

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
-IIA-



**Respuesta del pasto humedícola (*Urochloa humidicola*)
al encalado y aplicaciones de nitrógeno y fósforo,
en los suelos de Cristina, Los Amates, Izabal.**

CARLOS FRANCISCO VÁSQUEZ MARROQUÍN

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2010.

**UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
-IIA-**

Respuesta del pasto humedícola (*Urochloa humidicola*) al encalado y aplicaciones de nitrógeno y fósforo, en los suelos de Cristina, Los Amates, Izabal.

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

CARLOS FRANCISCO VÁSQUEZ MARROQUÍN

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

LIC. CARLOS ESTUARDO GALVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACUTAD DE AGRONOMÍA

| | |
|---------------|---|
| DECANO | Ing. Agr. MSc. Francisco Javier Vásquez Vásquez |
| VOCAL PRIMERO | Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes |
| VOCAL SEGUNDO | Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria |
| VOCAL TERCERO | Ing. Agr. MSc. Oscar René Leiva Ruano |
| VOCAL CUARTO | P. Forestal Axel Esaú Cuma |
| VOCAL QUINTO | P. Contador Carlos Alberto Monterroso González |
| SECRETARIO | Ing. Agr. MSc. Edwin Enrique Cano Morales |

Guatemala, noviembre de 2010.

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

Respuesta del pasto humedícola (*Urochloa humidicola*) al encalado y aplicaciones de nitrógeno y fósforo, en los suelos de Cristina, Los Amates, Izabal.

Como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Carlos Francisco Vásquez Marroquín

ACTO QUE DEDICO

A

DIOS: Nuestro Padre Celestial por darme la vida, por permitirme alcanzar una meta más, por darme sabiduría, fortaleza y ser siempre la luz que ilumina mi camino.

MIS PADRES: Francisco Javier Vásquez Vásquez
Iris Lily Marroquín de Vásquez
Por ser mi principal ejemplo de vida, porque gracias a sus sabios consejos y apoyo incondicional hoy cumplen uno de sus principales anhelos, después de tantas jornadas llenas de lucha, amor y esperanza. Los amo.

MIS HERMANAS: María Dolores, Lissy Vanessa y María Fernanda
Gracias por su apoyo incondicional y por ayudarme en todo momento, compartiendo esta alegría al cumplir esta meta que deseábamos realizar. Las quiero.

MI ESPOSA: Ingrid Paredes
Porque Dios te puso en mi camino para compartir el resto de mi vida y ser la madre ejemplar de mis hijos.
Gracias por tu apoyo incondicional para alcanzar este éxito. Te amo.

MIS HIJOS: Henry Josué, Julián Francisco y Carlos Javier porque han llenado mi vida de felicidad, porque espero que este esfuerzo sea un ejemplo para ustedes y por ser la fuente de energía que me mantiene luchando. Los quiero.

MI TÍA: Vilma Marroquín, gracias por brindarme su apoyo y cariño incondicional en todos los momentos de mi vida. La quiero.

MIS SOBRINAS Gabriela y Débora, gracias por su cariño. Espero que este logro sea un ejemplo para ustedes.

MIS ABUELOS: Ramiro Marroquín (Q.E.P.D.)
María Del Carmen Vásquez (Q.E.P.D.)
Que descansan en la presencia del señor, y nunca serán olvidados.
Juan Antonio Vásquez
Porque con su sabiduría siempre me guía por el mejor camino.

A MI SUEGRO: Arturo
Por la alegría, los momentos de convivencia, el apoyo incondicional y cariño brindado para poder alcanzar este triunfo.

MI FAMILIA EN GENERAL:
Por su incondicional apoyo, afecto y cariño.

MIS AMIGOS: Por su apoyo y confianza brindada, por momentos y experiencias compartidas durante estos años. Gracias por su sincera y valiosa amistad.

USTED ESPECIALMENTE
Un agradecimiento sincero que me acompañó como muestra de cariño y afecto.

AGRADECIMIENTOS

A: Dios

Guatemala

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Agronomía

Mi supervisor *Ing. Agr. Fredy Hernández Ola* por el asesoramiento brindado en el transcurso del EPS.

Mi asesor *Ing. Agr. Anibal Sacbajá* por el asesoramiento brindado para la realización del presente trabajo de graduación.

Las Empresas Pecuagro S.A. y Ganaderos de Izabal, S.A. por la oportunidad de realizar mi ejercicio profesional supervisado.

Todas aquellas personas, aunque no se nombren, que de alguna manera han contribuido con su cariño, trabajo y consejos para culminar esta meta.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 3 |
| 3. JUSTIFICACIÓN..... | 4 |
| 4. MARCO TEÓRICO | 5 |
| 4.1 MARCO CONCEPTUAL | 5 |
| 4.1.1. Acidez de los suelos | 5 |
| 4.1.2. Principales factores que producen la acidez de los suelos tropicales | 5 |
| 4.1.3. Lixiviación o lavado de bases | 6 |
| 4.1.4. Encalado..... | 6 |
| 4.1.5. La cal dolomita para neutralizar la acidez del suelo | 7 |
| 4.1.6. Efecto de la cal en el ambiente..... | 8 |
| 4.1.7. El Nitrógeno | 9 |
| 4.1.8. El Fósforo | 10 |
| 4.1.9. Efecto del pH sobre la disponibilidad de otros nutrientes | 11 |
| 4.1.10. Importancia de los pastos en la producción pecuaria..... | 12 |
| 4.2 MARCO REFERENCIAL | 12 |
| 4.2.1. Lugar del experimento | 12 |
| 4.2.2. Característica botánica de la especie vegetal a utilizar en el experimento | 14 |
| 4.2.3. Descripción botánica del pasto humedícola..... | 14 |
| 4.2.4. Antecedentes de investigaciones | 14 |
| 5. OBJETIVOS..... | 16 |
| 5.1 Objetivo General..... | 16 |
| 5.2. Objetivos Específicos..... | 16 |
| 6. HIPÓTESIS..... | 16 |
| 7. METODOLOGÍA | 17 |

| | |
|--|----|
| 7.1 Estudios Preliminares | 17 |
| 7.1.1 Análisis de la muestra de suelo | 17 |
| 7.1.2. Análisis químico de la cal dolomita | 18 |
| 7.2 Unidad Experimental..... | 19 |
| 7.3 Tratamientos..... | 19 |
| 7.4 Diseño experimental | 21 |
| 7.5 Variables evaluadas..... | 22 |
| 7.5.1. Biomasa expresada en materia seca (Kg.ha ⁻¹)..... | 22 |
| 7.5.2. Porcentaje de proteína cruda (pPC) y el rendimiento de proteína cruda (rPC) | 22 |
| 7.5.3. Determinación del pH, calcio, magnesio, del suelo | 22 |
| 7.5.4. Análisis económico | 22 |
| 7.5.5. Análisis de la información | 23 |
| 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 23 |
| 8.1. Rendimiento de biomasa (Materia seca a kg.ha ⁻¹)..... | 24 |
| 8.2. Efecto en el porcentaje y el rendimiento de proteína cruda | 26 |
| 8.2.1. Porcentaje de Proteína Cruda (pPC) | 26 |
| 8.2.2. Rendimiento de proteína cruda (rPC) | 28 |
| 8.3.Efecto en el pH, Ca y Mg | 29 |
| 8.3.1. pH | 29 |
| 8.3.2. Calcio (Ca)..... | 30 |
| 8.3.3 Magnesio (Mg)..... | 32 |
| 8.4. Análisis económico | 33 |
| 9. CONCLUSIONES | 37 |
| 10. RECOMENDACIONES..... | 38 |
| 11. BIBLIOGRAFÍA | 39 |
| 12. ANEXOS..... | 41 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación del departamento de Izabal, y el municipio de los Amates. | 13 |
| Figura 2 Ubicación geográfica, de la localidad donde se realizó el experimento (finca Cristina, caserío Cristina, Los Amates, Izabal, Guatemala.)..... | 13 |
| Figura 3. Unidad experimental que se utilizó en el diseño de bloques completos al azar. | 19 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Equivalente químico y composición química de diferentes enmiendas en forma pura. Rojas, A; Molina, E; Morales, F. 1998, (20)..... | 8 |
| Cuadro 2 Análisis químico de la muestra de suelos de la finca Cristina realizado por Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala..... | 17 |
| Cuadro 3 Análisis físico de la muestra de suelos de la finca Cristina realizado por Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala..... | 18 |
| Cuadro 4 Contenido de Ca y Mg expresado en forma CaCO_3 de la cal dolomita utilizada en la investigación. | 18 |
| Cuadro 5 . Descripción de los tratamientos utilizados indicando en cada uno los niveles de cal dolomita, nitrógeno y fósforo aplicados. | 20 |
| Cuadro 6 Resultados obtenidos de Biomasa de los diferentes tratamientos evaluados con base en el peso de materia seca expresada en gr.m^2 y kg.ha^{-1} , en el pasto humedícola (<i>U. humidicola</i>), Los Amates, Izabal. | 24 |
| Cuadro 7. Análisis de varianza para la variable rendimiento de biomasa en los diferentes tratamiento evaluados con base en el peso de materia seca expresada en gr.m^2 , en el pasto humedícola (<i>U. humidicola</i>) , Los Amates, Izabal..... | 25 |
| Cuadro 8. Resultados obtenidos en la prueba de medias de Tukey de los diferentes tratamientos evaluados con base en el peso de materia seca expresada en gr.m^2 y kg.ha^{-1} en el pasto humedícola (<i>U. humidicola</i>) , Los Amates, Izabal..... | 26 |

Cuadro 9. Elementos totales y porcentaje de proteína cruda contenido en las muestras de tejido vegetal del pasto humedícola (*U. humidicola*) cultivado en Cristina, Los Amates Izabal.27

Cuadro 10. Rendimiento de proteína cruda en las muestras de diferentes tratamientos en el pasto humedícola (*U. humidicola*) cultivado en Cristina, Los Amates Izabal, analizados en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.....28

Cuadro 11. pH obtenido de los diferentes tratamientos evaluados en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal en el cultivo de pasto humedícola (*U. humidicola*), analizados en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.....30

Cuadro 12. Análisis de varianza para la variable valor de pH en los diferentes tratamientos evaluados, en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal30

Cuadro 13. Contenido de calcio (Ca), en meq/100 ml analizados en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, obtenido de los diferentes tratamiento evaluados en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal en el cultivo de pasto humedícola (*U. humidicola*).31

Cuadro 14. Análisis de varianza para la variable contenido de calcio (Ca) en meq/100 ml reportado por el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía, USAC, en los diferentes tratamiento evaluados, en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal en el cultivo de pasto humedícola (*U. humidicola*).31

Cuadro 15. Contenido de magnesio (Mg), en meq/100ml, analizados en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, obtenido de los diferentes tratamiento evaluados

en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal en el cultivo de pasto humedícola (*U. humidicola*).32

Cuadro 16. Análisis de varianza para la variable contenido de magnesio (Mg) en meq/100 ml, analizados en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en los diferentes tratamiento evaluados, en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal en el cultivo de pasto humedícola (*U. humidicola*).33

Cuadro 17. Presupuestos parciales para los diferentes tratamientos evaluados en el encalado de suelos de la serie Cristina, en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal en el cultivo de pasto humedícola (*U. humidicola*). En el año 2010.....34

Cuadro 18. Análisis de Dominancia para los diferentes tratamientos evaluados en el encalado de suelos de la serie Cristina, en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal en el cultivo de pasto humedícola (*U. humidicola*). En el año 2010.....35

Cuadro 19. Tasa marginal de retorno para los tratamientos no dominados (ND) en el encalado de suelos de la serie Cristina, en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal en el cultivo de pasto humedícola (*U. humidicola*). En el año 2010.....36

Cuadro 20. Reporte del Herbario BIGU, de la determinación de la especie de pasto humedícola cultivado en el área experimental.42

Cuadro 21. Análisis químico y físico del suelo realizado por el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde se realizo el experimento.....43

Cuadro 22. Análisis químico de la muestra de cal dolomita realizado por el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.....44

Cuadro 23. Determinación de la dosis de cal, utilizando la metodología propuesta por Molina Rojas, E. 1998. (18) con base a los análisis de las muestras de suelo y cal dolomita realizadas por el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.....45

Cuadro 26A: Análisis químico de tejido vegetal del pasto humedícola (*U. humidicola*) realizado por el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.....52

Respuesta del pasto humedícola (*Urochloa humidicola*) al encalado y aplicaciones de nitrógeno y fósforo, en los suelos de Cristina, Los Amates, Izabal.

Response of " humedicola " grass (*Urochloa humidicola*) to liming and nitrogen, phosphorus applications, in Cristina soil, at Los Amates, Izabal.

RESUMEN

La producción ganadera es una de las principales actividades económicas del departamento de Izabal y la alimentación del ganado se hace principalmente a través del cultivo de pastos tales como *Urochloa humidicola*, *Urochloa decumbes*, *Urochloa brizantha*, y otros ecológicamente adaptados a esta zona, por lo que la poca disponibilidad y calidad de las pasturas afecta la producción ganadera. El departamento de Izabal pertenece al bosque muy húmedo tropical (bmh-T), según el INSIVUMEH. 2008. (11) dicha zona se caracteriza principalmente por tener una alta temperatura (27.6 °C), alta precipitación pluvial(3679.2 mm) y un promedio de lluvia de (200 días), estos son algunos factores que provocan la lixiviación o lavado de las bases del suelo, dándose como resultado la acidez de los suelos.

El encalado es una práctica utilizada para corregir la acidez de los suelos, en esta investigación se evaluaron los efectos de ocho tratamientos en un diseño de bloques completos al azar, utilizando cal dolomita, nitrógeno y fósforo en diferentes dosis y así evaluar el rendimiento de biomasa del pasto humedicola (*Urochloa humidicola*), el porcentaje y rendimiento de proteína cruda. El pH y el contenido de Ca y Mg en el suelo también fueron estudiados. El estudio se realizó en la localidad de Cristina, municipio de Los Amates, del departamento de Izabal, en un terreno cultivado con pasto humedicola. Los mejores rendimientos de biomasa del pasto humedicola (*Urochloa humidicola*) se obtuvieron con la aplicación de 4000, 2000, 3000 y 1000 kg.ha⁻¹ de cal dolomita (CaMgCO₃), adicionando 50 kg de nitrógeno ha⁻¹ cada 30 días durante 3 meses y 50 kg.ha⁻¹ de Fósforo en una sola aplicación de este elemento. Los rendimientos obtenidos para el testigo fueron 249.08 kg.ha⁻¹ y el resto de los tratamientos reportaron valores de 913.70, 847.90, 746.80 y 735.80 kg.ha⁻¹ de biomasa, respectivamente.

Mediante el presente estudio se determinó que el porcentaje de proteína cruda se vio incrementado por las aplicaciones de cal dolomita, nitrógeno y fósforo (8.31 a 11.63 %), con respecto al testigo (7.13 %), esto evidencia el mejoramiento de la calidad del pasto en estudio.

Los valores del pH (5.5 a 5.8) así como los contenidos de calcio (1.78 a 2.45 meq/100 ml) y de magnesio (0.84 a 1.20 meq/100 ml) en el suelo, no presentaron ningún incremento significativo, estadísticamente hablando.

El análisis económico practicado determinó que tres aplicaciones de 50 kg.ha^{-1} de Nitrógeno cada treinta días (tratamiento seis en este estudio) durante un período de evaluación de cuatro meses, reportó una tasa marginal de retorno de 175.23 % lo que nos indica que por cada quetzal que se invierta se recupera éste y 1.75 adicional.

1. INTRODUCCIÓN

El departamento de Izabal, cuya actividad económica se caracteriza por la existencia de fincas ganaderas dedicadas a la producción de carne y leche. Según el IV censo nacional agropecuario del año 2003, se reportaron 106,789 fincas, dedicadas a la producción pecuaria y 1,627,522 cabezas de ganado (10).

Según lo indica Castro Ramírez, A. 2,002, (3) la producción ganadera depende de tres factores importantes: la raza, la salud animal y el manejo; dentro del componente manejo, se incluye la alimentación dada principalmente por cultivos forrajeros que se establecen en el área de estudio, siendo los pastos mejorados los que ocupan un lugar importante en las pasturas de dicho departamento del país. Una de las especies forrajeras utilizadas como fuente de forraje es el pasto humedícola (*Urochloa humidicola*), especie nativa del África el cual se introdujo al trópico guatemalteco, siendo una de las características principales su tolerancia al pisoteo del ganado, a la chinche salivosa y adaptación a suelos mal drenados.

Como consecuencia de la alta precipitación pluvial (3679.2 mm anuales) en los pastizales de humedícola sembrados en esa zona se ven afectados por la poca disponibilidad de nutrientes, debido a que los suelos han perdido sus bases como calcio, magnesio, potasio, fenómeno que según Kass, DCL. 1998. (12) se conoce como lixiviación o lavado de bases, repercutiendo en los rendimientos y calidad de los pastos.

La presente investigación se realizó en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal, en un terreno cultivado con pasto humedícola (*U. humidicola*), en la cual se evaluaron ocho tratamientos con diferentes niveles de cal dolomita ,(1000 kg de $\text{CaMgCO}_3 \text{ ha}^{-1}$.), (2000 kg de $\text{CaMgCO}_3 \text{ ha}^{-1}$, (3000 kg de $\text{CaMgCO}_3 \text{ ha}^{-1}$), (4000 kg de $\text{CaMgCO}_3 \text{ ha}^{-1}$) 50kg de N ha^{-1} y 50 kg de $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$). Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Las variables de respuesta evaluadas fueron: biomasa expresada en Kg de materia seca ha^{-1} , pH, calcio y magnesio intercambiable en el suelo, concentración nutrimental y rendimiento de proteína cruda en el tejido vegetal. A las variables evaluadas se les practicó un análisis de varianza y una prueba de medias de Tukey 0.05 % de

significancia, cuando el análisis de varianza reportó diferencia significativa. Además, se realizó un análisis económico marginal.

Con base en los análisis estadísticos realizados se determinó que los mejores rendimientos de biomasa del pasto humedícola (*Urochloa humidicola*) fueron de 913.70, 847.90, 746.80 y 735.80 kg.ha⁻¹ de biomasa, con la aplicación de 4000, 2000, 3000 y 1000 kg.ha⁻¹ de cal dolomita (CaMgCO₃). Adicionando 50 kg de N.ha⁻¹ cada 30 días durante 4 meses y 50 kg. de P₂O₅ ha⁻¹ en una sola aplicación.

En el análisis marginal practicado a los tratamientos, se determinó que el tratamiento más económico consistió en tres aplicaciones de 50 kg de Nitrógeno ha⁻¹ cada treinta días (tratamiento seis en este estudio) durante un período de evaluación de cuatro meses, reportó una tasa marginal de retorno de 175.23 % lo que nos indica que por cada quetzal que se invierte se recupera este y 1.75 adicional.

Las variables relacionadas con contenidos de calcio, magnesio y el pH del suelo, en este estudio, al realizar los análisis de varianza no presentaron diferencias significativas.

Debido a que tres aplicaciones de 50 kg de Nitrógeno ha⁻¹ cada treinta días resultó ser el mejor tratamiento bajo el punto de vista de rentabilidad, se recomienda este tratamiento para el cultivo de pasto humedícola (*U. humidicola*), bajo las condiciones donde se realizó la presente investigación.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La producción ganadera es una de las principales actividades económicas del departamento de Izabal y la alimentación del ganado se hace principalmente a través del cultivo de pastos, por lo que la poca disponibilidad y calidad de las pasturas afecta la producción ganadera. En la localidad de Cristina, a 212 Km de la ciudad capital se ubican varias fincas ganaderas que se encuentran cultivadas con diferentes especies de pastos tales como *Urochloa humedicola*, *Urochloa decumbes*, *Urochloa brizantha*, y otros ecológicamente adaptados a esta zona, la que pertenece al bosque muy húmedo tropical (bmh-T), según el INSIVUMEH. 2008. (11) dicha zona se caracteriza principalmente por tener una alta temperatura (27.6 °C), alta precipitación pluvial(3679.2 mm) y un promedio de lluvia de (200 días), estos son algunos factores que provocan la lixiviación o lavado de las bases del suelo, dándose como resultado la acidez de los suelos.

Según German, W. H. y Thompson, L. M., citados por Tobías Vásquez (24), la acidez del suelo es un fenómeno que se presenta de manera notoria en los suelos ubicados en áreas tropicales húmedas, la acidez se debe al reemplazo paulatino de las bases cambiables: calcio, magnesio, potasio y sodio por iones hidrógeno, aluminio y hierro. Según Perdomo, R. citado por Tobías Vásquez (24), más de la mitad del departamento de Izabal pertenecen a la división fisiográfica de las " Tierras bajas del Petén-Caribe " cuyos suelos tienen sus bases lixiviadas que les da una característica ácida, que resulta un problema importante en vista que dificulta el desarrollo de las plantas y la poca respuesta de los fertilizantes cuando son aplicados a los cultivos, afectando los rendimientos de las especies cultivadas como los pastos.

3. JUSTIFICACIÓN

Teniendo esta zona un gran potencial para la producción ganadera se hace importante determinar la cantidad de cal dolomita (CaMgCO_3) en Kg.ha^{-1} necesaria para mejorar el pH de estos suelos, aumentando la concentración de calcio y magnesio y la disponibilidad de otros elementos como el fósforo. Así mismo es importante evaluar económicamente la actividad del encalado en la zona de estudio.

La determinación de la cantidad de cal dolomita que debe aplicarse como enmienda y las aplicaciones de N y P en el cultivo de pasto *U. humidicola*, en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal, es importante ya que esto ayuda a mejorar el aprovechamiento de los nutrientes del suelo por parte de la planta (*U. humidicola*) y de esa manera incrementar el rendimiento de biomasa disponible para la alimentación del ganado y en consecuencia la carga animal y ganancia en peso diario para el ganado se ven incrementadas.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 MARCO CONCEPTUAL

4.1.1. Acidez de los suelos

Según Kass, DCL. 1998. (12), la acidez de un suelo es una medida de la concentración y actividad de los iones hidrónico (H_3O^+), presentes en la superficie de las partículas coloidales (arcilla y humus) y en la disolución acuosa que la rodea. Pero en forma general se identifica como valor de pH del suelo a la concentración del protón hidrógeno en la disolución del suelo en una escala de 0 a 14, si el valor de pH es menor que 7 se considera ácido, si tiene un valor de 7 se considera neutro y si tiene un valor de pH mayor de 7 se considera básico. La definición de pH más generalizada es “el logaritmo del recíproco de la actividad del ion hidrógeno” por ejemplo si la concentración de iones de hidronio es de 0.0002 molar el valor del pH es igual a: $-\log_{10}(H_3O^+) = 3.7$ unidades en pH.

4.1.2. Principales factores que producen la acidez de los suelos tropicales

Los principales agentes que producen acidez en los suelos tropicales, según Kass, DCL. 1998. (12), son:

- La lixiviación o el lavado de bases, como calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}), Potasio (K^+), y sodio (Na^+), identificados genéricamente como metales alcalinos los dos primeros, alcalinos-térreos los dos últimos.
- La presencia de sulfuros, o de compuestos sulfurados en las regiones costeras, por influencia de las mareas; o en hábitats similares, donde crecen árboles de mangle.
- La fertilización de suelos agrícolas, cuando se usan fertilizantes que generan acidez en el suelo.
- El comportamiento químico del hierro y el aluminio en la solución del suelo.

- El efecto residual de compuestos húmicos derivados de la mineralización y humificación de residuos orgánicos aportados al suelo por organismos (animales o plantas), que producen grupos carboxílicos y fenólicos los cuales generan ácidos débiles en el suelo.

4.1.3. Lixiviación o lavado de bases

La lixiviación se da cuando la lluvia excede la evapotranspiración potencial o sea la cantidad de agua que transpira una planta a través de sus estomas, más la evaporación directa del agua por la superficie del suelo. La lixiviación trae como consecuencia el arrastre de minerales solubles y las bases o cationes no ácidos como el calcio, el magnesio, el potasio, el sodio, que al encontrarse en la superficie del suelo son trasladados hacia el subsuelo (12).

4.1.4. Encalado

Según Rojas, A; Molina, E; Morales, F. 1998. (20), El encalado es la aplicación masiva de sales básicas con el objeto de neutralizar la acidez del suelo. Los productos que se utilizan como correctivos de la acidez del suelo son principalmente carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de Ca y/o Mg. La acción neutralizante de los materiales de encalado no se debe en forma directa al calcio y magnesio sino más bien a las bases químicas a las cuales están ligados estos cationes: CO_3^{-2} , OH^- , y SiO_3^{-2} . Los cationes reemplazan a los iones ácidos de las posiciones intercambiables y los ponen en solución, y al entrar en contacto la cal con el agua del suelo las sales básicas se disocian y generan cationes y OH^- . Los OH^- generados por los carbonatos, hidróxidos y silicatos neutralizan la acidez del suelo al propiciar la precipitación del Al como $\text{Al}(\text{OH})_3$ y la formación de agua. Las sales básicas de Ca y Mg son muy abundantes en la naturaleza y además estos dos elementos son esenciales para la nutrición de las plantas, a eso se debe que sean utilizados como correctivos de la acidez de mayor uso.

Las enmiendas según Cardona Barrientos, citado por López Santos, FA. 1998, (14), indica que son todos aquellos materiales que se incorporan al suelo con el objeto de mejorar sus propiedades físicas químicas o biológicas.

Laroche, F.A., citado por Miyares Jordán, RE. 1977, (17) indican que los efectos directos e indirectos del encalado en el suelo son los siguientes.

Efectos sobre propiedades físicas:

- Mejor agregación de partículas y estructura, mejores condiciones de aireación y movimiento de agua.

Efectos sobre propiedades químicas:

- Aumento de ion OH^- y disminución del ión H^+ en la solución del suelo; disminución de la toxicidad de Al, Mn y Fe, regulación de la disponibilidad de P y Mo; aumento de la disponibilidad de Ca y Mg y aumento del porcentaje de saturación.

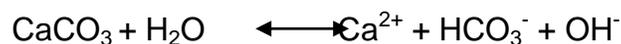
Efectos biológicos:

- Mejora de las condiciones de desarrollo de microorganismos, especialmente bacterias; aumento de la materia orgánica; mejora de los procesos de amonificación, nitrificación y fijación de nitrógeno.

4.1.5. La cal dolomita para neutralizar la acidez del suelo

La cal dolomita pura contiene dos componentes esenciales que son el carbonato de calcio (CaCO_3) y el carbonato de magnesio (MgCO_3) y es ampliamente reconocido como un material ampliamente utilizado para las enmiendas. (12)

Coleman, *et al.* 1959, citado por Kass, DCL. 1998 (12) Indica que en disolución acuosa el carbonato de calcio (CaCO_3) se disuelve e hidroliza para formar iones hidroxilo u OH^- , con base en la siguiente reacción.



Los materiales usados para encalar están afectados por una serie de factores tales como: la fuente o material neutralizante, pureza química, la solubilidad, la velocidad de remoción de iones hidronio, la velocidad de hidrólisis de hierro y aluminio, la presión parcial del dióxido de carbono, el tamaño de las partículas de cal, el manejo y factores ambientales.

Tal y como lo indica Rojas, A; Molina, E; Morales, F. 1998, (20), todos los materiales difieren en su capacidad de neutralizar la acidez del suelo, para conocer estas características se utiliza el criterio de Efectividad Química, Equivalente Químico (EQ) o Poder de Neutralización, que se define como la capacidad de neutralizar la acidez que tiene un material con relación al carbonato de calcio puro al cual se le asigna un valor de 100 %.

Cuadro 1. Equivalente químico y composición química de diferentes enmiendas en forma pura. Rojas, A; Molina, E; Morales, F. 1998, (20).

| Material | Equivalente Químico (EQ) | Composición Promedio | % de Ca y Mg |
|-----------------------|--------------------------|--|--------------|
| Carbonato de Calcio | 100 | 85-95% CaCO ₃ | 40 |
| Dolomita | 108 | 42% MgCO ₃ 52% CaCO ₃ | 12 21 |
| Oxido de Calcio | 179 | 85% CaO | 71 |
| Hidróxido de calcio | 138 | 65% Ca (OH) ₂ | 54 |
| Hidróxido de magnesio | 172 | ----- | 41 |
| Carbonato de magnesio | 119 | ----- | 28.5 |
| Oxido de magnesio | 248 | 60-90% MgO | 60 |
| Silicato de calcio | 86 | ----- | 34.4 |
| Silicato de magnesio | 100 | ----- | 24 |

Fuente: Rojas, A; Molina, E; Morales, F. 1998, (20).

4.1.6. Efecto de la cal en el ambiente

El uso apropiado de la cal agrícola protege el ambiente, incrementa la eficiencia de los nutrientes y de los fertilizantes, mejora la efectividad de algunos herbicidas y aumenta las utilidades del cultivo. La agricultura de hoy debe ser una agricultura sostenida. La creación y la mantención de la productividad del suelo a largo plazo es lo que hace a la agricultura moderna sostenida.

Los beneficios de un suelo de alta productividad incluyen: la protección ambiental, el uso eficiente de los insumos y una mayor utilidad. En aquellos suelos en donde la acidez limita el rendimiento del cultivo, la aplicación de cal agrícola es la mejor práctica de manejo.

4.1.7. El Nitrógeno

Según Sutton, BD; Harmon, NP. 1976. (23), el nitrógeno es un ciclo de nutrientes gaseosos. El principal depósito de nitrógeno es la atmósfera terrestre, que se combina (es decir, se fija) con otras sustancias para dar lugar a compuestos orgánicos que utilizan las plantas y los animales. Cuando las plantas y los animales mueren, sus cuerpos se degradan por la acción bacteriana (reductores) formándose amoníaco, que es un compuesto de nitrógeno, otras bacterias transforman el amoníaco en nitratos y otras para degradar a los nitratos y liberar el nitrógeno en forma gaseosa, el cual retorna a la atmósfera.

La atmósfera terrestre contiene un 79 % de nitrógeno, que según Fassbender, HW; Bornemisza, E. 1994. (6), indican que este nitrógeno se encuentra en forma molecular o gaseosa (N_2), el que por tres procesos de fijación que se describen más adelante se convierte en nitrógeno orgánico y posteriormente por procesos de nitrificación y amonificación se pone a disposición de las plantas quienes lo absorben por sus raíces.

La mayoría de los organismos no pueden utilizar el nitrógeno en su forma gaseosa, este debe convertirse primero en gas, en los compuestos de nitrato, que emplean las plantas para elaborar las proteínas. Los animales obtienen el nitrógeno mediante el consumo de los tejidos vegetales que previamente lo han fijado. Existen tres formas de fijar el nitrógeno atmosférico, las que se describen a continuación:

Fijación biológica

Se realiza mediante la acción de las bacterias fijadoras de nitrógeno que viven libres en el suelo, o bien, constituyendo nódulos que se unen a las raíces de las plantas del tipo de las leguminosas.

Fijación atmosférica

Se realiza mediante un proceso fisicoquímico que se presenta cuando los relámpagos convierten el nitrógeno atmosférico en ácido nítrico. Este se disuelve en la lluvia y se precipita a la tierra. Las plantas lo adquieren al absorber el agua y otros minerales, a través de sus raíces.

Fijación industrial:

Se realiza mediante el proceso Haber-Bosch de carácter fisicoquímico, que se basa en el mismo principio de la fijación atmosférica.

4.1.8. El Fósforo

Es un ciclo típico de nutrientes sedimentarios. El depósito principal del fósforo lo constituyen las rocas sedimentarias, que únicamente intervienen en el ciclo básico en cantidad mínima, como resultado de la intemperización. El ciclo no posee una fase gaseosa importante y, por lo tanto, se mueve en forma sumamente lenta. El fósforo es un componente vital de: DNA, RNA y ATP (moléculas genéticas y productores de energía), por lo cual es necesario para todas las células vivas. Las plantas los absorben a través de la presencia de micorrizas en las raíces, que es una simbiosis entre hongo-raíz que aumenta la superficie absorbente de la raíz funcionalmente activa y se incorpora a todas las células, formando parte de células complejas, los animales obtienen el fósforo mediante la ingestión de vegetales. El ciclo del fósforo presenta menor número de etapas que el ciclo del nitrógeno pero en ciertos aspectos es más complejo, depende de un equilibrio más frágil, ya que el fósforo no está distribuido tan ampliamente como el nitrógeno. Como lo indica Sutton, BD; Harmon, NP. 1976. (23).

Fassbender, HW; Bornemisza, E. 1994. (6), indica que las necesidades de fósforo se cubren con la explotación de yacimientos de fosforita donde el fósforo se encuentra generalmente en forma de apatitas. En América Latina existen yacimientos de fosforita en países como Estados Unidos de América, México, Brasil, Perú, Venezuela. Los problemas del fósforo en suelos trópicos ácidos radican, por un lado, en la pequeña cantidad de fosfatos totales y su distribución en formas poco solubles (fosfatos férricos e inertes), los fosfatos aplicados como fertilizantes, pasan rápidamente a formas que no son tan

aprovechables por las plantas. Los problemas de suelos alcalinos y calcáreos son de otra índole, pues las altas concentraciones de Ca inducen la precipitación de fosfatos cálcicos poco solubles (apatitas) y la adsorción del H_2PO_4^- en el complejo calcáreo.

Según Kass, DCL. 1998 (12), El nitrógeno y el fósforo, son elementos ligados a compuestos orgánicos e inorgánicos en el sistema suelo. Gran cantidad de nitrógeno en forma gaseosa, es capturado por microorganismos asociados a plantas leguminosas y a plantas no leguminosas. El aporte de nitrógeno a partir de minerales primarios es casi nulo. Su contenido en el suelo depende del reciclaje de la materia orgánica del suelo y de los mecanismo de fijación. La materia orgánica contiene también fósforo, que es liberado por el proceso de humificación, en forma soluble: fosfato. Los minerales primarios no aportan nitrógeno pero si aportan fósforo. A pesar del aporte mencionado, la forma común de hacer accesible estos nutrimentos en el suelo, en la explotación agrícola, es aplicando fertilizantes de origen industrial que contiene nitrógeno y fósforo.

4.1.9. Efecto del pH sobre la disponibilidad de otros nutrientes

Kass, DCL. 1998 (12), indica que el valor del pH de un suelo afecta la disponibilidad de nutrimentos esenciales para las plantas especialmente porque los cultivos difieren en sensibilidad a los niveles tóxicos de aluminio y manganeso, se sabe que la tolerancia de la mayoría de los cultivos al aluminio soluble en el agua del suelo varía de 1 a 40 ppm. Además Kass, DCL. 1998 (12), indica el manganeso en forma iónica puede ser problemático en concentraciones superiores a 100 ppm, o 2 ppm para manganeso soluble en agua, si el extractante usado es agua cuando se determina manganeso iónico en una muestra de suelo. La relación entre el valor del pH del suelo y la disponibilidad de fósforo es complicada, porque las diferentes formas de hierro y aluminio que existen a diferentes valores de pH reaccionan en forma diferente con el fósforo así:

- A valores de pH por debajo 5.5, predomina el aluminio monomérico (Al_3PO_4) que puede precipitar al fósforo

- A valores de pH intermedios, entre 5.5 y 6.5, se forman los polímeros de hidroxialuminio (Al(OH)) ligados a las arcillas, que pueden absorber fosfatos en disolución por sustitución de grupos hidroxilos.

4.1.10. Importancia de los pastos en la producción pecuaria

Tal como lo indica Castro Ramírez, A. 2002, (3), el pasto sigue siendo el alimento más barato para el ganado. Los animales bovinos como rumiantes que ofrecen la ventaja de convertir el pasto que no se puede usar como alimento para humanos tal como la leche, carne y otros productos que si tienen gran importancia para el hombre. Para asegurar la producción pecuaria es necesaria que los pastos se produzcan en cantidades suficientes y que sean de buena calidad alimenticia para los animales.

4.2 MARCO REFERENCIAL

4.2.1. Lugar del experimento

Se llevó a cabo en la localidad de Cristina, del municipio de Los Amates, Izabal, ubicada a 212 Km de la ciudad capital de Guatemala. Existen varias explotaciones ganaderas que utilizan como fuente principal de alimento el pasto, cultivando diferentes especies tales como *Urochloa humedicola*, *Urochloa decumbes*, *Urochloa brizantha*, y otros ecológicamente adaptados a esta zona. Según Obiols Del Cid, R. 1966, (19), la zona de estudio pertenece al bosque muy húmedo tropical (bmh-T), el clima es cálido con invierno benigno muy húmedo, con vegetación selvática y sin estación seca bien definida.

El INSIVUMEH. 2008, (11), indica que la zona de estudio, se caracteriza principalmente por tener una alta temperatura (27.6 °C), alta precipitación pluvial (3679.2 mm) y un promedio de lluvia de (200 días), su altitud es de 76 msm. La gran mayoría de estos suelos según Simmons, C; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959 (22) están formados sobre esquistos arcillosos y cenizas volcánicas a elevaciones media.

Según Perdomo, R. citado por Tobías Vásquez, HA 1978, (24), más de la mitad del área del departamento de Izabal, pertenecen a la división fisiográfica de las Tierras Bajas del Peten-Caribe. Casi todos los suelos están lixiviados en cuanto a sus bases, por lo que se consideran suelos ácidos con mal drenaje de color café, suelo superficial de textura francos limosa friable, profundidad aproximada de 0.10 a 0.20 m.

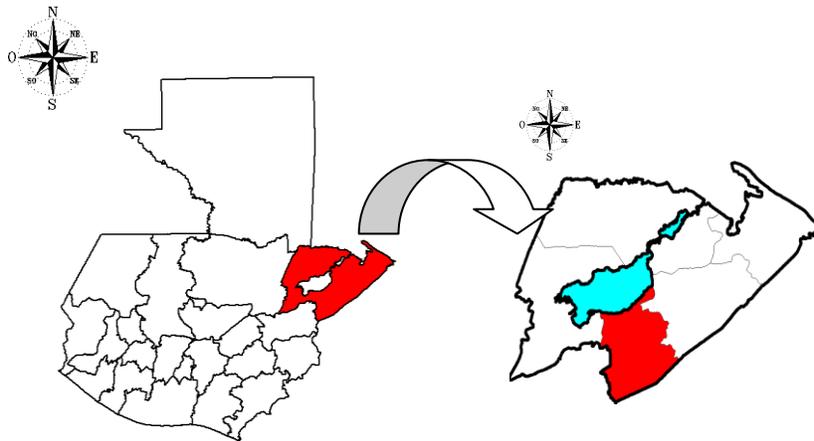


Figura 1. Ubicación del departamento de Izabal, y el municipio de los Amates.
Fuente: MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT)

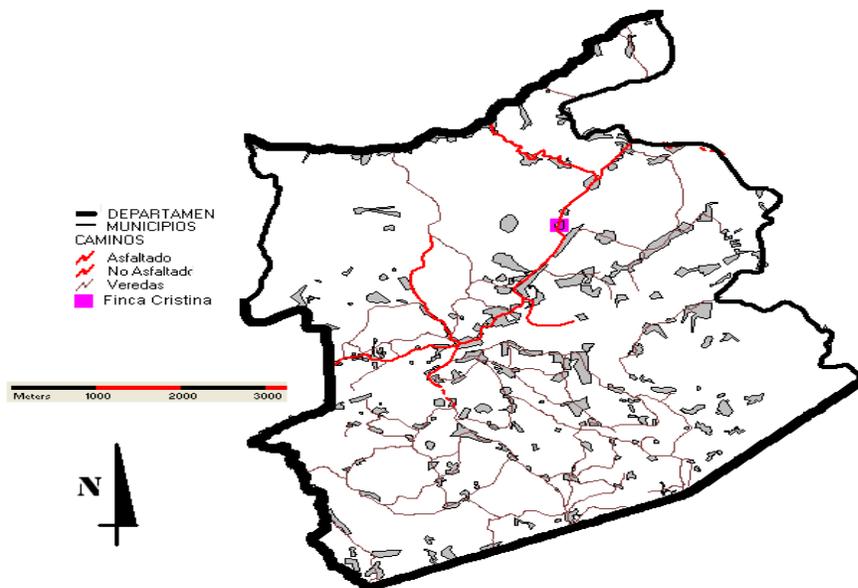


Figura 2 Ubicación geográfica, de la localidad donde se realizó el experimento (finca Cristina, caserío Cristina, Los Amates, Izabal, Guatemala.).

Fuente: MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2000. Mapas temáticos digitales de la república de Guatemala, a escala 1:250,000. Guatemala. 1 CD.

4.2.2. Característica botánica de la especie vegetal a utilizar en el experimento

Las Urochloas pertenece a la familia de las Poaceas que consta de unos 600 géneros y alrededor de 5000 especies, muchas de ellas son la base de la alimentación animal. También se encuentran el trigo (*Triticum spp.*) la cebada (*Hordeum vulgare L.*), el arroz (*Oryza sativa L.*), el maíz (*Zea mays*), el centeno (*Secale cereale L.*) la avena (*Avena spp.*) que son el alimento diario del hombre. Poseen gran cantidad de hidratos de carbono (almidón) y en menor proporción grasas y proteínas. Son hierbas perennes o anuales, a menudo provistas de rizomas, no leñosas monocotiledoneas, según Hughes, Health, Merclafe. 1970, citado por Ardón Flores, C. 2009 (2).

4.2.3. Descripción botánica del pasto humedícola

Perennes estoloníferas, tallos hasta 180 cm, decumbentes, ramificadas; entrenudos y nudos glabros, hojas glabras; lígula 0.4-0.5 mm, láminas de 15-27 cm x 4-7 mm, lineares, la base un poco menos angosta que la vaina, inflorescencia de 7-10 cm, glabro; racimos de 2-3, 3-5 cm, simples, el raquis de 0.6-1 mm de ancho, angostamente alado, los márgenes escabriúsculo, el dorso glabro, espiguillas de 4.2-4.5 mm, solitarias, anchamente elípticas, biconvexas, esparcidamente pelosas, subagudas, gluma inferior 3.6-4 mm, 9-11 mm de nervia, gluma superior de 7-9-nervia, esparcidamente pelosa, entrenudos entre las glumas 0.3-0.7 mm, flósculo inferior estaminado, las anteras 3.4 mm, lema inferior 5-nervia, pálea inferior escasamente más larga que la lema inferior, flósculo superior 3.3-3.4 mm, tan largo como la gluma superior, obtuso y diminutamente apiculado, anteras 2.4 mm, cultivada para forraje y escapada, nativa del África introducida en otras partes de los trópicos.

4.2.4. Antecedentes de investigaciones

En 1978 Tobías Vásquez, HA. (24), en su trabajo de tesis titulado “Efectos del encalado en suelos ácidos de Izabal” estudiando suelos de la serie Quirigua, concluyó que para incrementar el pH con un valor de 6 a 7, lo logró con una enmienda equivalente a 5.4 toneladas de carbonato de calcio (CaCO_3) y 0.72 toneladas de carbonato de magnesio (MgCO_3). Recomienda la aplicación de 1.5 toneladas de carbonato de calcio como dosis de encalado; al aplicar calcio se debe hacer en intervalos cortos de tiempo que oscilen entre tres y cuatro meses.

Existen algunas investigaciones hechas en pastos y en especial en el género *Urochloa*. como por ejemplo: Ardón Flores, C. 2009, (2) Efecto de la fertilización con cuatro niveles de nitrógeno sobre la biomasa y proteína cruda en (*Urochloa brizantha*) cv. Marandú, en Santa Rosita; Dolores, El Petén, al aplicar 125, 75, 50, y 25 Kg.de N ha⁻¹, el rendimiento de biomasa fue de 437.19, 386.38, 251.63 y 248.06 Kg.ha⁻¹ respectivamente. Concluyendo que la aplicación de diferentes niveles de fertilizante nitrogenado no presentaron diferencias significativas sobre el aumento de biomasa, pero si en el contenido de proteína cruda en el pasto (*Urochloa brizantha*) cv. Marandú. En cuanto al rendimiento de biomasa del pasto humedícola (*U. humedícola*) no se tienen datos en la zona de estudio.

López Santos, FA. 1998, (14), trabajó en la determinación de dosis optimas de cal para subir el pH del suelo en el cultivo de avena (*Avena sativa*) con fines forrajeros, en la aldea la Grandeza, San Pedro Sacatepéquez, San Marcos, en la serie de suelos Zacualpa; concluyó que la dosis optima de cal para aumentar el pH del suelo no existió diferencia significativa en un primer ensayo, sin embargo en el segundo ensayo si encontró respuesta al incremento de un grado del pH al utilizar 2077 Kg CaMgCO₃ ha⁻¹.

Mairen León, EA. 1990, (15), en su trabajo de investigación sobre el efecto de la fertilización con NPK y aplicación de cal en la serie de suelos Telemán, el rendimiento de maíz en Panzos, Alta Verapaz, concluyó que la aplicación de 363.6 Kg CaO ha⁻¹ no afectó el rendimiento del grano de maíz.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Evaluar la respuesta del encalado, aplicaciones de nitrógeno y fósforo en la producción de biomasa del pasto humedícola (*U. humidicola*), cultivado en suelos de la clase Cristina, en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal.

5.2. Objetivos Específicos

- Determinar el tratamiento que reporte el mayor rendimiento de biomasa del pasto *U. humidicola* por efecto de las aplicaciones de cal dolomita, nitrógeno y fósforo en la localidad de cristina, los amates Izabal.
- Estimar el efecto de los tratamientos en el porcentaje y el rendimiento de proteína cruda, en el pasto *U. humidicola*.
- Evaluar el efecto de las aplicaciones de cal dolomita, nitrógeno y fósforo sobre el pH, Ca y Mg, intercambiables en el suelo.
- Determinar el o los tratamientos que son económicamente rentables.

6. HIPÓTESIS

- El mayor rendimiento de biomasa del pasto humedícola (*U. humidicola*) se verá incrementada al aplicar cal dolomita.
- La rendimiento de biomasa del pasto humedícola (*U. humidicola*) se verá incrementada al aplicar cal dolomita más nitrógeno y fósforo.
- El porcentaje y el rendimiento de proteína cruda se verá incrementado por las aplicaciones de cal dolomita más nitrógeno y fósforo.
- Las aplicaciones de cal dolomita más nitrógeno y fósforo, incrementará, el pH, Ca y Mg, intercambiables en el suelo.
- Las aplicaciones de cal dolomita más nitrógeno y fósforo serán rentables

7. METODOLOGÍA

7.1 Estudios Preliminares

7.1.1 Análisis de la muestra de suelo

Previo al establecimiento del experimento se tomaron muestras de suelo que fueron las herramientas más útiles para diagnosticar la fertilidad del mismo y se llevaron al Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con el objeto de conocer el pH, elementos mayores, y el contenido de calcio (Ca) y magnesio (Mg), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y saturación de bases, bases intercambiables (Ca, Mg, Na, K).

En el cuadro 2, se presentan los valores del análisis químico de suelos del área de estudio, el cual reportó contenidos bajos de fósforo, potasio, calcio, magnesio, así mismo de cobre y zinc sin embargo el contenido de hierro es alto (46 ppm) comparado con los rangos aceptables de 10 a 15 ppm; de la misma manera se encontró contenidos altos de manganeso (57 ppm) comparados con los rangos aceptables de 10 a 15 ppm. La capacidad de intercambio catiónico es de 8.70 meq /100 gr; lo que indica una fertilidad potencial baja.

Cuadro 2 Análisis químico de la muestra de suelos de la finca Cristina realizado por Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

| Identificación | pH | Meq/100gr | | | | Ppm | | | | Meq / 100 gr | | | | | | % | |
|---------------------------------|-----|-----------|---------|------|---------|-----|------|-------|-------|--------------|------|------|------|------|--------|-------|------|
| | | P | K | Ca | Mg | Cu | Zn | Fe | Mn | CIC | Ca | Mg | Na | K | Al + H | SB. | M.O. |
| Rango medio | | 12-16 | 120-150 | 6-8 | 1.5-2.5 | 2-4 | 4-6 | 10-15 | 10-15 | | | | | | | | |
| Muestra de suelo finca Cristina | 5.2 | 2.61 | 105 | 2.81 | 0.41 | 1.5 | 1.00 | 46.00 | 57.00 | 8.7 | 3.49 | 0.53 | 0.47 | 0.38 | 0.2 | 56.14 | 3.08 |

Con relación al análisis físico de la muestra de suelos el laboratorio en mención reportó 1.0811 gr/cc de densidad aparente, el contenido de arcilla 24.57 %, de limo 32.09 % y arena 43.34 %. Pertenece a la clase textural "Franco" y una retención de humedad adecuada. Ver cuadro 3.

Cuadro 3 Análisis físico de la muestra de suelos de la finca Cristina realizado por Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

| Identificación | gr/cc Da | % Humedad | | % | | | Clase Textural |
|------------------------------------|-------------|-----------|-------|---------|-------|-------|-------------------|
| | | 1/3 | 15 | Arcilla | Limo | Arena | |
| Muestra de suelo finca Cristina | 1.0811 | 21.93 | 14.00 | 24.57 | 32.09 | 43.34 | FRANCO |

7.1.2. Análisis químico de la cal dolomita

El material que se utilizó en el encalado (cal dolomita CaMgCO_3), se le realizó un análisis químico de su contenido, en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, siendo los resultados los siguientes. Ver cuadro 4.

Cuadro 4 Contenido de Ca y Mg expresado en forma CaCO_3 de la cal dolomita utilizada en la investigación.

| Identificación | % | | | |
|----------------------------|-------|-----------------|------|-----------------|
| | Ca | CaCO_3 | Mg | MgCO_3 |
| Muestra de cal dolomita | 22.50 | 56.19 | 6.88 | 23.86 |

Las concentraciones de CaCO_3 y MgCO_3 contenidos en la muestra de cal dolomita utilizada en este trabajo de investigación, están comprendidos entre los reportados por Rojas, A; Molina, E; Morales, F. 1998, (20) para una cal dolomita.

7.2 Unidad Experimental

Se utilizó una unidad experimental consistente en 25 m², de 5 m de ancho por 5 m de largo (5 m x 5 m), la cual está cultivada con pasto humedícola (*U. humidicola*), de diez años establecido.

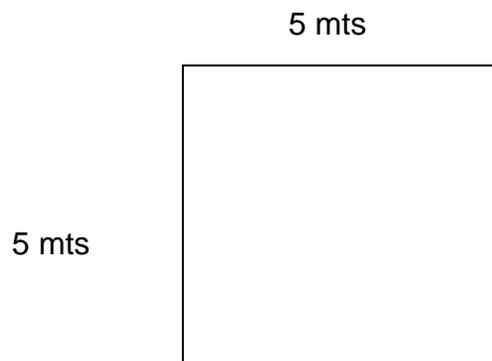


Figura 3. Unidad experimental que se utilizó en el diseño de bloques completos al azar.
Fuente: Elaboración Propia

7.3 Tratamientos.

Los tratamientos se calcularon con base a los niveles utilizados en otras investigaciones realizadas, por ejemplo la de Ardón Flores, C. 2009, (2), en pasto (*U. brizantha*) y Tobías Vásquez, HA. 1978, (24), quien evaluó los efectos del encalado en los suelos ácidos de Izabal.

La determinación de las dosis de cal dolomita se calculó con base a la metodología propuesta por Van Raij (1991) citado por Molina Rojas, E. 1998. (18), que toma en cuenta el análisis químico de la muestra de suelo y el análisis químico de la muestra de cal, de la manera siguiente:

$$\text{Equivalente químico: EQ} = \text{CaCO}_3 = \% \text{CaCO}_3 * 1 + \% \text{MgCO}_3 * 1.19$$

$$\text{Poder relativo de neutralización total: PRNT} = \frac{\% \text{EG} * \% \text{EQ}}{100}$$

$$\text{Eficiencia: F} = \frac{100}{\text{PRNT}}$$

$$\text{Toneladas de CaCO}_3 \cdot \text{ha}^{-1} = \frac{(V_1 - V_2) (CIC_{\text{efectiva}}) * F}{100}$$

V_1 = Saturación de bases deseada

V_2 = Saturación de bases que se tiene

$CIC_{efectiva} = \sum Ca, Mg, K, Al + H$

PRNT = Poder relativo de neutralización total

EG = equivalente granulométrico

EQ = equivalente químico

F = eficiencia.

Tratamientos Evaluados

Cuadro 5 . Descripción de los tratamientos utilizados indicando en cada uno los niveles de cal dolomita, nitrógeno y fósforo aplicados.

| Tratamientos | Descripción |
|--------------|--|
| T1 | Testigo |
| T2 | 1000 kg.ha ⁻¹ CaCO ₃ + 50 kg.ha ⁻¹ de N + 50 kg.ha ⁻¹ de P una sola aplicación |
| T3 | 2000 kg.ha ⁻¹ CaCO ₃ + 50 kg.ha ⁻¹ de N + 50 kg.ha ⁻¹ de P una sola aplicación |
| T4 | 3000 kg.ha ⁻¹ CaCO ₃ + 50 kg.ha ⁻¹ de N + 50 kg.ha ⁻¹ de P una sola aplicación |
| T5 | 4000 kg.ha ⁻¹ CaCO ₃ + 50 kg.ha ⁻¹ de N + 50 kg.ha ⁻¹ de P una sola aplicación |
| T6 | 50 kg.ha ⁻¹ de N (tres aplicaciones) |
| T7 | 2000 kg.ha ⁻¹ CaCO ₃ |
| T8 | 2000 kg.ha ⁻¹ CaCO ₃ + 50 kg.ha ⁻¹ de N |

Manejo agronómico

A manera de homogeneizar el área de estudio, se cortó el pasto en todas las unidades experimentales a una altura de 0.10 m del suelo, luego se aplicó en forma manual la cal dolomita en los diferentes tratamientos. A los treinta días se cosechó el pasto en forma manual y se realizó la aplicación de 50Kg N ha⁻¹ de N y 50Kg P₂O₅ ha⁻¹ (una sola aplicación de este elemento). A los treinta días se cortó nuevamente el pasto humedícola y se aplicó nitrógeno según el tratamiento correspondiente. Tanto la cal como el nitrógeno y el fósforo se aplicaron manualmente al voleo.

A los sesenta días de aplicada la cal dolomita y a los treinta días de aplicado el nitrógeno y el fósforo se efectuó el corte del pasto en los diferentes tratamientos y se llevo al laboratorio de suelos de la FAUSAC para sus respectivos análisis. Después del corte se procedió a la aplicación nuevamente de nitrógeno (50 kg.ha⁻¹ equivalente a 108.69 Kg.ha⁻¹ del fertilizante comercial conocido como urea (46 % de N) a los tratamientos según se describe en el cuadro 5.

A los noventa días de aplicada la cal dolomita, se efectuó el corte del pasto en los diferentes tratamientos y se llevó al laboratorio de suelos de la FAUSAC para sus respectivos análisis. Después del corte se procedió a la aplicación nuevamente de nitrógeno (50 kg.ha⁻¹ equivalente a 108.69 Kg.ha⁻¹ del fertilizante comercial conocido como urea (46 % de N) a los tratamientos según se describe en el cuadro 5.

A los ciento veinte días de aplicado la cal dolomita, se efectuó el último corte del pasto humedícola en los diferentes tratamientos y se llevó al laboratorio de suelos de la FAUSAC para sus respectivos análisis.

7.4 Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó es el de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. El modelo estadístico utilizado fue el siguiente (13).

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + E_{ij}.$$

Y_{ij} = Lectura de la variable respuesta del i-ésimo tratamiento en el j-ésimo bloque.

μ = media general.

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

β_j = Efecto del j-ésimo bloque.

E_{ij} = Error experimental del tratamiento i en el bloque j.

La distribución de los tratamientos de manera aleatoria en Anexo 5.

7.5 Variables evaluadas

7.5.1. Biomasa expresada en materia seca (Kg.ha⁻¹)

Para la determinación de la materia seca de cada tratamiento, las muestras obtenidas en el campo fueron secadas en un horno de convección forzada durante 48 hrs a 65°C, luego fueron pesadas con una balanza semianalítica expresando los resultados en kg.ha⁻¹ de materia seca.

7.5.2. Porcentaje de proteína cruda (pPC) y el rendimiento de proteína cruda (rPC)

La cantidad de proteína contenida en el pasto, se determinó en forma indirecta utilizando el análisis de N total determinado por el método semi micro Kjeldahl. El porcentaje de proteína cruda (pPC) y el rendimiento de proteína cruda (rPC) se obtuvo de la siguiente forma:

$$\text{pPC} = \% \text{ Nitrógeno Total} \times 6.25$$

$$\text{rPC} = (\text{pPC} \times \text{biomasa Kg.ha}^{-1}) / 100$$

7.5.3. Determinación del pH, calcio, magnesio, del suelo

El pH, el calcio y el magnesio se determinó de una muestra de suelo que se obtuvo previo a establecer el experimento. A los 120 días de establecido el experimento se obtuvo una muestra de suelo de cada unidad experimental a la profundidad de 0 a 0.15 m la cuales se les determinó pH por el método Potenciométrico relación agua :suelo 2.5:1. El Ca y Mg intercambiables extraídos con una solución de Acetato de amonio 1N pH 7. Las determinaciones se realizaron por Espectrofotometría de Absorción Atómica.

7.5.4. Análisis económico

Para esta investigación se utilizó el Análisis Marginal. Este análisis comprende tres etapas: la primera es la determinación del **Presupuesto Parcial** en el cual se determinan los beneficios netos de cada uno de los tratamientos evaluados. La segunda etapa consiste en efectuar un **Análisis de Dominancia** y la tercera etapa es la determinación de la **Tasa Marginal de Retorno**. Esta metodología, fue desarrollada por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo CIMMYT, MX. 1988, (4), Samayoa, E. 1996, (21), indica que

este tipo de análisis económico se utiliza cuando se tienen diferentes tratamientos en un diseño experimental, los cuales producen diferentes rendimientos y tienen diferentes costos variables. Siguiendo esta metodología se realizó el análisis de dominancia tomando como comparador el costo variable, procediendo a aceptar todas aquellas alternativas con un menor costo variable y eliminando aquellas con un costo variable igual o mayor. Seguidamente se calculó la tasa marginal de retorno con el objeto de determinar la ganancia que se obtiene por cada quetzal invertido.

7.5.5. Análisis de la información

A las variables edáficas pH, contenido de calcio y magnesio, se les practicó un análisis de varianza.

Para la variable peso del forraje en base seca, se le hizo un análisis de varianza, al encontrar diferencia significativa se le realizó una prueba de medias de tukey.

A la variable biomasa, se le hizo un análisis de varianza, al encontrar diferencia significativa menor al 0.05 % de probabilidad se le realizó una prueba de medias de tukey.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para evaluar la respuesta del pasto humedícola (*U. humidicola*) en la zona de estudio, aplicando cal en forma de cal dolomita (CaMgCO_3), nitrógeno en forma de urea (Nitrogéno al 46 %) y el fósforo en forma de (fosfato de amonio doble, comercialmente su contenido en NPK es de 18 - 46 - 0) se propusieron las variables de respuesta: el rendimiento de biomasa ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), la determinación del pH, el contenido de calcio y magnesio en el suelo.

A continuación se discuten los principales resultados obtenidos en el experimento planteado para el efecto.

8.1. Rendimiento de biomasa (Materia seca a $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Para analizar esta variable, primeramente se obtuvieron los resultados del peso del pasto expresado en base seca en $\text{gr}\cdot\text{m}^2$ para luego convertirlos a $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Tal y como se observa en el cuadro 6 todos los tratamientos (T2 al T8, con un rango de 419.50 a 913.67 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) superaron al testigo (el cual no se le aplicó cal dolomita, nitrógeno ni fósforo) el cual reportó 249.08 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de biomasa. Esta respuesta positiva a la fertilización se debe a que según el análisis del suelo cultivado con pasto humedícola (*U. humidicola*), reportó bajos contenidos de N, P, Ca, y Mg, lo que los convierte en elementos limitantes, para la producción de biomasa.

Cuadro 6 Resultados obtenidos de Biomasa de los diferentes tratamientos evaluados con base en el peso de materia seca expresada en $\text{gr}\cdot\text{m}^2$ y $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, en el pasto humedícola (*U. humidicola*), Los Amates, Izabal.

| Tratamientos | REPETICIONES | | | | MEDIAS | MEDIAS |
|---|--------------|--------|-------|-------|----------------------------|--------------------------------|
| | I | II | III | IV | $\text{gr}\cdot\text{m}^2$ | $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ |
| T1 (Testigo) | 26.73 | 22.33 | 26.4 | 24.17 | 24.91 | 249.08 |
| T2 (1000 kg/ha CaCO_3 + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 80.9 | 79.17 | 77 | 57.3 | 73.59 | 735.92 |
| T3 (2000 kg/ha CaCO_3 + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 84.6 | 91.67 | 78.33 | 84.57 | 84.79 | 847.92 |
| T4 (3000 kg/ha CaCO_3 + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 67.6 | 89.63 | 85.23 | 56.27 | 74.68 | 746.83 |
| T5 (4000 kg/ha CaCO_3 + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 94.2 | 105.67 | 79.2 | 86.4 | 91.37 | 913.67 |
| T6 (50 kg/ha de N) | 75.97 | 60.93 | 61.73 | 56.03 | 63.67 | 636.67 |
| T7 (2000 kg/ha CaCO_3) | 48.43 | 46.9 | 34.33 | 38.13 | 41.95 | 419.50 |
| T8(2000 kg/ha CaCO_3 + 50 kg/ha de N | 73.1 | 61.83 | 63.9 | 74.7 | 68.38 | 683.83 |

Para conocer si las diferentes cantidades de biomasa obtenidas en el experimento se deben a la aplicación de los tratamientos evaluados, se realizó un análisis de varianza, ver cuadro 7, encontrándose que en la fuente de variación de tratamientos la diferencia fue altamente significativa lo que demuestra que si existieron diferencias significativos debido al efecto de los tratamientos evaluados. Se hace la aclaración que el análisis de varianza se efectuó con los valores de biomasa expresados en gramos por metro cuadrado.

Cuadro 7. Análisis de varianza para la variable rendimiento de biomasa en los diferentes tratamientos evaluados con base en el peso de materia seca expresada en gr.m^2 , en el pasto humedícola (*U. humidicola*), Los Amates, Izabal

| F.V. | SC | Gl | CM | F | p-valor | Significancia |
|--------------|----------|----|---------|-------|---------|---------------|
| Modelo | 14170.47 | 10 | 1417.05 | 19.73 | <0.0001 | |
| Tratamientos | 13620.91 | 7 | 1945.84 | 27.09 | <0.0001 | ** |
| Bloque | 549.56 | 3 | 183.19 | 2.55 | 0.0831 | |
| Error | 1508.34 | 21 | 71.83 | | | |
| Total | 15678.80 | 31 | | | | |

** Diferencias altamente significativas (< 0.0001)

Con el objeto de determinar cuál o cuáles son los tratamientos que reportaron el mayor rendimiento de biomasa, se realizó una prueba de medias de Tukey. Como resultado se identificaron los tratamientos T2, T3, T4, T5, con la misma letra quienes reportaron una biomasa que estuvo en el rango de 735.90 a 913.70 kg.ha^{-1} , siendo estos los mejores tratamientos. Para el caso del testigo ocupó el último lugar en la prueba de Tukey el cual reportó 249.10 kg.ha^{-1} de biomasa. Lo que indica la respuesta a la aplicación de cal dolomita nitrógeno y fósforo por el cultivo. Ver cuadro 8.

Es importante señalar que solo con la aplicación de 2,000 $\text{Kg CaMgCO}_3 \text{ ha}^{-1}$ de CaMgCO_3 (T7) la rendimiento de biomasa obtenida (419.50 kg.ha^{-1}) casi es el doble de la que reportó el testigo (249.10 kg.ha^{-1}). Sin embargo con solo la aplicación de 50 kg N ha^{-1} el rendimiento de biomasa obtenida (636.70 kg.ha^{-1}) casi triplicó el rendimiento de biomasa del testigo (249.10 kg.ha^{-1}).

Claramente los mejores resultados se obtuvieron con la aplicación de diferentes cantidades de cal dolomita (CaMgCO_3) que variaron de 1000 a 4000 kg.ha^{-1} mas la adición de 50 kg N ha^{-1} cada 30 días durante 4 meses y 50 $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ una sola aplicación. Esto demuestra que el nitrógeno es el principal limitante para estos suelos, sin embargo cuando se combina con el P, Ca y Mg los rendimientos tienden a subir como consecuencia de una mejor absorción de los mismos por la planta.

Cuadro 8. Resultados obtenidos en la prueba de medias de Tukey de los diferentes tratamientos evaluados con base en el peso de materia seca expresada en gr.m² y kg.ha⁻¹ en el pasto humedícola (*U. humidicola*), Los Amates, Izabal.

| TRATAMIENTOS | MEDIAS | MEDIAS | N | * |
|---|-------------------|---------------------|---|---|
| | gr.m ² | kg.ha ⁻¹ | | |
| T5 (4000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 91.37 | 913.70 | 4 | A |
| T3 (2000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 84.79 | 847.90 | 4 | A |
| T4 (3000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 74.68 | 746.80 | 4 | A |
| T2 (1000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 73.59 | 735.90 | 4 | A |
| T8(2000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N | 68.38 | 6 83.80 | 4 | B |
| T6 (50 kg/ha de N) | 63.67 | 636.70 | 4 | C |
| T7 (2000 kg/ha CaCO ₃) | 41.95 | 419.50 | 4 | D |
| T1 (Testigo) | 24.91 | 249.10 | 4 | D |

*Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

8.2. Efecto en el porcentaje y el rendimiento de proteína cruda

8.2.1. Porcentaje de Proteína Cruda (pPC)

Para determinar el porcentaje de proteína cruda se tomaron cuatro muestras por cada tratamiento (una por cada repetición), las muestras fueron mezcladas y homogenizadas a manera de obtener una muestra compuesta del último corte del pasto humedícola (*U. humidicola*) en el laboratorio de suelo-planta-agua " Salvador Castillo Orellana " de la Facultad de Agronomía. Se analizaron cada una de las muestras para cada tratamiento. En vista que solamente se analizó una muestra para cada tratamiento., se realizó el análisis de varianza respectivo por lo tanto su discusión se hizo utilizando la estadística descriptiva.

Puede observarse en cuadro 9 que el contenido de nitrógeno en todos los tratamientos evaluados (1.33 a 1.86), superaron al testigo (1.14). En términos generales al aplicar mayores cantidades de cal dolomita (CaMgCO₃), nitrógeno y fósforo los contenidos de nitrógeno se incrementaron.

Para determinar el porcentaje de proteína cruda se tomo como base el contenido de nitrógeno en porcentaje de cada tratamiento multiplicándolo por el factor de conversión de 6.25, los resultados se pueden observar en el cuadro 9. Observamos que el porcentaje de

proteína cruda tiene una comportamiento similar al porcentaje de nitrógeno, así: para el testigo el contenido de proteína cruda es de 7.13 % y el resto de tratamientos estuvo en un rango de 8.31 a 11.63 % . Es importante destacar que el porcentaje de proteína cruda se vio incrementado por las aplicaciones de cal dolomita, nitrógeno y fósforo.

Es importante señalar que el contenido de N, P, K, Ca y Mg, en el tejido vegetal se vio incrementado en todos los tratamientos que recibieron algún tipo de fertilización (cal dolomita, N y P), así: el contenido de N varió de 1.50 a 1.86 %, el P de 0.11 a 0.15 %, K de 2.25 a 3.06 %, Ca de 0.19 a 0.31 %, y Mg de 0.17 a 0.21 %.comparado con los valores de estos elementos que tiene el testigo (1.14%, 0.11 %, 2.25 %, 0.19 % y 0.19 % para cada elemento respectivamente).

Cuadro 9. Elementos totales y porcentaje de proteína cruda contenido en las muestras de tejido vegetal del pasto humedícola (*U. humidicola*) cultivado en Cristina, Los Amates Izabal.

| Tratamientos | % | | | | | Ppm | | | | | % |
|---|------|------|------|------|------|------|----|----|-----|-----|----------------|
| | N | P | K | Ca | Mg | Na | Cu | Zn | Fe | Mn | Proteína cruda |
| T1 (Testigo) | 1.14 | 0.11 | 2.25 | 0.19 | 0.19 | 3750 | 5 | 25 | 55 | 175 | 7.13 |
| T2 (1000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 1.62 | 0.14 | 2.81 | 0.25 | 0.19 | 2250 | 5 | 25 | 70 | 155 | 10.13 |
| T3 (2000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 1.46 | 0.14 | 3.06 | 0.25 | 0.21 | 3770 | 5 | 30 | 65 | 160 | 9.13 |
| T4 (3000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 1.48 | 0.14 | 2.81 | 0.19 | 0.21 | 2500 | 5 | 25 | 180 | 145 | 9.25 |
| T5 (4000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 1.5 | 0.15 | 2.94 | 0.25 | 0.21 | 3750 | 10 | 30 | 80 | 135 | 9.38 |
| T6 (50 kg/ha de N) | 1.82 | 0.12 | 2.81 | 0.19 | 0.17 | 3000 | 10 | 25 | 100 | 115 | 11.38 |
| T7 (2000 kg/ha CaCO ₃) | 1.33 | 0.12 | 2.25 | 0.19 | 0.19 | 3500 | 5 | 25 | 40 | 155 | 8.31 |
| T8(2000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N | 1.86 | 0.11 | 2.94 | 0.19 | 0.20 | 2000 | 5 | 30 | 50 | 160 | 11.63 |

8.2.2. Rendimiento de proteína cruda (rPC)

El valor del rendimiento de proteína cruda reportada para el testigo fue de 17.75 Kg.ha⁻¹, nótese que el resto de tratamiento superaron al testigo tal el caso del tratamiento cinco que casi quintuplicó 85.70 Kg.ha⁻¹ el rendimiento de proteína cruda del testigo. Ver cuadro 10.

El contenido de proteína cruda de un pasto es un factor importante que determina su calidad, tal y como indica Gutiérrez Orellana, MA. 1996. (7) que la fertilización nitrogenada en pastos incrementa el contenido de proteína cruda en el mismo.

En el presente estudio se determinó que el testigo sin ninguna aplicación su contenido de nitrógeno, su contenido de biomasa, el porcentaje de proteína cruda y el rendimiento de proteína cruda se ve superado por el resto de tratamientos

Cuadro 10. Rendimiento de proteína cruda en las muestras de diferentes tratamientos en el pasto humedícola (*U. humidicola*) cultivado en Cristina, Los Amates Izabal, analizados en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

| Tratamientos | N | Proteína cruda % | Biomasa Kg.ha ⁻¹ | Rendimiento de proteína cruda Kg.ha ⁻¹ |
|---|------|------------------|-----------------------------|---|
| T1 (Testigo) | 1.14 | 7.13 | 249.08 | 17.75 |
| T2 (1000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 1.62 | 10.13 | 735.92 | 74.54 |
| T3 (2000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 1.46 | 9.13 | 847.92 | 77.41 |
| T4 (3000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 1.48 | 9.25 | 746.83 | 69.08 |
| T5 (4000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 1.5 | 9.38 | 913.67 | 85.70 |
| T6 (50 kg/ha de N) | 1.82 | 11.38 | 636.67 | 72.45 |
| T7 (2000 kg/ha CaCO ₃) | 1.33 | 8.31 | 419.50 | 34.86 |
| T8(2000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N | 1.86 | 11.63 | 683.83 | 79.52 |

8.3. Efecto en el pH, Ca y Mg

8.3.1. pH

Para el caso del testigo el pH reportó en promedio un valor de 5.5 y el resto de tratamientos del T2 al T8 reportó un valor de 5.63 a 5.88.

Para conocer si los diferentes valores de pH obtenidos en el experimento se deben a la aplicación de los tratamientos evaluados, se realizó un análisis de varianza, ver cuadro 11, encontrándose que en la fuente de variación de tratamientos la diferencia fue no significativa lo que demuestra que los diferentes tratamientos aplicados no incidieron en los valores del pH del suelo en el experimento diseñado.

Con base en la explicación del párrafo anterior no se realizó una prueba de medias de Tukey debido a que el pH en los diferentes tratamientos fue similar. Aunque las aplicaciones de cal dolomita son utilizadas para aumentar el pH de los suelos, en este experimento no se pudieron observar cambios en el nivel de pH probablemente porque el incremento se logra a través del tiempo, la solubilidad de la CaMgCO_3 , el contenido muy bajo de materia orgánica, la profundidad de muestreo y la aplicación superficial de la cal dolomita. Debido a que este experimento su duración fue de 4 meses los resultados que encontramos en el incremento de pH coincide con el trabajo realizado por López Santos, FA. 1998, (14), quien no obtuvo incremento de valores de pH al aplicar diferentes dosis de cal dolomita en el cultivo avena (*Avena sativa*).

En el trabajo realizado por Tobías Vásquez, HA. 1978, (24), estudiando los efectos del encalado en suelos ácidos de Izabal, para incrementar el pH con un valor de 6 a 7, lo logró con una enmienda equivalente a 5.4 toneladas de carbonato de calcio (CaMgCO_3) y 0.72 toneladas de carbonato de magnesio (MgCO_3). Se hace la observación que en el presente experimento realizado en la serie de suelos Cristina la máxima enmienda utilizada fue de 4 toneladas de carbonato de calcio por hectárea.

Cuadro 11. pH obtenido de los diferentes tratamientos evaluados en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal en el cultivo de pasto humedícola (*U. humidicola*), analizados en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

| Tratamientos | REPETICIONES | | | | MEDIAS |
|--|--------------|-----|-----|-----|-------------|
| | I | II | III | IV | |
| T1 (Testigo) | 5.7 | 5.6 | 5.4 | 5.3 | 5.5 |
| T2 (1s000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 5.8 | 5.8 | 5.5 | 5.4 | 5.63 |
| T3 (2000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 6 | 5.8 | 5.6 | 5.4 | 5.7 |
| T4 (3000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 6 | 5.8 | 5.6 | 5.6 | 5.7 |
| T5 (4000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 6 | 5.8 | 5.5 | 5.8 | 5.78 |
| T6 (50 kg/ha de N) | 5.8 | 5.7 | 5.8 | 5.5 | 5.7 |
| T7 (2000 kg/ha CaCO ₃) | 6.1 | 5.9 | 5.9 | 5.6 | 5.88 |
| T8(2000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N | 6.0 | 5.7 | 5.7 | 5.9 | 5.83 |

Cuadro 12. Análisis de varianza para la variable valor de pH en los diferentes tratamientos evaluados, en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | Significancia |
|--------------|------|----|------|-----|---------|---------------|
| Modelo | 0.49 | 8 | 0.06 | 1.7 | 0.1429 | |
| Tratamientos | 0.49 | 8 | 0.06 | 1.7 | 0.1429 | NS |
| Error | 0.97 | 27 | 0.04 | | | |
| Total | 1.46 | 35 | | | | |

8.3.2. Calcio (Ca)

Para el caso del testigo el contenido de calcio (Ca) en promedio en Meq/100gr fue de 1.78. En términos generales el suelo de la serie Cristina, donde se realizó el experimento tiene bajo contenido de Ca, pues los contenidos óptimos para un suelo están entre 6 a 8 meq/100gr.

Los tratamientos T2 al T8 al realizar el análisis del contenido de calcio (Ca) varió en promedio de 1.92 a 2.45 Meq/100gr. Al realizar el análisis de varianza se encontró que las diferencias entre tratamientos no son significativas por lo que las pequeñas diferencias que existen entre los tratamientos no se deben a las aplicaciones de cal dolomita (CaCO₃). Por lo anteriormente expuesto no se realizó una prueba de medias de Tukey debido a que el

contenido de Ca encontrado en el suelo fue similar. Probablemente la respuesta negativa en los contenidos de Ca en el suelo se debió a que las cantidades utilizadas fueron muy bajas.

Según Tobías Vásquez, HA. 1978, (24), estudiando los efectos del encalado en suelos ácidos de Izabal, utilizando 200 gr de suelo de la serie de suelos Quiriguá como unidad experimental, utilizando como fuentes de enmienda carbonato de calcio CaCO_3 y carbonato de magnesio MgCO_3 , en dicho experimento el recomienda aplicar al suelo una enmienda correspondiente a cantidades que van de 4 a 6 toneladas por manzana, para subir una unidad de pH.

Cuadro 13. Contenido de calcio (Ca), en meq/100 ml analizados en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, obtenido de los diferentes tratamiento evaluados en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal en el cultivo de pasto humedícola (*U. humidicola*).

| Tratamientos | REPETICIONES | | | | MEDIAS |
|---|--------------|------|------|------|--------|
| | Meq/100 ml | | | | |
| | I | II | III | IV | |
| T1 (Testigo) | 1.93 | 2.24 | 1.5 | 1.43 | 1.78 |
| T2 (1000 kg/ha CaCO_3 + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 2.12 | 2.24 | 1.56 | 1.74 | 1.92 |
| T3 (2000 kg/ha CaCO_3 + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 2.37 | 2.24 | 1.74 | 1.68 | 2.01 |
| T4 (3000 kg/ha CaCO_3 + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 2.8 | 2.31 | 1.74 | 1.68 | 2.13 |
| T5 (4000 kg/ha CaCO_3 + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 2.68 | 2.18 | 1.74 | 2.31 | 2.23 |
| T6 (50 kg/ha de N) | 2.55 | 2.37 | 1.93 | 1.5 | 2.09 |
| T7 (2000 kg/ha CaCO_3) | 3.12 | 2.43 | 2.55 | 1.68 | 2.45 |
| T8(2000 kg/ha CaCO_3 + 50 kg/ha de N | 3.24 | 1.99 | 2.06 | 1.93 | 2.31 |

Cuadro 14. Análisis de varianza para la variable contenido de calcio (Ca) en meq/100 ml reportado por el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía, USAC, en los diferentes tratamiento evaluados, en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal en el cultivo de pasto humedícola (*U. humidicola*).

| F.V. | SC | GI | CM | F | p-valor | Significancia |
|--------------|------|----|------|-----|---------|---------------|
| Modelo | 0.49 | 8 | 0.06 | 1.7 | 0.1429 | |
| Tratamientos | 0.49 | 8 | 0.06 | 1.7 | 0.1429 | NS |
| Error | 0.97 | 27 | 0.04 | | | |
| Total | 1.46 | 35 | | | | |

8.3.3 Magnesio (Mg)

Para el caso del testigo el contenido de magnesio (Mg) en promedio en meq/100 gr fue de 0.84. En términos generales el suelo de la serie Cristina, donde se realizó el experimento tiene bajo contenido de Mg, pues los contenidos óptimos para un suelo están entre 1.5 a 2.5 meq/100 gr. Ver cuadro (15).

Los tratamientos T2 al T8 al realizar el análisis del contenido de magnesio (Mg) varió en promedio de 0.84 a 1.20 meq/100gr. Al realizar el análisis de varianza se encontró que las diferencias entre tratamientos no son significativas por lo que las pequeñas diferencias que existen entre los tratamientos no se deben a las aplicaciones de los tratamientos.

De manera similar al pH y el contenido de calcio como no se encontraron diferencias significativas en el análisis de varianza practicado, no se realizó una prueba de medias de Tukey ya que el contenido de magnesio fue similar en los tratamientos evaluados.

Cuadro 15. Contenido de magnesio (Mg), en meq/100ml, analizados en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, obtenido de los diferentes tratamiento evaluados en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal en el cultivo de pasto humedícola (*U. humidicola*).

| Tratamientos | REPETICIONES | | | | MEDIAS |
|---|--------------|------|------|------|--------|
| | Meq/100ml | | | | |
| | I | II | III | IV | |
| T1 (Testigo) | 0.78 | 0.97 | 0.77 | 0.83 | 0.84 |
| T2 (1000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 1.00 | 1.13 | 0.98 | 0.83 | 0.99 |
| T3 (2000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 1.13 | 1.04 | 0.89 | 0.74 | 0.95 |
| T4 (3000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 1.37 | 1.16 | 1.07 | 0.93 | 1.13 |
| T5 (4000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N + 50 Kg/ha de P una sola aplicación) | 1.23 | 1.12 | 0.96 | 1.14 | 1.11 |
| T6 (50 kg/ha de N) | 1.02 | 1.39 | 0.94 | 0.79 | 1.04 |
| T7 (2000 kg/ha CaCO ₃) | 1.39 | 1.25 | 1.24 | 0.90 | 1.20 |
| T8(2000 kg/ha CaCO ₃ + 50 kg/ha de N | 1.55 | 1.02 | 1.10 | 1.03 | 1.18 |

Cuadro 16. Análisis de varianza para la variable contenido de magnesio (Mg) en meq/100 ml, analizados en el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en los diferentes tratamiento evaluados, en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal en el cultivo de pasto humedícola (*U. humidicola*).

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | Significancia |
|--------------|------|----|------|-----|---------|---------------|
| Modelo | 0.49 | 8 | 0.06 | 1.7 | 0.1429 | |
| Tratamientos | 0.49 | 8 | 0.06 | 1.7 | 0.1429 | NS |
| Error | 0.97 | 27 | 0.04 | | | |
| Total | 1.46 | 35 | | | | |

Los incrementos de pH, Ca y Mg esperados, se pudieron deber al tiempo de muestreo y a la profundidad del muestreo y a la aplicación de la cal, ya que no se pudo incorporar, y quedó en la superficie.

8.4. Análisis económico

Al realizar el análisis marginal se determinó por medio de los presupuestos parciales que el mayor beneficio neto en quetzales por hectárea ($Q.ha^{-1}$) fue el tratamiento seis que consistió en la aplicación de $50 kg.ha^{-1}$ de Nitrógeno, dicho beneficio fue de $818.13 Q.ha^{-1}$. El tratamiento que obtuvo el menor beneficio neto fue el tratamiento cuatro ($3000 kg CaMgCO_3 ha^{-1} + 50 kg N ha^{-1} + 50 kg P_2 O_5 ha^{-1}$ de una sola aplicación de este elemento) el cual reportó $247.36 Q.ha^{-1}$. El resto de tratamientos reportaron valores de beneficio neto entre 379.55 a $609.68 Q.ha^{-1}$. Ver cuadro 17.

Cuadro 17. Presupuestos parciales para los diferentes tratamientos evaluados en el enclado de suelos de la serie Cristina, en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal en el cultivo de pasto humedícola (*U. humidicola*). En el año 2010.

| Presupuesto parcial | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Tratamientos | | | | | | | | |
| Concepto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Rendimiento (Kg/Ha) | 249.08 | 735.92 | 847.92 | 746.83 | 913.67 | 636.67 | 419.50 | 683.83 |
| Precio del Kg en Q | 1.65 | 1.65 | 1.65 | 1.65 | 1.65 | 1.65 | 1.65 | 1.65 |
| Beneficio Bruto | 410.98 | 1214.2 | 1399.0 | 1232.2 | 1507.5 | 1050.5 | 692.17 | 1128.3 |
| Costos que varian | | | | | | | | |
| Mano de obra | 0 | 37.12 | 57.75 | 78.4 | 99 | 12.37 | 41.25 | 53.63 |
| Costo 1 Kg/N Q 4.40 | 0 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 0 | 220 |
| Costo 1 Kg/P ₂ O ₅ Q 6.38 | 0 | 319 | 319 | 319 | 319 | 0 | 0 | 0 |
| Costo 1 Kg/CaCO ₃ Q 0.1225 | 0 | 122.5 | 245 | 367.5 | 490 | 0 | 245 | 245 |
| Costo variable total | 0 | 698.62 | 841.75 | 984.9 | 1128 | 232.37 | 286.25 | 518.63 |
| Beneficio neto | 410.98 | 515.64 | 557.31 | 247.36 | 379.55 | 818.13 | 405.92 | 609.68 |

En el análisis de dominancia practicado, se identificaron dos tratamientos no dominados (ND) que fueron el testigo y el tratamiento seis que consistió en la aplicación de 50 kg.ha⁻¹ de Nitrógeno. El resto de tratamientos fueron dominados (D). Los tratamientos ND son aquellos que su costo variable es menor y su beneficio neto es mayor y son estas alternativas las que pasan al análisis marginal para calcular la tasa marginal de retorno.

Cuadro 18. Análisis de Dominancia para los diferentes tratamientos evaluados en el encalado de suelos de la serie Cristina, en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal en el cultivo de pasto humedícola (*U. humidicola*). En el año 2010.

| Tratamientos | Costos que varían | Beneficios netos | Dominancia |
|--------------|-------------------|------------------|------------|
| 1 | 0 | 410.982 | ND |
| 6 | 232.37 | 818.1355 | ND |
| 7 | 286.25 | 405.925 | D |
| 8 | 518.63 | 609.6895 | D |
| 2 | 698.62 | 515.648 | D |
| 3 | 841.75 | 557.318 | D |
| 4 | 984.9 | 247.3695 | D |
| 5 | 1128 | 379.5555 | D |

A la luz de los resultados observados en el cuadro 19, se calculó una tasa marginal de retorno de 175.23 %, esto significa que al no realizar encalados ni la aplicación de nitrógeno y fósforo (tratamiento testigo en esta investigación), en comparación con tres aplicación de 50 kg.ha⁻¹ de Nitrógeno cada treinta días (tratamiento seis en este estudio) es que por cada quetzal que se invierta se recupera este y 1.75 adicional.

Con base en el análisis económico realizado no se obtuvo una respuesta económicamente viable a la aplicación de cal dolomita en el pasto humedícola (*U. humidicola*), probablemente se podría obtener una respuesta económica positiva en un mediano plazo. Así mismo es importante señalar que esta especie cultivada tiene una buena adaptación a las condiciones edafológicas y climáticas en la zona de estudio.

Cuadro 19. Tasa marginal de retorno para los tratamientos no dominados (ND) en el encalado de suelos de la serie Cristina, en la localidad de Cristina, Los Amates, Izabal en el cultivo de pasto humedícola (*U. humidicola*). En el año 2010.

| Tratamientos | Beneficio Neto | Costo variable | Incremento Beneficio Neto | Incremento Costo variable | Tasa marginal de retorno |
|--------------|----------------|----------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 6 | 818.17 | 232.37 | 407.19 | 232.37 | 175.23 |
| 1 | 410.98 | 0 | ----- | ----- | ----- |

A pesar que los mayores rendimientos en biomasa se obtuvieron con los tratamientos: T2, T3, T4 y T5 que incluyeron la aplicación de 1000, 2000, 3000 y 4000 kg.ha⁻¹ de cal dolomita, estos tratamientos no resultaron económicamente rentables ya que en el análisis económico realizado no se obtuvo una respuesta económicamente viable a la aplicación de cal dolomita en el pasto humedícola (*U. humidicola*), probablemente se podría obtener una respuesta económica positiva en un mediano o largo plazo.

- Determinar el tratamiento que reporte el mayor rendimiento de biomasa del pasto *U. humidicola* por efecto de las aplicaciones de cal dolomita, nitrógeno y fósforo en la localidad de Cristina, Los Amates Izabal.
- Estimar el efecto de los tratamientos en el porcentaje y el rendimiento de proteína cruda, en el pasto *U. humidicola*.
- Evaluar el efecto de las aplicaciones de cal dolomita, nitrógeno y fósforo sobre el pH, Ca y Mg, intercambiables en el suelo.
- Determinar el o los tratamientos que son económicamente rentables.

9. CONCLUSIONES

1. Con base en los análisis estadísticos realizados se determinó que los mejores rendimientos de biomasa del pasto humedícola (*Urochloa humidicola*) se obtuvieron con la aplicación de 4000, 2000, 3000 y 1000 kg.ha⁻¹ de cal dolomita (CaMgCO₃), adicionando 50 kg N ha⁻¹ cada 30 días durante 3 meses y 50 kg P₂O₅ ha⁻¹ en una sola aplicación de este elemento. Los rendimientos obtenidos fueron de 913.70, 847.90, 746.80 y 735.80 kg.ha⁻¹ de biomasa, respectivamente.
2. En cuanto al contenido de proteína cruda, el testigo reportó 7.13 % y 17.75 kg.ha⁻¹ de rendimiento de proteína cruda y el resto de tratamientos estuvo en un rango de 8.31 a 11.63 % de proteína cruda y 34.86 a 85.70 kg.ha⁻¹ de rendimiento de proteína cruda, el cual se incrementó por las aplicaciones de cal dolomita nitrógeno y fósforo.
3. Los valores del pH (5.5 a 5.8) así como los contenidos de calcio (1.78 a 2.45 meq/100 ml) y de magnesio (0.84 a 1.20 meq/100 ml) en el suelo, no presentaron ningún incremento significativo, estadísticamente hablando, en el tiempo que se realizó la investigación.
4. Con base en el análisis marginal practicado se determinó que tres aplicaciones de 50 kg N ha⁻¹ cada treinta días (tratamiento seis en este estudio) durante un período de evaluación de cuatro meses, reportó una tasa marginal de retorno de 175.23 % lo que nos indica que por cada quetzal que se invierta se recupera éste y 1.75 adicional.

10. RECOMENDACIONES

1. Debido a que el tratamiento seis que consistió en tres aplicaciones de $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Nitrógeno cada treinta días resultó ser el mejor, bajo el punto de vista de rentabilidad, se recomienda este tratamiento para el cultivo de pasto humedícola (*U. humidicola*), bajo las condiciones donde se realizó la presente investigación.
2. Ya que en esta investigación no se obtuvo una respuesta económicamente viable a las aplicaciones de cal dolomita en dosis que van de 1000 a 4000 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de cal dolomita, se recomienda para próximos estudios que la evaluación se realice en un período de evaluación más prolongado.
3. Si se pretende la sostenibilidad del sistema, se recomienda aplicar 2 toneladas de cal dolomita (CaMgCO_3) mas la adición de 50 kg N ha^{-1} y $50 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ (una sola aplicación).
4. Desde el punto de vista económico, aplicar 50 kg N ha^{-1} después de cada corte.
5. Desarrollar evaluaciones donde el nitrógeno sea en niveles más bajos.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. Alonso Estrada, NO. 1994. Efectos del encalado en suelos ácidos con cuatro variedades de soya (*Glycine max* L.) en la finca Bella Vista, Santa Cruz Verapaz, Cobán. PPS Téc. Prod. Agríc. Cobán, Guatemala, USAC, CUNOR. 38 p
2. Ardón Flores, C. 2009. Efecto de la fertilización con cuatro niveles de nitrógeno sobre la biomasa y proteína cruda en (*Urochloa brizantha* cv. Marandú), en Santa Rosita; Dolores, El Petén. Graduación Ing. Agr. Guatemala, USAC. 103 p.
3. Castro Ramírez, A. 2002. Ganadería de carne. San José, Costa Rica, EUNED. tomo 2, 259 p. (Producción Bovina).
4. CIMMYT, MX. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de evaluación económica. México. 79 p.
5. España Esquivel, EE. 1997. Evaluación preliminar de diferentes niveles de CaCO en la enmienda de suelos ácidos de la comunidad de Yalanciop, San Mateo Ixtatán, Huehuetenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 48 p.
6. Fassbender, HW; Bornemisza, E. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA. 420 p.
7. Gutiérrez Orellana, MA. 1996. Pastos y forrajes en Guatemala: su manejo y utilización base para la producción animal. Guatemala, Editorial E y G. 318 p.
8. Hughes, HD; Heath, ME; Metcalfe, DS. 1970. Forrajes: la ciencia de la agricultura basada en producción de pastos. Trad. De la Loma, JS. 2 ed. México, CECOSA. 758 p.
9. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1975. Mapa climatológico preliminar de la república de Guatemala, según el sistema Thornthwhite. Guatemala. Esc. 1:1.000,000. Color.
10. INE (Instituto Nacional de Estadística, GT). 2003. IV censo nacional agropecuario: número de fincas censales, existencia animal, producción pecuaria y características complementarias de la finca censal y del productor(a) agropecuario. Guatemala. tomo 4.
11. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 2008. Hojas de registro de datos de la estación meteorológica E21, ubicada en Puerto Barrios Izabal. Guatemala. s.p.
12. Kass, DCL. 1998. Fertilidad de suelos. San José, Costa Rica, EUNED. 233 p.
13. Little, TM; Hills, FJ. 1981. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura, México, TRILLAS. 270 p.

14. López Santos, FA. 1998. Determinación de la dosis optima de cal para subir el pH del suelo, en el cultivo de avena (*Avena sativa*) con fines forrajeros, en la aldea la grandeza, San Pedro Sacatepéquez, San Marcos. Tesis Ing. Agr. Quetzaltenango, Guatemala. USAC. 54 p
15. Mairen León, EA. 1990. Efectos de 4 tratamientos de fertilización con NPK y aplicación de cal, sobre el rendimiento de maíz en al parcelamiento de Chavacal, Panzós, Alta Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 29 p.
16. Melgar Pineda, O. 1994. Plantas forrajeras más importantes, distribuidas en la república de Guatemala. Guatemala, USAC, Centro Universitario del Norte. 113 p.
17. Miyares Jordán, RE. 1977. Evaluación preliminar de los suelos de Guatemala en cuanto a su acidez y alcalinidad. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 55 p.
18. Molina Rojas, E. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo. San José, Costa Rica, 45 p.
19. Obiols Del Cid, R. 1966. Clasificación preliminar de climas de la república de Guatemala. Tesis Ing. Civil. Guatemala, USAC, Facultad de Ingeniería. 132 p.
20. Rojas, A; Molina, E; Morales, F. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo. San José, Costa Rica, ACCS. 45 p.
21. Samayoa, E. 1996. El análisis de rentabilidad y la tasa marginal de retorno. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, Boletín Informativo Agro, no. 2:4–5.
22. Simmons, C; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Guatemala, José De Pineda Ibarra. 1000 p.
23. Sutton, BD; Harmon, NP. 1976. Fundamentos de ecología, México, limusa. 293 p.
24. Tobías Vásquez, HA. 1978. Efectos de encalado en suelos ácidos de Izabal. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 68 p.

12. ANEXOS

Cuadro 20A: Reporte del Herbario BIGU, de la determinación de la especie de pasto humedícola cultivado en el área experimental.



HERBARIO BIGU

Escuela de Biología
Facultad de C.C.Q.Q. y Farmacia

23 de septiembre de 2009

A QUIEN CORRESPONDA:

Por este medio se hace constar que el estudiante **CARLOS FRANCISCO VÁSQUEZ** depositó en este Herbario especímenes de una grama para su determinación e incorporación en las colecciones. Luego del estudio de las mismas, se determinó que la especie es *Urochloa humidicola* (Rendle) Morrone & Zuloaga (POACEAE), registrada con el número BIGU 50149, este espécimen ya se encuentra disponible para su consulta.

A solicitud del interesado se le extiende la presente en el mismo lugar y fecha arriba indicados.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Agr. Mario Esteban Veliz Pérez
Coordinador-curador

Cuadro 21A: Análisis químico y físico del suelo realizado por el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde se realizo el experimento.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



INTERESADO: CARLOS FRANCISCO VASQUEZ
PROCEDENCIA: CASERIO QUIRIGUA, IZABAL
FECHA DE INGRESO: 13/8/09

ANALISIS QUIMICO

| IDENTIFICACION | pH | ppm | | Meq/100 gr | | Ppm | | | | Meq/100 gr | | | | | % | | |
|--------------------|-----|-------|---------|------------|---------|------|------|-------|-------|------------|------|------|------|------|------|-------|------|
| | | P | K | Ca | Mg | Cu | Zn | Fe | Mn | CIC | Ca | Mg | Na | K | Al+H | SB. | M.O. |
| RANGO MEDIO | | 12-16 | 120-150 | 6-8 | 1.5-2.5 | 2-4 | 4-6 | 10-15 | 10-15 | | | | | | | | |
| M-1 | 5.2 | 2.61 | 105 | 2.81 | 0.41 | 1.50 | 1.00 | 46.00 | 57.00 | 8.70 | 3.49 | 0.53 | 0.47 | 0.38 | 0.2 | 56.14 | 3.08 |

ANALISIS FISICO

| IDENTIFICACION | Gr/cc Da | % HUMEDAD | | % | | | CLASE TEXTURAL |
|----------------|-------------|-----------|-------|---------|-------|-------|----------------|
| | | 1/3 | 15 | Arcilla | Limo | Arena | |
| M-1 | 1.0811 | 21.93 | 14.00 | 24.57 | 32.09 | 43.34 | FRANCO |

Carlos Francisco Vasquez



Cuadro 22A: Análisis químico de la muestra de cal dolomita realizado por el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



INTERESADO: CARLOS FRANCISCO VASQUEZ
PROCEDENCIA: EMPRESA AGROMSA
FECHA DE INGRESO: 13/8/09
ANALISIS DE CAL

| IDENTIFICACION | % | | | |
|----------------|-------|-------------------|------|-------------------|
| | Ca | CaCO ₃ | Mg | MgCO ₃ |
| M-1 | 22.50 | 56.19 | 6.88 | 23.86 |



Carlos Francisco Vasquez

Cuadro 23A: Determinación de la dosis de cal, utilizando la metodología propuesta por Molina Rojas, E. 1998. (18) con base a los análisis de las muestras de suelo y cal dolomita realizadas por el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

$$V_1 = \text{Saturación de bases deseada} = \mathbf{90}$$

$$V_2 = \text{Saturación de bases que se tiene} = \mathbf{56.14}$$

$$\begin{aligned} \text{CIC}_{\text{efectiva}} &= \sum \text{Ca, Mg, K, Al + H} \\ &= 3.49 + 0.53 + 0.38 + 0.2 = \mathbf{4.6} \end{aligned}$$

$$\text{CIC}_{\text{efectiva}} = \mathbf{4.6}$$

$$\begin{aligned} \text{Equivalente químico: EQ} &= \text{CaCO}_3 = \% \text{CaCO}_3 * 1 + \% \text{MgCO}_3 * 1.19 \\ &= 56.19 * 1 + 23.86 * 1.19 = \mathbf{84.58 \%} \end{aligned}$$

$$\text{EQ} = \mathbf{84.58 \%}$$

Poder relativo de neutralización total:

$$\text{PRNT} = \frac{\% \text{EG} * \% \text{EQ}}{100} = \frac{100 \% * 84.5 \%}{100} = \mathbf{84.5\%}$$

$$\text{PRNT} = \mathbf{84.5 \%}$$

$$\text{Eficiencia: } F = \frac{100}{\text{PRNT}} = \frac{100}{84.5} = 1.18$$

$$F = \mathbf{1.18}$$

$$\text{Toneladas de CaCO}_3 \cdot \text{ha}^{-1} = \frac{(V_1 - V_2) (\text{CIC}_{\text{efectiva}}) * F}{100} = \frac{(90 - 56.14) (4.6) * 1.18}{100} = 1.84$$

$$\text{Toneladas de CaCO}_3 \cdot \text{ha}^{-1} = \mathbf{1.84}$$

Continua ...

... continuación

Aporte de Mg al suelo en Meq.Mg.100 gr suelo:

$$\text{Mg} = 2000 \text{ Kg.ha}^{-1} \text{ cal dolomita} * 0.0688 \text{ Mg} = 137.6 \text{ Kg.Mg.ha}^{-1}$$

$$137.6 \text{ Kg.Mg.ha}^{-1} / 2 = 68.8 \text{ ppm / Mg}$$

$$68.8 \text{ ppm.Mg} / 121.6 \text{ (peso atómico del Mg)} = \underline{0.56 \text{ Meq Mg} * 100 \text{ gr suelo}}$$

Aporte de Ca al suelo en Meq.Mg.100 gr suelo:

$$\text{Ca} = 2000 \text{ Kg.ha}^{-1} \text{ cal dolomita} * 0.2250 \text{ Ca} = 450 \text{ Kg.Ca.ha}^{-1}$$

$$450 \text{ Kg.Mg.ha}^{-1} / 2 = 225 \text{ ppm / Ca}$$

$$225 \text{ ppm.Mg} / 200.4 \text{ (peso atómico del Mg)} = \underline{1.12 \text{ Meq Mg} * 100 \text{ gr suelo.}}$$

Cuadro 24A: Distribución de los tratamientos en el diseño experimental de bloques completamente al azar.



Bloque I

| | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| T6 | T7 | T8 | T4 | T5 | T3 | T1 | T2 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|

Bloque II

| | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| T7 | T6 | T8 | T2 | T4 | T3 | T5 | T1 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|

Bloque III

| | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| T7 | T6 | T8 | T3 | T1 | T5 | T2 | T4 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|

Bloque IV

| | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| T7 | T6 | T8 | T1 | T4 | T2 | T5 | T3 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|

Cuadro 25A: Resultados del análisis de los diferentes tratamientos en pH, Ca y Mg realizado por el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Bloque I



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



INTERESADO: FRANCISCO VASQUEZ
PROCEDENCIA: FCA CRISTINA, ALDEA LOS AMATES. IZABAL

| IDENTIFICACION | pH | Meq/100ml | |
|----------------|-----|-----------|------|
| | | Ca | Mg |
| I T1 | 5.7 | 1.93 | 0.78 |
| I T2 | 5.8 | 2.12 | 1.00 |
| I T3 | 6.0 | 2.37 | 1.13 |
| I T4 | 6.0 | 2.80 | 1.37 |
| I T5 | 6.0 | 2.68 | 1.23 |
| I T6 | 5.8 | 2.55 | 1.02 |
| I T7 | 5.6 | 2.68 | 1.03 |
| I T8 | 6.0 | 3.24 | 1.55 |



[Handwritten signature]

... Continuación

Bloque II



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE AGRONOMÍA
 LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



INTERESADO: FRANCISCO VASQUEZ
PROCEDENCIA: FCA CRISTINA, ALDEA LOS AMATES. IZABAL

| IDENTIFICACION | pH | Meq/100ml | |
|----------------|-----|-----------|------|
| | | Ca | Mg |
| II T1 | 5.6 | 2.24 | 0.97 |
| II T2 | 5.8 | 2.24 | 1.13 |
| II T3 | 5.8 | 2.24 | 1.04 |
| II T4 | 5.8 | 2.31 | 1.16 |
| II T5 | 5.8 | 2.18 | 1.12 |
| II T6 | 5.7 | 2.37 | 1.39 |
| II T7 | 5.7 | 2.24 | 1.07 |
| II T8 | 5.7 | 1.99 | 1.02 |



CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 EDIFICIO T-8, SEGUNDO NIVEL, OFICINA B-9, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12. GUATEMALA.
 CÓDIGO POSTAL 01012. APARTADO POSTAL 1545. TEL.: (502) 2443 9500, EXTENSION: 1768. FAX: (502) 2476 9758.

Continúa ...

... continuación

Bloque III



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE AGRONOMÍA
 LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



INTERESADO: FRANCISCO VASQUEZ
 PROCEDENCIA: FCA CRISTINA, ALDEA LOS AMATES. IZABAL

| IDENTIFICACION | pH | Meq/100ml | |
|----------------|-----|-----------|------|
| | | Ca | Mg |
| III T1 | 5.4 | 1.50 | 0.77 |
| III T2 | 5.5 | 1.56 | 0.98 |
| III T3 | 5.6 | 1.74 | 0.89 |
| III T4 | 5.6 | 1.74 | 1.07 |
| III T5 | 5.5 | 1.74 | 0.96 |
| III T6 | 5.8 | 1.93 | 0.94 |
| III T7 | 5.5 | 1.81 | 0.84 |
| III T8 | 5.7 | 2.06 | 1.10 |



CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 EDIFICIO T-8, SEGUNDO NIVEL, OFICINA B-9. CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12. GUATEMALA.
 CÓDIGO POSTAL 01012. APARTADO POSTAL 1545. TEL.: (502) 2443 9500; EXTENSION: 1768. FAX: (502) 2476 9758.

Continúa ...

... continuación

Bloque IV



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



INTERESADO: FRANCISCO VASQUEZ
PROCEDENCIA: FCA CRISTINA, ALDEA LOS AMATES. IZABAL

| IDENTIFICACION | pH | Meq/100ml | |
|----------------|-----|-----------|------|
| | | Ca | Mg |
| IV T1 | 5.3 | 1.43 | 0.83 |
| IV T2 | 5.4 | 1.74 | 0.83 |
| IV T3 | 5.4 | 1.68 | 0.74 |
| IV T4 | 5.6 | 1.68 | 0.93 |
| IV T5 | 5.8 | 2.31 | 1.14 |
| IV T6 | 5.5 | 1.50 | 0.79 |
| IV T7 | 5.4 | 1.68 | 0.89 |
| IV T8 | 5.9 | 1.93 | 1.03 |



Cuadro 26A: Análisis químico de tejido vegetal del pasto humedícola (*U. humidicola*) realizado por el Laboratorio de Suelo, Planta y Agua "Salvador Castillo Orellana" de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



INTERESADO: FRANCISCO VASQUEZ
PROCEDENCIA: CASERIO CRISTINA, LOS AMATES IZABAL
CULTIVO: PASTO
FECHA DE INGRESO: 31/5/2010

ELEMENTOS TOTALES

| IDENTIFICACION | % | | | | | Ppm | | | | | % Proteína cruda |
|----------------|------|------|------|------|------|------|----|----|-----|-----|---------------------|
| | N | P | K | Ca | Mg | Na | Cu | Zn | Fe | Mn | |
| T-1 | 1.14 | 0.11 | 2.25 | 0.19 | 0.19 | 3750 | 5 | 25 | 55 | 175 | 7.13 |
| T-2 | 1.62 | 0.14 | 2.81 | 0.25 | 0.19 | 2250 | 5 | 25 | 70 | 155 | 10.13 |
| T-3 | 1.46 | 0.14 | 3.06 | 0.25 | 0.21 | 3770 | 5 | 30 | 65 | 160 | 9.13 |
| T-4 | 1.48 | 0.14 | 2.81 | 0.19 | 0.21 | 2500 | 5 | 25 | 180 | 145 | 9.25 |
| T-5 | 1.50 | 0.15 | 2.94 | 0.25 | 0.21 | 3750 | 10 | 30 | 80 | 135 | 9.38 |
| T-6 | 1.82 | 0.12 | 2.81 | 0.19 | 0.17 | 3000 | 10 | 25 | 100 | 115 | 11.38 |
| T-7 | 1.72 | 0.15 | 3.31 | 0.31 | 0.20 | 4250 | 10 | 30 | 70 | 155 | 10.75 |
| T-8 | 1.86 | 0.11 | 2.94 | 0.19 | 0.20 | 2000 | 5 | 30 | 50 | 160 | 11.63 |



Francisco Vasquez