

**EVALUACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN DIFERENTES
SISTEMAS GANADEROS, FEDERACIÓN COLOMBIANA DE
PRODUCTORES DE PAPA-FEDEPAPA, PASTO, COLOMBIA¹**

**BONNIE LANDAZURY
BRYAN PRECIADO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO
2012**

**EVALUACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN DIFERENTES
SISTEMAS GANADEROS, FEDERACIÓN COLOMBIANA DE
PRODUCTORES DE PAPA-FEDEPAPA, PASTO, COLOMBIA¹**

**BONNIE LANDAZURY
BRYAN PRECIADO**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Agroforestal**

**Asesora:
ING. AMANDA SILVA PARRA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO
2012**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1^{ro} del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

Firma del Presidente de tesis

Firma del jurado

Firma del jurado

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
METODOLOGIA	9
Materiales y métodos	11
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
CONCLUSIONES	26
RECOMENDACIONES	27
Agradecimientos	27
BIBLIOGRAFIA	29

EVALUACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN DIFERENTES SISTEMAS GANADEROS, FEDERACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE PAPA-FEDEPAPA, PASTO, COLOMBIA¹

EVALUATION OF GEI IN DIFFERENT LIVESTOCK SYSTEMS, THE COLOMBIAN FEDERATION OF PRODUCTORES DE POTATOES, FEDEPAPA, PASTO, COLOMBIA¹

Bonnie Landazury², Bryan Preciado², Amanda Silva P³

RESUMEN

El estudio se realizó en el Centro Experimental de la Federación Colombiana de productores-FEDEPAPA, Obonuco, Altiplano de Pasto, ubicada entre las coordenadas geográficas con latitud 1°12'52.48"N y longitud 77°16'41.22"O la cual presenta una temperatura promedio de 12°C, humedad relativa de 70%, y según el (IGAC,1988) los suelos están clasificados como Vitric haplustands. El objetivo de este estudio fue estimar los GEI en diferentes sistemas ganaderos asociados con pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum*. T1: pradera degradada (PD), T2: pradera recuperada (PR) y T3: arreglo silvopastoril pasto kikuyo + *Acacia decurrens* (SSP). Para esto se utilizó un diseño en BCA con arreglo factorial. Se cuantificaron las concentraciones de (CH₄) metano, (N₂O) óxido nitroso y (CO₂) dióxido de carbono en 432 muestras de aire, tomadas mensualmente por un periodo de 9 meses entre enero y septiembre de 2010. Las determinaciones se efectuaron en un cromatógrafo de Gases Shimadzu GC – 14A, equipado con un detector de ionización de llama (FID) y un detector de captura de electrones (ECD). A partir de estos valores de concentración se calcularon las emisiones de estos gases a la atmósfera en mg/m². Como resultado se obtuvo que el gas metano fluctuó entre 1886,89 y 148,28 mg/m²; correspondiendo los mayores valores a pradera degradada (PD) y el menor al arreglo silvopastoril (SP), pradera en recuperación (PR) presentó

(1) Artículo derivado del trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Agroforestal, Universidad de Nariño

(2) Estudiantes del programa de Ingeniería Agroforestal. Correo para correspondencia: bl22182271@hotmail.com

(3) Ingeniera Agrónoma, M.Sc. Presidente de Tesis. Docente catedrático Universidad de Nariño. Correo para correspondencia: amanda.silvaparra@gmail.com

un efecto intermedio con 1180,11 mg/m². Con respecto al óxido nítrico el mayor emisor de por unidad de área fue la pradera degradada (735,6 mg/N₂O/m²) presentando diferencias altamente significativas (p<0.01) con la pradera en recuperación con aportes de 647,93 mg/m² y el arreglo SP con 389,89 mg/m². Las menores emisiones de CO₂ en la atmósfera se encontraron en el sistema silvopastoril (SSP) con un valor de 234 mg/CO₂/m². El sistema silvopastoril (SSP) evaluado mostró la factibilidad de incorporar cambios que contribuyan de manera sustancial en la mejora del balance de GEI en sistemas ganaderos.

ABSTRACT

The study was conducted at the Experimental center FEDEPAPA, Obonuco, Altiplano the Pasto. This study was to estimate the GEI in different farming systems associated with kikuyo grass *Pennisetum clandestinum*: T1: degraded pasture (PD), T2: pasture recovery (PR) and T3: silvopastoral system *Pennisetum clandestinum* + *Acacia decurrens* (SSP). Field design was used with a factorial arrangement with BCA. Were measured concentrations of methane, nitrous oxide and carbon dioxide in 600 air samples taken monthly for a period of nine months between January and October 2010. Measurements were made in a gas chromatograph Shimadzu GC - 14A, equipped with a flame ionization detector (FID) and electron capture detector (ECD). From these concentration values were calculated emissions of these gases to the atmosphere in mg/m². The methane fluctuated between 1886,89 and 148,28 mg/m²; higher values corresponding to degraded pasture (PD) and the lowest to the silvopastoral system (SSP), meadow recovery (PR) had an intermediate effect of 1180,11. The largest emitter of nitrous oxide per unit area was degraded pasture (735,6 mg/N₂O/m²) showing highly significant differences (p<0.01) recovering prairie which

provided mg/m^2 647.93 and 389.89 mg/m^2 SSP system. Decreased emissions of CO_2 in the atmosphere found in the silvopastoral system (SSP) system that acts as carbon sequestration. The silvopastoral system (SSP) was assessed the feasibility of incorporating changes that contribute substantially in improving the balance of greenhouse gases in livestock systems.

INTRODUCCIÓN

La ganadería colombiana toma cada vez mayor importancia para el desarrollo social y económico del país, importancia que se refleja en su alta contribución a la generación de empleo y en su aporte al PIB nacional (Corpoica, 2007). Es una actividad generalizada y desarrollada prácticamente en todo el país, considerada como un renglón socioeconómico de gran importancia para el desarrollo del campo y que es y ha sido cuestionada fuertemente por su desempeño productivo e impacto ambiental, debe equilibrarse en un nivel tecnológico aceptable y sostenible (Mahecha, Gallego, & Pelaéz, 2002).

La ganadería se desarrolla en diferentes zonas del departamento de Nariño desde los primeros años del período colonial, era una ganadería criolla adaptada al clima y a la topografía andina. La ganadería de leche incrementó su participación en el departamento de Nariño del 25% al 45% entre 1980 y 1990. Esto consolidó la actividad como la de mayor dinamismo en la economía regional. (Viloria, 2007).

Los sistemas de producción ganadera, han surgido después de la tala y quema de los bosques, dando como resultado áreas de pastoreo susceptibles a procesos erosivos, más aún cuando se encuentra en zonas de ladera. Al mismo tiempo, la producción ganadera en forma tradicional, implica una alta dependencia de insumos externos, incrementando los costos de producción y ocasionando muchas veces problemas ambientales (Gómez, Palacios, & Vélez, 2010).

El ganado lechero genera en promedio un 8% de energía bruta, que se pierde como metano a través de los procesos de digestión ruminal bajo condiciones anaeróbicas

(Rondón, 2004), la ganadería contribuye el 18% al cambio climático, el 9% a las emisiones de dióxido de carbono, el 37% de las emisiones de gas metano y el 65% óxido nítrico gases que ya se están sintiendo en términos de incrementos graduales de la temperatura, creciente variabilidad en los regímenes de lluvias y mayor severidad y frecuencia de eventos extremos como inundaciones y sequías (CORPOICA, 2009). Con un buen manejo, la ganadería asociada a los arreglos silvopastoriles contribuirán a reducir las emisiones netas de GEI de estos sistemas productivos, cuando se comparan con sistemas solo de pradera (Abarca 2002).

El presente trabajo de investigación permitió determinar las emisiones de gases de efecto invernadero GEI en tres (3) sistemas de producción: Monocultivo a) pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum*, b) pradera degradada *Pennisetum clandestinum*, y c) un sistema silvopastoril de *Pennisetum clandestinum* asociado con Acacia (*Acacia decurrens* Lam), con el fin de proponer alternativas de manejos más adecuados de los sistemas productivos y contribuir a reducir las emisiones de gases efecto invernadero GEI sobre el medio ambiente.

METODOLOGIA

Ubicación

El estudio se realizó en el Centro Experimental de la Federación Colombiana de productores de papa- FEDEPAPA, ubicada en Obonuco. Coordenadas geográficas con latitud 1°12'52.48"N y longitud 77°16'41.22"O, una temperatura promedio de 12°C, humedad relativa de 70%, altura sobre el nivel del mar de 2710 msnm, y el suelo correspondió a un Vitric haplustands (IGAC, 1988). Previo al estudio se realizó un análisis físico-químico de suelo de algunas variables, con el fin de correlacionar las variables de estudio con los resultados obtenidos, para ello se tomaron muestras compuestas a una profundidad de 0 a 0.20 m en cada uno de los sistemas evaluados.

Tabla 1. Resultados del análisis de suelos del lote de estudio en la Centro Experimental de Fedepapa, Obonuco, 2010.

PARAMETROS	MÉTODO	TÉCNICA	UNIDAD DE MEDIDA	Valor
T3=Sistema Silvopastoril (SSP) 0-0.20 m				
pH, potenciómetro suelo: agua (1:1)	NTC5264	Potenciometrica		5.4
Materia orgánica	Walkley Black (Colorimétrico)	Espectrofotométrica uv-vis	%	9.45
Fósforo disponible	Bray II y Kurtz NTC5350	Espectrofotométrica uv-vis	mg/kg	20.5
CIC	CH ₃ COONH ₄ 1NpH7 NTC 5349	Volumétrica	cmolcarga/kg	22.0
Carbono total	Con base en materia orgánica Walkley Black (Colorimétrico)			0.4725
Densidad aparente	Probeta graduada	Gravimetrica	g/cc	0.90
T1= Pradera degradada				
pH, potenciómetro suelo: agua (1:1)	NTC5264	Potenciometrica	%	4.5
Materia orgánica	Walkley Black (Colorimétrico)	Espectrofotométrica uv-vis	mg/kg	6.5
Fósforo disponible	Bray II y Kurtz NTC5350	Espectrofotométrica uv-vis	cmolcarga/kg	6.27
CIC	CH ₃ COONH ₄ 1NpH7 NTC 5349	Volumétrica		12.5
Carbono total	Con base en materia orgánica Walkley Black (Colorimétrico)			0.325
Densidad aparente	Probeta graduada	Gravimetrica	g/cc	1.45
T2= Pradera recuperada				
pH, potenciómetro suelo: agua (1:1)	NTC5264	Potenciometrica		5.0
Materia orgánica	Walkley Black (Colorimétrico)	Espectrofotométrica uv-vis	%	8.5
Fósforo disponible	Bray II y Kurtz NTC5350	Espectrofotométrica uv-vis	mg/kg	25.0
CIC	CH ₃ COONH ₄ 1NpH7 NTC 5349	Volumétrica	cmolcarga/kg	20.5
Carbono total	Con base en materia orgánica Walkley Black (Colorimétrico)			0.425
Densidad aparente	Probeta graduada	Gravimetrica	g/cc	1.05

Diseño experimental

Se trabajó en tres sistemas de producción asociados con pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum*. El tratamiento 1 (T₁) correspondió a una pradera degradada con un uso de 10 años para pastoreo de ganado de leche, novillas raza Normando (*Bos taurus*) (5 cabezas). El tratamiento 2 (T₂) correspondió a una pradera recuperada pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum* en donde se vienen realizando labores de recuperación con mezcla de leguminosas con gramíneas y fertilización con urea en dosis de 150 kg/N/ha después de cada corte y el tratamiento 3 (T₃) a un sistema silvopastoril pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum* con árboles de *Acacia decurrens* Lam de 15 años de edad. Las parcelas de estudio fueron delimitadas de tal forma que los tres sistemas se encontraban lo más próximos posibles, con un área de (2500 m²) cada una. Esto permitió garantizar la calidad del trabajo en el momento del monitoreo de los flujos de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) entre el suelo y la atmósfera, además se utilizó la técnica de la cámara cerrada (closed-chamber technique), descrita por Rondón (2000).

El diseño experimental correspondió a un BCA en arreglo factorial, donde el factor A correspondió a los 3 tratamientos y el factor B a meses de evaluación. El total de muestras correspondió a 3 sistemas de producción (pradera degradada en kikuyo + pradera en recuperación kikuyo + sistema silvopastoril) x 9 evaluaciones (meses) x 4 repeticiones x 4 tiempos para un total de 432 evaluaciones, las cuales se analizaron en los laboratorios especializados del CIAT.

Materiales y métodos

Las unidades experimentales son: un arreglo silvopastoril con Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), (*Acacia, decurrens*) y ganado bovino (*Bos taurus*), una pradera recuperada con: Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), trébol rojo (*Trifolium pratense*) y ganado bovino (*Bos taurus*) por último una pradera degradada con: (*Pennisetum clandestinum*) y (*Bos taurus*).

La medición de las cantidades de (CH₄) metano, (N₂O) óxido nitroso y (CO₂) dióxido de carbono se realizó teniendo en cuenta la siguiente metodología:

Instalación de los anillos en los sistemas: Al inicio del estudio se ubicaron 4 anillos, de cámaras de PVC. Siendo esta la cantidad mínima recomendada para la toma de GEI (se instalan los 4 anillos sin tapa ni parte inferior, altura 8 cms, Ø = 25 cms), en las 3 parcelas de 2500 m². La parte inferior de los anillos se enterraron 5 cms en el suelo, los anillos permanecerán en las parcelas durante el período de estudio.



Muestreo de los GEI: Al momento de cada muestreo se colocó la cámara de PVC (con tapa y sin parte inferior, altura de 10 cms, Ø de 25 cm) sobre el anillo de PVC previamente instalado en la parcela con el fin de formar la cámara cerrada (Figura 2). Para evitar fugas en la cámara cerrada, se utilizó una banda de caucho en la unión de la cámara y el anillo (12 en total) y en cada fecha de muestreo (9 evaluaciones), durante 9 meses y en cada fecha de muestreo (9 fechas), se tomaron 4 muestras individuales de aire (minuto 0, previo a la colocación de la cámara, minuto 10, 20 y

30 a partir de la colocación de la cámara). Las muestras de aire se extraían de la cámara cerrada a través de un séptum con una jeringa con válvula adaptada, posteriormente se introdujeron en frascos de vidrio (con vacío por liofilización) para su envío a laboratorios especializados del CIAT. Dentro de la primera cámara cerrada de cada parcela se registró la temperatura, con un termómetro, debido que la esta dentro de las cámaras se procesó en una hoja electrónica para obtener los flujos de gases de efecto invernadero.



Procedimiento de muestras: En el laboratorio de isótopos estables en el CIAT se establecieron las concentraciones de N_2O y CH_4 (usando un cromatógrafo de gases Shimadzu GC-14^a, equipado con detectores FD (Detector por captura de electrones para N_2O) y ECD (Detector por ionización de llama, para CH_4). Para la determinación de las concentraciones de CO_2 se utilizó un analizador de gases (Qubit Systems S151 con tecnología infrarroja IRGA).

Determinación de los flujos de GEI: Las concentraciones de N_2O , CH_4 y CO_2 registradas por el cromatógrafo de gases y el analizador de gases, las dimensiones de la cámara (volumen y área de base de la cámara cerrada) y la temperatura dentro de la cámara se procesaron en una hoja electrónica para obtener los flujos de gases de

efecto invernadero utilizando la ecuación: Flujo del gas = Densidad del gas * (Concentración/ Tiempo)*(Volumen/Área)*temperatura. Los valores positivos de los flujos de gases de efecto invernadero representan una emisión desde el suelo hacia la atmósfera y los valores negativos un flujo desde la atmósfera al suelo.

A partir de los flujos de N₂O, CH₄ y CO₂ se calcularon los flujos acumulados durante los 9 meses de evaluación, de cada uno de los gases para cada uno de los tratamientos.

Resumen metodológico

PRODUCTOS	INDICADOR VERIFICABLE	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
Medición de metano CH ₄ , dióxido de carbono CO ₂ y óxido nitroso N ₂ O	432 evaluaciones de GEI	Libro de campo. Artículo científico.	Colaboración CIAT en la determinación de análisis y que los recursos lleguen a tiempo.
Comparación de los sistemas ganaderos en el flujo de los GEI	144 evaluaciones por sistemas de producción ganaderos asociados a pasto kikuyo <i>Pennisetum clandestinum</i>	Evaluaciones de producción de GEI Análisis estadístico Paquete SAS	Colaboración del CIAT y Laboratorios especializados del CIAT

Se cuantificaron las concentraciones de metano, óxido nitroso y dióxido de carbono en 432 muestras de aire, tomadas por un periodo de 9 meses, para un total de 240 días de evaluación. Las determinaciones se efectuaron en un cromatógrafo de Gases Shimadzu GC – 14A, equipado con un detector de ionización de llama (FID) y un detector de captura de electrones (ECD). A partir de estos valores de concentración se calcularon las emisiones de estos gases a las atmosfera en mg/m²

Análisis estadístico

La comparación de los flujos GEI se realizó aplicando un ANOVA para un BCA para las variables Flujos de metano y óxido nitroso. Para los flujos de CO₂ se analizó mediante análisis multivariado, El análisis estadístico se realizó mediante el paquete estadístico de SAS (Statistical Analysis System), y en el caso de diferencias

estadísticas entre tratamientos se realizó prueba de comparación LSD (diferencia mínima significativa).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de metano y Oxido nitroso.

El Análisis de Varianza indicó que se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas entre días de evaluación para la variable producción de metano en los diferentes sistemas de producción evaluados ($p < 0.01$) y los valores no fueron consistentes en los tres sistemas, en el sistema silvopastoril (Figura1) se observaron flujos negativos a los 60, 150 y 240 días, lo cual indica que estos sistemas están actuando como reguladores en la producción de los GEI contaminantes de la atmósfera, y es carbono acumulado en el suelo. (Es el proceso de transformación del carbono del aire al carbono orgánico, almacenado en el suelo).

Como también hay estimaciones que afirman que la ganadería contribuye en un 18% al cambio climático, produce el 9% de las emisiones de dióxido de carbono, el 37% de las emisiones de gas metano y 65 % de óxido Nitroso (Steinfeld *et al*, 2006). El ganado bovino emite gas metano producto de la fermentación entérica. (Son los procesos digestivos normales de los animales, durante la digestión, los microorganismos presentes en el aparato digestivo fermentan el alimento consumido por el animal). (IPCC 1996)

Es aquí donde los arreglos silvopastoriles con producción ganaderas pueden contribuir a mitigar la emisión de gas metano, por medio del efecto positivo que tienen las dietas balanceadas con leguminosas, gramíneas y otras especies arbóreas; estas dietas le permite al ganado bovino aprovechar una mayor parte de los nutrientes contenidos en los alimentos y transformarlos eficientemente en carne o leche. A diferencias de las dieta de solo pasto donde los animales, alimentados con dietas altamente energéticas, generan eructos y estiércol con gran capacidad de producción de metano.

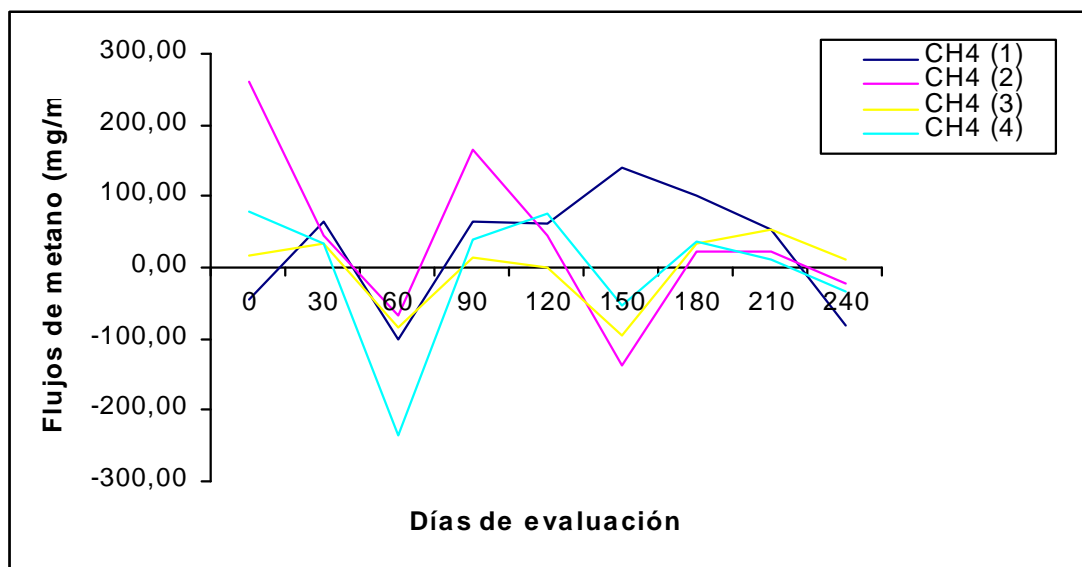


Figura 1. Comportamiento del flujo de metano en un sistema silvopastoril *Pennisetum clandestinum*+ *Acacia decurrens* durante 240 días.

Estos flujos negativos significativos en el arreglo SP se deben posiblemente a que los árboles ejercen algún tipo de acción benéfica en la oxigenación de los suelos por efecto de la materia orgánica lo cual disminuye los procesos anaeróbicos de los suelos y por tanto la emisión de metano.

Se observa como la producción de metano en la pradera degradada (Figura 2) es bastante significativa con respecto a los valores del sistema silvopastoril, ya que el comportamiento es aumentar desde los 0 hasta los 240 días. Los flujos cambiantes en el tiempo que más pueden explicar el comportamiento de los flujos de CH₄ en la pradera degradada son: la precipitación, temperatura, tipo de descomposición predominante, humedad de los suelos, uso manejo del suelo, tamaño, peso y utilidad del animal, (estos procesos son la causante principal a factores asociados con la compactación del suelo como son: Empleo de maquinaria agrícola, cuando los niveles de humedad del suelo son altos o por laboreo excesivo del suelo. Utilización frecuente de maquinaria agrícola pesada y por largo tiempo. Sobre pastoreo con altas cargas animales y pastoreos frecuentes) entre otros. Las variables que pueden explicar el comportamiento de los flujos de metano en la pradera degradada son la susceptibilidad a la compactación y la densidad aparente. (La compactación del suelo

afecta la productividad de las praderas, por su efecto en los siguientes parámetros: Reducción del espacio poroso en el suelo, lo que limita la disponibilidad de aire, Disminución en la velocidad de infiltración de agua en el suelo, lo que aumenta la escorrentía. Pérdida en la profundidad efectiva del suelo, lo que limita el desarrollo radicular de las especies forrajeras, Menor producción y calidad nutritiva del forraje en las praderas, Reducción en la capacidad de carga de las praderas, Pérdidas de suelo y de nutrientes por erosión).

En una pradera degradada como la que se evaluó donde en el análisis de suelo dio como resultado en relación a la densidad aparente un valor de 1.45 g/cc predominan en menor proporción los procesos aeróbicos o de buena porosidad. Estos factores anteriormente nombrados se encuentran presentes en la pradera evaluada, contribuyendo a la emisión de gas metano. Por otra parte el ganado bovino que se maneja en esta circunstancias tiende a elevar la producción de gas metano por medio de las dieta de solo pasto (los animales, alimentados con dietas altamente energéticas, generan estiércol con gran capacidad de producción de metano a diferencia del que es alimentado con dietas balanceadas) (ANDRADRE, H.IBRAHIM, M. 2003)

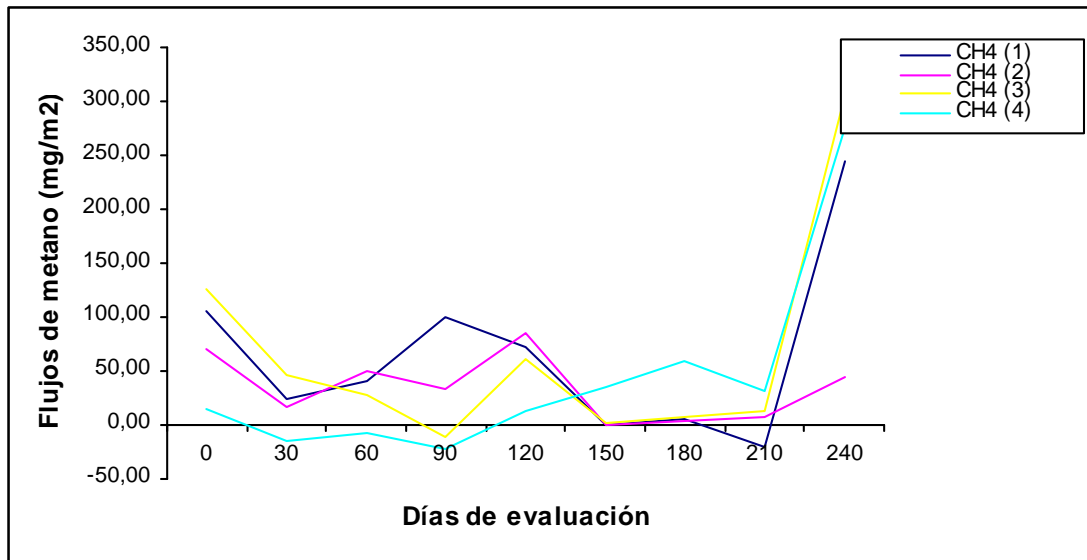


Figura 2. Comportamiento del flujo de metano en un sistema pradera degradada de *Pennisetum clandestinum* durante 240 días.

Comparando los dos sistemas anteriores, la productividad de los sistemas de producción animal, también pueden mejorarse a través de los sistemas silvopastoriles. Una vez consolidados estos sistemas, la carga animal puede ser mayor en comparación que solo los pastizales. Asimismo, el efecto de la sombra de los árboles produce una regulación térmica sobre los animales provocando una mayor ingesta de forraje, especialmente en las horas de mayor intensidad solar. También existen evidencias que el pasto que crece bajo sombra regulada contiene mayor contenido de nitrógeno (Toledo y Torres, 1990).

En la Figura 3 se muestra que la pradera en recuperación mostró producciones de metano bastante bajas con respecto a los otros sistemas evaluados en el tiempo, la recuperación de praderas incluyó la incorporación de leguminosas, Trébol rojo *Trifolium pratense* a las praderas de kikuyo *Pennisetum clandestinum*, que pudieron estar influyendo en un menor deterioro del suelo y de las condiciones anaeróbicas por efecto posiblemente de mas bajos niveles freáticos, mejor aireación y des compactación de los suelos, estas praderas fueron fertilizadas con urea. Se observan flujos negativos 3, 5, 7 y 8 meses de evaluación, lo cual confirma que también actúa como un sistema secuestrador de GEI. (Se considera que los sistemas con pastos, a diferencia de los arreglos silvopastoriles, poseen un ciclo continuo de iniciación, crecimiento y muerte de unidades individuales (tallos aéreos, rizomas o estolones en gramíneas, y ramas y raíces en leguminosas), las cuales generan materia orgánica convirtiéndose en sumideros de carbono a menor escala que los arreglos silvopastoriles) (Fabio, H. & Escobar, A. 2001).

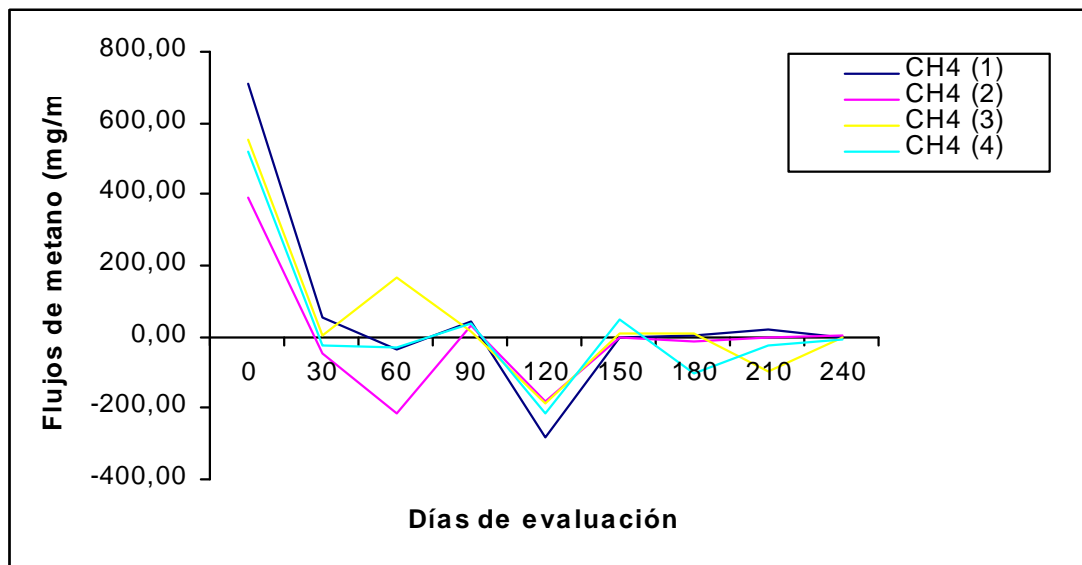


Figura 3. Comportamiento del flujo de metano en sistema pradera de *Pennisetum clandestinum* en recuperación durante 240 días.

Sumando los flujos negativos y positivos el análisis de varianza permitió establecer diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) para la producción de metano entre los distintos tratamientos.

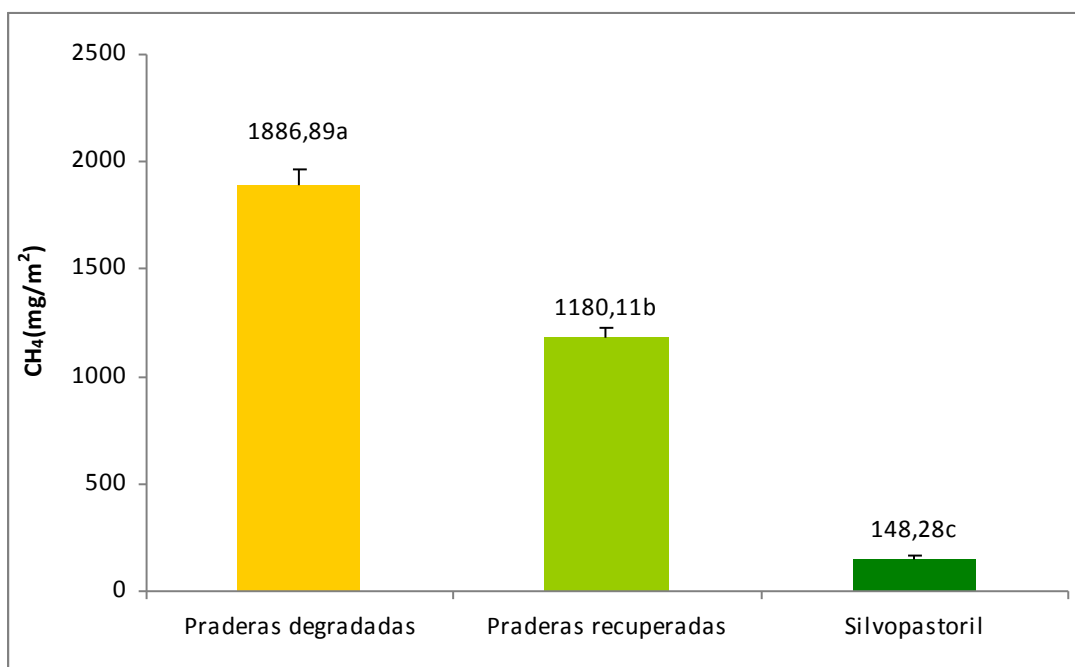


Figura 4. Flujos de metano acumulados en sistemas ganaderos establecidos en Fedepapa, Obonuco, 2010.

Las praderas degradadas muestran un flujo acumulado de 1886,89 mg/m² de metano a una (p<0.01) cuando se compararon con los flujos de praderas en recuperación y en SSP con valores de 1180,11 y 148,28 mg/m² respectivamente, siendo todos estadísticamente diferentes. Algunos estudios realizados por la FAO, 2006, evidencian que cuando en la dieta de los bovinos bajo pastoreo se dispone de leguminosas, se mejoran los parámetros productivos con una disminución en las producciones de metano permitiendo reducir hasta un 50% la producción de gas metano con relación a la dieta tradicional de solo pasto, (Al aumentar la calidad de las pasturas se obtiene mejor alimentación para el ganado, mayor productividad, logrando una menor emisión de metano) lo cual puede explicar el comportamiento de las praderas recuperadas y la del SSP. Este efecto positivo que tiene el balance de dietas con leguminosas y otras especies arbóreas y arbustivas, en la producción de metano sugiere que los sistemas silvopastoriles; también pueden ser una alternativa para la disminución de metano en el trópico. (Carmona et. al, 2005).

la figura 5 indica que también se presentaron diferencias estadísticas significativas (p<0.05) en la interacción sistemas*días de evaluación, observándose que la pradera recuperada (PR) y el sistema silvopastoril (SSP) representaron flujos negativos en comparación al sistema pradera degradada (PD). Iván Ferreira et al 2008, citado por CIAT, 1999 estudió el flujo de gases de efecto invernadero del sistema agroforestal, sistema de tala y quema y del bosque secundario en el Sur de Lempira, Honduras, los flujos de GEI presentaron un comportamiento estacional, con las mayores emisiones durante la época lluviosa, de mayo a octubre. El SAQ y el BS fueron sumideros netos de CH₄, con -102.48 mg CH₄ m⁻² año⁻¹ y -36.08 mg CH₄ m⁻² año, respectivamente. La única fuente neta de CH₄ fue TQ, con 150 mg CH₄ m⁻² año⁻¹. Todos los tratamientos fueron sumideros de N₂O y CO₂ relacionado con procesos naturales y de manejo.

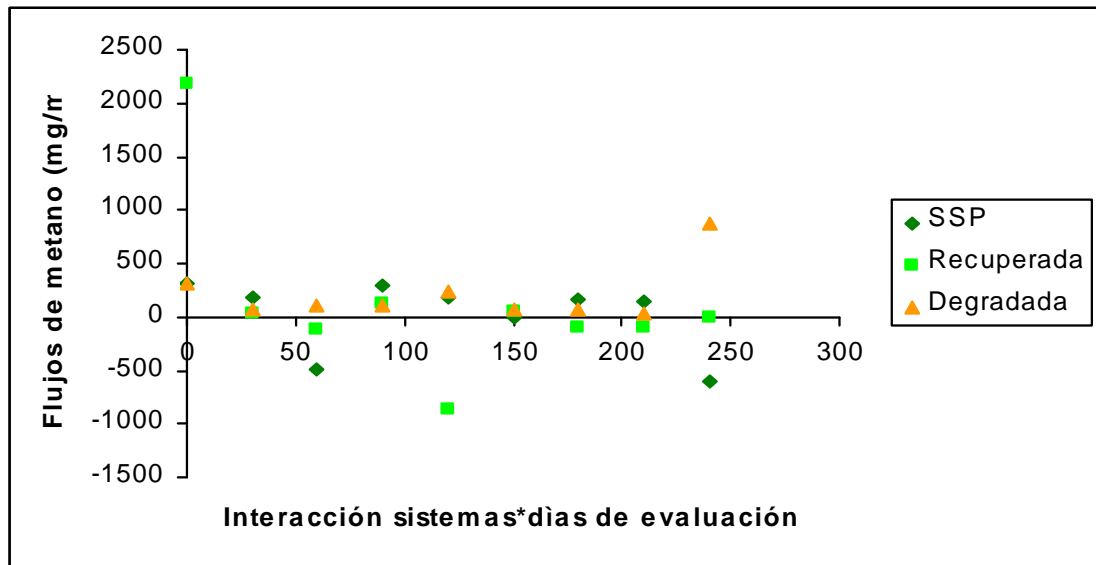


Figura 5. Interacción de los sistemas*días de evaluación sobre la producción de metano (mg/m^2), Obonuco, 2010.

Producción de Oxido nitroso

Para la producción de oxido nitroso se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$) entre todos los tratamientos evaluados (Figura 6).

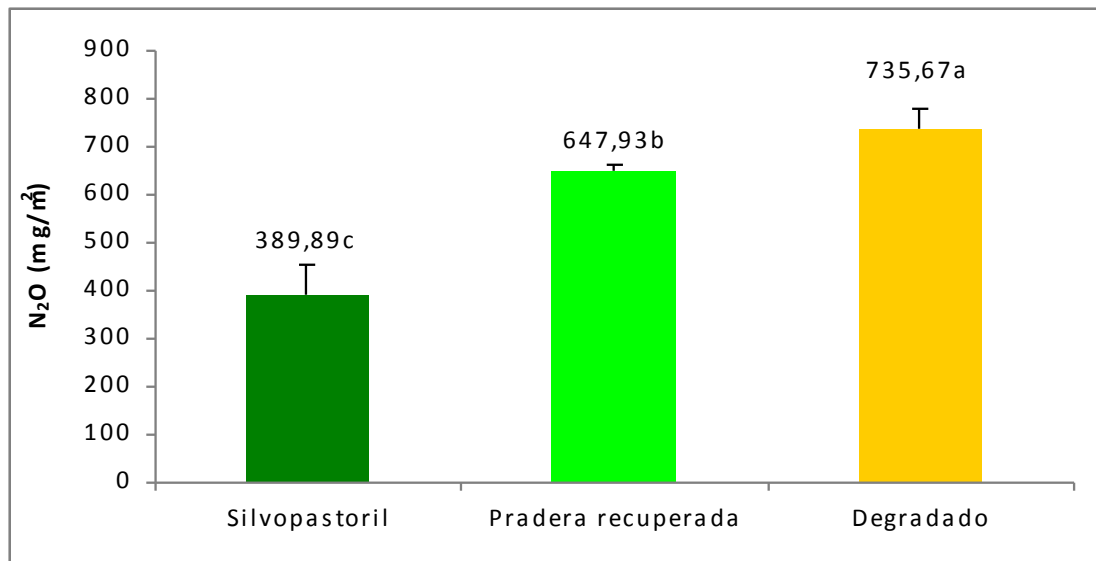


Figura 6. Flujos acumulados de oxido nitroso en sistemas ganaderos establecidos en Fedepapa, Obonuco, 2010.

La producción de Oxido Nitroso (N_2O) fue menor en el Sistema silvopastoril comparado con la pradera recuperada y la degradada, algunas especies de leñosas forrajeras que se han destacado por su uso en sistemas silvopastoriles ya sea en bancos forrajeros, cultivo en callejones o en cercas vivas en su mayoría son leguminosas las cuales aportan N al suelo y se disminuye la producción de oxido nitroso (N_2O) al ambiente ya que esta actuando una fijación de tipo biológica y natural que ocasionan bajas pérdidas por volatilización.

La pradera recuperada donde se realizaron fertilizaciones con Urea ocasionaron valores de $647.93\text{mg/m}^2/N_2O$ siendo estadísticamente diferente al SSP y a la pradera degradada, posiblemente se presentaron problemas por volatilización o por des nitrificación. Por otra parte, La pradera degradada ocasionó valores bastantes significativos en la producción de N_2O , Los procesos de compactación de los suelos permiten bajas condiciones de aireación en los suelos y se incrementan los procesos de des nitrificación o reducción de nitratos hasta formas volátiles como el N_2O

El análisis estadístico de componentes principales de los flujos de metano y óxido nitroso se realizó con el programa RGui 2.6.2 con el paquete estadístico ade4, en el cual se observa que los componentes se encuentran bien representados dentro del círculo, lo que indica una fuerte dependencia entre las variables. Estas se correlacionan de forma positiva ($R=0.95$), es decir que son directamente proporcionales (Figura 7).

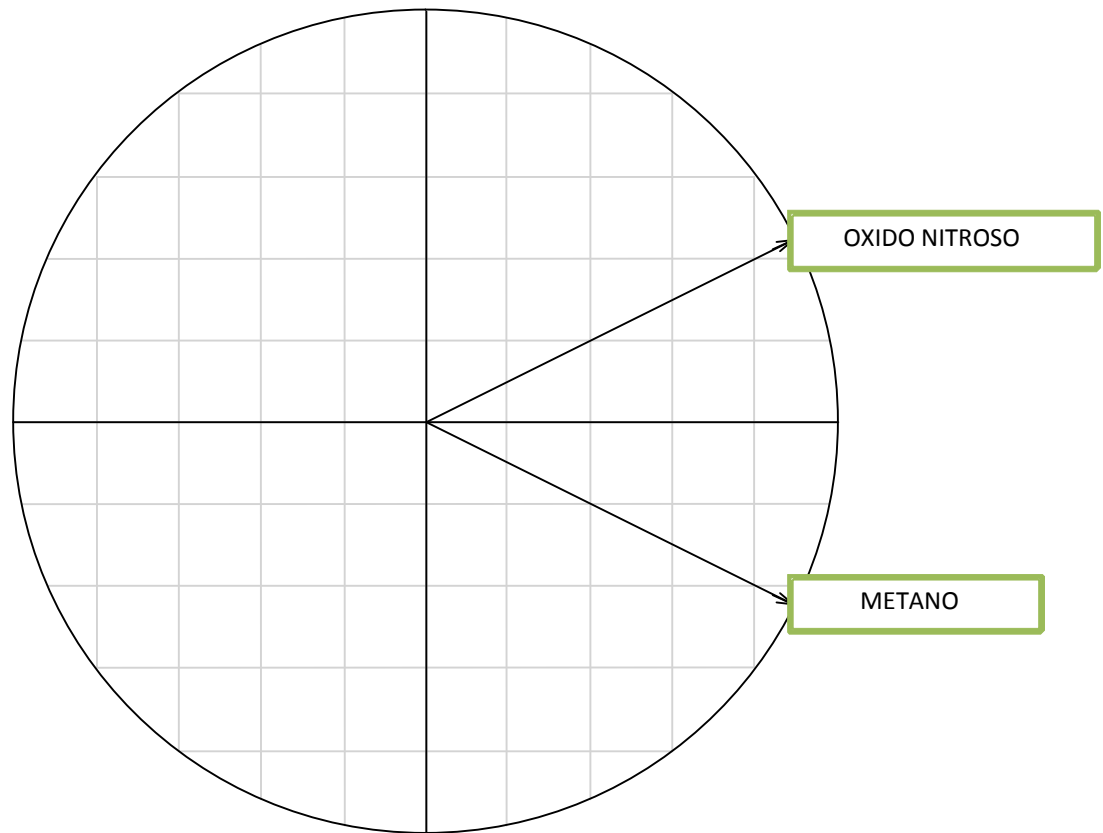


Figura 7. Variables-Correlation circle entre Oxido nitroso y metano

Producción de Dióxido de Carbono

A partir de la figura 8, se observa que el arreglo Silvopastoril ASP (234 mg/m²) presentó menores emisiones de CO₂ a la atmósfera comparado con los otros dos sistemas evaluados (pradera en recuperación y pradera degradada) con valores de 567 y 667 mg/CO₂/m² respectivamente.

Este análisis estadístico, se efectuó teniendo en cuenta las emisiones de CO₂ en el suelo donde el test de Monte-Carlo confirmó que el tipo de sistema pradera degradada presentó un efecto del 99% respecto a las emisiones de éste gas comparado con los otros dos sistemas (SSP y pradera en recuperación), con una diferencia altamente

significativa ($p < 0.01$). En América Central un alto porcentaje de las tierras en pasturas ($> 35\%$) se encuentran en estados avanzados de degradación, debido a ello los árboles de uso múltiple pueden jugar un rol importante en la restauración ecológica de estas, mientras contribuyen con la sostenibilidad económica de los sistemas de producción ganadera (Toledo y Torres., 1990).

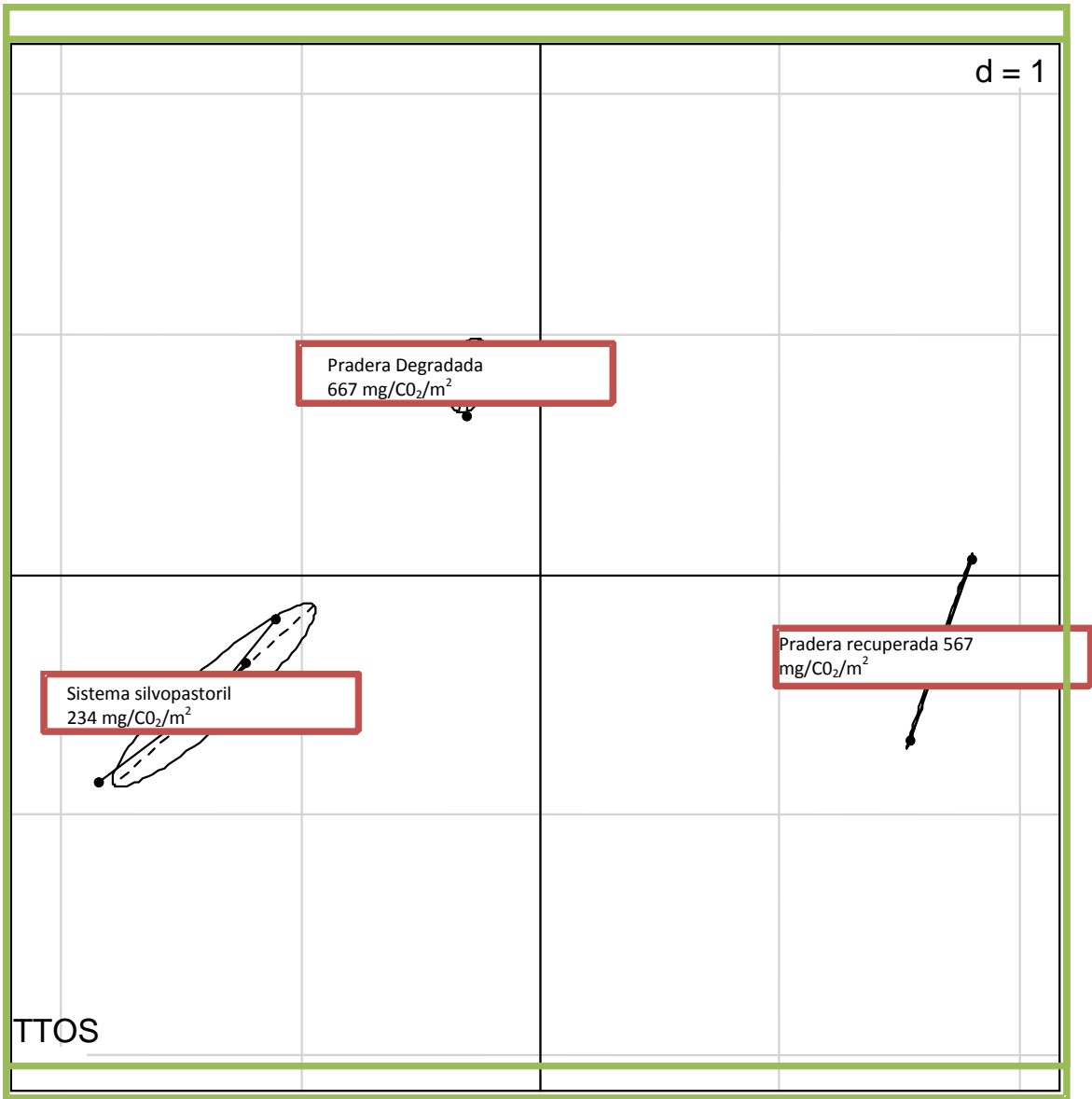


Figura 8. Test de Monte-Carlo para la producción de CO₂ en sistemas ganaderos establecidos en Fedepapa, Obonuco, 2010.

Los sistemas silvopastoriles en sistemas de producción animal ganadera pueden contribuir a mitigar la emisión principalmente de dióxido de carbono a través del “secuestro” del mismo en sus diferentes estratos; árbol, pasto y suelo (Andrade e Ibrahim, 2002). Este efecto se corrobora en la cantidad de C-total encontrado en el SSP con un valor de 0.4725 en comparación por ejemplo con la pradera degradada con valores de C-total de 0.325 a los 0.20 m de profundidad del perfil. En el arreglo silvopastoril el carbono puede acumularse en cuatro componentes: biomasa sobre el suelo, hojarasca, sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo. La biomasa sobre el suelo se divide principalmente en (1) biomasa leñosa y (2) biomasa del estrato herbáceo: pastos, leguminosas, y hierbas. El pasto es el principal componente herbáceo de los arreglos silvopastoriles. Los sistemas radiculares representan la biomasa bajo el suelo y constituyen otro sumidero de carbono (Andrade e Ibrahim, 2003). En proyectos de fijación de carbono este componente es importante, ya que corresponde a entre un 10 y un 40% de la biomasa total (MacDiken, 1997).

Lo anterior permite establecer entonces el efecto positivo del SSP en la disminución de CO₂ en la atmósfera. Las pasturas con base en gramíneas *Pennisetum clandestinum* secuestran más carbono en partes profundas del perfil del suelo, generalmente debajo de la capa arable (0.10-0.15 m, generalmente). Esta característica hace que este Carbono este menos expuesto a los procesos de oxidación y por tanto su pérdida como gas invernadero (Fisher *et al*, 1994).

El uso del suelo determina en gran medida la descomposición de la materia orgánica. Se ha documentado los aumentos de la materia orgánica en el suelo cuando están bajo sistemas silvopastoriles comparados con la gramínea sin el árbol y sus efectos en las emisiones de CO₂ atmosférico (Bolívar, 1998).

CONCLUSIONES

La emisión de gases como: metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), dióxido de carbono (CO₂), para este estudio se presentaron en mayor cantidad en la pradera degradada, y en menor en el Arreglo Silvopastoril, presentando un efecto intermedio el sistema de pradera en recuperación.

Los sistemas silvopastoriles como bancos forrajeros y árboles en potreros constituyen herramientas para la adaptación al cambio climático de los sistemas ganaderos. Ellos ofrecen recursos alimenticios (follajes y/o frutos) para la alimentación animal en la época seca cuando los pastos reducen su disponibilidad y calidad de la materia seca comestible. Además, en zonas con altas temperaturas, la sombra de los árboles mitiga el estrés calórico del ganado, lo que contribuye con un incremento en la producción de leche y/o carne.

Debido a que la cobertura de suelo (mantillo y cobertura viva) y arbórea tienen una correlación con la infiltración y escorrentía superficial. Por su diseño, los sistemas silvopastoriles son una alternativa de manejo sostenible en cuencas ganaderas debido a que brindan beneficios hidrológicos al contribuir en la infiltración y disminuir la escorrentía superficial, contribuyendo a la recarga y sustento de acuíferos.

Finalmente, puede afirmarse que los productores en general tienen una percepción acertada acerca del cambio climático y son conscientes con los hechos científicos que indican que los eventos afectan negativamente las zonas ganaderas, disminuyendo la productividad, rentabilidad y sostenibilidad del sistema de producción ganadero. Su acertada percepción les permite prepararse y adoptar tecnologías como la implementación de sistemas silvopastoriles y prácticas más conservacionistas que les ayudan a tolerar los impactos negativos de los eventos extremos.

RECOMENDACIONES

Es muy importante para el sector ganadero de la región el desarrollo y difusión de tecnologías que contribuyan a mitigar las emisiones de GEI en sistemas de producción ganaderos y que a su vez sirvan para adaptar estos sistemas a los cambios del clima en el corto y mediano-largo plazo. En tal sentido, la recuperación de las pasturas degradadas debe ser un punto de partida para reducir la emisión de GEI y la vulnerabilidad de los sistemas de producción ganaderos a los efectos de eventos extremos.

Otro aspecto relevante es el manejo adecuado de los suelos, por ejemplo, el uso de labranza adecuada para descompactar el suelo en pasturas degradadas junto con la introducción de especies adaptadas a factores bióticos y abiótico, fertilización y un adecuado manejo animal pueden contribuir a aumentar la cantidad y calidad de los forrajes y a reducir la emisión de los GEI. Estas prácticas contribuirán además a mejorar la capacidad de las pasturas de adaptarse a cambios en el clima a través de aumentos de materia orgánica en el suelo y mejoras en su capacidad de almacenar agua.

Es necesario además que los sistemas de producción animal sean entendidas como verdaderos arreglos, para de esta manera definir estrategias de mitigación de los GEI incluyendo no solo la producción de de CO_2 CH_4 y N_2O de las excreciones animales y suelo y la capacidad del suelo de acumular carbono.

Agradecimientos

Agradecimiento especial a nuestra presidente de proyecto de tesis la ingeniera Agrónoma, M.Sc. Amanda Silva Parra , por confiar en nosotros para la realización de este proyecto.

A la Dra. María del Pilar Hurtado, Ingeniera Química, M.Sc. Coordinadora de la Oficina de Medio Ambiente del Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT por todos su aportes. A la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño al Departamento Recursos Naturales y Agroforesteria

Ala federación colombiana de productores de papa (FEDEPAPA) por facilitarnos sus instalaciones físicas en las cuales se realizaron las pruebas requeridas para llevar a cabo el proyecto.

Al doctor Álvaro Castillo por su amistad y por las asesorías brindadas que ayudaron a la realización de este proyecto.

A los docentes quienes con su conocimiento y apoyo hicieron posible este logro.

A todas las personas que de una u otra manera colaboraron en la realización de este proyecto.

BIBLIOGRAFIA

ABARCA, R. 2009. Los Sistemas Silvopastoriles y el calentamiento global: un balance de emisiones. Agronomía Costarricense. Costa Rica. 2009.

ANDRADRE, H. ; IBRAHIM, M. 2003. ¿Como Monitorear el secuestro de carbono en los Sistemas Silvopastoriles?. Agroforestería en las Américas, vol 10. 39-40. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

BOLIVAR, D. 1998. Contribución de la *Acacia mangium* al mejoramiento de la calidad forrajera de *Brachiaria humidicola* y la fertilidad de un suelo ácido. Tesis Magister Scientae. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 105 p.

CARMONA, J. BOLÍVAR, D. ; GIRALDO, L. 2005. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. Revista Colombiana de Ciencias pecuarias Vol 18: 1. pp 49-63.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 2009. Proyecto de captura de carbono. CIAT.

CORPOICA. 2009. Seminario-Taller Internacional sobre Cambio Climático y los Sistemas Ganaderos en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Universidad de EMBRAPA en Brasil.

FABIO, H. & ESCOBAR, A. 2001. Almacenamiento de carbono por *Gliricidia sepium* en sistemas agroforestales en Yaracuy, Venezuela. Livestock Research for Rural Development

FAO 2006. Pastoreo Sostenible. Agricultura 21. Enfoques/2006. Departamento de Agricultura y Protección del consumidor.

FISHER, M. J.; RAO, I. M.; AYARZA, C. E.; LASCANO, C. E.; SANZ, J. I.; THOMAS, R. J. ; VERA, R. R. 1994. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature*. V 31: 236-238

GUERRERO, R. 1998. Fertilización de cultivos en clima frío. Santa fé de Bogotá.

HOLLAND E, ROBERTSON G, GREENBERG, J; GROFFMAN P; BOONE, R; GOSZ, J. 1999. Soil CO₂, N₂O and CH₄ exchanges. En: *Standard soil methods for long-term ecological research*. Oxford University Press. p. 185-201.

LAURA FINSTER, GUILLERMO BERRA Y SILVIA VALTORTA, 2008 investigadores del INTA que investigan el volumen de emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la actividad agropecuaria en el país.

LAREDO, M., MENDOZA, P. 1982. Valor nutritivo de pastos de zonas frías. I pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst). Anual y estacional; Revista ICA (Bogotá)

MACDIKEN, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Winrock International.USA. 87 p.
kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst). Anual y estacional; Revista ICA (Bogotá)

PEZO D. y IBRAHIM, M 1996. sistemas silvopastoriles una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos. En *Pastoreo intensivo en zonas tropicales. 1er Foro internacional*.

STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T. ; CASTEL, V. ; ROSALES, M. ; DE HAAN, C. 2006. Livestock's long Shadow. Environmental issues and options, LEAD-FAO. Roma. 390 p

SOTO, L., LAREDO, M Y ALARCÓN, E. 1980. Digestibilidad y consumo voluntario del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*, Hoestch) en ovinos bajo fertilización nitrogenada. Revista ICA 15 (2):79-90.

TOLEDO, J. ; TORRES, F. 1990. Potencial of Silvopastoral System in the Rain forest. IN: Proceedings of a special session on Agroforestry Land use systems. E. Moore. Anaheim, California. NFTA-IITA. P. 35-52.

RONDON, M. 2000. Land use and balance of greenhouse gases in Colombian Tropical Savannas. Ph.D. thesis. Cornell University. USA. p. 211.

RONDON, A. 2004. Opportunities to mitigate Greenhouse gas emission in Latin American Agriculture. CIAT. Cali: Colombia.

USER'S NETWORK (BUN-CA). 2002. Manuales sobre Energía sobre Energía Renovable- BIOMASA-42 p.