

Efecto de la fertilización y rotación de potreros en la captura de carbono, emisión de gases efecto invernadero y características bromatológicas en praderas de *Pennisetum*

clandestinum Hochst

Daniel Cáceres Orozco

Trabajo de Grado para Optar el Título de Zootecnista

Director

Julián Mauricio Botero Londoño

PhD en ciencias agrarias con énfasis en manejo de suelos y aguas

Codirectora

Erika Mayerly Celis Celis

Química

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED

Zootecnia

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

Dedico esta tesis primeramente a **DIOS** por haberme dado el don de la vida, humildad, sabiduría, facultad de adquirir y aplicar conocimientos y capacidad para afrontar momentos adversos sin perder de vista el deseo de una formación integral.

A mis padres **Roberto Cáceres y Leonor Orozco Pérez** pilares fundamentales en mi formación como persona, por su bendición y apoyo incondicional en cada momento de mi vida.

A mi esposa **Milena Bernal Vásquez** y mis hijas **Karenn Valentina y Danna Gabriela Cáceres Bernal** por su inmensa comprensión, fuente de inspiración y acompañamiento durante el desarrollo de mis compromisos académicos.

A mis hermanos(as) **Ludy, Rubén, Norita, Rober, Jonathan y Lina** siempre recibí sus buenos deseos y fortaleza para culminar con éxito mi proyecto de vida.

A mis **suegros** y mis **cuñados(as)** al convertirse en parte importante en cada proyecto que he emprendido a lo largo de su compañía.

Agradecimientos

A nuestro ***padre celestial*** por haberme llevado de la mano en cada momento de mi pregrado, ya que, sin su voluntad no es posible emprender y culminar propósito alguno.

A mis ***padres y hermanos(as)*** por su apoyo incansable, fortaleza y confianza, factores determinantes al momento de abrirse nuevos caminos.

A mi ***esposa e hijas***, infinitas gracias por ser motor y cómplices de este sueño cumplido.

Al PhD ***Julián Mauricio Botero Londoño*** y la Química ***Erika Mayerly Celis Celis*** director y codirectora de este trabajo de investigación por haber entregado sus conocimientos, tiempo y experiencia, con el profesionalismo y personalidad requeridos para el fiel cumplimiento de los pilares de nuestra alma mater.

Al señor ***Jenever Duarte, señora e hijas***, propietarios de la empresa ganadera donde fue realizada la investigación por depositar su confianza y aportar al desarrollo, innovación y transformación del sistema productivo tradicional.

A la ***Universidad Industrial de Santander, docentes, administrativos y colaboradores*** por dejarme su sello investigativo, calidad docente y la capacidad de transferir el conocimiento hasta diversos ámbitos sociales.

A mis ***compañeros de estudio*** por hacerme parte un selecto grupo de personas con ideales y valores requeridos para ejercer la Zootecnia como ciencia encargada de la producción animal, transformación y comercialización; bajo las banderas del bienestar animal y la conservación del medio ambiente.

Contenido

Introducción	11
1. Objetivos	13
1.1 Objetivo general	13
1.2 Objetivos específicos	13
2. Cuerpo del trabajo	14
2.1 Marco referencial	14
2.1.1 Método	17
2.1.2 Resultados	22
2.1.2.1 Discusión	28
3. Conclusiones	30
4. Recomendaciones	31
Referencias bibliográficas	32
Apéndices	36

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Análisis químico de suelo</i>	17
Tabla 2. <i>Análisis físico de suelo</i>	18
Tabla 3. <i>Fertilización utilizada</i>	18
Tabla 4. <i>Producción de biomasa y capacidad de carga estimada (CCE)</i>	22
Tabla 5. <i>Composición elemental de Pennisetum Clandestinum Hochst</i>	23
Tabla 6. <i>Captura de carbono de Pennisetum Clandestinum Hochst</i>	23
Tabla 7. <i>Composición bromatológica de Pennisetum Clandestinum Hochst</i>	24
Tabla 8. <i>Emisión CO₂ Pennisetum Clandestinum Hochst</i>	25
Tabla 9. <i>Emisión promedio de CO₂</i>	26
Tabla 10. <i>Emisión de CO₂ en suelo desnudo</i>	27

Lista de figuras

Figura 1. <i>Dinámica de CO₂ Kg/ha/día</i>	26
---	----

Lista de Apéndices

Apéndice A. <i>Asignación de tratamientos</i>	36
Apéndice B. <i>Potrero con 40 de días descanso</i>	37
Apéndice C. <i>Corte de forraje unidad experimental</i>	37
Apéndice D. <i>Materiales para toma de muestras de gases</i>	37
Apéndice E. <i>Toma de muestras de gases</i>	37
Apéndice F. <i>Análisis de muestras</i>	37

Glosario

Análisis bromatológico: es la evaluación química de la materia que compone a los nutrientes, pues etimológicamente se puede definir a la Bromatología como Broma, ‘alimento’, y logos, ‘tratado o estudio’, es decir, que la Bromatología es la ciencia que estudia los alimentos, sus características, valor nutricional y adulteraciones (recuperado de: <http://www.lavet.com.mx/analizando-alimentos-analisis-bromatologicos/>. 30-04-2020; 6:46 pm).

Captura de carbono: es la remoción del carbono de la atmósfera mediante la fotosíntesis de las plantas y su almacenamiento como formas de materia orgánica estables y de larga vida en el suelo (recuperado de: https://www.inia.cl/wp-content/uploads/2017/06/INIA-secuestro-de-carbono-91-MundoAgro_Jun2017.pdf. 30-04-2020; 7:19 pm).

Gases efecto invernadero (GEI): son compuestos químicos en estado gaseoso como el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) que se acumulan en la atmósfera de la Tierra y que son capaces de absorber la radiación infrarroja del Sol, aumentando y reteniendo el calor en la atmósfera (recuperado de: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/462-plantilla-cambio-climatico-18>. 30-04-2020; 6:34 pm). 30-04-2020; 6:34 pm).

***Pennisetum clandestinum*:** es una de las especies forrajeras más difundidas y cultivadas, originaria de las regiones tropicales de alta montaña en el África central y oriental. Especie perenne, postrada, rizomatosa, estolonífera, muy vigorosa, de ramas erectas, de 45 a 60 cm, cuando no se pastorea, usualmente formando un césped denso, de 15 cm o menos de altura, cuando se pastorea o siega (recuperado de: <https://www.forestmaderero.com/articulos/item/kikuyo-pennisetum-clandestinum-hochst-ex-chiov.html>. 30-04-2020; 7:46 pm).

Resumen

Título: Efecto de la Fertilización y Rotación de Potreros en la Captura de Carbono, Emisión de Gases Efecto Invernadero y Características Bromatológicas en Praderas de *Pennisetum Clandestinum* Hochst *

Autor: Daniel Cáceres Orozco **

Palabras Clave: gases efecto invernadero, captura de carbono, rotación de potreros, *Pennisetum Clandestinum* Hochst.

Descripción:

La fertilización y manejo rotacional de potreros es una alternativa para mitigar el cambio climático, realizar un adecuado uso de la tierra, lograr alta rentabilidad en armonía con el medioambiente y garantizar el bienestar de los animales. En la presente investigación se evaluó el efecto de la fertilización y rotación de potreros en la captura de carbono, emisión de CO₂ y características bromatológicas en praderas de *Pennisetum Clandestinum* Hochst. Se desarrolló un diseño en bloques completos al azar con tres boques, cuatro tratamientos por bloque y cuatro replicas por tratamiento, diseñando un sistema de rotación de potreros a 40 días donde la ubicación de los bloques tuvo lugar en los potreros N° 2, 9 y 16. Los tratamientos establecidos fueron manejo tradicional de pastoreo sin fertilización (T1) y rotación a 40 días con 15, 20 y 25g de fertilizante por metro cuadrado para T2, T3 y T4 respectivamente. Las variables en estudio fueron producción de biomasa y capacidad de carga, captura de carbono, emisión de CO₂, composición bromatológica y elemental. Encontrando diferencias entre tratamientos ($p < 0,05$), donde el T4 presentó una captura de 47,16 t de CO₂eq/ha/a; 32844 Kg de MS/ha/a, capacidad de carga de 6 UGG y superiores cifras en las variables restantes respecto a los demás tratamientos; la menor emisión de CO₂ se evidenció en el T1 con 397,78 ppm. Es preciso resaltar que si bien el T4 obtuvo mayor emisión de CO₂ fue el tratamiento que produjo mayor captura de carbono, altos volúmenes de producción forrajera y mejores aportes nutricionales.

* Trabajo de Grado

** Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED. Programa de Zootecnia. Director: Julián Mauricio Botero Londoño. PhD en ciencias agrarias con énfasis en manejo de suelos y aguas. Codirector: Eryka Mayerly Celis Celis. Química.

Abstract

Title: Effect of Fertilization and Paddock Rotation on Carbon Sequestration, Greenhouse Gas Emission and Bromatological Characteristics in *Pennisetum Clandestinum* Hochst Pastures*

Author: Daniel Cáceres Orozco**

Key Words: greenhouse gases, carbon sequestration, paddock rotation, *Pennisetum Clandestinum* Hochst.

Description:

Fertilization and rotational pasture management is an alternative to mitigate climate change, make an adequate use of the land, achieve high profitability in harmony with the environment and guarantee animal welfare. The present study evaluated the effect of fertilization and paddock rotation on carbon sequestration, CO₂ emission, and bromatological characteristics in grasslands of *Pennisetum Clandestinum* Hochst. A randomized complete block design was developed with three blocks, four treatments per block and four replicates per treatment, designing a 40-day paddock rotation system where the blocks were located in paddocks 2, 9 and 16. The established treatments were traditional grazing management without fertilization (T1) and 40-day rotation with 15, 20 and 25 g of fertilizer per square meter for T2, T3 and T4, respectively. The variables under study were biomass production and carrying capacity, carbon capture, CO₂ emission, bromatological and elemental composition. Differences were found between treatments ($p < 0.05$), where T4 presented a capture of 47.16 t CO₂eq/ha/a; 32844 kg DM/ha/a, carrying capacity of 6 UGG and higher figures in the remaining variables with respect to the other treatments; the lowest CO₂ emission was evidenced in T1 with 397.78 ppm. It should be noted that although T4 had the highest CO₂ emissions, it was the treatment that produced the highest carbon sequestration, high forage production volumes and better nutritional intake.

* Undergraduate Work

** Institute of Regional Projection and Distance Education IPRED. Animal Science Program. Director: Julián Mauricio Botero Londoño. PhD in agricultural sciences with emphasis on soil and water management. Codirector: Eryka Mayerly Celis Celis. Chemistry.

Introducción

Los sistemas de producción ganaderos con bajos niveles tecnológicos representan una huella negativa en el sostenimiento de los ecosistemas, es alarmante el impacto causado al medioambiente por la ganadería extensiva generando el deterioro de los suelos en sus características físicas, químicas y biológicas (Sánchez, 2020; Marín et al. 2017; Masin, 2017). La ganadería es responsable del 14,5% de la producción de gases efecto invernadero (GEI) provocadas por la actividad humana, dentro de los cuales 45% está representado por la producción de alimentos concentrados y un 9% relacionado con la expansión de la frontera agrícola con fines relacionados a la producción de pastos y forrajes (Gerber et al., 2013).

Desarrollar la ganadería sin tener en cuenta un pastoreo racional y la ausencia de tecnologías para el manejo de praderas, desencadenan una disminución en la fertilidad de los suelos y provocan su compactación, conllevando a una baja producción de biomasa, capacidad de carga y disponibilidad de nutrientes para los animales, reflejándose en una ineficiencia productiva y baja rentabilidad para el productor (Barriga, 2017; Delgado, 2017).

Es necesario realizar investigaciones con el fin de establecer el comportamiento del kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) frente a diversos regímenes de fertilización y condiciones de manejo basadas en periodos de ocupación y recuperación, en aras de hallar un balance positivo de producción, incluyendo el análisis de la huella ambiental generada por dicho sistema (Martínez et al., 2018).

Se ha establecido una analogía entre la virtud que poseen los sistemas de producción acerca del buen uso de los recursos biológicos y el impacto de la liberación de gases que aumentan la temperatura global, lo que compromete a los actores ganaderos a disponer de los recursos naturales de manera eficiente, debido a que la producción de dióxido de carbono (CO₂)

y óxido nitroso (N_2O) mayoritariamente se presenta a causa de los detrimentos de materia orgánica y nitrógeno respectivamente (Gerber et al., 2013).

El éxito de la actividad ganadera está ligado a que las praderas como fuente primordial de nutrientes, deben proporcionar excelente calidad y alta producción de biomasa que permitan obtener un producto ideal a bajo costo (Barriga, 2017). Los cultivos de pastos manejados de manera eficiente no solamente conllevan al mejoramiento de los parámetros productivos de los animales, sino que, poseen la capacidad de capturar cantidades importantes de carbono, tomando gran importancia en la mitigación de los gases efecto invernadero (GEI) (Silva et al., 2013).

El proyecto busca establecer la relación existente entre la fertilización y rotación de potreros de *Pennisetum clandestinum* con la captura de carbono, emisión de gases efecto invernadero (GEI) (CO_2 y N_2O) y las características bromatológicas del cultivo.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de la fertilización y rotación de potreros en la captura de carbono, emisión de gases efecto invernadero y características bromatológicas en praderas de *Pennisetum clandestinum*.

1.2 Objetivos Específicos

Determinar el efecto de la fertilización y rotación de potreros sobre la captura de carbono en praderas de *Pennisetum clandestinum*.

Establecer el efecto de la fertilización y rotación de potreros sobre la emisión de CO₂ en praderas de *Pennisetum clandestinum*.

Determinar el efecto de la fertilización y rotación de potreros sobre las características bromatológicas del *Pennisetum clandestinum*.

2. Cuerpo del Trabajo

2.1 Marco Referencial

Debido al incremento poblacional en los últimos 80 años y su demanda de productos vegetales y proteína de origen animal se desencadenó la revolución verde causando una significativa reducción de áreas selváticas y de bosques nativos para satisfacer dichos requerimientos (Alayon et al., 2016; Chilón, 2017). Incrementando la producción de gases efecto invernadero (GEI) causantes del aumento de la temperatura del planeta, los cuales funcionan como un manto que engancha la radiación del sol, de no ser así, estaría siendo expulsada fuera de la atmosfera o atrapada por los grandes cuerpos de agua y el componente botánico; en algunos casos el calentamiento global y el cambio climático se usan para referirse a la misma situación, pero cabe aclarar que se trata de términos muy diferentes donde el primero hace referencia a un alza en la temperatura de planeta y el segundo a los desórdenes medioambientales desencadenados por dicha variación (Paterson, 2017).

El efecto invernadero y cambio climático son acontecimientos que afectan a todo el mundo y solamente hasta hace poco tiempo se reconocen como tal, dando inicio al estudio de su comportamiento, encontrándose diversas causas y la afectación de múltiples ecosistemas; Colombia participa en dicha problemática debido a la actividad pecuaria donde sobresale la ganadería (Alfonso, 2011).

Dentro de los gases de efecto invernadero (GEI) producidos por la actividad agropecuaria se encuentran principalmente el (CO₂) y óxido nitroso (N₂O); los cambios en el uso del suelo, las reacciones bioquímicas generadas por la descomposición de la materia orgánica y la aplicación de fertilizantes son causantes de una significativa producción de CO₂; las

deposiciones de los animales, la fertilización nitrogenada y los procesos metabólicos del nitrógeno son los principales generadores de N_2O (Costantini et al., 2018).

El sistema de producción ganadera se encuentra involucrado en la producción de cantidades significativas de GEI, ya que, participan en un 18% del total de las emisiones medidas en términos de (CO_2 -eq), superando así a lo producido por el sector transportador; además, se le atribuyen emisiones de 37% del metano (CH_4) causado por la actividad humana y 65% del N_2O , gases con 23 y 296 veces más potentes a nivel de calentamiento que el CO_2 respectivamente, la producción de CH_4 en gran medida es a causa del metabolismo propio de los rumiantes y el N_2O derivado de las excretas (FAO, 2006). No obstante, los pastos poseen la capacidad de convertirse en eslabón importante para reducir la cantidad atmosférica de GEI (Torrez et al., 2017). Por su captura de CO_2 y almacenamiento de C en el suelo, donde 300 Kg de C/ha/año, acumulado en el suelo equivalen a la reducción de una tonelada de CO_2 -eq/ha/año (FAO, 2010; Silva et al., 2013).

Los sistemas de pastoreo tradicional se han basado en el libre acceso de las praderas, ocupando grandes extensiones sin algún tipo de control de carga animal, días de utilización y periodos de descanso; situación que acarrea grandes desperdicios de forrajes y cuando se consumen no se encuentran en su punto ideal de producción y aporte nutricional; aunado a lo anterior, se evidencia baja actividad de corrección de suelos y fertilización de los mismos, conllevando a una continua extracción de nutrientes que disminuye la producción de biomasa, calidad nutricional de los pastos y capacidad de carga (Mota & Ocaña, 2018; Abad, 2018).

Conocer el uso potencial de las especies forrajeras permite garantizar un manejo acorde y lograr el punto de equilibrio entre volumen de producción y aporte de nutrientes, cubriendo la mayor proporción de los requerimientos nutricionales del animal en base a la pastura, siendo esta

la manera más rentable de suministrar alimento en un ambiente tropical (Vega 2018). Teniendo en cuenta que la edad de cosecha de los forrajes determina su calidad nutricional, encontrándose una relación inversa entre el tiempo de recuperación del cultivo y la cantidad de nutrientes digeribles (Guerra, 2016). El éxito de la ganadería se encuentra ligado a la destreza con que los productores manejen las praderas, implementando un pastoreo racional donde se garanticen periodos de ocupación y descanso y devolución de nutrientes previo análisis de suelo; logrando así, alto volumen de producción de biomasa y mayor aporte de nutrientes (Serrano, 2016). Además, respetar el periodo de descanso de las praderas teniendo en cuenta su recuperación y la del suelo, contribuye a la sostenibilidad de las actividades agropecuarias (de Otálora et al., 2021).

2.1.1 Método

La investigación se realizó en la empresa Agro Inversiones el Paraíso sede El Palmar ubicada en el municipio de Macaravita, departamento de Santander, Colombia. Predio destinado a un sistema de producción de lechería especializada, con alturas entre 2563 y 2712 m.s.n.m; ubicado entre los 6°31'53'' Norte y 72°33'28'' al Oeste (Google earth, 2020), temperatura promedio de 16°C y propiedades de suelo descritas en las tablas 1 y 2.

Tabla 1.

Análisis químico de suelo

Análisis	Unidad	Valor	Calificación
pH			Moderadamente
		5.6	acido
MO	%	8.8	Alto
Ca intercambiable		5.43	Medio
Mg intercambiable		0.39	Bajo
K intercambiable	(Cmol ₍₊₎ /kg)	0.19	Medio
Na intercambiable		ND	Bajo
Al intercambiable		0.12	Normal
P disponible		9.88	Bajo
Cu disponible		0.75	Bajo
Zn disponible	mg/kg	4.49	Alto
Mn disponible		2.03	Bajo
Fe disponible		422	Alto

Tabla 1 muestra los resultados de laboratorio para el análisis químico del suelo; Cmol₍₊₎: centimol de cargas positivas

Tabla 2.*Análisis físico de suelo*

Análisis	Unidad	Valor
Arena		86
Limo	%	7.5
Arcilla		6.5
Clase textural	Franco Arenoso	F-A
Densidad aparente	g/cm ³	0.94

Análisis físico del suelo donde se realizó la investigación

La medición del predio se realizó mediante el uso de GPS Garmin y el programa MapSource, en el cual se estableció un sistema de rotación de potreros con un día de ocupación y 40 días de descanso.

Se desarrolló un diseño en bloques completos al azar con tres bloques, cuatro tratamientos por bloque y cuatro replicas por tratamiento; los bloques fueron definidos en 3 potreros diferentes con intervalo de 7 días (potreros N° 2, 9 y 16) y cada unidad experimental tuvo un área de 4 m². Siendo T1: pastoreo tradicional sin fertilización (animales a lazo y estaca), T2: rotación a 40 días con 15 g de fertilizante por m², T3: rotación a 40 días con 20 g de fertilizante por m² y T4: rotación a 40 días con 25 g de fertilizante por m² (tabla 3). La fertilización fue aplicada un día después del pastoreo.

Tabla 3.*Fertilización utilizada*

	T1	T2	T3	T4
Fertilizante, g/m ²	0	15	20	25
Nitrógeno total, g/m ²	0	4,65	6,2	7,75
P ₂ O ₅ , g/m ²	0	1,2	1,6	2
K ₂ O, g/m ²	0	1,2	1,6	2
MgO, g/m ²	0	0,3	0,4	0,5
Azufre total, g/m ²	0	0,45	0,6	0,75

Las variables analizadas fueron producción de biomasa y capacidad de carga, captura de carbono (tCO₂-eq/ha/a), emisión de CO₂, composición bromatológica y elemental de *Pennisetum Clandestinum*.

Los datos hallados en cada variable fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y siempre que hubo diferencias (P<0.05) se utilizó la prueba de rangos múltiples de Duncan para la separación de medias incluido en el programa estadístico SAS. Siguiendo el modelo estadístico (Friedman, 1937):

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + \varepsilon_{ij}$$

Siendo,

Y_{ij} = variable en estudio

μ = media de la población

T_i = efecto del tratamiento

B_j = efecto de los bloques

ε_{ij} = efecto del error experimental

La toma de muestras se desarrolló de manera aleatorizada en cada unidad experimental utilizando un marco de PVC de 50*50cm y realizando cortes del forraje a 10 cm del suelo para determinar producción de biomasa, capacidad de carga, captura de carbono, propiedades bromatológicas y elementales.

Producción de biomasa y capacidad de carga.

Se determinó por medio del peso encontrado en base fresca y la aplicación de factores necesarios hasta llegar a t/ha/a; para hallar el porcentaje de materia seca (%MS) se sometieron las muestras a una temperatura de 105°C durante 24 horas utilizando la siguiente fórmula:

$$\%MS = PF * 100 / PI$$

Siendo.

%MS: porcentaje de materia seca

PF: peso final

PI: peso inicial

La capacidad de carga fue determinada teniendo en cuenta producción de MS/ha/a, consumo de MS/UGG/a (4380 Kg) y el porcentaje de forraje aprovechado (80%) así:

$$CC = MSP / MSC * PA$$

Donde.

CC= capacidad de carga

MSP= materia seca producida

MSC= materia seca consumida

PA= porcentaje aprovechable

Captura de carbono.

Se cuantificó teniendo en cuenta la producción de MS y el porcentaje de carbono (%C) obtenido en analizador elemental CHNSO.

Cenizas totales.

Se determinó posteriormente al proceso de cuantificación de materia seca (MS), sometiendo cada muestra a 550°C durante 6 horas en mufla.

Composición bromatológica y elemental.

Las muestras destinadas a análisis bromatológico y composición elemental fueron pesadas y deshidratadas a 60°C para realizar dichos procedimientos.

Para la determinación de proteína bruta (%PB) se tuvo en cuenta %N (analizador elemental CHNSO) * 6,25 (factor de conversión); energía bruta (EB) Kcal/Kg obtenida en

calorímetro; extracto etéreo (%EE) con el porcentaje arrojado en extractor de grasas Soxhlet; %FDN, %FDA y %LIG se tuvo en cuenta los datos arrojados por extractor de fibras y para la cuantificación de cenizas totales (%CEN) una vez realizada la MS a 105°C se sometieron las muestras en mufla a 550°C durante 6 horas.

Emisión de CO₂.

Para estimar la emisión de dióxido de carbono (CO₂) se utilizaron cámaras de vidrio con orificio superficial, volumen de 18000cm³, área de cobertura de 90cm² y jeringas plásticas de 50 mL con válvula de tres pasos. Se realizó la fertilización de cada unidad experimental de acuerdo con su tratamiento un día después del respectivo pastoreo, se aplicó riego y se instalaron las cámaras tomando muestras con las jeringas por los orificios en los minutos 0, 30 y 60 posteriores a la fertilización y riego conduciendo dichas muestras al laboratorio para su respectivo análisis en cromatógrafo de gases.

2.1.2 Resultados

Producción de biomasa y capacidad de carga

La producción de biomasa presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para las variables evaluadas. Siendo el T4 superior al T1 y T2 mientras que el T3 tuvo un comportamiento intermedio entre T2 y T4 para la producción de biomasa en base fresca y para la variable producción de biomasa en base seca no hubo diferencias significativas entre los tratamientos 2, 3 y 4 los cuales presentaron valores superiores al tratamiento 1. En la capacidad de carga estimada los tratamientos 2, 3 y 4 difieren significativamente ($p = 0.0001$) del tratamiento 1 (tabla 4).

Tabla 4

Producción de biomasa y capacidad de carga estimada (CCE)

Tratamiento	Biomasa MF g/m ²	Biomasa MS g/m ²	Biomasa MF Kg/ha/a	Biomasa MS Kg/ha/a	CCE UGG/ha/a
1	584,5 ^c	173,89 ^b	53339 ^c	15867 ^b	2,90 ^b
2	1580,6 ^b	313,53 ^a	144226 ^b	28610 ^a	5,23 ^a
3	1830,8 ^{ab}	338,08 ^a	167064 ^{ab}	30850 ^a	5,63 ^a
4	1974,7 ^a	359,94 ^a	180193 ^a	32844 ^a	6,00 ^a
CV	28,9	22,4	28,9	22,4	22,42

CV: coeficiente de variación. Medias en columnas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan.

Tabla 5*Composición elemental de Pennisetum Clandestinum Hochst*

Tratamiento	Carbono, %	Nitrógeno, %	Hidrógeno, %
1	45,51 ^a	2,17 ^c	6,36 ^a
2	42,80 ^b	2,33 ^c	6,05 ^b
3	41,88 ^b	2,69 ^b	5,82 ^c
4	43,16 ^b	3,01 ^a	5,88 ^b
CV	3,89	9,74	4,36

CV: coeficiente de variación. Medias en columnas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan.

En la composición elemental se evidenció diferencias ($p < 0.05$) entre tratamientos mas no entre bloques ($p = 0,2253$). Encontrando un contenido de carbono de 45,51% para el tratamiento 1 siendo mayor a lo reportado por los tratamientos 2, 3 y 4 dentro de los cuales no se encontró diferencias estadísticas. Para el porcentaje de nitrógeno se encontró el valor más alto en el tratamiento con fertilización de 25g/m², seguido por el tratamiento 3 y sin diferencia entre T1 y T2. El tratamiento control (T1) presentó un mayor valor en el porcentaje de hidrógeno, no se evidenció diferencia en dicha variable entre los tratamientos 2 y 4 superando el 5,82% presentado por el tratamiento 3 (tabla5).

Tabla 6*Captura de carbono de Pennisetum Clandestinum Hochst*

Tratamiento	Ton. Carbono/ha/a	Ton.CO2 equivalente/ha/a
1	7,25 ^b	24,17 ^b
2	12,25 ^a	40,83 ^a
3	12,91 ^a	43,03 ^a
4	14,15 ^a	47,16 ^a
CV	22	22

CV: coeficiente de variación. Medias en columnas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan.

La captura de carbono presentada en la tabla 6 evidenció diferencias significativas entre los tratamientos asignados ($p=0,0001$). En las dos variables evaluadas se observó el menor valor en el tratamiento control (T1) y un aumento progresivo en los restantes, encontrando 12.25, 12.91 y 14.15tC/ha/a y 40.83, 43.03 y 47.16 tCO₂eq/ha/a para los tratamientos 2, 3 y 4 respectivamente.

Tabla 7

Composición bromatológica de Pennisetum Clandestinum Hochst

Tratamiento	MS %	PB	EB Kcal/Kg	EE	CEN	FDN %	FDA	LIG
1	29,66 ^a	13,58 ^c	4064,18 ^{ab}	1,44 ^{ab}	9,78 ^b	66,22 ^a	36,54 ^a	5,91 ^d
2	20,20 ^b	14,57 ^c	4121,00 ^a	1,27 ^b	13,01 ^a	62,39 ^b	36,12 ^a	5,96 ^c
3	19,25 ^b	16,78 ^b	3958,40 ^c	1,53 ^a	13,47 ^a	61,86 ^c	34,98 ^b	6,26 ^b
4	18,93 ^b	18,83 ^a	4028,79 ^b	1,35 ^{ab}	13,60 ^a	55,39 ^d	33,93 ^c	6,32 ^a
CV	17,56	9,72	1,73	18,33	13,95	0,15	1,79	0,15

CV: coeficiente de variación; MS: materia seca; PB: proteína bruta; EB: energía bruta; EE: extracto etéreo; CEN: cenizas totales; FDN: fibra en detergente neutro; FDA: fibra en detergente ácido; LIG: lignina. Medias en columnas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p<0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan.

Con relación a la composición bromatológica se encontró diferencias significativas ($p<0.05$) entre los diferentes tratamientos para las variables evaluadas. Para %ms el t1 mostró un mayor valor frente a los demás tratamientos; en el porcentaje de proteína bruta (PB) no hubo diferencia entre los tratamientos 1 y 2, caso contrario para los tratamientos 3 y 4 con valores de 16,78 y 18,83% respectivamente. Los datos referentes a EB mostraron un mayor valor en el tratamiento 2 (4121 Kcal/Kg), seguido por el T4, el Tratamiento control (T1) con un dato intermedio entre los anteriores y por último el T3 con 3958,40 Kcal/Kg. En lo referente a EE el tratamiento 3 con 1,53 % obtuvo el valor mas elevado, T2 con el menor valor (1,27%) y los tratamientos 1 y 4 presentaron valores intermedios entre los mencionados anteriormente. En el porcentaje de cenizas se evidenció que el tratamiento 1 difiere de los demás, los cuales

presentaron 13,01, 13,47 y 13,60% para T2, T3 y T4 respectivamente. El porcentaje de fibra en detergente neutro (FDN) presentó diferencias significativas entre todos los tratamientos, siendo mayor en el T1 con 66,22 y menor en el tratamiento 4 con 55,39%. Para el caso de FDA no se encontró diferencia entre T1 y T2 obteniendo los valores mas altos, mientras que T3 y T4 si presentaron diferencias entre los demás con un 34,98 y 33, 93% respectivamente. En lo referente al contenido de LIG se presentaron diferencias entre todos los tratamientos aumentando desde el T1 con un 5,91% hasta el T4 con 6,32% (tabla 7).

Para la emisión de CO₂ tomada al momento de la aplicación del respectivo tratamiento no se encontraron diferencias estadísticas ($p>0,05$), pasados 30 minutos esta tendencia cambió ($p<0,0001$) indicando mayor emisión en el T4 con 860 ppm y al minuto 60 el mismo tratamiento mantuvo su emisión en el primer lugar (635 ppm), los tratamientos 2 y 3 no presentaron diferencias mientras que el T1 reportó una menor emisión (tabla 8).

Tabla 8

Emisión CO₂ Pennisetum Clandestinum Hochst

Tratamiento	Minuto 0	Minuto 30 ppm	Minuto 60
1	545,83a	385,00c	262,50c
2	547,50a	645,83b	420,42b
3	555,00a	718,75b	497,92b
4	542,50a	860,00a	635,00a
CV	10,98	15,79	25,27

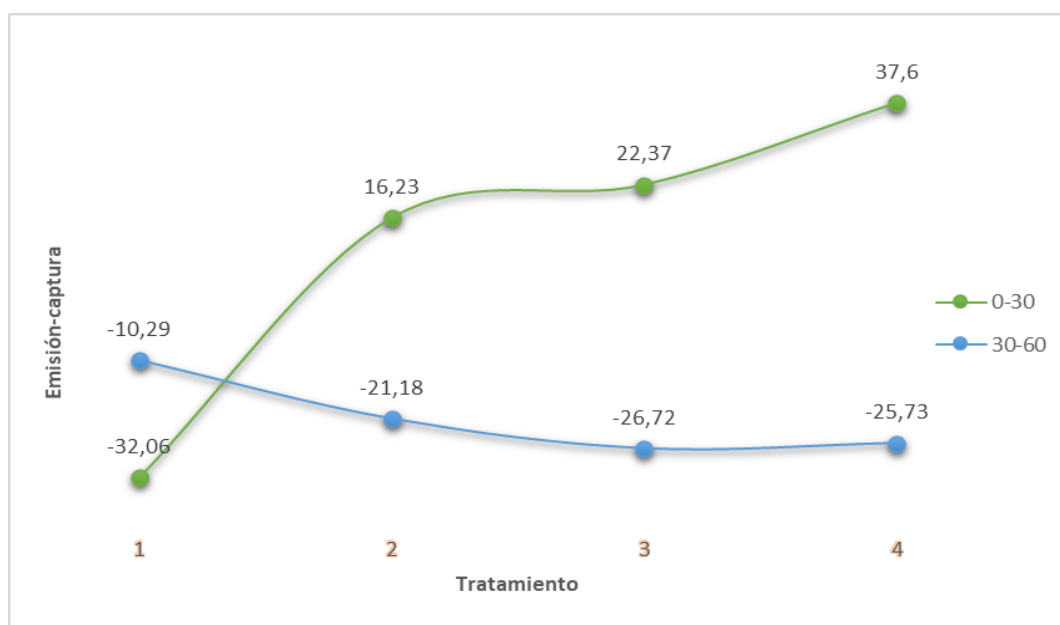
CV: coeficiente de variación. Medias en columnas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p<0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan.

Tabla 9*Emisión promedio de CO₂*

Tratamiento	ppm
1	397,78c
2	537,92b
3	590,56b
4	679,17a
CV	12,67

CV: coeficiente de variación. Medias en columnas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan.

La tabla 9 hace referencia a la emisión promedio de cada tratamiento entre los datos tomados al minuto 0, 30 y 60, encontrándose diferencias ($p < 0,05$) entre tratamientos. Donde el tratamiento 4 evidenció un mayor valor (679,17 ppm), los tratamientos 2 y 3 no presentaron diferencias entre ellos y el tratamiento control (T1) tuvo la emisión más baja.

Figura 1*Dinámica de CO₂ Kg/ha/día*

Nota. El gráfico representa la dinámica de emisión en toneladas por hectárea día de CO₂. Los valores negativos indican captura y los valores positivos emisión. En un intervalo de medición de 0 a 30 y de 30 a 60 minutos.

En la ilustración 1 se observa el comportamiento de CO₂ para determinado tratamiento y el tiempo transcurrido desde su aplicación (0,30 y 60 minutos). El tratamiento control (T1) tuvo un comportamiento similar en los tres tiempos de medición con una tendencia negativa, situación diferente en los demás tratamientos donde se evidenciaron valores positivos en la toma inicial y un descenso significativo en la medición del segundo intervalo (30 a 60 minutos).

Tabla 10

Emisión de CO₂ en suelo desnudo

Réplica	KgCO ₂ /ha/día
1	87,75
2	71,43
3	92,62
4	83,36

Datos encontrados para la emisión de CO₂ en un suelo sin cobertura vegetal

El suelo desprovisto de cobertura vegetal en el cual se implementaron cuatro réplicas presentó un alto valor de emisión de CO₂ comparado con los tratamientos evaluados en el trabajo de investigación.

2.1.2.1 Discusión. Los datos referentes a la captura de carbono en los tratamientos establecidos del presente trabajo de investigación reportaron índices superiores a lo planteado por (Pérez et al., 2019) al realizar una investigación relacionada con las reservas de carbono mediante un sistema tradicional de manejo de la pastura y un sistema silvopastoril. Determinando 4,52, 3,58 y 1,9 tC/ha/año en las raíces a 20 cm de profundidad, los tallos rastreros muertos y las hojas respectivamente. Ratificando así, el potencial que tiene la especie forrajera en la captura y almacenamiento de carbono en todos sus compartimentos.

Parra et al., (2019) cuantificaron emisiones de gases efecto invernadero (GEI) en tres sistemas diferentes considerando aquellas relacionadas con todo el sistema productivo como uso de combustibles, entre otros. Hallando 3684, 7711 y 4878 kg CO₂-eq ha/a para sistema tradicional de *Pennisetum Clandestinum* en rotación con papa, praderas mejoradas de *Lolium multiflorum* y *Pennisetum Candestinum* con asociación de *Acacia decurrens* y *Trifolium repens* respectivamente, argumentaron que las altas emisiones del segundo sistema coinciden con el mayor volumen de producción y apreciable capacidad de retención de carbono, datos que concuerdan con la mayor emisión (679,17 ppm de CO₂) presentada por el T4, el cual reportó un valor más alto en producción de biomasa (32844 Kg MS/ha/a). Fokom et al, (2021) realizaron una investigación donde se incluyó 0, 100 y 200 Kg de nitrógeno por hectárea a base de excremento de gallina y cosechado a 30 días encontrando una producción de biomasa en base seca de 6.89, 9.7 y 12.3 t/ha respectivamente, evidenciando la importancia de implementar un sistema de fertilización junto con la edad de cosecha del *Pennisetum clandestinum* Hochst.

Sánchez (2021), evaluó el aporte nutricional del *Pennisetum Clandestinum* bajo campo abierto (CA) y dos sistemas silvopastoriles con *Alnus acuminata* (SSP). Encontrando a los 45 días de corte 15, 04, 17,77 y 17,01% PB; 60,65, 56,68 y 54,46% de FDN; 29,14, 27,01% y

28,73% de FDA para CA, SSP1 y SSP2 respectivamente. Las anteriores variables presentaron valores de 13,58, 14,57, 16,78 y 18,83 % PB; 66,22, 62,39, 61,86 y 55, 39 % FDN y 36,54, 36,12, 34,98 y 33,93 % FDA en T1, T2, T3 y T4 del presente trabajo destacando una excelente respuesta a la fertilización

3. Conclusiones

Dentro de los tratamientos establecidos, la dosis de fertilizante de 25g/m² se presenta como la mejor opción a la hora de obtener alto volumen de producción de biomasa otorgándole a la pradera gran potencial de captura de carbono. Ratificando que la ganadería realizada de manera eficiente es aliada estratégica en la mitigación de la huella de carbono producida por la actividad humana. Además, la cantidad de fertilizantes aplicados tuvo una correlación positiva con el aporte nutricional del forraje y capacidad de carga por unidad de área evitando la constante expansión de la frontera agrícola.

Los resultados hallados en la dinámica de emisión de CO₂ reportan que con el sistema de rotación de potreros se evita el sobrepastoreo permitiéndole a la planta su reactivación fotosintética inmediata al contener reservas vegetales suficientes para tal fin. El tratamiento control (T1) evidenció que después del pastoreo el contenido de CO₂ disminuía en cada toma de muestra, en los demás tratamientos de 0 a 30 minutos existió un incremento de emisión y de 30 a 60 tuvo una disminución significativa.

Garantizar condiciones que faciliten expresar el potencial productivo y aporte nutricional del *Pennisetum clandestinum* Hochst permite a los ganaderos disminuir costos de producción y ser más eficientes. Mejorando así, la nutrición y bienestar animal, parámetros productivos y cuidado del medio ambiente.

4. Recomendaciones

Se deben desarrollar sistemas rotacionales y planes de fertilización basados en análisis de suelos y requerimientos de las praderas con el fin de optimizar las bondades productivas de las especies forrajeras, adecuado uso del suelo, bienestar animal y reducir la huella negativa a nivel ambiental.

Es trascendental manejar las praderas como verdaderos cultivos de producción de forraje de alta calidad para disminuir los costos productivos donde se destina gran parte económica a la compra de suplementos concentrados.

Referencias Bibliográficas

- Abad, C. J. P. (2018). Problemática de la ganadería extensiva en España. *Estudios Geográficos*, 57(222), 125-150.
- Alayon-Gamboa, J. A., Jiménez-Ferrer, G., Nahed-Toral, J., & Villanueva-López, G. (2016). Estrategias silvopastoriles para mitigar efectos del cambio climático en sistemas ganaderos del sur de México. *AP Agro Productividad*, 9(9), 10-15.
- Alfonso, J. G. (2011). Cambio climático: ¿cómo afecta la producción ganadera?. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 12(8), 1-8.
- Barriga Balseca, S. S. (2017). Evaluación de la producción primaria de una pradera establecida al aplicar diferentes niveles de fertilizantes inorgánicos (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Chilón Camacho, E. (2017). Revolución Verde Agricultura y suelos, aportes y controversias. *Apthapi*, 3(3), 844-859.
- Costantini, A. O., Pérez, M. G., Busto, M., González, F. A., Cosentino, V. R. N., Romaniuk, R. I., & Taboada, M. A. (2018). Emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera. *Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias*.
- de Otálora, X. D., Epelde, L., Arranz, J., Garbisu, C., Ruiz, R., & Mandaluniz, N. (2021). Regenerative rotational grazing management of dairy sheep increases springtime grass production and topsoil carbon storage. *Ecological Indicators*, 125, 107484.
- Delgado, D. F. F. (2017). Estimación de la capacidad de carga del sistema de producción lechero de la vereda Fontibón del municipio de Pamplona. *Mundo Fesc*, 7(13), 15-21.
- FAO (2010) Desafíos y oportunidades para el secuestro de carbono en los sistemas de pastizales: un informe técnico sobre el manejo de pastizales y la mitigación del cambio climático.

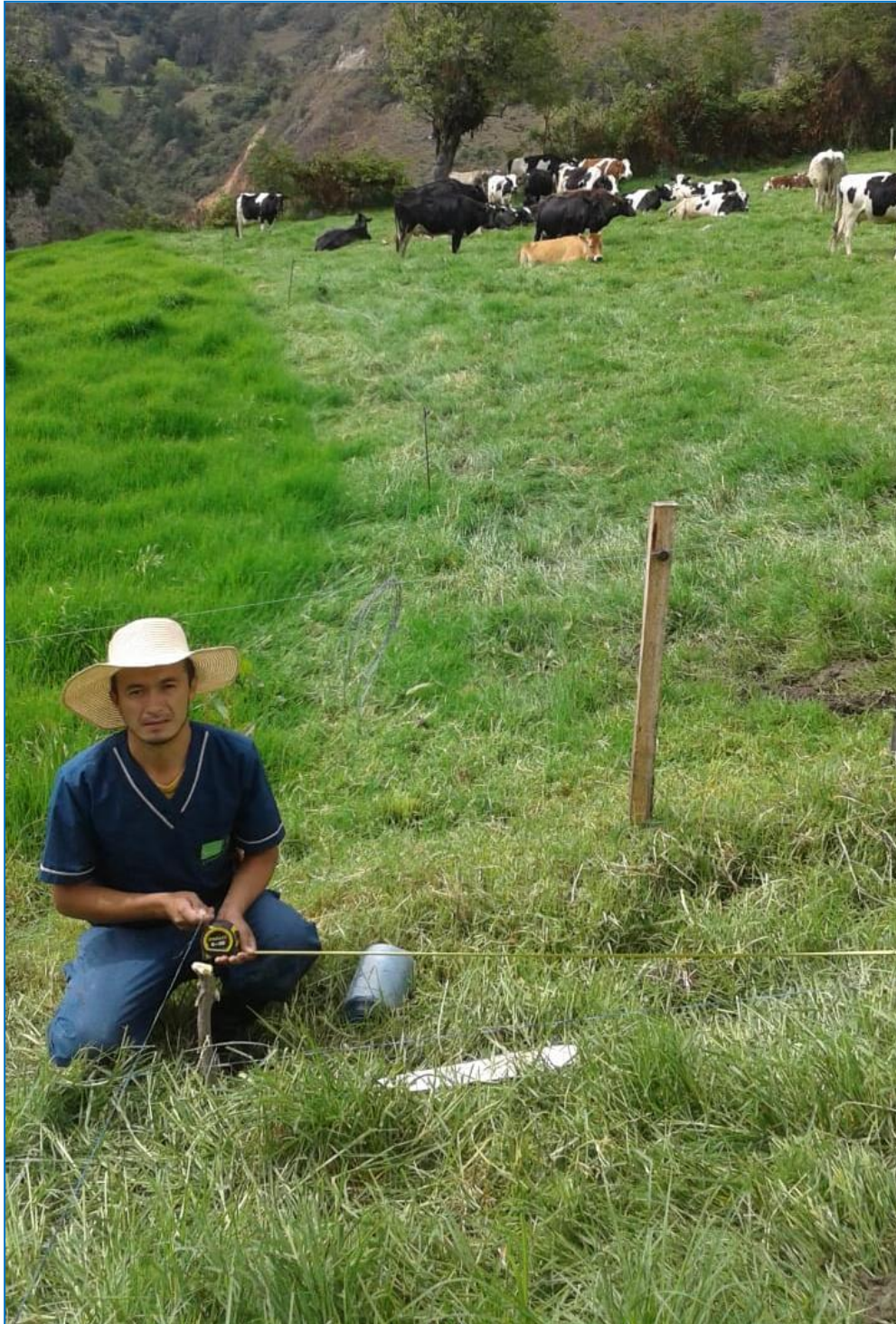
- FAO. 2006. Livestock's long shadow. Environmental issues and options.FAO. Roma.
- Fokom, W. D., Tendonkeng, F., Azangue, G. J., Miégoué, E., Djoumessi, F. G. T., Kwayep, N. C., & Mouchili, M. (2021). Effects of Different Levels of Fertilization with Hen Droppings on the Production and Chemical Composition of *Pennisetum clandestinum* (Poaceae). *Open Journal of Animal Sciences*, 11(4), 543-558.
- Friedman, M. (1937). The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance. *Journal of the american statistical association*, 32(200), 675-701.
- García García, L. (2019). Emisión de óxido nitroso en suelos de pasturas cultivadas en estación seca en ganadería lechera altoandina.
- Gerber, P. J., Henderson, H., Mottet, B., Opio, A., Dijkman, C., Falcucci, J., & Tempio, A. Corporativo: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. Roma. IT. Título: Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería. una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. P. imprenta: FAO. Roma.(IT) 2013. 153 p., grafs., tbls., fot.
- Giraldo, A., Zapata, M., & Montoya, E. (2008). Captura y flujo de carbono en un sistema silvopastoril de la zona Andina Colombiana. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 16(4), 215-220.
- Guerra, N., & Camilo, A. (2016). Efecto de la edad de corte en la productividad de los pastos Mulato II (*Brachiaria* híbrido cv. CIAT 360S7), Cayman (*Brachiaria* híbrido cv. CIAT BR 02/1752) y Tobiatá (*Panicum maximum*) en Zamorano, Honduras.
- Marín, M. A. M., Pescador, L. R., Ramos, L. R., & Charry, J. L. A. (2017). Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia. *Ingeniería y Región*, 17, 1-12.

- Masin, C. E. (2017). Efectos de largo plazo del uso del suelo sobre la comunidad de lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) en la provincia de Santa Fe.
- Motta Delgado, P. A., & Ocaña Martínez, H. E. (2018). Caracterización de subsistemas de pasturas braquiarias en hatos de trópico húmedo, Caquetá, Colombia.
- Muhindo, Z. K., Tendonkeng, F., Miegoue, E., & Tedonkeng, E. P. (2018). Influence of cutting frequency on biomass production and chemical composition of *Pennisetum clandestinum* hay. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(3), 1459-1468.
- Parra, A. S., de Figueiredo, E. B., de Bordonal, R. O., Moitinho, M. R., Teixeira, D. D. B., & La Scala, N. (2019). Greenhouse gas emissions in conversion from extensive pasture to other agricultural systems in the Andean region of Colombia. *Environment, Development and Sustainability*, 21(1), 249-262.
- Paterson, P. (2017). Calentamiento global y cambio climático en Sudamérica. *Revista Política y Estrategia*, (130), 153-188.
- Pérez Atehortúa, M., Medina Aguirre, M. F., Hurtado Granada, A., Arboleda Zapata, E. M., & Sierra, M. (2019). Reservas de carbono del pasto *Cenchrus clandestinus* (Poaceae) en los sistemas de manejo tradicional y silvopastoril, en diferentes relieves. *Revista de Biología Tropical*, 67(4), 769-783.
- Recuperado de: <https://earth.google.com/web/@6.5307737,-72.55783706,2583.74350101a,539.08467771d,35y,-0h,0t,0r>; 07/04/2020.
- Sánchez, B. T. (2021). Efecto del sistema silvopastoril con *Alnus acuminata* en el valor agronómico y nutricional del *Pennisetum clandestinum*. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 3(3), 09-14.

- Serrano Meneses, M. V. (2016). Eficiencia de la aplicación de programas de fertilización basado en análisis de suelo en un potrero establecido de pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), en la zona de Febres-Cordero, provincia de Los Ríos (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2016).
- Silva, A., Gómez, A., Landazury, B., & Preciado, B. (2013). Evaluación de gases de efecto invernadero (GEI) en sistemas ganaderos asociados con pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst. ex Chiov). *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 6(1), 36-43.
- Torres, C. M. M. E., Jacovine, L. A. G., de Olivera Neto, S. N., Fraisse, C. W., Soares, C. P. B., de Castro Neto, F., ... & Lemes, P. G. (2017). Greenhouse gas emissions and carbon sequestration by agroforestry systems in southeastern Brazil. *Scientific Reports*, 7(1), 1-7.
- VEGA MANDON, A. L. B. E. I. R. O. (2018). DIAGNÓSTICO DEL DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE LAS ÁREAS DE PASTOREO EN EL HATO LECHERO DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA (Doctoral dissertation).

Apéndices

Apéndice A. *Asignación. de tratamientos*



Apéndice B. *Potrero con 40 de días descanso*



Apéndice C. *Corte de forraje unidad experimental*



Apéndice D. *Materiales para toma de muestras de gases*



Apéndice E. *Toma de muestras de gases*



Apéndice F. *Análisis de muestras*

