH extremos el número de iones no es una limitante para el crecimiento de las plantas, las limitantes son algunas condiciones de suelo que se relacionan con el pH y son importantes para las plantas, estas condiciones incluyen:

- El pH afecta directamente en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, a diferentes pH los macro y micronutrientes se encuentran disponibles, por ejemplo la absorción de del N y del P se ve afectada a un pH igual a 8.5, lo mismo sucede en el caso del Fe, CU, B y Zn, lo que nos demuestra que un pH alcalino inhibe la absorción de estos nutrientes. Lo contrario sucede para el caso del K, S y Ca, su disponibilidad es mayor a un pH sobre los 7.5.
- Al tener un pH alcalino, la concentración de aluminio llega a niveles tóxicos, de igual manera sucede con otros metales, los cuales afectan directamente los rendimientos.
- La fauna y micro fauna del suelo se ve afectado ya que la disponibilidad de ciertos nutrientes específicos se ve afectada por un pH alcalino o un pH ácido.

Los pH idóneos para producción de pastura oscilan entre 6 a 7.5 dependiendo del tipo de forraje y de la geografía donde se siembre, sin embargo al tener un pH con tendencia a neutro las producciones pueden ser mayores versus a las producciones obtenidas en suelos con valores muy elevados en alcalinidad o acidez, (León, 2004).

2.2.4 Efecto del pH en la disponibilidad de nutrientes

Según Plaster (2005), los elementos cambian de forma cuando se produce una reacción sobre ellos, esta característica facilita que una planta pueda absorber un elemento o a la vez vuelve incapaz a una planta de usar este elemento, este tipo de reacciones o cambio en los elementos están condicionas por el pH, la humedad y la temperatura.

Como ejemplo el fósforo a un pH menor a 5.8 es capaz de reaccionar con el hierro y forma un compuesto de hierro insoluble, mientras a un pH superior a 6 la reacción tiende a invertirse a un fósforo libre lo que facilita a la planta la absorción de este elemento, de igual manera sucede con el resto de elementos como el N, K, S. Existen casos de suelos que no pueden suministrar suficientes nutrientes aunque los tengan dentro de sus composición, un suelo bloqueado se llega a dar por que un suelo es ácido o alcalino, (Plaster, 2005).

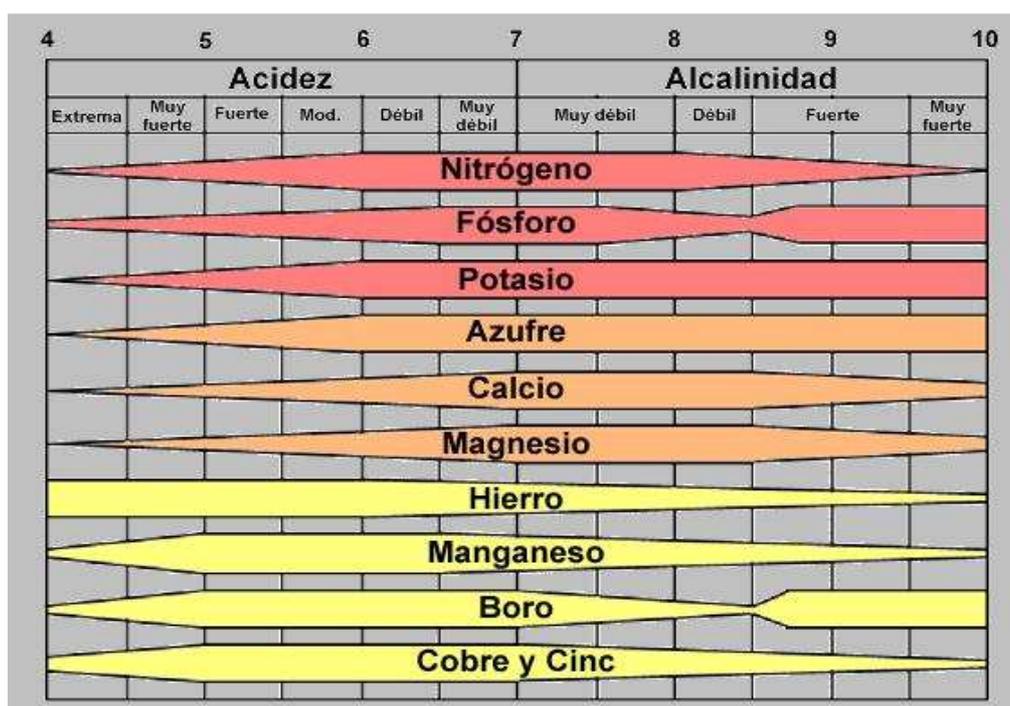


Figura 1. Efecto del pH en la disponibilidad de nutrientes en el suelo
Fuente: (Plaster, 2005)

Al producirse estos cambios por el pH los forrajes no tienen capacidad de absorción de nutrientes por lo que sus producciones no llegan a su máximo, por esto es importante que un análisis de suelo se realice de manera periódica a los suelos de una explotación, en la figura 1 se puede observar como se comportan los macro y micronutrientes a un pH muy alcalino o un pH extremadamente ácido, cada elemento varía en su disponibilidad dependiendo de la concentración de hidrógeno, siendo el pH neutro en el que la mayoría de elementos se encuentran disponibles, (Plaster, 2005).

2.2.5 Organismos del suelo y el pH

Los organismos presentes en el suelo por lo general crecen mejor en suelos neutros, por lo general los suelos ácidos inhiben el crecimiento de la mayoría de los organismos, incluyendo muchas bacterias y gusanos, es por esto que las reacciones en los suelos ejercidas por organismos tales como nitrificación, descomposición de la materia orgánica, son retardadas en los suelos ácidos por la poca actividad o presencia de organismos, de igual manera sucede en suelos alcalinos, el exceso de sales limita la nutrición de los microorganismos sumado a las limitantes de agua que suelen tener las zonas donde están presentes los suelos alcalinos, (Plaster, 2005).

Los suelos sin importar su origen o estructura tienen poblaciones de microorganismos que viven en él, para el caso de los suelos alcalinos los microorganismos que predominan son *Streptomyces spp.*, *Methanomonas methanica*,

Clostridium disolvens, *Clostridium weneri*, *Clostridium amyloleticum*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus clavatus*, *Penicillium sp.*, *Fusarium sp.*, (Moreno, 2008).

Estos microorganismos son los responsables de los procesos de descomposición y formación de agregados en los suelos alcalinos, a su vez son capaces de modificar la estructura del suelo pero dependen mucho de la humedad y la temperatura del suelo para que su actividad sea la normal y se lleven a cabo todos sus procesos, (Moreno, 2008).

2.3 El agua en el suelo

La importancia del agua para el crecimiento y desarrollo de las plantas es elemental, el agua es necesaria para mantener la turgencia de tejidos, crecimiento de tallos, hojas y para la absorción de nutrientes del suelo, para las reacciones bioquímicas y para la translocación de sustancias orgánicas e inorgánicas dentro de la planta, (Fulkerson & Mike, 1997).

La fase líquida del suelo está compuesta por el agua, nutrientes y la solución del suelo, el agua es de suma importancia tanto por su papel de agente formador de suelo como por la productividad, cada tipo de suelo se comporta de manera diferente con la humedad que le llega, hay suelos que son capaces de retener y devolver la humedad a un cultivo y con menor cantidad de agua dan buenas cosechas y otros en cambio necesitan importantes aportes de agua para llegar a buenos rendimientos. Los excesos o falta de agua pueden atraer marchitez, pérdida de oxígeno en el suelo, baja absorción de nutrientes, (Ledesma, 2000).

El riego es esencial para la producción de pasturas, es por esto que en zonas áridas el uso de riego es necesario para incrementar las producciones y establecer pasturas, por otro lado en zonas donde la pluviosidad es alta se debe realizar drenajes para que el exceso de agua no afecte la interacción de la planta con el suelo y los nutrientes, (Tuñón, 2016).

Los forrajes necesitan entre 500 y 800 m³ de agua en promedio para producir una tonelada de materia seca, lo que quiere decir que para producir 2000 kg por hectárea de materia seca se necesita alrededor de 1600 m³. La deficiencia o exceso de agua intervienen directamente en las reacciones químicas que se dan en los suelos, poniendo a los nutrientes disponibles o escasos, el pH está ligado directamente con la disponibilidad de agua en el suelo, un exceso o deficiencia de agua genera acidez o alcalinidad en un suelo, lo cual genera excesos o déficit de nutrientes para producir normalmente, (Ledesma, 2000).

2.4 Urea

La urea es un fertilizante nitrogenado que se incorporó a la agricultura en los años sesenta por ser una fuente concentrada de nitrógeno (46%) y por su solubilidad que permite a los agricultores trabajar en diferentes tipos de aplicación. La importancia de la introducción de este fertilizante se basa en las muchas sintomatologías que presentan las plantas al ser deficientes o contar con un exceso de este elemento en el suelo, por ejemplo un exceso de nitrógeno puede causar un acame de las gramíneas y

una deficiencia causa un amarillamiento en las plantas en general, deficiencias leves causan una disminución en la productividad y crecimiento, (White & John, 2011).

El nitrógeno es el elemento principal de la urea, dentro de su formulación tiene un 46% de nitrógeno y en formulaciones reforzadas este fertilizante puede venir acompañado por azufre. El contenido de nitrógeno en las plantas varía entre el 1 al 5% del peso seco, en pastos se considera normal un contenido del 3% de nitrógeno, alto si es mayor al 4% y bajo si es menor a un 2,9%, el nitrógeno es esencial en los forrajes ya que su contenido determinara los contenidos proteicos de un forraje, existen forrajes que son capaces de fijar nitrógeno atmosférico (leguminosas) y existen otros que requieren de altas fertilizaciones nitrogenadas para llegar a su máximo productivo (rye grass, avena, pasto azul), (Fernández, 1986).

Según White y John (2011), las plantas tienen una rápida respuesta a la fertilización con urea por las características del nitrógeno de ser móvil tanto en suelo como en planta, la aplicación de urea o un fertilizante nitrogenado tiene los siguientes efectos en las pasturas:

- Incremento del contenido de nitrógeno y de proteínas.
- Incremento en el área de hoja, aumento en la elongación de las células.
- Aumento en el crecimiento de tallos lo que permite que las hojas tenga una mejor fotosíntesis y por ende una mejor acumulación de carbohidratos que resulta en una planta con mayor palatabilidad para los animales que la consumen.

- Como resumen de los tres puntos anteriores se da un aumento en la cantidad de materia seca en la pastura y por ende existe mayor disponibilidad de alimento por ha.

Según Tuñon (2016), tanto gramíneas como leguminosas depende del nitrógeno para su desarrollo, las fertilizaciones nitrogenadas varían según el forraje calculando la eficiencia de fijación de nitrógeno de las leguminosas ya que no todo el nitrógeno fijado por una leguminosa es usado por la planta y tampoco es almacenado por el suelo ya que por acción del riego y la lluvia el nitrógeno es lavado o se forman nitritos y nitratos que se adhieren a otras estructuras del suelo.

Para producir una tonelada de materia seca de forraje se necesitan entre 16 a 20 kg de nitrógeno por hectárea, la urea aporta 46 kg de nitrógeno por cada 100 kg aplicados, esto quiere decir que por cada dos sacos usados de urea en la fertilización de una pastura se cubre la necesidad de nitrógeno. Existen diferentes sistemas de fertilización o formas de utilización de la urea, por ejemplo los casos colombianos donde se llegan a usar 400 kg de urea por hectárea después de cada comida, estos aportan 184 kilogramos de nitrógeno por hectárea; el uso de urea no garantiza producciones altas ni tampoco un buen estado de las plantas y por otro lado el uso excesivo de urea limita los días a los que se pueda entrar a comer una pastura, después de realizada una fertilización se debe esperar como mínimo quince días para evitar una intoxicación de los animales, (Fulkerson & Mike, 1997).

Adicional a las limitantes económicas o gastos excesivos que se derivan de una fertilización excesiva con urea se debe tomar en cuenta que un uso excesivo del fertilizante urea generara una acumulación de sales en el suelo y por otro lado puede causar problemas reproductivos, digestivos y hepáticos en los animales que consuman esto por el exceso de nitrógeno ureico en la sangre, adicional a los problemas presentes en las vacas existe también un aumento en el nitrógeno ureico en la leche (NUL) lo que puede llegar a ser considerado un problema de salud pública ya que esta leche es nociva para la salud de las personas que la consumen , (Tuñon, 2016).

2.5 Materia orgánica

La materia orgánica representa, aproximadamente, el 5% en el volumen de un suelo ideal. A pesar de ser un porcentaje relativamente pequeño, su presencia es altamente importante en el crecimiento de las plantas, está compuesta por los restos vegetales y animales que se encuentran sometidos a procesos de degradación y mineralización, pero aún no han sido incluidos en los procesos de humificación, (Luzuriaga, 2001).

Las plantas son la principal fuente de materia orgánica, sus hojas, tallos, flores, frutos y generalmente todo el sistema radical, se quedan en el suelo cuando un cultivo es cosechado, estos residuos poseen aproximadamente entre 60 a 90% de humedad, dependiendo de la fuente lo que nos indica que entre el 40 y 10% de materia seca se incorpora al suelo y estos se convierten en fuentes de carbono, hidrógeno, O, N, S, Fe,

P, los que son aprovechables por las plantas una vez que los microorganismos descomponen estos compuestos, (Molina, 2017).

Bajo condiciones naturales de bosques se acumulan grandes cantidades de hojarasca y restos de especies forestales. En suelos explotados agrícolamente se acumulan paja y residuos de cosechas, además de las raíces, así como restos provenientes de fertilizantes orgánicos (compost, etc.). Como restos animales se encuentran los excrementos y microorganismos, (Luzuriaga 2001).

La descomposición o mineralización de los residuos orgánicos por los microorganismos del suelo es un proceso oxidativo, una vez oxidada, se obtiene como resultado humus, que es un material oscuro, heterogéneo y coloidal responsable en gran parte de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos. El proceso de mineralización en los suelos alcalinos es reducido por la baja actividad de microorganismos, sumado a la baja capacidad de retención de agua, esto da como resultado que la relación carbono nitrógeno este en valores de $C/N > 25/30$, (Porta, 2011).

De la energía liberada, una parte es usada por los microorganismos y el resto se queda entre los residuos o es disipada como calor. Los nutrimentos liberados son esenciales para el crecimiento de las plantas y absorbidos a través de su sistema radical, (Molina, 2017).

Según Luzuriaga (2001), la materia orgánica es un constituyente vital de los suelos ya que sirve no únicamente como fuente de nutrientes, sino también como un

agente de agregación que reduce la erosión e incrementa la capacidad de retención de humedad, a la vez que mejora otras características físicas como son: la textura, estructura, consistencia del suelo, aumenta la capacidad tampón de los suelos y por lo tanto regula el pH.

La materia orgánica mejora las condiciones en general en todos los suelos, por ejemplo en suelos arenosos incrementa la capacidad de retención de agua y nutrientes; en suelos arcillosos les permite soltarse y mejora su laboreo; en suelos minerales logra incorporar microorganismos que permiten una mejor disposición de los nutrientes, (Plaster, 2005).

Según Porta (2011), las características principales de la materia orgánica son:

- Mejorar el almacenamiento de nutrientes y disponibilidad de agua.
- Aumentar la disponibilidad de nutrientes.
- Formación de agregados en el suelo.
- Prevención de la erosión de los suelos.

2.6 Enmiendas

Según Basantes (2010), las enmiendas son materiales que se incorporan al suelo con el objetivo de mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Las enmiendas tienen las siguientes características:

- Neutralizan los excesos de hierro y aluminio.

- Disminuyen o aumentan el pH del suelo.
- Son fuentes de calcio y de magnesio.
- Pueden ser aplicadas al inicio de la siembra o durante la siembra.
- Su acción es prolongada.

Como fuentes de calcio y magnesio tenemos a la cal, en tanto que el yeso es un sulfato de calcio que sirve como fuente de calcio y sulfatos, donde el Ca ayuda a la floculación de las arcillas y mejora las características físicas del suelo y los sulfatos corrigen los excesos de hierro, aluminio presente en el suelo y aporta a la correcta síntesis del nitrógeno.

El efecto correctivo de las enmiendas requiere de algún tiempo para manifestarse de forma significativa, debido a que son materiales poco solubles y no reaccionan de inmediato en el suelo, (Basantes, 2010).

Las principales enmiendas usadas para corregir el pH ácido de un suelo son la cal o carbonato de calcio y cal dolomita ($\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$), para la corrección de suelos alcalinos se recomienda el uso de sulfato de calcio o yeso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y adicional el uso de magnesil y roca fosfórica que ayudan a mejorar la disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo, en especial el fósforo el cual es absorbido por la planta, (Basantes, 2010).

2.6.1 Yeso agrícola

Según Espinoza y Molina (1999), el yeso agrícola o sulfato de calcio di hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) es un producto natural que se encuentra en yacimientos en todo el mundo, la mayoría de ellos provienen de rocas de evaporita sedimentaria.

El yeso también se obtiene como subproducto de los procesos industriales de producción del ácido fosfórico, en la fabricación de fertilizantes fosfatados como el superfosfato triple y los fosfatos amónicos. A pesar de su poca solubilidad en agua, el yeso puede reaccionar a mediano plazo en el suelo y constituir una fuente de Ca y S para los cultivos. Su composición varía de 17 a 20% Ca y de 14 a 18% de azufre (S), (Espinoza & Molina, 1999).

Los principales beneficios de la aplicación de esta enmienda es el mejoramiento en el ambiente radicular en especial en el subsuelo, ya que la mayoría de enmiendas tienen o ejercen acción en la sección de suelo donde se incorpora el material. La utilización del yeso agrícola promueve el desarrollo vigorosa del sistema radicular de manera que el aprovechamiento de agua se vuelve más eficiente para la planta y por ende los rendimientos mejoran y la tolerancia a las sequias aumenta, (Espinoza & Molina, 1999).

2.6.2 Roca fosfórica

La roca fosfórica es un fertilizante natural, con un efecto residual prolongado y de aplicación directa. La principal característica de la roca fosfórica es que aporta fósforo que se vuelve disponible de manera muy rápida para la planta, el fosforo es

considerado un macronutriente básico para lograr altos rendimientos en el agro, una de las características principales es que ayuda a las plantas a mejorar su enraizamiento y de manera adicional mejora el crecimiento de las raíces, es fundamental en los procesos de germinación para que la planta pueda anclarse bien y recibir todos los nutrientes necesarios para su desarrollo, es por esto que se recomienda su aplicación a la siembra del cultivo, (Basantes, 2010).

Una de las características importantes de la roca fosfórica es que aporta al suelo con otros elementos esenciales que también son aprovechados por la planta como son calcio, magnesio, azufre en forma de sulfato de calcio o yeso y potasio (Basantes, 2010).

2.7 Conductividad Eléctrica (CE)

La salinidad de un suelo, es la cantidad de sales presentes en solución, esta puede ser estimada indirectamente mediante la medición de la conductividad eléctrica (CE). La conductividad eléctrica es influenciada por la concentración y composición de las sales disueltas en la solución de suelo, a mayor valor de CE, mayor es la salinidad presente y los cultivos presentan mayores limitaciones para que sus rendimientos sean eficientes. Es importante considerar que todos los fertilizantes inorgánicos son sales y por lo mismo tienen un efecto directo sobre la CE, es por esto que la continua aplicación de fertilizantes causa acumulación de sales y por ende efectos nocivos a los suelos, (Espinoza & Molina, 1999).

La salinidad es un fenómeno indeseable ya que afecta el crecimiento de las plantas de varias maneras y por lo mismo, un aumento en la CE traerá como consecuencia una disminución de rendimiento, existen rangos de salinidad donde las plantas pueden mantener sus rendimientos, por otro lado existen plantas que son más resistentes a la salinidad de los suelos, para el caso de los forrajes la alfalfa (*Medicago sativa*) tiene la capacidad de adaptarse bien a suelos, con una conductividad alta, sin embargo esto no quiere decir que sus rendimientos serán los más óptimos, (León, 2004). En la Tabla 1 se observa los rangos normales y extremos de la conductividad eléctrica, es importante que un suelo se mantenga en un rango de 0 hasta 4 ms/cm para que tengan una buena respuesta en producción.

Tabla 1.

Valores de conductividad eléctrica y su afectación en los suelos

CES (ms/cm)	Descripción
0 - 2	Suelos normales.
2 - 4	Suelos ligeramente salinos, afectados en los rendimientos de los cultivos, muy sensibles.
4 - 8	Suelos salinos, los rendimientos son muy bajos.
8 - 16	Suelos fuertemente afectados, solo plantas tolerantes.
> 16	Suelos extremadamente salinos, suelos afectados, muy pocos cultivos toleran estos suelos.

2.8 Suelos alcalinos

Los suelos alcalinos son suelos que tienen propiedades físicas desfavorables para la mayoría de los cultivos, la mayoría de los suelos alcalinos se originan por estar en zonas áridas, por el material parental o por acumulación de sales por regadío. La principal característica de estos suelos es el pH que va de 7.5 a >9, estos suelos por lo general tienen acumulación de sales las cuales ocasionan que la conductividad eléctrica sea muy elevada, lo que genera bajos rendimientos, disminución en la asimilación de nutrientes y difícil adaptación de los cultivos al suelo. La estructura de los suelos alcalinos es pobre y en muchos casos presentan capas calcárea compactas, (FitzPatrick, 1985).

Estos suelos están presentes en su gran mayoría en zonas donde las precipitaciones son bajas, al tener una baja presencia de agua se origina una acumulación de sales en especial de carbonato de calcio el cual genera las capas calcáreas o también se acumula sodio y magnesio que aflora a las capas superficiales causando problemas de germinación en semillas. La presencia de costras causa que en épocas de lluvia el agua no tenga una buena capacidad de infiltración, lo mismo sucede con el riego, (Ledesma, 2000).

Según Ledesma (2000), es muy importante tener en cuenta la relación de absorción de sodio (RAS) ya que en los suelos alcalinos por lo general es alta la concentración de sodio intercambiable y la presencia de sales solubles es muy baja, el exceso de sodio induce cambios en el calcio y el magnesio del suelo, lo cual conlleva a una degradación del suelo perdiendo estructura, permeabilidad y disponibilidad de oxígeno.

Según FitzPatrick (1985), los principales problemas que se generan de un suelo alcalino son:

- Bajos rendimientos productivos.
- Por su alta cantidad de sales y pH elevado el porcentaje de germinación de las semillas es bajo.
- Baja permeabilidad por la presencia de costra lo que conlleva a una baja cantidad de oxígeno disponible para intercambios y reacciones en el suelo.
- Los suelos alcalinos suelen hincharse cuando son regados, después se endurecen y por último se parten al secarse.

Según Ortiz (2009), las técnicas de recuperación de suelos alcalinos son varias, dentro de las prácticas sugeridas está:

- Aplicación de enmiendas que contengan calcio como el sulfato de calcio y la cal agrícola.
- Prácticas culturales como subsolado, aireación.
- Uso de cultivares tolerantes a pH elevados y a salinidades elevadas.
- Mejoramiento de la estructura del suelo utilizando materia orgánica estabilizada.
- Uso de agua de riego baja en sales.
- Uso de quelatos.

Todas las prácticas están dirigidas a disminuir el pH para que la absorción de nutrientes sea adecuada y por otro lado disminuir la concentración de sales para que los cultivos se puedan establecer.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del lugar de investigación

La SENPLADES en el año 2017 diseñó un plan de redistribución territorial para mejorar la distribución de los recursos en el país, en este diseño se plantea que la descentralización y desconcentración buscan que los recursos económicos, las responsabilidades, los servicios y beneficios, no se concentren en ciertos lugares como las principales ciudades de cada provincia, sino que todo esto se administre de manera equitativa y responsable en todos los rincones del país. Tomando en cuenta este diseño se creó zonas, sub zonas, distritos y circuitos a lo largo de todas las provincias del país, (SENPLADES, 2017).

Según esta ley la ubicación política de la hacienda y del proyecto es:



Figura 2. Zona 3, circuito Mulaló
Fuente SENPLADES 2017

Zona: Zona 3.

Sub zona: Latacunga.

Distrito: Latacunga.

Circuito: Mulalo.

3.1.2 Ubicación geográfica

La hacienda San Mateo está ubicada en la Zona 3 en el circuito de Mulaló en la población de Lasso:

Límites:

Norte: Circuito Mejía.

Sur: Circuitos Alaquez , José Guango Bajo.

Este: Subzona Napo.

Oeste: Circuitos Pastocalle, Tanicuchi Y Guaytacama.

Altitud: 2.942 msn

Latitud: 0° 47' 38" S

Longitud: 78° 37'22" O



Figura 3. Imagen satelital Hacienda San Mateo
Fuente Google 2018

3.2 Materiales

3.2.1 Materiales de campo

- Urea.
- Suelo en estudio.
- Materia orgánica (Compost).
- Sulfato de Calcio (Yeso agrícola).
- Roca Fosfórica.
- Semilla rye grass.
- Macetas.
- Materiales para muestreo de suelo.

3.2.2 Materiales de laboratorio

- Conductivímetro.
- Medidor de pH.
- Balanza de precisión.
- Vaso muestras desechable.
- Agua destilada.

3.2.3 Características del suelo

Se realizó un muestreo de suelo para conocer las condiciones iniciales de la investigación, para esto se recolectó diez submuestras de suelo del área en estudio, a una profundidad de 20 cm, estas muestras fueron mezcladas y homogeneizadas para obtener una muestra final de 1 kg la que fue enviada para análisis al laboratorio del INIAP (Tabla 2) estación Santa Catalina, de donde se obtuvo las características del suelo:

- pH del suelo: 9,21.
- Drenaje: Bueno.
- Textura: Franco limo arenoso.
- Ca/Mg: 0,9.
- Mg/K: 6,2.
- (Ca+Mg)/K: 11,9.
- (meq/100ml)/+Bases: 30,9.

Tabla 2.

Análisis inicial de suelo previo al establecimiento de los ensayos en campo y laboratorio, suelo analizado en laboratorio de suelos de INIAP estación Santa Catalina.

Localización	pH	N	P	Ca	Mg	K	Fe	Cu	Mn	Zn	Textura
											Franco Limo
Lote 7	8,99	57	138	13,7	14,8	1,4	900	10	22	5	arenoso

3.3 Métodos

La investigación fue ejecutada en dos fases:

Fase 1: Esta fase de laboratorio consistió en la evaluación de 27 muestras de suelo de 1kg cada una colocadas en macetas, estas macetas fueron colocadas en un mesón que les permitía liberar los excesos de agua de tal manera que no exista exceso de humedad, a este suelo se le aplicó los tratamientos en estudio, materia orgánica, (5 y 10 ton/ha), urea (50 y 100 kg/ha), humedad a capacidad de campo y 50% de su capacidad de campo.

En las macetas se sembró 20 gramos de semilla de pasto rye grass anual (*Lolium multiflorum*, variedad Alto) y se evaluó cuatro parámetros: conductividad eléctrica (CE), pH del suelo, temperatura y contenido de nitrógeno, de manera complementaria se tomó el dato de germinación del pasto en los tratamientos.

La nomenclatura usada para los tratamientos fue la siguiente:

- MO1: Materia orgánica a 5 toneladas por hectárea.
- MO2: Materia orgánica a 10 Toneladas por hectárea.
- U1: Urea a 50 kilogramos por hectárea
- U2: Urea a 100 kilogramos por hectárea.
- H1: Humedad a capacidad de campo 652 cm³ por maceta.
- H2: Humedad al 50% de la capacidad de campo 326 cm³ por maceta.
- R: Repeticiones del estudio.
- T: Testigo en estudio

Tabla 3.
Nomenclatura de Tratamientos Fase 1 y Fase 2

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN
T1MO1H1	Materia orgánica 5 Ton/ha; Humedad capacidad de campo.
T2MO1H2	Materia orgánica 5 Ton/ha; Humedad 50% capacidad de campo.
T3MO2H1	Materia orgánica 10 Ton/ha; Humedad capacidad de campo.
T4MO2H2	Materia orgánica 10 Ton/ha; Humedad 50% capacidad de campo.
T5U1H1	Urea 50 kg/ha; Humedad a capacidad de campo.
T6U1H2	Urea 50 kg/ha; Humedad 50% capacidad de campo.
T7U2H1	Urea 100 kg/ha; Humedad a capacidad de campo.
T8U2H2	Urea 100 kg/ha; Humedad 50% capacidad de campo.
T9MOY1	Materia orgánica (mejor tratamiento fase 1); Sulfato de calcio 500 kg/ha.
T10MOY2	Materia orgánica (mejor tratamiento fase 1); Sulfato de calcio 1000 kg.
T11MOP1	Materia orgánica (mejor tratamiento fase 1); Roca fosfórica 50 kg/ha.
T12MOP2	Materia orgánica (mejor tratamiento fase 1); Roca fosfórica 100 kg/ha.
T13UY1	Urea (mejor tratamiento fase 1); Sulfato de calcio 500 kg/ha
T14UY2	Urea (mejor tratamiento fase 1); Sulfato de calcio 1000 kg/ha
T15UP1	Urea (mejor tratamiento fase 1); Roca fosfórica 50 kg/ha
T16UP2	Urea (mejor tratamiento fase 1); Roca fosfórica 100 kg/ha

Tabla 4.*Distribución de macetas de estudio en laboratorio de la Fase 1*

MO2H1R2	U1H2R1	TESTIGO 1	MO1H2R1	MO2H2R2	U1H2R1
U2H1R2	MO1H2R2	U1H1R3	MO2H1R1	MO2H1R3	MO1H1R2
U2H1R3	U2H1R1	U2H2R3	MO2H2R1	TESTIGO 2	
U2H2R2	TESTIGO3	U1H1R1	MO1H1R1	MO1H1R3	
U1H2R2	U1H1R2	U1H2R3	MO1H2R3	MO2H2R3	

Fase 2: Los mejores resultados de la fase uno (T6U1H2 y T2MO1H2) fueron aplicados en parcelas a campo abierto. Las parcelas de 3x4 m, se les aplicó los tratamientos ya indicados y de manera complementaria se adicionó dos enmiendas, roca fosfórica (50 y 100 kg/ha) y sulfato de calcio (500 y 1000 kg/ha). Las parcelas fueron ubicadas al azar en el potrero # 8 de la hacienda, el riego se lo realizó cada dos días durante dos horas, la cantidad de agua aplicada fue de 20 mm por turno de riego. La nomenclatura usada para esta fase:

- T1-T4: Tratamiento con mejor resultado de fase 1 para materia orgánica.

- T5-T8: Tratamiento con mejor resultado de fase 1 para Urea.
- Y1: Sulfato de calcio a 500 kilogramos por hectárea.
- Y2: Sulfato de calcio a 1000 kilogramos por hectárea.
- P1: Roca fosfórica a 50 kilogramos por hectárea.
- P2: Roca fosfórica a 100 kilogramos por hectárea.
- R: Repeticiones del estudio.
- T: Testigo en estudio

Tabla 5.
Distribución de parcelas en campo de la Fase 2

T2Y2R1	T1	T3P1R2	T1Y1R1	T3P1R1	T2Y2R3	T7P1R1			
T8P2R1	T7P1R2	T6Y2R1	T5Y1R1	T4P2R3	T6Y2R3	T3	T6Y2R2	T8P2R3	T2Y2R2
T5Y1R2	T8P2R2	T4P2R1	T5Y1R3	T7P1R3	T4P2R2	T1Y1R3	T2	T3P1R3	T1Y1R2

3.4 Variables en estudio

3.4.1 Medición de pH, conductividad eléctrica y temperatura

- Se realizó mediciones de pH, conductividad eléctrica y temperatura cada 10 días durante un periodo de cuarenta días, estas mediciones se las realizó en las

muestras de tierra colocadas en las macetas, cada maceta contenían 1 kg de la tierra en estudio y se aplicó los tratamientos indicados previamente.

- La medición se la realizó con un conductivímetro, medidor de pH y termómetro, estas mediciones fueron tomadas en un laboratorio adaptado en la hacienda San Mateo.

3.4.2 Contenido nutricional del suelo (macro y micronutrientes)

Se realizó dos análisis de suelo, un análisis inicial para determinar el estado del suelo y el contenido de nitrógeno antes de iniciar la aplicación de los tratamientos y el segundo análisis de la muestra de suelo con el tratamiento más efectivo con mejor respuesta para realizar una comparación entre el estado inicial y final.

Para determinar la variación del contenido de N, se aplicó a las macetas en estudio las cantidades de urea explicadas previamente en la fase uno. Estas macetas contenían un volumen de agua adicionado (humedad 1 y humedad 2) y se envió las muestras de suelo al laboratorio de suelos de INIAP Santa Catalina cada diez días durante un mes, la primera muestra se envió a los diez días de la aplicación, la segunda muestra a los veinte días de la aplicación y la tercera muestra se la envió a los treinta días de la aplicación, se debe mencionar que todas las macetas recibieron la dosis de urea al mismo tiempo.

Con los resultados obtenidos del laboratorio se determinó la concentración de N y el comportamiento del pH, de acuerdo a las condiciones de humedad del suelo. Para

el efecto se utilizó suelo del sitio experimental (1 kg) y se determinó la capacidad de campo, en base a la densidad del suelo y tiempo transcurrido.

3.4.3 Medición de germinación del forraje

Esta determinación se la realizó analizando si existió o no existió germinación de los 20 gramos de semilla colocados en las macetas de estudio y en qué periodo de tiempo sucedió (10 días, 20 días, 30 días y 40 días) esta germinación, de manera adicional se determinó el tratamiento donde se dio una mejor germinación. La semilla sembrada contó con una certificación del 98% de pureza y un 99% de germinación, esta semilla fue de la variedad alto de rye grass anual.

3.4.4 Cálculo de humedad para el suelo

Para determinar la capacidad de campo y la cantidad de agua que se necesitó para el ensayo, fue necesario determinar la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y para esto se calculó la porosidad del suelo con la siguiente fórmula de cálculo de porcentaje de porosidad:

$$\%P = \left[\frac{1 - \text{densidad aparente}}{\text{densidad de partícula}} \right] \times 100$$

La densidad aparente que se determinó para el suelo fue de 1.14 g/cm^3 , con esta densidad se determinó la porosidad del suelo que fue equivalente a 0.498% lo que correspondió a una humedad de saturación de 49.8 l/m^2 .

Según Basantes (2010) es necesario al menos un 20% de espacio poroso en el suelo para que el contenido de oxígeno sea el adecuado en el suelo, es por esto que a la humedad de saturación se le resta el 20% y se obtuvo la cantidad de agua a capacidad de campo de 40.75 l/m^2 y para que el suelo este al 50% de la capacidad de campo se debía regar $20,37 \text{ l/m}^2$.

Para determinar que volumen de agua se debía aplicar en las macetas se realizó una regla de tres tomando en cuenta el área de la macetas que se usó para el estudio, de esto se determinó que el volumen para que la tierra en las macetas esté a capacidad de campo es 652 cm^3 y al 50% sería 326 cm^3 .

3.4.4 Producción de materia verde y materia seca

Mediante la toma de muestras con un cuadrante de $0,50\text{m} \times 0,50\text{m}$ se tomó una muestra, se pesó en una balanza y se determinó la producción en materia verde y luego secando en un microondas su peso en materia seca, esta medición se la realizó a los 20, 50 y 80 días de la siembra.

3.5 Diseño experimental de la investigación

Fase 1: El experimento se instaló en campo en un diseño completamente al azar con un arreglo factorial $2 \times 2 \times 2 + 1$, en total ocho tratamientos y un testigo cada uno con tres repeticiones.

27 unidades experimentales, que correspondió a una maceta plástica de 1kg.

Fase 2: El experimento se instaló en campo en un diseño de bloques completamente al azar en arreglo factorial $2 \times 2 \times 2 + 1$, ocho tratamientos y un testigo cada uno con tres repeticiones.

27 unidades experimentales, que correspondió a una parcela de 4m de largo x 3m ancho.

3.6 Unidad experimental

Fase 1: 27 unidades experimentales que corresponden a 27 macetas de 1kg cada una, en las cuales se aplicó los tratamientos (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8) para el estudio y se sembró pasto rye grass (*Lolium multiflorum*, variedad Alto).

Fase 2: 27 unidades experimentales, que correspondió a una parcela de 4 m de largo x 3 m ancho, en la cuales se aplicó los mejores tratamientos de la fase uno y adicional los tratamientos T9, T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16 y se sembró rye grass (*Lolium multiflorum*, variedad Alto).

3.6.1 Variables

Variable independiente (x)= Suelo Hacienda San Mateo

- pH del suelo
- Conductividad eléctrica (CE)
- % de humedad del suelo

Variable dependiente

- Materia orgánica.
- Urea.
- Estados de Humedad del suelo.
- Sulfato de Calcio (Yeso).
- Roca Fosfórica.
- Rendimiento de materia seca y materia húmeda del pasto.
- Germinación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Efecto de la urea y materia orgánica en el pH

El análisis inicial de suelo mostró que los potreros en estudio tenían un pH de 9.21 equivalente a un suelo alcalino, su textura es la de un suelo franco limo arenoso y un contenido medio en nitrógeno (Tabla 2).

Las muestras de suelo para el estudio fueron tomadas de potreros donde las producciones fueron más bajas durante un año de producción de cortes de pasturas y de las que se observó sintomatologías de deficiencia nutricional.

Todas las muestras de suelo se las colocó en macetas plásticas el día 14 de mayo de 2017 y se realizó cuatro mediciones de los parámetros en estudio (pH, temperatura, conductividad eléctrica), la primera medición se la realizó a los diez días de aplicados los tratamientos, la segunda a los veinte días, la tercera a los treinta días y una medición final al día cuarenta.

Tabla 6.

Análisis final de suelo después de aplicar tratamientos a parcelas, suelo analizado en laboratorio de suelos de INIAP estación Santa Catalina

Localización	pH	N	P	Ca	Mg	K	Fe	Cu	Mn	Zn	Textura
											Franco Limo
Lote 7	8.76	135	141	14.5	15.6	2.5	900	10	22	5	arenoso

Partiendo de los resultados iniciales del análisis de suelo, se aplicó los tratamientos al suelo contenido en las macetas, de estos tratamientos se obtuvo varios datos que fueron tabulados y analizados en INFOSTAT.

Del análisis de varianzas ANDEVA (Tabla 7), se obtuvo que los resultados no presentan diferencias estadísticas en ninguno de los factores en estudio pH, Ce y T°, tanto en los tratamientos como en las repeticiones con un coeficiente de variación de 0,96%. Este resultado nos demuestra que tanto la aplicación de urea como la aplicación de materia orgánica causan una variación en el pH del suelo (Tabla 8), pero sus resultados no son diferentes estadísticamente lo que nos lleva a determinar que los dos resultados pueden ser efectivos.

Tabla 7.

Análisis de varianza de los factores en estudio pH, CE y T°.

		F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	SIG.
		FASE 1	pH	Total	26	0,16	
Tratamientos	8			0,03	4,20E-03	0,56	ns
Repeticiones	2			0,01	3,40E-03	0,5	ns
Error	16			0,12	0,01		
CV %					0,96		
CE	Total		26	2,6			
	Tratamientos		8	1,03	0,13	1,43	ns
	Repeticiones		2	0,13	0,06	0,7	ns
	Error		16	1,44	0,09		
	CV %				7,84		
T°	Total		26	5,15			
	Tratamientos		8	1,58	0,20	1,28	ns
	Repeticiones	2	1,11	0,56	3,6	ns	
	Error	16	2,46	0,15			
	CV %			2,12			

Los tratamientos con urea bajaron el pH del suelo de 9.21 a 8.81 y los tratamientos con materia orgánica bajaron el pH de 9.21 a 8,85 (Tabla 8), en este caso los tratamientos que disminuyeron el pH son MO1H2 (5 Toneladas de materia orgánica y humedad al 50% de la capacidad de campo) para la materia orgánica y en el caso de la urea el tratamiento que genero mayor cambio en el pH fue U1H2 (50 kg de urea por hectárea y humedad al 50% de la capacidad de campo).

Tabla 8.
Análisis de medias de la variable pH

pH	TRATAMIENTOS		MEDIAS	RANGO
		U1H2	T1	8,81
	U2H2	T2	8,83	a
	MO2H1	T3	8,85	a
	U2H1	T4	8,85	a
	MO1H2	T5	8,85	a
	U1H1	T6	8,86	a
	MO2H2	T7	8,87	a
	MO1H1	T8	8,88	ab
	TESTIGO	Te	9	b

En la Figura 4 se observa que el comportamiento de los testigos se mantiene constante durante todo el ensayo y que no existe respuesta alguna o el cambio de pH es nulo si es que no existe la interacción de factores externos (agua, fertilizantes,

materia orgánica, enmiendas) o de materiales que puedan modificar o alterar su comportamiento.

Es sin duda de suma importancia la interacción de la humedad con el suelo para que se pueda dar una reacción, ya que la humedad permite que la urea, materia orgánica, enmiendas, ejerzan efecto y puedan reaccionar con el suelo, (Ledesma, 2000).

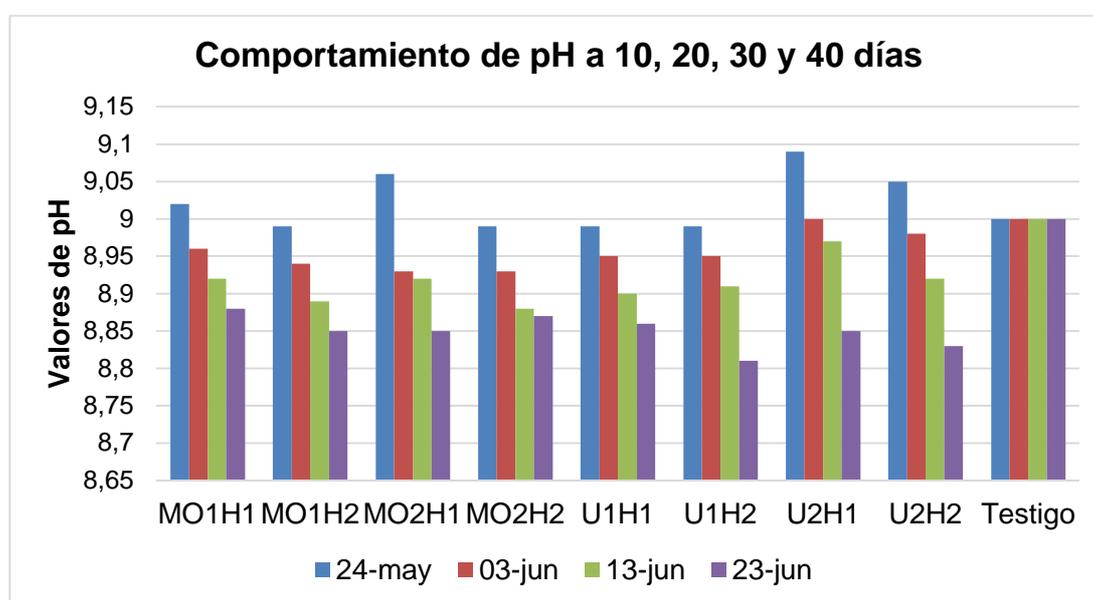


Figura 4. Comportamiento del pH durante cuarenta días de muestreo con aplicaciones de materia orgánica y urea (MO1=5ton/ha; MO2=10ton/ha; U1=50kg/ha; U2=100kg/ha) y dos estados de humedad.

El pH tuvo una ligera modificación, del valor inicial de 9.21 bajo hasta 8.81 con la aplicación de urea, en una cantidad de cincuenta kilogramos por hectárea y con la humedad al 50% de la capacidad de campo del suelo (Tratamiento 6), a pesar de que los resultados no arrojaron diferencias estadísticas, en la Figura 4 se puede observar

que con el tratamiento 6 y el tratamiento 2 existe una tendencia a la baja del pH y de igual manera se refleja el comportamiento de los testigos donde el pH se mantiene estable, esta grafica nos indica que la aplicación de los tratamientos en el suelo causan efectos positivos, logrando una tendencia a la disminución del pH en el suelo.

Para el caso de la conductividad eléctrica (CE), el comportamiento es similar en todos los tratamientos, disminuye de lecturas 4 ms/cm a lecturas de 2.5 ds/mm, en la tabla 1 podemos observar que estar en un rango entre 0 y 4 ms/cm es un valor aceptable para la conductividad eléctrica.

Analizando la Figura 5 se puede observar que la aplicación de los tratamientos en los suelos en estudio causo que la conductividad bajara de 3.99 ds/m y a un promedio de 2.85 ds/m, la tendencia a la baja se repitió en todos los tratamientos, es por esto que no se encontró diferencias estadísticas significativas para este parámetro.

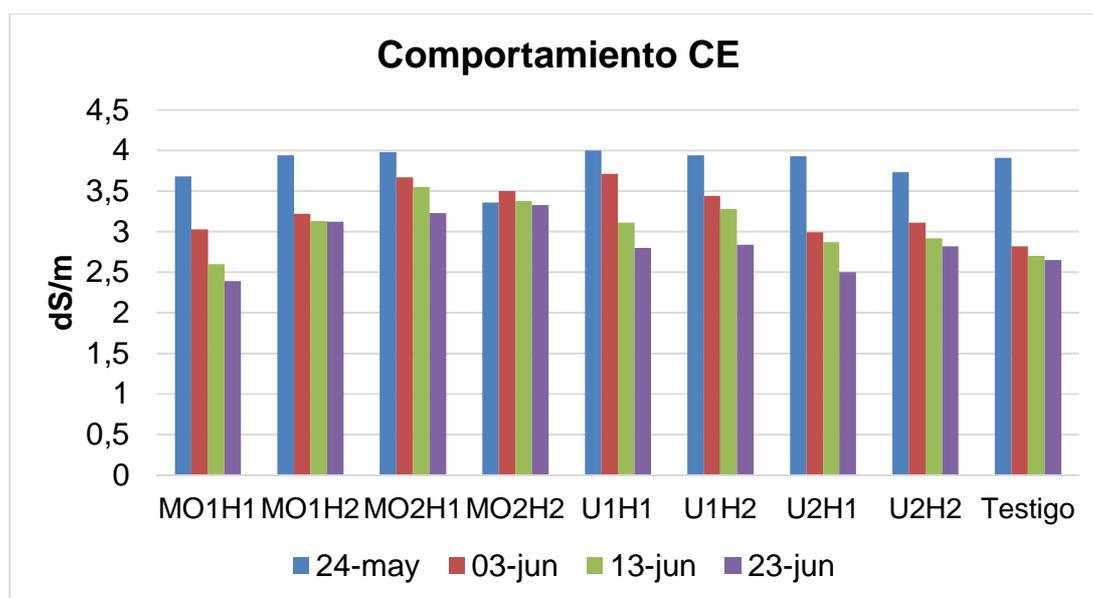


Figura 5. Comportamiento de la conductividad eléctrica (dS/m) durante cuarenta días de muestreo con aplicaciones de materia orgánica y urea (MO1=5Tn/ha; MO2=10Tn/ha; U1=50kg/ha; U2=100kg/ha) y dos estados de humedad.

La Figura 6, muestra el comportamiento de la temperatura, esta fue constante durante la investigación y como indica el análisis de varianza no presenta diferencias significativas entre tratamientos y repeticiones; de igual manera en la prueba se observó Tukey no existen diferencias significativas, estos resultados se evidencian en la figura 6 que nos muestra el comportamiento de la temperatura durante los cuarenta días de muestreo, la temperatura fue constante en cada uno de los muestreos, los rangos de la temperatura van de 16 °C a 19 °C.

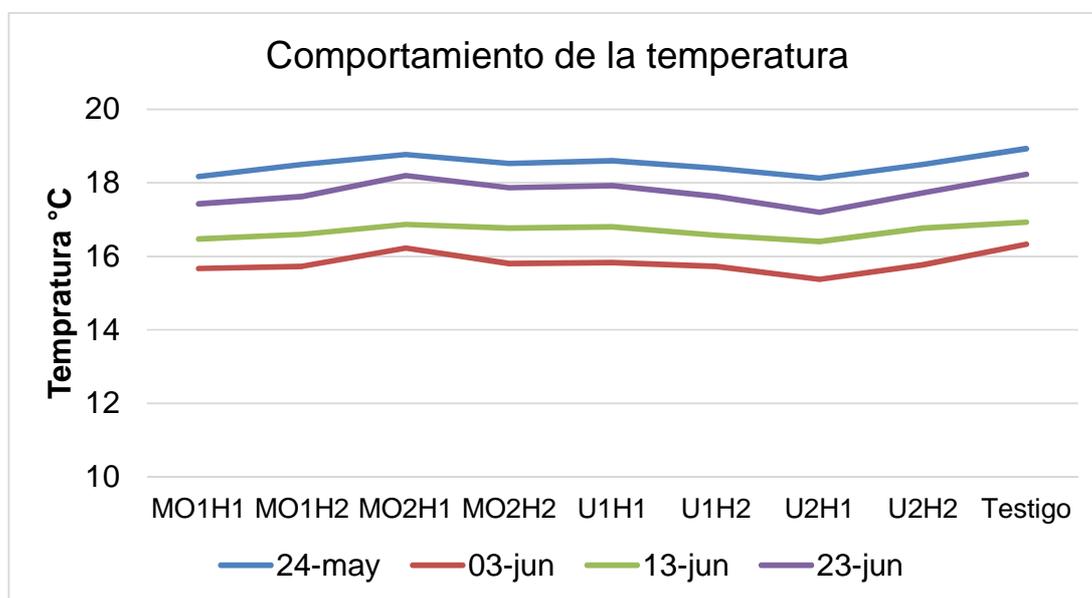


Figura 6. Comportamiento de la temperatura (°C) durante cuarenta días de muestreo con aplicaciones de materia orgánica y urea (MO1=5Tn/ha; MO2=10Tn/ha; U1=50kg/ha; U2=100kg/ha) y dos estados de humedad.

Una de las respuestas que se esperó en la investigación fue observar el comportamiento del pH, temperatura y la conductividad eléctrica, en la figura 7 se hace un comparativo de los comportamientos de los tres parámetros, en esta se observa que la temperatura se mantiene estable, la conductividad eléctrica tiene una tendencia a la baja y el pH fluctúa en cada uno de los tratamientos, cada variable es independiente del tratamiento que se le aplique.

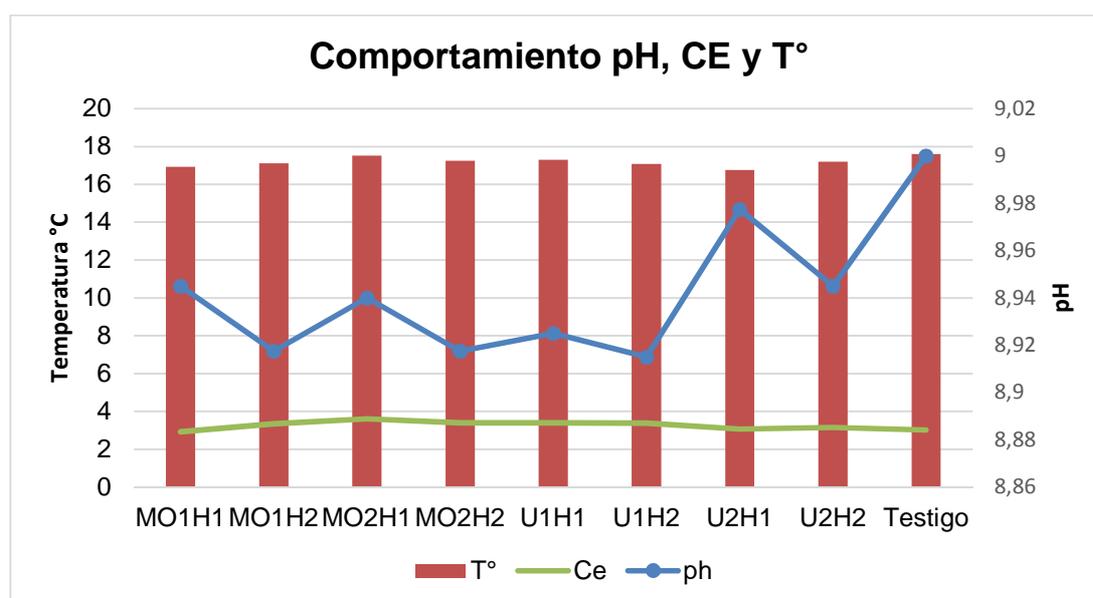


Figura 7. Medias de comportamiento de pH, temperatura y conductividad eléctrica durante un período de cuarenta días con aplicaciones de materia orgánica y urea (MO1=5Tn/ha; MO2=10Tn/ha; U1=50kg/ha; U2=100kg/ha) y dos estados de humedad.

4.2 Comportamiento del pH y contenido de nitrógeno

Según White y John (2011) el nitrógeno se mueve de manera muy rápida tanto a la planta como al suelo, siendo esta una de las características principales del elemento. En la Figura 8 podemos observar el comportamiento del nitrógeno de la urea aplicada al suelo y el comportamiento del pH en un periodo de treinta días donde se evidencia de una manera muy clara y contundente que el contenido de nitrógeno va en aumento en el transcurso de los días. En el caso de la concentración de nitrógeno (ppm) llega a su máximo a los cuarenta días de la aplicación; mientras que el pH llega a su mínimo en el mismo tiempo por lo que se podría decir que su actividad es inversamente proporcionales.

En la Figura 4 se observó que la aplicación de urea en el suelo logró modificar el pH del suelo, marcando una tendencia de disminución, este comportamiento está ligado a la cantidad de agua en el suelo, al estar el suelo al 50% de su capacidad de campo el pH disminuye. El tratamiento con mayor acumulación de nitrógeno fue el tratamiento 7 (U2H1) que es el tratamiento que lleva 100 kg de urea por hectárea con el agua a capacidad de campo, este resultado fue distinto al tratamiento con mejor efecto para la disminución de pH, para ese caso fue el tratamiento 6 (U1H2) que bajo el pH a 8,81 a los cuarenta días, de igual manera se evidencia que mientras mayor tiempo transcurre entre el análisis y la medición es mayor la disminución del pH.

Este análisis se lo realizó completamente independiente dentro de la fase uno de la investigación, ya que en estas macetas se analizó únicamente el comportamiento de los dos factores en estudio (pH y concentración de nitrógeno).

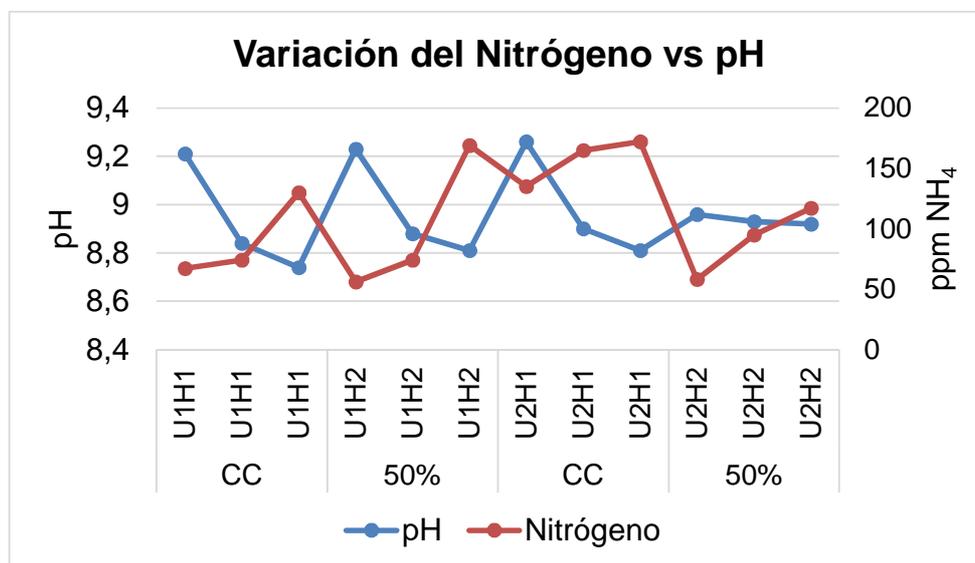


Figura 8. Comportamiento del pH y contenido de nitrógeno a diez, veinte y treinta días de aplicada urea (U1=50kg/ha; U2= 100kg/ha) y dos estados de humedad.

4.3 Suelo final

Después de haber realizado la aplicación de los tratamientos del suelo se tomó una muestra de cada una de las parcelas de estudio, se la homogeneizó y se realizó un análisis de suelo final (Tabla 6), de estos resultados se obtuvo que el pH disminuyó a 8.71, la concentración de nitrógeno se elevó de 57 ppm a 135 ppm y para el caso del fósforo pasó de una lectura inicial de 138 ppm a 141 ppm, estos resultados nos corroboran lo mencionado por White y Hodgson (2011) que indican que la movilidad del nitrógeno es muy alta en el suelo y en la planta, por otro lado también recalcan que el fósforo es un elemento de lenta movilidad y sus disponibilidad va mejorando con el pasar de los meses.

Un punto muy importante de esta lectura final del análisis de suelo es que el pH si se modificó en campo disminuyendo del pH inicial de 9.21 a 8.71 siendo el resultado muy cercano al obtenido en laboratorio (8,81). El aumento en la cantidad de nitrógeno y fosforo en el suelo pudo ser uno de los factores para que en la producción de forraje se observe un aumento en producción de 200 kg de materia seca, adicional que al tener una mayor cantidad de fósforo presente en el suelo la germinación de la semilla de pasto fue mejor comparado con las siembras anteriores.

Según Espinosa y Molina (1999), la roca fosfórica tiene una acción prolongada en el suelo, esto nos indica que su reacción y su disponibilidad no va a ser inmediata, de esto se puede decir que la disponibilidad de fósforo en los potreros ira aumentando con el pasar de los meses y los rendimientos pueden seguir teniendo una mejora.

4.4 Germinación

En las macetas en estudio se evaluó la germinación de los 20 gr de semilla que fue sembrada al inicio de la aplicación de los tratamientos, los resultados obtenidos en la germinación arrojaron que el 44% de la semilla germino hasta el día quince, el 11% hasta los veinte y un días, un 8% germinó hasta el día treinta y un 37% de la semilla no germinó, esta semilla de rye grass variedad Alto contaba con un porcentaje de germinación certificado del 98%. La Figura 9 muestra que el mayor porcentaje de germinación (44%) se dio en las macetas a las que se les dosifico materia orgánica, mientras que un 19% de germinación se dio en las macetas con urea, siendo el tratamiento 2 (MO1H2) el que mayor germinación obtuvo para el caso de la materia

orgánica y en el caso de la urea la mejor respuesta se dio en el tratamiento 6 (U1H2), coincidiendo con los tratamientos que tuvieron más éxito en la disminución del pH.

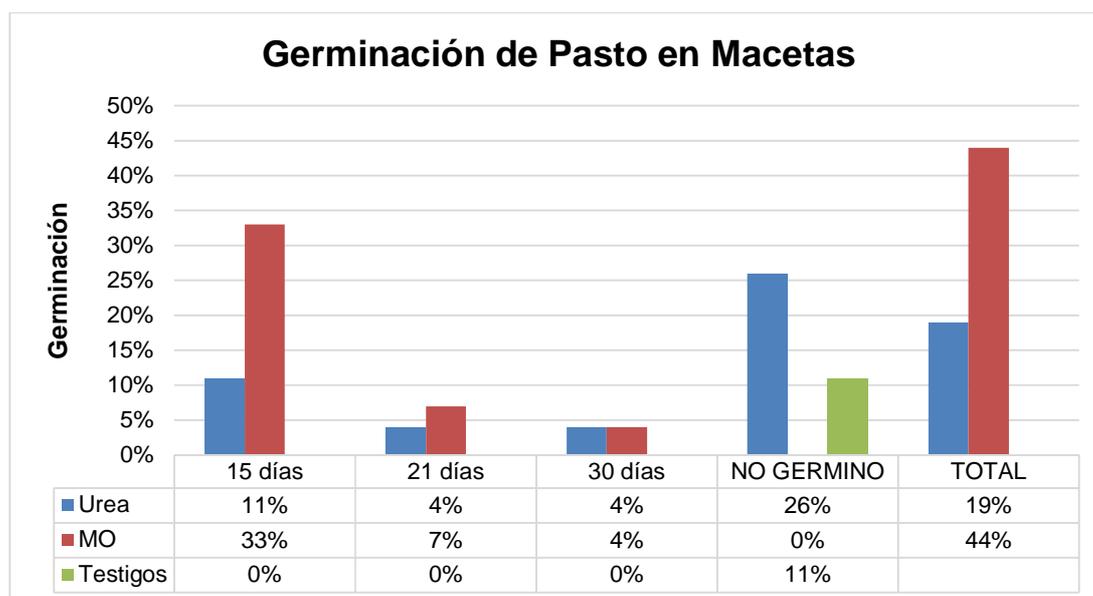


Figura 9. Porcentaje de germinación de la semilla de rye grass (*Lolium multiflorum*, variedad Alto) perenne sembrada en las 27 macetas en estudio

La germinación en los tres testigos no se dio lo que da como resultado que la interacción de los tratamientos y de la humedad da como resultado un mayor porcentaje de germinación, 63% germinado.

4.5 Producción de forraje (materia verde y seca)

La producción forrajera de la hacienda San Mateo tiene un promedio de 2000 kg/materiaseca/ha según la información anual de producción de forraje de San Mateo, el tratamiento 16 (UP2) obtuvo el mejor resultado productivo en promedio, en este

tratamiento se dosifico Urea 50 kg/ha + Roca fosfórica 100 kg/ha. La producción promedio obtenida fue de 849 kg/materiaseca/ha.

En la Tabla 9 del análisis de varianza de producción de materia seca, se encuentra que no existen diferencias significativas entre las repeticiones y tampoco existen diferencias significativas para los tratamientos.

Los coeficientes de variación de los tres cortes son elevados llegando a un 37%, esto se debe a que la investigación se la realizo en campo, y el medio ambiente juega un factor de variación en los resultados. Por otro lado el factor riego pese a que fue controlado y que apporto 20 mm de agua por cada riego cada tres días afecta la productividad de las pasturas ya que la película de agua no es siempre uniforme en toda la parcela.

La respuesta de la aplicación de la roca fosfórica fue notable ya que se observó una buena germinación en campo, esta germinación fue más acelerada que la de las parcelas donde no se aplicó roca fosfórica, tal es el caso que las parcelas con sulfato de calcio presentaron una germinación muy tardía aproximadamente al día veintitrés de sembrada la semilla.

La variedad de semilla que se utilizó para esta siembra fue la misma que se utilizó en las macetas en estudio de la fase uno para evitar errores o resultados diferentes.

Tabla 9.

Análisis de varianza de producción de materia seca en tres cortes de veintisiete parcelas en estudio de la Fase 2.

PRIMER CORTE						
F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	SIG.	
Total	26	988171,85				
Tratamientos	8	143494,52	17936,81	0,36	ns	
Repeticiones	2	42162,30	21081,15	0,4	ns	
Error	16	802515,04	50157,19			
CV %			31,37			

SEGUNDO CORTE						
F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	SIG.	
Total	26	896016,07				
Tratamientos	8	134072,74	16759,09	0,37	ns	
Repeticiones	2	34681,19	17340,59	0,4	ns	
Error	16	727262,15	45453,88			
CV %			29,81			

TERCER CORTE						
F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	SIG.	
Total	26	929718,52				
Tratamientos	8	286538,52	35817,31	0,90	ns	

Repeticiones	2	5827,19	2913,59	0,1 ns
Error	16	637352,81	39834,55	
CV %		27,74		

En la Figura 10 se observa el comportamiento de los promedios de producción de materia seca por hectárea, en el grafico se puede observar unos picos que dan producciones sobre los 800 kg/materiaseca/ha, lo que significa que aun sin tener diferencias estadísticas significativas existe una tendencia al aumento de producción con la aplicación de los tratamientos al suelo, ya que según los record de producción de la hacienda de 600 kg/materiaseca/ha se aumentó a 800 kg/materiaseca/ha, una diferencia de 200 kg/materiaseca/ha.

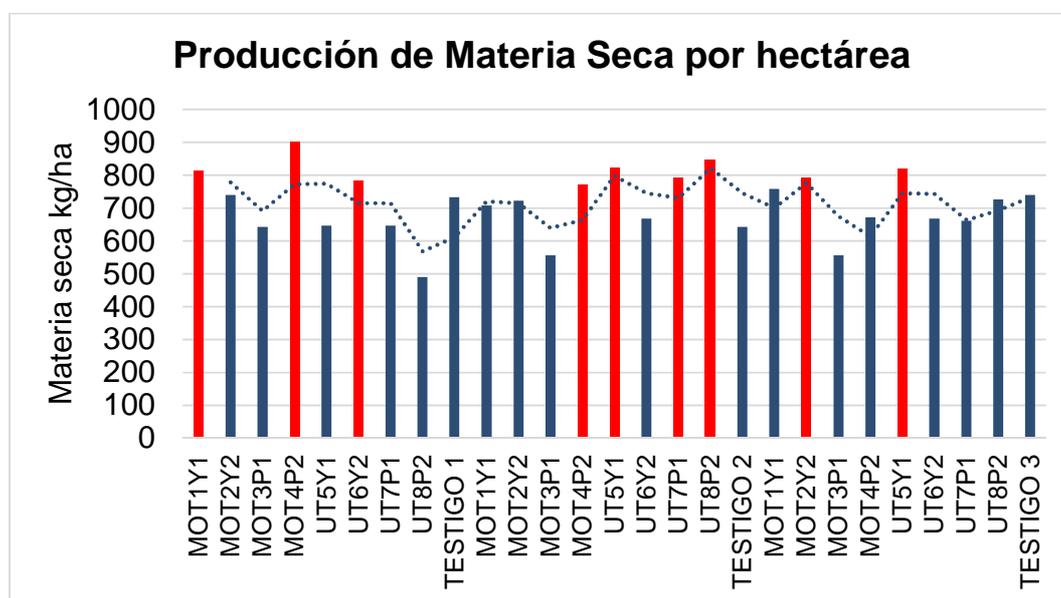


Figura 10. Producción promedio de materia seca por hectárea de las parcelas en estudio aplicadas materia orgánica (Mo1= 5 Tn/ha), urea (U1=50 kg/ha), yeso (Y1= 500 kg/ha; Y2= 1000 kg/ha), roca fosfórica (P1= 50 kg/ha; P2= 100 kg/ha).

Como resultado productivo se obtuvo una diferencia de 200 kg/materiaseca/ha, este valor en el año equivale a 1.600 kg/materia seca año.

CAPITULO V

5.1 Conclusiones

- El pH del suelo puede ser modificado con la aplicación de urea o materia orgánica, la condición principal para que esto sucede es que el suelo tenga al menos un 50% de humedad de su capacidad de campo y que las dosis aplicadas de materia orgánica sea mínimo de cincuenta toneladas por hectárea y de urea cinco kilogramos por hectárea.
- La aplicación de urea y roca fosfórica aumenta la producción de materia seca por hectárea hasta en 200 kg por hectárea.
- El contenido de nitrógeno va en ascenso desde un rango mínimo de 69 ppm a los diez días de aplicada la urea a un máximo de 179 ppm a los cuarenta días de aplicados; mientras que en el pH el contenido va en decrecimiento de un pH 9,22 a un pH de 8,81 a los treinta días de aplicado; el contenido de nitrógeno no es directamente proporcional al pH.
- La producción de forraje presenta una variación, aumentando la producción de 600 kg (registros hacienda) de materia seca por hectárea a 849 kg de materia seca por hectárea (18% de humedad), en los suelos en estudio.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda la utilización del tratamiento 6 (U1H2) y del tratamiento 2 (MO1H2) para modificar el pH, lo que se debe tomar en cuenta para una futura investigación es que el pH cambia a mayor sea el tiempo de transcurrido de la aplicación de los tratamientos, por esto se recomienda que para futuras investigaciones las evaluaciones se las realice en un periodo mínimo de cinco meses.
- Con el análisis de la producción de materia seca por hectárea se recomienda la aplicación de los tratamientos en estudio aun sin tener unos resultados satisfactorios en la estadística, ya que el aumentar el ingreso en \$1600 anuales resulta en un aumento de \$133 mensual al flujo de la hacienda.
- Por el tiempo que toma la acción de las enmiendas usadas en el estudio se recomienda realizar las mediciones de materia seca en un periodo de seis meses ya que estas enmiendas tienen la característica de ir mejorando su acción mientras mayor es su tiempo de interacción con el suelo.
- Se recomienda el uso de la urea y materia orgánica ya que estos ejercen distintos efectos sobre el suelo, en el estudio se pudo evidenciar que la materia orgánica mejoro el porcentaje de germinación del pasto, mientras que la urea tuvo una mejor acción sobre el pH, por este motivo se recomienda que el uso de

los dos productos sumados de la roca fosfórica que mostro los mejores resultados en campo.

Bibliografía

Arbelo, C. (2006). *Salinidad y alcalinidad en los suelos de las zonas aridas de Tenerife*.

Islas Canarias: Thomson.

Basantes, M. (2010). *Producción y Fisiología de Cultivos con énfasis en la fertilidad del suelo*. Quito: Union.

Bernal, J. (2003). *Manual de Nutrición y Fertilización de Pastos*. Bogota: ICA.

Espinoza, J., & Molina, E. (5 de Noviembre de 1999). *Acides y Encalado de los suelos*.

Quito: International Plant Nutrition. Obtenido de [http://nla.ipni.net/articles/NLA0072-EN/\\$FILE/Acidez.pdf](http://nla.ipni.net/articles/NLA0072-EN/$FILE/Acidez.pdf)

Fernández, M. (1986). La Urea Fertilizante Nitrogenado. En M. Fernandez, *La Urea Fertilizante Nitrogenado* (págs. 26-28). Chile: IPA la Platina.

FitzPatrick, E. (1985). Suelos. En E. FitzPatrick, *Suelos* (pág. 147). Mexico D.F: Continental.

Fulkerson, B., & Mike, B. (1997). *Managing Pasture*. Sidney, Australia: Dairy research and development corporation.

- Ledesma, M. (2000). Climatología y Meteorología Agrícola. En M. Ledesma, *Climatología y Meteorología Agrícola* (págs. 61-71). Madrid: Thomson.
- Leon, R. (2004). *Pasto y Forrajes*. Quito, Ecuador: Ediciones Científicas Agustín Alvarez.
- Luzuriaga, C. (2001). *Curso de edafología general*. Sangolquí: Editorial Politécnica - ESPE.
- Molina, J. (11 de Noviembre de 2017). *Monografias.com*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos87/materia-organica-del-suelo/materia-organica-del-suelo.shtml>
- Moreno, J. (2008). *Compostaje*. Madrid: Artes graficas Cuesta S.A.
- Ortiz, R. (01 de Abril de 2009). *Engormix*. Obtenido de <http://www.engormix.com/MA-agricultura/cultivos-tropicales/articulos/enmiendas-suelos-acidos-t2292/078-p0.htm>
- Plaster, E. (2005). La Ciencia del Suelo y su Manejo. En E. Plaster, *La Ciencia del Suelo y su Manejo* (pág. 166). Madrid: Thomson.
- Porta, J. (2011). *Introducción a la edafología usao y protección*. Madrid: Artes gráficas Cuesta S.A.
- Rawson, M., & Gómez, H. (07 de 01 de 2017). *FAO*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/006/x8234s/x8234s00.htm#Contents>

Sainz, H., Hecheverria, H., & Angelini, H. (2010). *Niveles de materia organica y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana Argentina*. Buenos Aires: Informaciones Agronomicas.

SANCOR. (2012). *Bienestar Animal*. Buenos Aires: LOGRO Producciones Graficas S.A.

SENPLADES. (08 de Agosto de 2017). *Secretaría Nacional de Planificación*. Obtenido de <http://www.planificacion.gob.ec/2-como-se-puede-transformar-el-estado/>

Tuñón, G. (2016). *Ciencia y arte detras de un pastoreo efectivo*. Buenos Aires: Portal lechero Argentino.

White, J., & John, H. (2011). *Pasture and crop science*. Melbourne: Oxford.

