

**APOYO A LA ESTRUCTURACIÓN DE LINEAMIENTOS PARA EL PAGO POR
SERVICIOS AMBIENTALES COMO BASE PARA UN ACUERDO MUNICIPAL EN EL
MUNICIPIO DEL PATÍA, CAUCA**



DORICEL OSORIO VIDAL

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
INGENIERÍA AGROPECUARIA
POPAYÁN
2018**

**APOYO A LA ESTRUCTURACIÓN DE LINEAMIENTOS PARA EL PAGO POR
SERVICIOS AMBIENTALES COMO BASE PARA UN ACUERDO MUNICIPAL EN EL
MUNICIPIO DEL PATÍA, CAUCA**

DORICEL OSORIO VIDAL

**Trabajo de grado en la modalidad de Práctica Profesional para optar al título de
Ingeniera Agropecuaria**

**Directora
M. Sc. SANDRA MORALES VELASCO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
INGENIERÍA AGROPECUARIA
POPAYÁN
2018**

Nota de aceptación

La Directora y los Jurados han leído el presente documento, escucharon la sustentación del mismo por su autora y lo encuentran satisfactorio.

M. Sc. SANDRA MORALES VELASCO
Directora

M. Sc. JUAN PABLO PAZ CONCHA
Presidente del Jurado

M. Sc. VÍCTOR FELIPE TERÁN GÓMEZ
Jurado

Popayán, 25 de septiembre de 2018

DEDICATORIA

En primer lugar quiero agradecer a la Pachamama quien es nuestra madre, nuestra vida y nuestra libertad, es quien me muestra todos los días la belleza de la naturaleza y me hizo amar el campo.

A mi luz guiadora, que con su energía ha dirigido mis pasos.

A mis padres, Amanda Vidal Gálvez y Jair Antonio Osorio Morales, quienes con su apoyo y amor incondicional me dieron la oportunidad de estudiar esta hermosa carrera y me impulsan a continuar.

A mis hermanos, ejemplo de vida, trabajo y unión.

A mis amigos, que siempre estuvieron cerca para escucharme y aconsejarme; y a aquellos que me acompañaron en esas largas noches de estudio. Gracias por tantos momentos compartidos, risas, ojeras, mal genios, toda la colaboración, las explicaciones antes de los parciales, las reuniones de estudio y las salidas técnicas.

A mi profesora Sandra Morales quien me apoyó y aconsejó en el momento preciso durante el presente trabajo.

A todos aquellos que estuvieron de paso, pero de cierta manera han influido positivamente en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A la Pachamama y Luz Divina por guiarme en cada uno de mis pasos.

A mis padres quienes siempre me han apoyado en mi camino de vida.

A la Universidad del Cauca, por todos los conocimientos adquiridos en el transcurso de mi carrera.

A mi directora M. Sc. Sandra Morales Velasco, por su amistad, apoyo, paciencia y confianza en la realización de esta práctica profesional.

Al Dr. Nelson José Vivas Quila, por permitirme realizar la práctica profesional en el grupo de investigación NUTRIFACA, por todo su apoyo y su conocimiento compartido durante mi estadía en la Universidad.

Al Ingeniero Julián Cotacio, por su apoyo en el desarrollo de la práctica profesional, sus consejos, amistad y paciencia.

A los integrantes del grupo investigación de la Universidad del Cauca NUTRIFACA, Rocío Ruiz, Jesús Galíndez, Mike Bastidas, Edwar Delgado, Sirley Carrillo y el resto del equipo, por su apoyo en el trabajo de campo y escrito.

A los jurados Juan Pablo Paz y Felipe Terán, por dedicar su tiempo en evaluar mi trabajo, por su amistad, apoyo, consejos y comentarios constructivos en el desarrollo de mi carrera.

A mis amigos, compañeros y todas las personas que con su participación o gestión, apoyaron de alguna manera la investigación, contribuyendo al logro de los objetivos planteados.

CONTENIDO

| | pág. |
|--|------|
| INTRODUCCIÓN | 17 |
| 1. MARCO REFERENCIAL | 19 |
| 1.1 LOCALIZACIÓN | 19 |
| 1.2 INFORMACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN | 20 |
| 1.3 BENEFICIOS DEL PROYECTO | 20 |
| 1.4 POBLACIÓN BENEFICIADA | 21 |
| 1.5 ANTECEDENTES | 21 |
| 1.6 MARCO TEÓRICO | 22 |
| 1.6.1 Pago por Servicios Ambientales (PSA) | 22 |
| 1.6.2 Servicios Ambientales o Ecosistémicos | 22 |
| 1.6.3 Stock de Carbono | 23 |
| 1.6.4 Gases de Efecto Invernadero (GEI) | 23 |
| 1.6.5 Dióxido de Carbono (CO ₂) | 24 |
| 1.6.6 Metano (CH ₄) | 24 |
| 1.6.7 Óxido Nitroso (N ₂ O) | 25 |
| 1.6.8 Nitrificación | 26 |
| 1.6.9 Inhibición Biológica de la Nitrificación (IBN) | 26 |
| 1.6.10 Sistema naturalizado | 27 |
| 1.6.11 Sistema mejorado | 27 |
| 1.6.12 Sistema silvopastoril | 27 |
| 1.6.13 Bosque Seco Tropical | 28 |
| 1.6.14 Fenómeno del Pacífico | 28 |

| | pág. |
|--|------|
| 2. METODOLOGÍA | 30 |
| 2.1 FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA PARA EL PAGO DE SERVICIOS AMBIENTALES (PSA) | 30 |
| 2.1.1 Formación de criterios para el PSA en Sistemas Ganaderos del Valle del Patía | 30 |
| 2.1.2 Elaboración de un proyecto de acuerdo municipal para la alcaldía del Patía | 32 |
| 2.1.3 Índice ecológico utilizado en la formulación de un esquema para el PSA en el municipio del Patía | 33 |
| 2.2 CONTRIBUCIÓN EN LA MEDICIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y CAPTURA DE CARBONO DE SISTEMAS DE PEQUEÑOS Y MEDIANOS PRODUCTORES DE CARNE EN LOS MUNICIPIOS PATÍA Y MERCADERES, CAUCA | 33 |
| 2.2.1 Materiales y elementos empleados para la medición de GEI | 33 |
| 2.2.2 Fase de campo | 34 |
| 2.2.3 Situaciones que afectan las mediciones de gases efecto invernadero realizadas con cámara estática cerrada en suelos | 35 |
| 2.2.4 Identificación de las muestras | 35 |
| 2.2.5 Análisis de muestras | 35 |
| 2.3 APOYO EN LAS ACTIVIDADES REALIZADAS POR EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN NUTRIFACA | 35 |
| 2.3.1 Apoyo al proyecto “Investigación del uso de especies forrajeras y no forrajeras multipropósito en sistemas de pequeños y medianos productores de carne en los municipios de Patía y Mercaderes, Cauca” | 35 |
| 2.3.1.1 Cobertura | 36 |
| 2.3.1.2 Vigor | 36 |
| 2.3.1.3 Recuento de plantas | 36 |
| 2.3.1.4 Presencia de plagas | 36 |
| 2.3.1.5 Presencia de enfermedades | 36 |
| 2.3.1.6 Altura de plantas | 36 |

| | pág. |
|--|------|
| 2.3.1.7 Producción de forraje verde | 36 |
| 2.3.1.8 Producción de materia seca | 37 |
| 2.3.2 Apoyo al proyecto “Rehabilitación de tierras degradadas con forrajes multipropósito en sistemas de pequeños y medianos productores de carne de los municipios Patía y Mercaderes, Cauca” | 37 |
| 2.3.3 Apoyo a actividades adicionales | 38 |
| | |
| 3. RESULTADOS | 39 |
| | |
| 3.1 FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA PARA EL PAGO DE SERVICIOS AMBIENTALES | 39 |
| | |
| 3.1.1 Stock de Carbono | 40 |
| 3.1.2 Inhibición Biológica de la Nitrificación (IBN) | 40 |
| 3.1.3 Dióxido de Carbono (CO ₂) | 40 |
| 3.1.4 Metano (CH ₄) | 41 |
| 3.1.5 Óxido Nitroso (N ₂ O) | 41 |
| 3.1.6 Macrofauna | 41 |
| 3.1.7 Microfauna | 42 |
| 3.1.8 Especies vegetales | 42 |
| 3.1.9 Producción de forraje verde | 43 |
| 3.1.10 Bosquejo de calificación a partir de Índices ecológicos que se podrían utilizar en la implementación de un proyecto para el PSA en el municipio del Patía | 43 |
| | |
| 3.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ÚLTIMO MUESTREO DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LOS TRES SISTEMAS DE USO DE SUELO | 46 |
| | |
| 3.2.1 Gases de efecto invernadero del sistema naturalizado | 46 |
| 3.2.2 Gases de efecto invernadero del sistema mejorado | 47 |
| 3.2.3 Gases de efecto invernadero del sistema silvopastoril | 48 |

| | pág. |
|--|------|
| 3.2.4 Comparación de gases efecto invernadero entre los tres sistemas de uso de suelo situados en el Valle del Patía | 48 |
| 3.2.4.1 Dióxido de carbono (CO ₂) | 49 |
| 3.2.4.2 Metano (CH ₄) | 49 |
| 3.2.4.3 Óxido Nitroso (N ₂ O) | 50 |
| 3.3 APOYO A LAS ACTIVIDADES DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN NUTRICIÓN AGROPECUARIA NUTRIFACA | 51 |
| 3.3.1 Apoyo al proyecto “Investigación del uso de especies forrajeras y no forrajeras multipropósito en sistemas de pequeños y medianos productores de carne en los municipios de Patía y Mercaderes, Cauca” | 51 |
| 3.3.2 Apoyo al proyecto “Estudio de emisiones de gases efecto invernadero y captura de carbono en sistemas de pequeños y medianos productores de carne en los municipios Patía y Mercaderes, Cauca” | 52 |
| 3.3.2.1 Apoyo en el muestreo de Inhibición Biológica de la Nitrificación (IBN) | 53 |
| 3.3.2.2 Apoyo en el muestreo de suelo para biomasa de raíces, captura de carbono y densidad aparente en ocho fincas del Patía y en La Sultana en el municipio de Timbío, Cauca | 53 |
| 3.3.3 Apoyo a actividades adicionales | 55 |
| 3.3.3.1 Muestreo de Macrofauna en tres sistemas de uso de suelo en el municipio de Patía | 56 |
| 3.3.3.2 Alistamiento de semillas para stand del grupo de investigación NUTRIFACA | 56 |
| 3.3.3.3 Alistamiento de material vegetal para algunos productores ganaderos de la región del Patía | 57 |
| 3.3.3.4 Acompañamiento en exposición del trabajo realizado por el Grupo de Investigación NUTRIFACA | 58 |
| 4. CONCLUSIONES | 59 |
| 5. RECOMENDACIONES | 60 |

| | pág. |
|--------------|------|
| BIBLIOGRAFÍA | 61 |
| ANEXOS | 69 |

LISTA DE CUADROS

| | pág. |
|--|------|
| Cuadro 1. Censo ganadero 2016 Departamento del Cauca | 21 |
| Cuadro 2. Censo ganadero 2016 Municipios de Patía y Mercaderes | 21 |
| Cuadro 3. Uso del suelo en tres sistemas, en el Valle del Patía | 31 |
| Cuadro 4. Rango de valoración y aporte de los servicios ecosistémicos | 33 |
| Cuadro 5. Parámetros ambientales evaluados para determinar los rangos obtenidos en cada sistema implementado en diferentes usos de suelo del municipio de Patía, Cauca | 39 |
| Cuadro 6. Índice ecológico que se podría usar en la calificación de los diferentes predios para entrar en un proyecto para el PSA en el municipio de Patía | 44 |
| Cuadro 7. Promedio de producción de gases de efecto invernadero en el sistema naturalizado (ppm) | 46 |
| Cuadro 8. Promedio de producción de gases de efecto invernadero de los sistemas mejorados (ppm) | 47 |
| Cuadro 9. Promedio de producción de gases de efecto invernadero de los sistemas silvopastoriles (ppm) | 48 |

LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|---|------|
| Figura 1. Localización del área de estudio | 19 |
| Figura 2. Diagrama de los stock y flujos de carbono en un bosque tropical que podría estar estacionalmente inundado | 23 |
| Figura 3. Representación esquemática de la inhibición biológica de la Nitrificación, interviniendo con el ciclo del Nitrógeno | 27 |
| Figura 4. Cámara estática cerrada de PVC para el muestreo de GEI | 34 |
| Figura 5. Esquema monolito TSBF modificado | 37 |
| Figura 6. Cantidad de CO ₂ entre los diferentes sistemas (ppm) | 49 |
| Figura 7. Cantidad de CH ₄ entre los diferentes sistemas (ppm) | 50 |
| Figura 8. Cantidad de N ₂ O entre los diferentes sistemas (ppm) | 51 |
| Figura 9. Aforo de especies forrajeras | 51 |
| Figura 10. Evaluación de forrajes y pesaje de muestras obtenidas en el aforo | 52 |
| Figura 11. Pesaje y sistematización del peso de MS obtenido de cada muestra | 52 |
| Figura 12. Alistamiento de materiales para muestreo | 52 |
| Figura 13. Penetración del barreno en el suelo y obtención de la muestra | 53 |
| Figura 14. Pesaje y rotulación de muestras | 53 |
| Figura 15. Almacenamiento de muestras para su conservación | 54 |
| Figura 16. Toma de muestras, anillos de acero con las muestras | 54 |
| Figura 17. Penetración del barreno en el suelo y muestras de suelo tomadas a diferentes profundidades | 54 |
| Figura 18. Calicata | 55 |
| Figura 19. Rotulación y pesaje de muestras | 55 |
| Figura 20. Mezcla de semilla con cisco de madera para siembra | 55 |
| Figura 21. Medición de terreno y siembra con traslape de <i>Tithonia diversifolia</i> | 56 |

| | pág. |
|--|------|
| Figura 22. Obtención de monolito del suelo y recolección manual de macrofauna | 56 |
| Figura 23. Muestra de suelo y materiales para la recolección de Macrofauna | 57 |
| Figura 24. Empaque de muestras de semillas forrajeras | 57 |
| Figura 25. Organización de material vegetal en canastillas para transporte | 57 |
| Figura 26. Entrega de material vegetal a algunos productores ubicados en distintas veredas del Valle del Patía | 58 |
| Figura 27. Exposición en la Audiencia Pública de Rendición de Cuentas por parte de la Gobernación del Cauca | 58 |

LISTA DE ANEXOS

| | pág. |
|---|------|
| Anexo A. Acuerdo para la implementación de un PSA para el municipio de Patía, Cauca | 69 |

RESUMEN

Los procesos de degradación y el deterioro de los suelos y del medio ambiente en el municipio del Patía originados en las diferentes actividades antropogénicas, en conjunto con el fenómeno del pacífico, hacen que los Pagos por Servicios Ambientales (PSA) incentiven el uso de sistemas silvopastoriles y forrajes mejorados en la ganadería, como un nuevo y más directo sistema de conservación, que reconoce la necesidad de crear puentes entre los intereses de los propietarios de la tierra y los usuarios de los servicios. El PSA que se pretende realizar en esta zona, tiene como respaldo las evaluaciones que viene realizando el Grupo de Investigación Nutrición Agropecuaria NUTRIFACA de la Universidad del Cauca, que han demostrado que la implementación de estas tecnologías ecoeficientes en diferentes localidades de la región, han logrado rehabilitar y disminuir los daños provocados por el uso indiscriminado del suelo en las diferentes producciones agropecuarias, además de la obtención de servicios ecosistémicos en la producción ganadera. Teniendo en cuenta lo anterior, se formuló un proyecto de acuerdo municipal para el PSA que reflejara el trabajo realizado en la zona, orientado a fomentar cambios de usos de la tierra más amigables en paisajes agropecuarios, como un estímulo para los pequeños productores de ganado doble propósito del Patía, lo cual podría motivar el cuidado del medio ambiente y el fomento del bienestar para los animales, sin que se afecte su productividad y competitividad.

También se dio apoyo a las diferentes actividades de campo al grupo de investigación.

Palabras clave: Pago por servicios ambientales, Sistema silvopastoril, Forrajes Mejorados, Tecnologías ecoeficientes.

ABSTRACT

The processes of degradation, the deterioration of the soil and the environment in the municipality of Patía, due to the different anthropogenic activities, together with the phenomenon of the Pacific, make the payments for environmental services (PES) intervene as an incentive for the use of silvopastoral systems and improved fodder in livestock as a new and more direct conservation system, which recognizes the need to create bridges between the interests of land owners and users of services. The PSA that is intended to be carried out in this area is supported by the evaluations being carried out by the agricultural nutrition research group NUTRIFACA, of the Universidad del Cauca, demonstrating how the implementation of these eco-efficient technologies in different localities of the region have managed to rehabilitate and diminish the damages caused by the indiscriminate use of the soil in the different agricultural productions, in addition the obtaining of ecosystemic services in the livestock production. Taking into account the above, it was thought to formulate a project of municipal agreement for the PES that would reflect the work carried out in the area, oriented to promote changes of more friendly land uses in agricultural landscapes, as a stimulus for small producers of dual purpose of Patía, which could motivate the care of the environment and well as welfare for animals, without affecting their productivity and competitiveness.

Support was also given to the different field activities to the research group.

Keywords: Payment for environmental services, Silvopastoral system, Improved forages, Eco-efficient technologies.

INTRODUCCIÓN

Los impactos negativos de las malas prácticas en los sistemas productivos, se hacen evidentes en el deterioro del medio ambiente y los recursos naturales. El municipio del Patía no es la excepción; presenta una dinámica de degradación y desertificación influenciadas por los cambios naturales y climáticos, representados en erosión geológica, movimientos en masa, volcanismo, entre otros, ligados a la presión antropogénica relacionada con la expansión de la frontera agrícola y ganadera, el manejo inadecuado de los suelos, colonización y construcción de vías, cuyas acciones han ocasionado efectos ecológicos irreversibles (Plan de Ordenamiento Territorial Patía, 2006).

Con la implementación de alternativas forrajeras para la alimentación animal y un adecuado manejo ambiental, se pretende generar beneficios económicos y ecológicos que actualmente no existen en la región, buscando estimular el cuidado del medio ambiente por medio del Pago por Servicios Ambientales (PSA), mediante la difusión de modelos productivos ecoeficientes para la ganadería del Cauca, el uso novedoso de recursos naturales, el desarrollo de políticas ambientales dirigidas a proteger los ecosistemas y la contribución al crecimiento económico local.

Este propósito justifica el diseño e implementación de instrumentos que contribuyan a la conservación y recuperación de bienes y servicios ambientales, con el consecuente beneficio sobre la calidad de vida de la población. Por esta razón, se formuló un esquema adecuado para el PSA en la región del Patía, como parte de las actividades desarrolladas por el grupo de investigación Nutrición Agropecuaria NUTRIFACA, que pretende implementar una ganadería sostenible utilizando una estrategia integrada para el manejo del ecosistema con enfoques silvopastoriles y forrajes mejorados, garantizando que haya un incremento de la productividad y capacidad empresarial de pequeños y medianos productores; esto se logra por medio de la promoción de la conservación de los recursos naturales y el reconocimiento social y económico de los servicios ambientales, que comienza con la reducción de las emisiones de GEI, el estudio del potencial de Inhibición Biológica de la Nitrificación (IBN), la protección de los recursos hídricos y la recuperación de suelos degradados, entre otros, como una herramienta eficaz para el mantenimiento y restauración de la biodiversidad en esta zona.

En la parte práctica, se apoyaron las actividades generales del Grupo de Investigación Nutrición Agropecuaria NUTRIFACA articuladas a los programas de investigación “Desarrollo y uso de recursos forrajeros en sistemas sostenibles de producción bovina para el departamento del Cauca” y el proyecto “Estudio de emisión de gases efecto invernadero y captura de carbono en sistemas de pequeños y medianos productores de carne en los municipios del Patía y Mercaderes, Cauca”, en cuanto se relaciona con las evaluaciones agronómicas, determinación de biomasa aérea, muestreo de IBN y de GEI y otras vinculadas a los usos de suelo para la producción ganadera del Valle del Patía, con el fin de determinar las especies que tienen mejor comportamiento en cuanto a la oferta forrajera, el clima más favorable y el manejo más adecuado, fortaleciendo el interés de concebir una ganadería con un uso sustentable y favorable con el medio ambiente.

Por consiguiente, la presente práctica tuvo en cuenta los resultados obtenidos por el Grupo de Investigación, con el fin de propiciar una mejoría de la gestión ambiental en los tres sistemas implementados (naturalizado, mejorado y silvopastoril), que contribuyan a mantener o incrementar la prestación del conjunto de servicios ecológicos en esta región, por medio de la construcción de un proyecto de acuerdo municipal dirigido a obtener apoyo financiero por parte de la Alcaldía Municipal o la Gobernación del Departamento para el PSA a los productores ganaderos de esta zona.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 LOCALIZACIÓN

La práctica profesional se desarrolló en la parte baja del Valle Geográfico del Patía; el proyecto se centró en determinar los servicios ecosistémicos que ofrecen seis de las fincas que se encuentran en estudio por parte del Grupo de Investigación NUTRIFACA de la Universidad del Cauca, en las cuales se han implementado diferentes tipos de forrajes en parcelas demostrativas, para posteriormente evaluarlas y establecer cuáles de ellas podrían entrar en el PSA.

El municipio de Patía está localizado al suroccidente del departamento del Cauca, Latitud Norte de 02° 06' 56" y Longitud Oeste: 76° 59' 21", en una extensión de 784 km². La cabecera municipal El Bordo está a una distancia aproximada de 82 km de Popayán. El municipio se encuentra entre los 550 y los 3000 msnm, con una temperatura media de 30 – 32°C; presenta una precipitación anual promedio de 1800 mm en sus tres zonas agroecológicas definidas: la Cordillera, el Plan o valle y la Meseta. Estos terrenos están cubiertos por pasturas de origen antrópico o rastrojo, pues la vegetación originaria fue desplazada por cultivos y pastizales para la producción ganadera (Vergara, 2015).

Figura 1. Localización del área de estudio



Fuente: Modificado de Google Earth, 2016 y Sistema de Información Geográfica para la Planeación y Ordenamiento Territorial –SIG OT, 2010.

Las actividades agropecuarias se han asociado con el incremento de óxido nitroso hacia la atmósfera, debido a que las prácticas de manejo (fertilización y mecanización) contribuyen con la dinámica del nitrógeno, incrementando la emisión de N₂O y limitando el

almacenamiento de CH₄. Sin embargo, los sistemas agropecuarios se han constituido en sumideros de Gases Efecto Invernadero (GEI), dependiendo de su manejo, razón por la cual en tres sistemas, 18 sitios del Valle del Patía (Pradera Naturalizada – PN, Pradera Mejorada - PM, Silvopastoril - SSP) de clima cálido (msnm: 860; T^o: 27°C; pa: 1200 mm y HR: 74 %) se realizaron las últimas mediciones de las emisiones de CH₄, N₂O y CO₂, con el fin de establecer estrategias de manejo en pro de la mitigación y adaptación al cambio climático, de acuerdo con el manejo y condiciones de los sistemas representativos en la zona de estudio, así como en las regiones localizadas en trópico bajo.

1.2 INFORMACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN

La práctica profesional se articula con la Cooperativa Agropecuaria de Usuarios Campesinos de Patía Ltda. COAGROUSUARIOS, entidad que inició su funcionamiento en 1984 a través de la personería jurídica 1234 del 19 de julio de 1984, como una organización sin ánimo de lucro, NIT 817003758, con domicilio en El Bordo, municipio de El Patía. Nace ante la situación de precios desfavorables sobre el maíz que presentaban los productores en esa época, ya que siendo El Patía uno de los municipios de mayor producción a nivel nacional, se presentaba un precio muy bajo de venta. La intermediación y el alto costo de los insumos, motivó a líderes y productores de la zona a la creación de una cooperativa, que incentivara la producción y comercialización del maíz e hiciera parte de procesos productivos y agroindustriales que mejoraran sus ingresos.

1.3 BENEFICIOS DEL PROYECTO

Con este proyecto se pretendió hacer una intervención benéfica en el ecosistema existente en el bajo Patía, procurando contribuir a la conservación de los recursos ecosistémicos, tan necesarios de proteger en esta región; en primera instancia, al haber implementado los diferentes tipos de forrajes, en cierta medida se está mitigando el impacto antropogénico causado por las actividades agropecuarias.

Se busca obtener una producción más eficiente, en la que se realice un llamado a la participación efectiva de los diferentes actores, de manera que se consiga reforzar los acuerdos sociales, legales, políticos e institucionales y se genere un adecuado acceso, uso y beneficio de los recursos naturales. En este sentido, la ganadería demostró ser la principal actividad de producción agropecuaria en la región; según el censo ganadero del año 2016, en el Cauca se encuentran aproximadamente 273.663 cabezas de ganado distribuidas como aparecen en el Cuadro 1, de las cuales la gran mayoría se encuentran en la zona del Patía; de allí la importancia en la implementación de sistemas ganaderos que tengan un mínimo de emisiones de GEI.

Para el año 2016, la población bovina del departamento del Cauca ascendía al 1,21%, establecida en producciones extensivas en su mayoría, en 17.845 fincas de diferentes municipios.

Cuadro 1. Censo ganadero 2016 Departamento del Cauca

| DEPARTAMENTOS | TERNERAS < 1 AÑO | TERNEROS < 1 AÑO | HEMBRAS 1-2 AÑOS | MACHOS 1-2 AÑOS | HEMBRAS 2-3 AÑOS | MACHOS 2-3 AÑOS | HEMBRAS > 3 AÑOS | MACHOS > 3 AÑOS | TOTAL BOVINOS - 2016 | No DE FINCAS 1 A 50 | No DE FINCAS 51 A 100 | No DE FINCAS 101 A 500 | No DE FINCAS 501 O MAS | TOTAL FINCAS CON BOVINOS - 2016 |
|---------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|
| CAUCA | 27029 | 27067 | 30155 | 33921 | 28374 | 32823 | 83331 | 10963 | 273663 | 16910 | 640 | 279 | 16 | 17845 |

Fuente: Censo Ganadero FEDEGAN, 2016.

Para el mismo año 2016, el municipio del Patía tiene una alta producción ganadera, contando con 33.771 bovinos en 695 fincas, en su mayoría de doble propósito (Cuadro 2).

Cuadro 2. Censo ganadero 2016 Municipios de Patía y Mercaderes

| MUNICIPIO | TERNERAS < 1 AÑO | TERNEROS < 1 AÑO | HEMBRAS 1-2 AÑOS | MACHOS 1-2 AÑOS | HEMBRAS 2-3 AÑOS | MACHOS 2-3 AÑOS | HEMBRAS > 3 AÑOS | MACHOS > 3 AÑOS | TOTAL BOVINOS - 2016 | No DE FINCAS 1 A 50 | No DE FINCAS 51 A 100 | No DE FINCAS 101 A 500 | No DE FINCAS 501 O MAS | TOTAL FINCAS CON BOVINOS - 2016 |
|------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|
| MERCADERES | 1086 | 1258 | 1106 | 1875 | 1797 | 3280 | 4102 | 562 | 15066 | 241 | 36 | 32 | 1 | 310 |
| PATIA | 2303 | 2316 | 2920 | 4435 | 4381 | 7461 | 8027 | 1928 | 33771 | 567 | 59 | 62 | 7 | 695 |

Fuente: Censo Ganadero FEDEGAN, 2016.

Dada la vocación ganadera de la zona, evidenciada en los cuadros anteriores, se hace necesaria una intervención que ayude a las comunidades a mantener su productividad y competitividad y que a la vez logre disminuir en cierta medida el impacto generado por la producción ganadera en toda la región, por el manejo que se ha venido realizando por más de 50 años; esta es, junto al Fenómeno del Pacífico, una de las grandes problemáticas de la zona.

1.4 POBLACIÓN BENEFICIADA

La población directamente beneficiada con el proyecto serán los pequeños y medianos productores del municipio de Patía. Se espera que en primera instancia sean tenidas en cuenta las fincas ganaderas que se encuentran en evaluación, las cuales se ubican en diferentes lugares del Valle del Patía, e indirectamente la población localizada a los alrededores de ellas, ya que al hacer una intervención positiva en el ecosistema existente en estos lugares, se va ayudar a la conservación de los recursos naturales ligados a la actividad ganadera, tan necesarios de proteger en esta región.

1.5 ANTECEDENTES

El grupo de investigación Nutrición Agropecuaria NUTRIFACA de la Universidad del Cauca, inició sus actividades en el año 2015; en los proyectos que viene desarrollando: "Investigación del uso de especies forrajeras y no forrajeras multipropósito en sistemas de pequeños y medianos productores de carne en los municipios de Patía y Mercaderes, Cauca", "Implementación de estrategias para uso eficiente del agua con pequeños y

medianos productores de carne de los municipios Patía y Mercaderes, Cauca”, “Rehabilitación de tierras degradadas con forrajes multipropósito en sistemas de pequeños y medianos productores de carne en los municipios de Patía y Mercaderes Cauca”, “Estudio de emisiones de gases efecto invernadero y captura de carbono en sistemas de pequeños y medianos productores de carne en los municipios Patía y Mercaderes, Cauca”, busca mediante la implementación de modelos productivos con forrajes mejorados y SSP, favorecer los sistemas pecuarios tradicionales haciéndolos sostenibles, dado que su adopción está relacionada con mejores indicadores de producción, ayuda al desarrollo social y a la generación de servicios ambientales.

1.6 MARCO TEÓRICO

1.6.1 Pago por Servicios Ambientales (PSA). Es un mecanismo relativamente nuevo que favorece las externalidades positivas, gracias a las transferencias de recursos financieros entre los beneficiarios de ciertos servicios ecológicos y los prestadores de servicios o los gestores de recursos ambientales. El principio fundamental del PSA, es que las comunidades que proveen los servicios ambientales deben recibir una compensación y los que se benefician de ellos deben pagar por el bien que reciben (Mayrand y Paquin, 2004).

El PSA se conceptualiza como un mecanismo flexible y adaptable a diferentes condiciones, que apunta a un pago o compensación directa por el mantenimiento o provisión de un servicio ambiental, a los pobladores de los ecosistemas productores de los servicios ambientales necesarios para las actividades humanas, incluido el sustento del hombre (Villavicencio, 2009). Es una estrategia alternativa de gestión y manejo de los recursos naturales, aplicada predominantemente a ecosistemas agroforestales, para garantizar la provisión de servicios ambientales; hidrológicos, captura de carbono, biodiversidad y ecoturismo, entre los más frecuentes.

1.6.2 Servicios Ambientales o Ecosistémicos. “Son los beneficios directos e indirectos que la humanidad recibe de la biodiversidad” y los agrupa en cuatro categorías (Caro y Torres, 2015):

De aprovisionamiento, o bienes y productos brindados por los ecosistemas, tales como los alimentos, el agua, los recursos genéticos, los productos forestales.

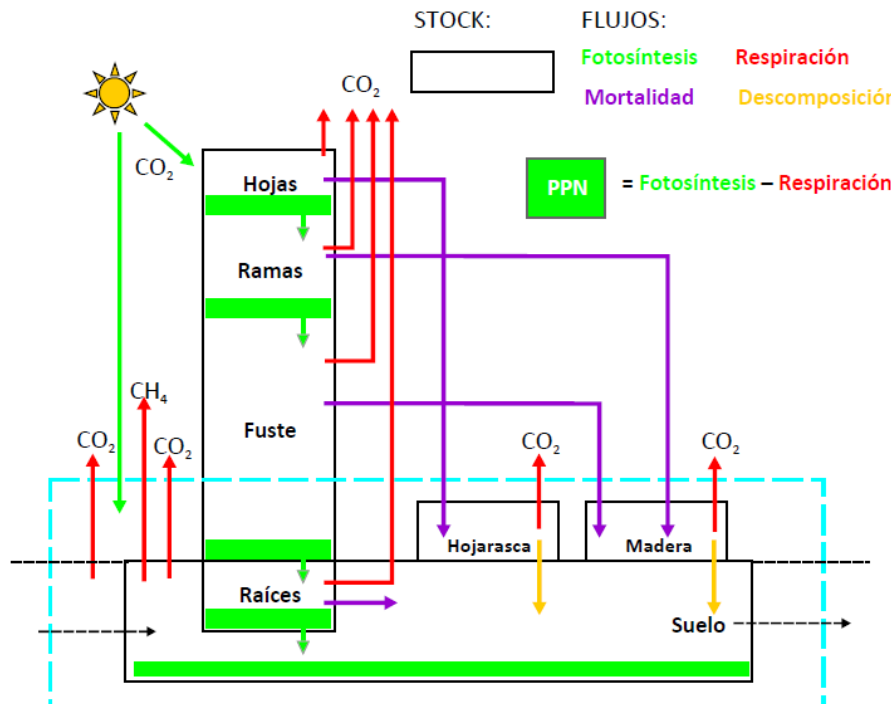
De regulación, que atañen a los beneficios obtenidos de la regulación de los procesos ecosistémicos e inciden en el clima, las inundaciones, la calidad del agua.

Culturales, definidos como los bienes no materiales obtenidos de los ecosistemas: el enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y las experiencias estéticas.

De soporte o apoyo, que se refieren a procesos ecológicos necesarios para la provisión y existencia de los demás servicios ecosistémicos, tales como la producción primaria, la formación del suelo y el ciclado de nutrientes..

1.6.3 Stock de Carbono. En un bosque tropical, el stock de carbono es todo aquello que se encuentra almacenado en los diferentes componentes (Figura 2: las cajas negras), y los flujos son todos aquellos procesos que afectan el stock (Figura 2: las flechas). Cuando se cuantifica el stock de un bosque, se muestrea: a) la biomasa viva almacenada en las hojas, las ramas, el fuste y las raíces; b) la necromasa almacenada en la hojarasca y la madera muerta; y c) el carbono en la materia orgánica del suelo. Cuando se cuantifican los flujos del carbono en el bosque, se muestrea: 1) la fotosíntesis de las hojas, 2) la respiración autotrófica (p.e. árbol) y heterotrófica (p.e. hojarasca, madera muerta, suelo); 3) la mortalidad de troncos, ramas, hojas y raíces; y, 4) la descomposición de la madera y la hojarasca causada por los organismos degradadores. El incremento neto en la biomasa debido a la fotosíntesis, excluyendo el carbono utilizado en la respiración se denomina productividad primaria neta (PPN; Figura 2: barras horizontales de color verde), y se cuantifica midiendo el crecimiento del fuste y la producción de ramas, hojas y raíces (Honorio y Baker, 2010).

Figura 2. Diagrama de los stock y flujos de carbono en un bosque tropical que podría estar estacionalmente inundado



Fuente: Honorio y Baker, 2010.

1.6.4 Gases de Efecto Invernadero (GEI). Se refiere a la cantidad en toneladas o kilogramos de dióxido de carbono equivalente de gases de efecto invernadero. La

comunidad científica considera que el incremento de la concentración de gases efecto invernadero en la atmósfera terrestre, está provocando alteraciones en el clima. La respuesta formal más importante a nivel mundial ha sido el Protocolo de Kioto, el cual se aplica a las emisiones de seis gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbono (HFC), hidrocarburo perfluorado (PFC), y hexafluoruro de azufre (SF_6).

Las emisiones de dióxido de carbono son las principales responsables del calentamiento del planeta y proceden de la utilización de energía y de la producción de combustibles fósiles. El metano también tiene importancia; sus principales fuentes de emisión son la agricultura, el vertido de residuos y la producción y distribución de energía. Las fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero consideradas en el sector agropecuario a nivel mundial son: fermentación entérica, sistemas de manejo de estiércol, cultivo de arroz, suelos agrícolas y quema de residuos agrícolas (Maqueda *et al.*, 2016).

1.6.5 Dióxido de Carbono (CO_2). El dióxido de carbono es uno de los gases traza más comunes e importantes en el sistema atmósfera-océano-Tierra; es el más importante GEI asociado a actividades humanas y el segundo gas más importante en el calentamiento global después del vapor de agua. Tiene fuentes antropogénicas y naturales.

Dentro del ciclo natural del carbono, el CO_2 juega un rol principal en un gran número de procesos biológicos. En relación a las actividades humanas, se emite principalmente por el consumo de combustibles fósiles (carbón, petróleo y sus derivados y gas natural), leña para generar energía, tala y quema de bosques y por algunos procesos industriales como la fabricación del cemento. Según la FAO, el 26% de la superficie terrestre se destina al pastoreo y la producción de forrajes requiere de cerca de una tercera parte del total de la superficie agrícola. La principal causa de deforestación en América Latina se debe, justamente, a la expansión de tierras para el pastoreo, pues el 70% de los bosques amazónicos se usan como pastizales. Las mayores concentraciones de CO_2 se presentan en el hemisferio norte, donde se encuentra la totalidad de los países industrializados, responsables exclusivos del aumento de la concentración de la mayoría de los gases de GEI, que se han ido acumulando en la atmósfera desde la revolución industrial a mediados del siglo XIX (Benavides y León, 2007).

1.6.6 Metano (CH_4). Es el hidrocarburo más simple; su molécula está formada por un átomo de carbono (C), al que se encuentran unidos cuatro átomos de hidrógeno (H). A temperatura ambiente es un gas y se halla presente en la atmósfera.

El metano tiene aplicación en la industria química como materia prima para la elaboración de múltiples productos sintéticos. En los últimos años ha sido aplicado con buenos resultados, como fuente energética alternativa en pequeña escala, generándolo a partir de residuos orgánicos agrícolas. El biogás está compuesto aproximadamente por 55 a 70% de metano, 30 a 45% de dióxido de carbono y 1 a 3% de otros gases, y su poder calorífico oscila en las 5.500 kcal/m^3 . Las principales fuentes productoras de metano son:

Los procesos de descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno (anaerobiosis), que se conoce como “gas de los pantanos”; en este aspecto, las grandes extensiones de cultivos de arroz (145 millones de hectáreas en todo el mundo) y las zonas pantanosas, emiten importantes cantidades de metano.

El proceso digestivo de los rumiantes (bovinos).

La combustión (incendios) de biomasa en bosques tropicales y sabanas.

La actividad microbiana en aguas servidas (cloacas).

Determinadas acumulaciones de hidrocarburos, tales como campos de petróleo, gas y carbón, lo emiten espontáneamente (fugas).

En el último siglo, la concentración de metano en la atmósfera ha sufrido un incremento importante y sostenido (aproximadamente 1% por año), gran parte del cual tiene su origen en actividades humanas. En 1978 se tenía una concentración de ~1520 ppb¹, y en 1990, 1710 ppb, lo que muestra un aumento de ~16% en ese lapso. Sus propiedades físicas y químicas y su presencia en la atmósfera, lo incluyen dentro del grupo de “gases de efecto invernadero”, ocupando el tercer lugar detrás del dióxido de carbono y de los CFC, y contribuyendo en un 15% al calentamiento global. Se ha observado, además, que el metano deteriora la capacidad autolimpiante de la atmósfera (Domenech, 1994).

La industria agrícola-ganadera, con su necesaria expansión, genera y libera este gas originado en la descomposición de la biomasa remanente y en el aumento de las poblaciones de ganado (rumiantes). Las industrias extractivas de carbón, petróleo y gas actúan como fuentes de liberación de metano a la atmósfera.

1.6.7 Óxido Nitroso (N₂O). Sus orígenes son de carácter natural y antropogénico, contribuye con cerca del 6% del forzamiento del efecto invernadero. Sus fuentes incluyen los océanos, la quema de combustibles fósiles y biomasa, la actividad agrícola, en menor grado el consumo de combustibles fósiles para generar energía y la descomposición de proteínas de aguas residuales domésticas. El óxido nitroso es inerte en la troposfera; su principal sumidero es a través de las reacciones fotoquímicas en la estratosfera que afectan la abundancia de ozono estratosférico.

Las emisiones de óxido nitroso generadas por los suelos agrícolas se deben principalmente a los procesos microbiológicos de la nitrificación y desnitrificación. Se pueden distinguir tres tipos de emisiones: las directas desde el suelo, las directas de óxido

¹ ppb: partes por billón.

nitroso del suelo debido a la producción animal (pastoreo) y las indirectas generadas por el uso de fertilizantes. Se ha determinado que las temperaturas de combustión más bajas (particularmente, por debajo de 1200 K²) causan más altas emisiones de N₂O, con un máximo de producción ocurrido alrededor de los 1000 K (730°C). Para temperaturas de combustión por debajo de 800°K (530°C) o sobre los 1200 K (930°C), las emisiones son insignificantes. El óxido nitroso es producido por diferentes procesos de reducción catalítica. Las emisiones desde vehículos hasta ahora se están estudiando con detalle y son bajas respecto al total de emisiones antropogénicas y pueden ser relativamente más altas cuando no se utilizan controles de emisión (especialmente catalíticos). Otras fuentes de N₂O de menor importancia son la producción de ácido nítrico y adípico (nylon), tratamiento de aguas residuales y quema de residuos y biomasa (Benavides y León, 2007).

1.6.8 Nitrificación. La nitrificación es la oxidación del amonio (NH₄⁺) a nitrito (NO₂⁻) y subsecuentemente a nitrato (NO₃⁻), constituyendo una ruta metabólica fundamental para el ciclo biogeoquímico global del nitrógeno (N). Este proceso está mediado por archaeas y bacterias nitrificantes del suelo (Núñez, 2015).

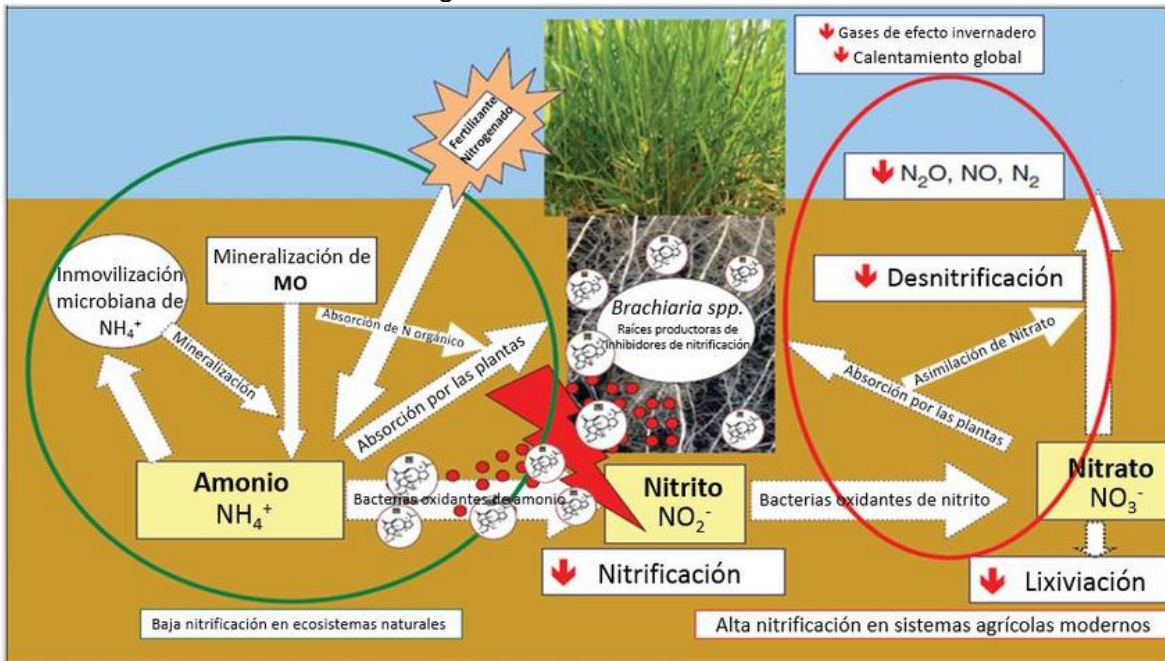
1.6.9 Inhibición Biológica de la Nitrificación (IBN). Se han identificado especies de plantas que exudan al suelo compuestos que inhiben la nitrificación (Gopalakrishnan *et al.*, 2009; Sylvester-Bradley *et al.*, 1988; Subbarao *et al.*, 2009a; Subbarao *et al.*, 2007, citado por Núñez, 2015). Esta propiedad vegetal se ha denominado inhibición biológica de la nitrificación (IBN) y se ha establecido como una característica con un gran potencial para favorecer la agricultura, por lo que ha comenzado estudiarse en detalle en los últimos años (Subbarao *et al.*, 2013, citado por Núñez, 2015).

Subbarao *et al.* (2009), reporta el descubrimiento de un inhibidor de la nitrificación efectivo en los exudados de raíz de la gramínea tropical *Brachiaria humidicola*, que denominaron “brachialactona”; se trata de un diterpeno cíclico con un único sistema de anillos 5–8–5 y un anillo α–lactona. Este compuesto contribuye con un 60– 90% de la actividad inhibidora liberada por las raíces de *B. humidicola*. A diferencia de la nitrapirina, un inhibidor de la nitrificación sintético el cual afecta sólo la vía del amonio mono oxigenasa (AMO), la brachialactona bloquea tanto la vía de la AMO, como la vía de la hidroxilamina oxidoreductasa enzimática en las Nitrosomonas.

Los exudados de las raíces inhiben la nitrificación (Figura 3) que convierte NH₄⁺ a NO₂⁻. En ecosistemas con grandes cantidades de Brachialactona tales como los pastos *Brachiaria*, el flujo del nitrógeno en forma de NH₄⁺ a NO₃⁻ es restringido, y es el NH₄⁺ y el N microbiano en lugar del NO₃⁻, el que se acumula en el suelo y en el sistema radical. En sistemas que no inhiben o con baja inhibición, tal como los modernos sistemas agrícolas, la nitrificación se produce a un ritmo rápido convirtiendo el NH₄⁺ a NO₃⁻, el cual es altamente susceptible a perderse por desnitrificación y lixiviación a través del sistema (Subbarao *et al.*, 2011).

² K: grados Kelvin. Escala Absoluta.

Figura 3. Representación esquemática de la inhibición biológica de la Nitrificación, interviniendo con el ciclo del Nitrógeno



Fuente: adaptado de Subbarao *et al.*, 2011

1.6.10 Sistema naturalizado. Son sistemas constituidos por especies naturales (nativas) y naturalizadas. Las especies endémicas o nativas, son aquellas que se encuentran dentro de su área de distribución natural u original (histórica o actual), acorde con su potencial de dispersión natural, sin la ayuda o intervención del ser humano y forma parte de las comunidades bióticas naturales del área. Las especies naturalizadas, a diferencia de las nativas, son exóticas e introducidas en un área o lugar que por sus características (similitud ambiental al área de distribución original o condiciones adecuadas), permite el establecimiento de poblaciones autosuficientes en vida libre. Para que se verifique el proceso de naturalización de una especie, esta requiere superar barreras bióticas y abióticas para sobrevivir y reproducirse regularmente en el nuevo ambiente (Demagnet, 2013).

1.6.11 Sistema mejorado. En el establecimiento de pasturas mejoradas se realizan prácticas agrícolas (limpieza, control de malezas, adecuación de terreno y fertilización) y rote de potreros, lo cual permite la expresión del potencial genético de las gramíneas mejoradas (De Alba, Nieuwenhuysse y Aguilar, 2008).

1.6.12 Sistema silvopastoril. Es una opción de producción pecuaria que involucra la presencia de leñosas perennes (árboles o arbustos), interactuando con los componentes tradicionales (forrajes, herbáceas y animales), todos ellos bajo un manejo integral tendiente a incrementar la productividad y el beneficio neto del sistema en el largo plazo (Pezo e Ibrahim, 1996). Aunque la definición anterior no lleva implícito el componente

suelo, se pueden dar relaciones en todos los sentidos, entre todos los componentes y de diferentes magnitudes entre el suelo, la leñosa, la herbácea y el animal. Cada uno de los componentes del sistema silvopastoril puede, en un sistema de producción determinado, ser un sumidero o una fuente de carbono.

Se pretende valorar algunas de las potencialidades que pueden obtenerse con el desarrollo de tecnologías que impliquen mejoras en los agroecosistemas y a la vez generen servicios ambientales, mediante el uso y adaptación de prácticas agrícolas que consideren los árboles y arbustos como elementos indispensables para la producción animal, ya que son capaces de incrementar la producción y la calidad de las pasturas, disminuir emisiones de gases de efecto invernadero, incrementar la biodiversidad en flora y fauna, mantener fuentes de agua potable y mejorar las características físicas, químicas y biológicas de los suelos.

1.6.13 Bosque Seco Tropical. Es considerado el segundo ecosistema más grande en distribución a nivel mundial. Se caracteriza por una marcada estacionalidad, es decir, pasan por largos períodos del año en los que sufre total escasez de agua (de 4 a 6 meses). Esta situación en particular, ha generado que las especies que allí habitan (tanto plantas como animales) desarrollen toda una gama de mecanismos y estrategias que les permiten soportar esas condiciones extremas. El Bosque Seco Tropical resguarda un gran número de especies endémicas y posee una gran diversidad biológica (U.D.C.A, 2014).

1.6.14 Fenómeno del Pacífico. El Ciclo conocido como El Niño, La Niña - Oscilación del Sur - ENOS, es la causa de la mayor señal de variabilidad climática en la franja tropical del océano Pacífico, en la escala interanual. El Niño y su fase opuesta La Niña, son las componentes oceánicas del ENOS y corresponden, en términos generales, a la aparición, de tiempo en tiempo, de aguas superficiales relativamente más cálidas (El Niño) o más frías (La Niña) que lo normal en el Pacífico tropical central y oriental, frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia. Estas alteraciones de la estructura térmica superficial y subsuperficial del océano, están asociadas con el debilitamiento de los vientos alisios del Este y con el desplazamiento del núcleo de convección profunda del Oeste al Centro del Océano Pacífico tropical en condiciones de El Niño, o con su permanencia e intensificación en el caso de La Niña.

La componente atmosférica del ENOS, conocida con el nombre de la Oscilación del Sur, corresponde a la variación interanual del campo de presión atmosférica cerca de la superficie, en la región centro-occidental del Pacífico. Durante algunos años la presión atmosférica en el Pacífico central es mayor que en el occidental, en otros años ocurre lo contrario; esta alternancia interanual de las anomalías positivas y negativas de la presión atmosférica, ha sido comprobada mediante la correlación inversa y bien definida entre los valores de presión atmosférica en Tahití (isla localizada en el centro del Pacífico) y Darwin (nororiente de Australia). Aunque existen registros sobre los fenómenos de El Niño y La Niña desde los tiempos de la conquista, su origen se remonta a escalas de tiempo geológico (miles y millones de años). Tal vez las condiciones para que se presente este fenómeno, posiblemente se establecieron desde la época en que la circulación en el

sistema océano-atmósfera del Pacífico Tropical se tornó similar a la actual. Los fenómenos del Ciclo ENOS son el resultado de la interacción entre el océano y la atmósfera en esta región oceánica; su ocurrencia produce fuertes perturbaciones sobre la circulación atmosférica global y sus efectos climáticos tienen dramáticas implicaciones socioeconómicas y ambientales en casi todo el planeta (IDEAM, 2007).

2. METODOLOGÍA

Se realizaron muestreos en los sistemas: Naturalizado, que cuenta con especies que ya están adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de la zona; uno con forrajes mejorados y uno silvopastoril, en el marco del desarrollo del proyecto "Estudio de Emisión de Gases Efecto Invernadero y captura de Carbono en sistemas de pequeños y medianos productores de carne en los municipios Patía y Mercaderes, Cauca", adelantado por el Grupo de Investigación Nutrición Agropecuaria NUTRIFACA, en convenio con el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Gobernación del Cauca, Universidad del Cauca y asociaciones de productores de la región.

2.1 FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA PARA EL PAGO DE SERVICIOS AMBIENTALES (PSA)

En el proceso de elaboración del esquema para el PSA, se tomó información primaria y secundaria proveniente de estudios realizados en la zona, para lo cual se desarrollaron las siguientes actividades:

2.1.1 Formación de criterios para el PSA en Sistemas Ganaderos del Valle del Patía.

Los criterios para elaborar la propuesta para el PSA, se fundamentaron en las evaluaciones que viene realizando el Grupo de Investigación Nutrición Agropecuaria NUTRIFACA de la Universidad del Cauca, que incluyen las mediciones sobre cobertura vegetal, biomasa aérea, emisiones de gases efecto invernadero, captura de carbono e IBN, entre otras, en los sistemas naturalizado, mejorado y silvopastoril.

El análisis de los resultados de cada uno de los parámetros ambientales evaluados, permitió determinar cuáles fincas ofrecen mayores servicios ecosistémicos, otorgándoles un mayor puntaje de acuerdo con los Decretos 870 del 25 de mayo de 2017 y 953 de 2013 y sobre la base de los proyectos que se han venido realizando en diferentes regiones del país sobre PSA, como mecanismo para mantener y mejorar los servicios ambientales que prestan estas áreas. De esta manera se ratifica que los sistemas silvopastoriles y forrajes mejorados que se vienen implementando, pueden mitigar en cierta medida el daño ambiental que se produce por la producción ganadera. En el cuadro 3 se presentan algunos de los sistemas trabajados por el grupo de investigación, que permitieron establecer los criterios para el PSA por medio de visitas de verificación y medición de los siguientes aspectos:

GEI (Metano, dióxido de carbono y óxido nitroso) y los registros de potencial de calentamiento en cada uno de ellos.

Estado biofísico de los sistemas relacionados con la biodiversidad para generar efectos positivos sobre el ambiente y por tanto ofrecer servicios ambientales; este es un tema

central o fundamental que posibilita cualquier estrategia que permita una gestión ambiental satisfactoria de los sistemas silvopastoriles.

Cuadro 3. Uso del suelo en tres sistemas, en el Valle del Patía

| | | |
|---|------------------------------|--|
| | | FINCAS |
| USO DE SUELO EN TRES SISTEMAS, EN EL VALLE DEL PATÍA | SISTEMA NATURALIZADO | EL SOL CALIFORNIA EL EDEN LA PACHUCA H. GUACHICONO H. GUACHICONO |
| | SISTEMA MEJORADO | EL PORVENIR CALIFORNIA LOTE 2 LA PACHUCA H. GUACHICONO H. GUACHICONO |
| | SISTEMA SILVOPASTORIL | EL PORVENIR CALIFORNIA EL EDEN MANZANILLO H. GUACHICONO H. GUACHICONO |

Estado productivo: producción de forraje verde y materia seca. Este valor sirvió también como referencia para los cálculos de carbono en biomasa área.

Medición de IBN: es prioritario determinar cuáles especies de forrajes son los que tienen un comportamiento favorable en cuanto a la captura de N en el suelo, buscando regular la lixiviación de NO_3^- en aguas subterráneas, disminuir la emisión de óxido nitroso e incrementar la productividad de los cultivos.

Todo lo anterior se realizó bajo la implementación del Decreto 870 del 25 de mayo de 2017, en el cual se establecen las directrices para el desarrollo de los Pagos por Servicios Ambientales (PSA) y otros incentivos a la conservación que permitan el mantenimiento y generación de estos, en áreas y ecosistemas estratégicos, a través de acciones de preservación y restauración en Colombia. La ejecución del PSA constituye un reconocimiento económico inmediato de carácter voluntario, por las acciones que permitan el mantenimiento y su generación en donde hay presencia de cultivos de uso ilícito y conflictos por usos del suelo, entre otros, constituyéndose en áreas de especial importancia para la construcción de una paz estable y duradera. Con esta iniciativa se crean nuevas alternativas económicas que permiten a su vez, crear lazos de confianza entre las comunidades y el Estado, fortaleciendo los valores culturales y de reconocimiento social asociados a la conservación de hábitats importantes para el desarrollo sostenible, así como complementar a los instrumentos de gestión ambiental del Estado, todo esto bajo el imperativo de que los recursos naturales renovables son de

propiedad de la nación y es al Estado a quien le corresponde la formulación de las políticas y regulaciones para su adecuada administración.

El Decreto 953 de 2013 expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, estipula el valor que el gobierno puede utilizar para el pago de los canjes ecológicos que se piensan acordar con la comunidad beneficiada; este 1% que aportan las entidades territoriales se divide en tres partes: para la financiación del PSA, para la adquisición y para el mantenimiento de predios que protejan áreas estratégicas.

En este orden de ideas, desde el año 2015 el Grupo de Investigación NUTRIFACA ha venido estudiando los cambios que ocurren a nivel ambiental, al convertir modelos de producción tradicionales a sistemas ecoeficientes. Se pudo definir el impacto positivo o negativo de la actividad ganadera con la aplicación de sistemas silvopastoriles y forrajes mejorados, a partir de los estudios previos realizados en las diferentes fincas que se encuentran vinculadas con los proyectos en el municipio de Patía (Cauca) y otros predios con praderas degradadas; se establecieron los rangos máximos y mínimos de los componentes ambientales evaluados (GEI, stock de carbono, IBN, diversidad vegetal, macro y micro fauna,) en los sistemas establecidos (naturalizado, mejorado y silvopastoril), que ofrecen diversos servicios ecosistémicos. A partir de la investigación realizada, se podría determinar cuáles podrían entrar bajo un sistema de compensación económica por medio de canjes ecológicos establecidos entre los beneficiarios y sus proveedores.

2.1.2 Elaboración de un proyecto de acuerdo municipal para la alcaldía del Patía.

Para determinar los alcances, compromisos y beneficios a obtener con la implementación de un esquema de PSA, se revisó el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio del Patía para determinar el punto de partida o el espacio en el que se pueda articular el proyecto de Acuerdo Municipal que se realizó para esta región y que redundará en un mejor estar personal y comunitario que involucre productores, gente del común, empresarios e instituciones. Este bienestar se deriva especialmente del manejo y aprovechamiento razonable del medio ambiente, soportado por los criterios técnico-científicos derivados de la investigación desarrollada por el Grupo de Investigación NUTRIFACA de la Universidad del Cauca, desde el proyecto “Estudio de gases de efecto invernadero y captura de carbono en sistemas de pequeños y medianos productores de carne en los municipios de Patía y Mercaderes, Cauca”.

Como complemento a la elaboración del proyecto de acuerdo, se realizó la socialización de la temática Pagos por Servicios Ambientales (PSA) con algunos productores de ganadería bovina del municipio del Patía y miembros de la Cooperativa Agropecuaria de Usuarios Campesinos de Patía Ltda. - COAGROUSUARIOS. La metodología consistió en dar a conocer las bondades de la implementación de esta iniciativa y los beneficios que obtendrían al ser parte del proyecto. Adicionalmente y como una labor anexa, se utilizó parte de la información suministrada por los productores como complemento a los datos colectados en la investigación desarrollada por el Grupo de Investigación NUTRIFACA, pues ellos son conocedores de la problemática ambiental en su vida diaria; en la reunión

se hizo claridad sobre las razones por las cuales es importante la implementación de los sistemas silvopastoriles y las praderas mejoradas, ya que este tipo de tecnologías mejoran la producción y ofrecen diferentes servicios ambientales en esta región.

2.1.3 Índice ecológico utilizado en la formulación de un esquema para el PSA en el municipio del Patía. Con el fin de comprobar cuáles fincas podrían incluirse en el esquema de PSA, se planteó un bosquejo de calificación a partir de índices ecológicos que se encuentran en la región, determinando un valor para cada uno, que serviría para establecer y favorecer las fincas que obtuvieran un mayor puntaje en lo que tiene que ver con los servicios ecosistémicos ofrecidos por cada una de ellas, al haber implementado los sistemas silvopastoriles y forrajes mejorados en sus praderas.

Cuadro 4. Rango de valoración y aporte de los servicios ecosistémicos

| Valoración | Justificación |
|------------|--|
| 0 | Indica que la función no contribuyó a la provisión del servicio (o es despreciable). |
| 1 | Indica que la función era escasa o mínima a la provisión de un servicio. |
| 2 | Indica que la contribución relativa a la provisión del servicio era poca. |
| 3 | Indica que la contribución relativa a la provisión de un servicio era media en la relación a las demás funciones consideradas. |
| 4 | Indica que la contribución relativa a la provisión de un servicio era alta en la relación a las demás funciones consideradas. |
| 5 | Indica que la contribución relativa a la provisión de un servicio era significativa en la relación a las demás funciones consideradas. |

Fuente: Modificado de Soutullo *et al.*, 2012.

2.2 CONTRIBUCIÓN EN LA MEDICIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y CAPTURA DE CARBONO DE SISTEMAS DE PEQUEÑOS Y MEDIANOS PRODUCTORES DE CARNE EN LOS MUNICIPIOS PATÍA Y MERCADERES, CAUCA

Para determinar la cantidad de GEI se utilizó el método de la cámara estática cerrada, que es un diseño de bajo costo, sencillo y práctico para trabajar en campo, aunque las perturbaciones climáticas pueden afectar las concentraciones de gases dentro de la cámara; la cámara explora una pequeña porción espacial y temporal del sistema, pero con algunos sesgos asociados al diseño (Arenas, 2015).

Debido a las facilidades técnicas, operacionales, su bajo costo y utilidad a la hora de evaluar diversos tratamientos y áreas remotas, las técnicas basadas en cámaras son las más usadas para las mediciones de gases de efecto invernadero entre los ecosistemas terrestres y la atmósfera (Denmead, 2008; Butterbach-Bahl *et al.*, 2011).

2.2.1 Materiales y elementos empleados para la medición de GEI. En la visita a los diferentes lotes de 1 ha de área, localizados en diferentes partes del valle del Patía, con

anterioridad se habían instalado tres anillos de PVC a diferentes distancias, en forma diagonal, utilizados para realizar la medición de GEI. En la metodología de la Cámara estática cerrada, se utilizan dos anillos que constan de una parte superior, con dos tapas de goma de 1 cm de diámetro. El anillo de la parte inferior tiene 25 cm de diámetro y 10 cm de altura, quedando sobre el suelo 5 cm. Se llevó siempre una cámara de repuesto, 100 viales rotulados con los tiempos correspondientes, 3 timers, 7 termómetros, 1 GPS, varias jeringas con llaves de paso, agujas de repuesto y una tabla con formatos de registros.

Se utilizaron seis cámaras estáticas cerradas herméticamente, con sus bandas sujetadoras para mediciones en el sistema silvopastoril y tres cámaras para el sistema mejorado y naturalizado.

2.2.2 Fase de campo. En los días previos al muestreo, con el uso de un GPS se realizaron visitas a los sitios seleccionados, para verificar que los anillos de PVC se hallaran en adecuado estado, asegurando así la mayor corrección a la hora de tomar las muestras. Se realizó la medición que consistió en extraer de cada cámara herméticamente cerrada con una banda de caucho vulcanizada, 15 cc de gases con una jeringa plástica de 20ml, a las cuales se les conectaron válvulas de plástico. El émbolo de la jeringa se dispuso totalmente en el fondo para tener un volumen interno de 0 y la válvula se dejó abierta, se introdujo la aguja de la jeringa en uno de los tapones plástico situados sobre la tapa de la cámara (Figura 4).

Figura 4. Cámara estática cerrada de PVC para el muestreo de GEI



A continuación se tomaron 20 ml de aire cerrando la válvula, se sacó la jeringa del tapón, se eliminaron 5ml y los restantes 15 ml se traspasaron a los viales al vacío (de vidrio sellado) a los cuales se les había realizado previamente un proceso de liofilización. En el otro tapón plástico se ubicó el termómetro digital, para tomar la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) dentro de la cámara, en los tiempos 0, 15 y 30 minutos. Se rotuló registrando el tiempo de inicio del muestreo, la fecha y la temperatura en cada instante, para calcular el flujo de gases dentro de cada cámara, este procedimiento se repitió en los demás sitios. No se

estandarizó la hora de muestreo ni tampoco la hora del día, solo se tuvo en cuenta realizar las mediciones en horas de la mañana; una vez colectados los gases, se enviaron al laboratorio de gases del CIAT sede Palmira para su procesamiento.

2.2.3 Situaciones que afectan las mediciones de gases efecto invernadero realizadas con cámara estática cerrada en suelos. Existen situaciones que pueden intervenir a la hora de hacer las mediciones de los GEI, tales como encontrar alteración en el suelo al instalarse la cámara en el área a evaluar o condiciones asociadas al interior de la cámara como humedad, temperatura, presión y variaciones temporales. Incluso se presenta mezcla de gases dentro de la cámara, donde se desarrollan reacciones de biodegradación, bio-oxidación o reducción de compuestos entre otros, asociados a flujos de CH₄ y N₂O (Rochette y Eriksen-Hamel, 2008; Butterbach-Bahl *et al.*, 2011, citado por Arenas, 2015).

Los valores positivos de los flujos de GEI representan una emisión desde el suelo hacia la atmósfera y valores negativos, un flujo en sentido contrario.

2.2.4 Identificación de las muestras. Los frascos con las muestras de aire se rotularon con la siguiente información: S1 (sistema naturalizado), S2 (sistema mejorado), S3 (sistema silvopastoril). En los lotes para el S1 y S2 se identificaron tres anillos (1-3) y para el S3, seis anillos (1-6), las fincas (F1 a F6) o nombre del lugar donde se encuentran los anillos instalados, tiempo (0, 15, y 30 minutos) y fecha de muestreo.

2.2.5 Análisis de muestras. Los viales fueron llevados al laboratorio de Gases de Efecto Invernadero del CIAT para calcular las concentraciones de CO₂, CH₄ y N₂O en ppm usando un cromatógrafo de gases GC-2014 SHIMADZU, equipado con un detector de ionización de llama (FID), captura de electrones (ECD) y metanizador. Para estas determinaciones se utilizaron estándares certificados (Scotty® Analyzed Gases para CO₂: 2000 ppm, CH₄: 10 ppm y N₂O: 1 ppm, Analytical Accuracy +/- 5%).

2.3 APOYO EN LAS ACTIVIDADES REALIZADAS POR EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN NUTRIFACA

Se apoyaron los proyectos enmarcados dentro del programa “Desarrollo y uso de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina para el departamento del Cauca”.

2.3.1 Apoyo al proyecto “Investigación del uso de especies forrajeras y no forrajeras multipropósito en sistemas de pequeños y medianos productores de carne en los municipios de Patía y Mercaderes, Cauca”. Se brindó apoyo en la evaluación de persistencia de especies forrajeras, establecidas por bloques en diferentes predios ubicadas en el municipio de Patía, con el fin de recolectar información sobre las interacciones ambientales y el comportamiento agronómico de los forrajes establecidos,

utilizando un marco de 50cm por 50cm para el aforo, con lo que se pudo determinar producción de forraje verde, materia seca y conteo de retoños, registrando los datos sobre vigor, altura, cobertura, plagas y floración; también se apoyó la toma de muestras obtenidos en un formato manual para su posterior sistematización, mediante Metodologías tomadas de la RIEPT (Red Internacional de Pastos Tropicales).

2.3.1.1 Cobertura. Se visualiza la proporción aparente de las especies que cubren en cada área, se registran y se asignan valores dentro del rango de 0 a 100% (Toledo, 1982).

2.3.1.2 Vigor. Expresado por el estado de la planta, color, crecimiento y sanidad en una escala de 1 a 5, siendo 1 el peor y 5 el mejor (Toledo, 1982).

2.3.1.3 Recuento de plantas. Para hacer las mediciones se coloca un marco de 1 m² y se cuentan el número de plántulas o plantas comprendidas dentro de él (Toledo, 1982).

2.3.1.4 Presencia de plagas. Para cada tratamiento con sus respectivas repeticiones se determinó el daño ocasionado por insectos comedores de follaje, para lo cual se estimó el daño por medio de una escala que va de 1 a 4, así (Toledo, 1982):

1. Presencia de algunos insectos: La parcela no presenta áreas foliares consumidas.
2. Daño leve: Se observa en la parcela de 1 a 10% del follaje consumido.
3. Daño moderado: El consumo del follaje en la parcela es del 11 al 20%.
4. Ataque grave: Más del 20% del follaje de la parcela ha sido consumido por el insecto.

2.3.1.5 Presencia de enfermedades. Se recorrieron todas las parcelas., en las que se consideraron como plantas afectadas las que presentaron síntomas y se calificaron de 1 a 4, así (Toledo, 1982):

1. < 5% de las plantas afectadas.
2. Daño leve: 5-20% de plantas afectadas.
3. Daño moderado: 20-40% de las plantas afectadas.
4. Daño severo o grave: Más de 40% de las plantas afectadas.

2.3.1.6 Altura de plantas. Se debe medir la altura de cinco plantas seleccionadas al azar de cada parcela durante el muestreo y calcular e informar sobre el promedio de la altura en cada subparcela (Toledo, 1982); la altura se mide en centímetros desde el suelo hasta el punto más alto de la planta (hoja bandera), sin estirla y sin contar las inflorescencias.

2.3.1.7 Producción de forraje verde. Para determinar la biomasa producida por cada tratamiento, se procedió a aforar la producción en cada parcela y así conocer la

disponibilidad de biomasa seca que se puede obtener en 1 m² o bien en una hectárea de establecimiento (Toledo, 1982).

2.3.1.8 Producción de materia seca. Para evaluar la cantidad de materia seca se tomaron submuestras de aproximadamente 200 gramos de forraje verde, que se llevaron a un horno con ventilación controlada por un periodo de 72 horas a 60°C. Se recomienda obtener información sobre la materia seca del rebrote a las ocho semanas, se corta y se pesa 1 m² de cada parcela, mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{MS}{m^2} = PF * Ps * Pf \quad (\text{Ec. 1})$$

En donde:

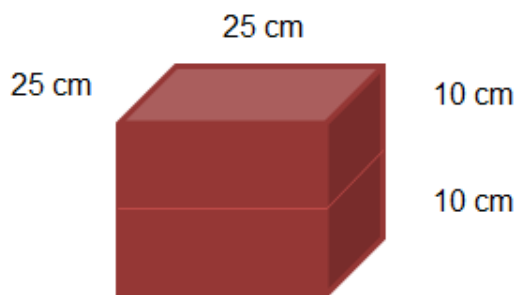
PF: Peso fresco de la muestra

Pf: Peso fresco de la submuestra

Ps: Peso seco de la submuestra

2.3.2 Apoyo al proyecto “Rehabilitación de tierras degradadas con forrajes multipropósito en sistemas de pequeños y medianos productores de carne de los municipios Patía y Mercaderes, Cauca”. Se brindó apoyo en el muestreo de macrofauna en tres sistemas de uso de suelo en el municipio del Patía, en los sistemas naturalizado, mejorado y silvopastoril. Para hacer la evaluación se extrajeron muestras de suelo mediante la técnica del monolito TSBF de Anderson e Ingram (1993), obteniendo tres unidades de muestreo (monolito) de 25 x 25 x 20 cm, a lo largo de un transecto en cada sistema de uso de suelo.(Figura 5).

Figura 5. Esquema monolito TSBF modificado



Fuente: Anderson e Ingram, 1993.

Con la ayuda de un marco de madera y palines se recogió el bloque de suelo, intentando evitar que se desmoronara. Luego se procedió a delimitar los estratos (0-10 cm y 10-20cm), que fueron embolsados en diferentes empaques para su posterior clasificación.

Con ayuda de varios colaboradores, se revisó el suelo de forma manual para recolectar y separar los ejemplares en recipientes con alcohol al 70%, separando las lombrices del resto de Macrofauna.

2.3.3 Apoyo a actividades adicionales. Como apoyo al Grupo de Investigación NUTRIFACA de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, se participó en el desarrollo de las siguientes actividades:

Tareas de formación por parte de los técnicos investigadores del grupo, en talleres, sustentaciones, exhibiciones, etc., efectuados por NUTRIFACA.

Acompañamiento en actividades de campo, como el establecimiento de praderas, toma de muestras, asistencia a productores, aforos, inventario de especies vegetales, entrega de materias primas y material vegetal a los productores.

Asistencia en labores de oficina como alistamiento de materiales y sistematización de formatos utilizados en campo.

3. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados del análisis de los datos obtenidos en campo, donde se tendrán en cuenta principalmente aquellos valores que han influenciado positivamente en el avance del proyecto.

3.1 FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA PARA EL PAGO DE SERVICIOS AMBIENTALES

El 30% del dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) que se incrementan anualmente 0,5%, 0,6% y 0,35%, respectivamente, se produce por el cambio en el uso del suelo. Se estima que los trópicos emiten de 10 a 30 millones de ton de C año⁻¹ como resultado del decrecimiento de la materia orgánica en los suelos deforestados (Detwiller y Hall, 1988); en este sentido, los suelos con pasturas desarrollan un rol muy importante por la gran extensión que cubren, la retención y la reducción de la emisión de C a la atmósfera (Minami *et al.*, 1993; Fischer *et al.*, 1994).

En el cuadro 5 se presentan los resultados de los análisis de los datos correspondientes a los rangos máximos y mínimos de los servicios ambientales evaluados, obtenidos en los tres sistemas (naturalizado, mejorado y silvopastoril) de las diferentes fincas ubicadas en el municipio de Patía.

Cuadro 5. Parámetros ambientales evaluados para determinar los rangos obtenidos en cada sistema implementado en diferentes usos de suelo del municipio de Patía, Cauca

| TRATAMIENTO (Sistema) | Stock C (Kg /Ha) | IBN (mg N-NCV/L) | CO ₂ (mg/m ² /365 días) | CH ₄ (mg/m ² /365 días) | N ₂ O (mg/m ² /365 días) | Macrofauna (N° de sp) | Microfauna (N° de sp) | N° de especies vegetales | Ton de MS/ Ha | Tipo de forraje |
|-----------------------|------------------|------------------|---|---|--|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------|---|
| Naturalizado | 47,46 - 63,27 | 0,26 - 3,08 | 2804359 - 8006786 | -40 - 1900 | 63 - 774 | 16 | 120000 - 2,3055E+10 | 44 | 2,52 | En su mayoría suelos descubiertos, malezas, plantas nativas (angleton y grama). |
| Mejorado | 63,27-101,54 | 3,4 - 6,02 | 3094924 - 6153932 | -41 - 715 | 107 - 598 | 14 | 4900000 - 2,3055E+10 | 52 | 3,44 | Forrajes mejorados como: Brachiarias sp, Megathyrus maximus, leguminosas herbáceas, etc. |
| Silvopastoril | 80,43 -123,34 | 2,86 - 6,40 | 3106015 - 4896417 | -192 - 800 | 171 - 579 | 16 | 2100000 - 2,3055E+10 | 54 | 4,85 | Integración de pastos mejorados, leguminosas arbóreas y arbustivas además de árboles de la región (totumo, samán, matarratón, guásimo, caña fistula, ocobo, entre otros.) |

Fuente: Grupo de investigación NUTRIFACA, 2018.

De acuerdo con el cuadro 5, los sistemas silvopastoriles y mejorados están generando servicios ecosistémicos expresados en una mayor captura de carbono, una disminución de las emisiones de GEI y de N a la atmósfera, aumento de la biodiversidad y mantenimiento de corredores biológicos. La transformación de las fincas a estos sistemas está generando incrementos en la productividad, lo cual se constituye en un punto importante para los productores de la región y confirma la relación que existe con los rangos obtenidos durante las evaluaciones en las fincas desde el 2015, de la siguiente manera:

3.1.1 Stock de Carbono. Los resultados obtenidos comprueban que el sistema silvopastoril muestra una mayor capacidad para la captura de carbono, por la presencia de árboles o arbustos; esta eficiencia puede ser aún mayor por la profundidad y abundancia de sus sistemas radicales y por una acumulación de residuos de hojas y ramas en descomposición que indican mucha fertilidad en los suelos, siendo más bajo en los pastos de gramíneas. El sistema mejorado le sigue al silvopastoril en importancia; en ellos, la eficiencia para la fijación de carbono radica en que en general poseen sistemas radicales profundos, lo que puede contribuir fuertemente a la productividad primaria neta de las especies y por tanto, a la capacidad de inmovilización de carbono.

El incremento en la productividad primaria del agroecosistema ganadero, al tener más árboles, arbustos forrajeros, arvenses y pastos vigorosos, contribuye a mitigar el cambio climático a través de mecanismos tales como el aumento de los depósitos de carbono en el suelo y la vegetación leñosa (Murgueitio *et al.*, 2011).

3.1.2 Inhibición Biológica de la Nitrificación (IBN). De acuerdo con los resultados obtenidos en los sistemas mejorado y silvopastoril, se observan las mayores mediciones de IBN, debido posiblemente a la utilización de diferentes tipos de forrajes, como es el caso de los pastos *Brachiaria humidicola* y *decumbens*, que tienen el potencial de exudar compuestos orgánicos que inhiben la nitrificación en el suelo, ayudando a la conservación del N de manera natural, sin la utilización de inhibidores sintéticos.

Algunas plantas pueden suprimir la nitrificación en el suelo liberando inhibidores desde sus raíces, fenómeno conocido como Inhibición Biológica de la Nitrificación (Subbarao *et al.*, 2009).

3.1.3 Dióxido de Carbono (CO₂). Los resultados obtenidos muestran que la mayor emisión de CO₂ se encuentra en los sistemas naturalizados; esto se puede deber a que existen áreas de suelo descubierto, en las cuales no hay procesos de fotosíntesis; además, la luz del sol pasa directamente al suelo, ocasionando que haya una mayor tasa de respiración y una consecuente mayor concentración de este gas. El carbono acumulado en el suelo depende del tipo de suelo, su uso, manejo y profundidad. En los sistemas mejorados y silvopastoriles, la capacidad de capturar CO₂ ha crecido tanto en cantidad como en calidad, debido al aumento de biomasa para hacer los procesos de fotosíntesis.

Estimativos recientes sugieren una liberación neta de C en el trópico, debido a la deforestación entre 0.42 y 1.60 Pg año⁻¹, de los cuales 0.1 a 0.3 Pg se deben a una disminución en la materia orgánica de los suelos; una forma de mitigar sus efectos es el almacenamiento en la biomasa mediante la fotosíntesis, y en el suelo a través de la acumulación de materia orgánica (Lok *et al.*, 2013); todo esto genera una actividad biológica superior y por tanto, mayores posibilidades para la captura de carbono en el suelo (Petre *et al.*, 2006).

3.1.4 Metano (CH₄). En el cuadro 5 se muestra un rango de emisión de CH₄ para el sistema Naturalizado, entre -40 y 1900 mg/m²/185 días; la mayor emisión se puede deber a que el terreno se haya quedado sin respirar por alguna inundación, ya que las mediciones se hicieron en época de sequía y de lluvia, o en la descomposición de la materia orgánica en el suelo, pues si ésta se acumula en un suelo húmedo, también se forma CH₄. El efecto de invernadero del metano es mucho mayor que el del CO₂.

La estrategia más común para prevenir la formación de metano es disminuir el período de inundación, de modo que la materia orgánica esté menos protegida de la mineralización y puedan ser emitidos CO₂ y N₂O o NH₄ (FAO, 2002). Por otro lado, las menores emisiones se dieron en el sistema silvopastoril, mostrando en cierta medida su eficiencia.

3.1.5 Óxido Nitroso (N₂O). Como se observa en el cuadro 5, en el sistema naturalizado se encuentra la mayor emisión de este gas, lo cual puede deberse a que el sistema no es intervenido, por lo tanto la cobertura vegetal que exuda IBN es mínima o nula y el N es lixiviado fácilmente. La agricultura y el uso de fertilizantes nitrogenados, junto con el tratamiento de los residuos animales, aumentan la producción de óxido nitroso; en los sistemas mejorados y silvopastoriles se están utilizando especies que ayudan a la captura del N, permitiendo que se fije en el suelo.

El nitrógeno afecta el balance neto de los gases con efecto invernadero en cuatro formas: 1) el CO₂ es liberado a partir de la energía y los combustibles fósiles requeridos para la producción intensiva de fertilizantes nitrogenados; 2) el rendimiento del cultivo cambia en función de la tasa de aplicación de nitrógeno; 3) el aumento en el uso de fertilizantes nitrogenados puede causar una reducción en el pH del suelo, lo cual plantea el uso de cal agrícola, cuya producción también es de alto consumo energético y productora de CO₂; 4) las emisiones de N₂O varían con la práctica de labranza y en función de la tasa de aplicación del nitrógeno (Verhulst, François y Govaerts, 2015).

3.1.6 Macrofauna. Por otra parte, en el conteo de número de especies encontradas no se ve una diferencia significativa entre los tres sistemas, pero cabe anotar que al enumerar de forma individual cada especie, se encuentran en mayor cantidad los animales en los sistemas mejorados y silvopastoriles, debido posiblemente a que al generar cambios en la cobertura vegetal en los lotes evaluados, se han formado igualmente cambios en la macrofauna del suelo. Además, estos sistemas la protegen ya que se puede ver alterada por las variaciones de temperatura y estrés por sequía; por

tanto, la optimización del manejo de estos arreglos contribuye a la estabilidad de las poblaciones de macrofauna y en consecuencia a la calidad del suelo.

En sistemas convencionales hay un impacto directo sobre la macrofauna del suelo, por abrasión física con la labranza y ausencia de cobertura de residuos; el impacto indirecto ocurre por la destrucción del hábitat, conduciendo a la ausencia o presencia muy baja de poblaciones. Esto explica por qué las poblaciones de macrofauna del suelo son por lo general mayores con la agricultura de conservación, en comparación con los sistemas convencionales. La mayor complejidad biológica en la agricultura de conservación implica que la macrofauna regule en parte la descomposición por biomasa microbiana y favorezca las formaciones de agregados biogénicos (Verhulst, François y Govaerts, 2015).

3.1.7 Microfauna. En el conteo de Microfauna se encontraron cantidades significativas en los sistemas mejorados y silvopastoriles, lo que denota una gran diversidad de microorganismos en el suelo, debida posiblemente a la gran cantidad de materia orgánica que se obtiene de estos sistemas y que al descomponerse sirve como fuente de energía, favoreciendo el reciclaje de nutrientes para mejorar la fertilidad como una forma natural de renovación de los ecosistemas.

Los microagregados constituyen hábitats relativamente estables y aislados para los microorganismos dentro de los macroagregados, que gradualmente se van uniendo por medio de agentes de unión temporales (es decir, hifas y raíces) y transitorios (polisacáridos microbianos y vegetales), que se descomponen gradualmente en fragmentos (materia orgánica en partículas o MOP), los cuales, cuando están recubiertos con mucílagos bacterianos o fúngicos, se encostran con arcillas. Este proceso da como resultado la creación de microagregados dentro de los macroagregados (Verhulst, François y Govaerts, 2015).

3.1.8 Especies vegetales. En el inventario vegetal se pudo determinar que los sistemas mejorados y silvopastoriles cuentan con una alta diversidad de especies, al implementar en esta zona especies forrajeras como las herbáceas forrajeras y leñosas (árboles y/o arbustos), la mayoría pensadas para la alimentación animal, las cuales cumplen funciones importantes para la conservación del suelo y el incremento o el mantenimiento de su nivel de fertilidad. Los árboles recuperan nutrientes de las capas profundas del suelo y, en el caso de árboles leguminosos, fijan nitrógeno que puede convertir la hojarasca en fertilizante para los cultivos, brindando mayor duración de las pasturas, mejor retención hídrica en el suelo, disminución del efecto desecante de los vientos y reducción del estrés calórico en los animales.

Al respecto, los sistemas silvopastoriles intentan un manejo holístico de los recursos naturales, al asociar en un mismo terreno y de forma planeada, una vegetación herbácea para la alimentación del ganado, con vegetación arbustiva y arbórea que pueda proveer impactos positivos sobre el ambiente y satisfactores que generen un ingreso adicional para el productor rural (Quinto, 2009). Por ello, desde la visión y perspectiva de la

conservación de los agroecosistemas y la sustentabilidad, se señala que la Agroforestería ha emergido como uno de los enfoques más prominentes para reducir la deforestación en los trópicos, mejorando los hogares rurales al disminuir la presión sobre el uso de recursos y protegiendo los territorios (Bhagwat *et al.*, 2008).

3.1.9 Producción de forraje verde. Al observar los resultados del cuadro 4 en los sistemas mejorados y silvopastoriles, se destaca que las pasturas mejoradas y las especies leguminosas permiten generar altos rendimientos de biomasa con buenas características durante todo el año, mayor carga animal y un incremento en la ingesta de proteína que mejora la producción y calidad de leche y carne. El propósito de reemplazar el pasto nativo, es obtener una pradera de mayor rendimiento y calidad y la reducción al mínimo de los insumos externos para el mantenimiento de la pradera. Estos sistemas presentan una mayor productividad forrajera, por lo que mejoran la cantidad y calidad de la dieta animal (Yamamoto *et al.*, 2007).

La información obtenida permitió confirmar una transformación progresiva en los terrenos evaluados, a partir de la implementación de sistemas más favorables para estas zonas, las cuales brindan una mejor cobertura vegetal para el suelo, disminuyen su degradación y a la vez permiten la rehabilitación y protección no solo de este componente, sino de la función que desempeña en el incremento de la producción, la calidad de las pasturas y la mejora de los recursos hídricos. Todos estos factores permiten lograr una agricultura sostenible, que resulta práctica y económica para cada unidad agropecuaria.

Se trató, además, la importancia de estos sistemas en el secuestro de carbono, la disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero y en la conservación de la biodiversidad. La obtención de estos datos permitió realizar un análisis de las experiencias acerca del pago de servicios ambientales en diferentes regiones, tanto nacionales e internacionales, como incentivo por el uso de árboles y arbustos en la ganadería, buscando un estímulo para los productores de esta región que les permita seguir implementando este tipo de tecnologías por todos los beneficios tanto a nivel productivo como ambiental.

3.1.10 Bosquejo de calificación a partir de Índices ecológicos que se podrían utilizar en la implementación de un proyecto para el PSA en el municipio del Patía. Los sistemas de uso de suelo se podrían calificar a partir de los índices ecológicos que aparecen en la región del Patía para cada servicio ambiental, en una escala de 0 a 5 puntos según su contribución a la generación de dichos servicios, lo cual significa que para el bosque primario, el sistema con máximo aporte en servicios ambientales, el índice obtenido estuvo en el orden de 5 puntos, mientras que para pasturas degradadas fue de 0 - 1 puntos (Cuadro 6).

A partir de los datos obtenidos en la investigación, se puede afirmar que el sistema naturalizado es poco eficiente para la productividad de los sistemas ganaderos, la autorregulación hacia el ecosistema es deficiente, al haber especies de poco uso,

mayoritariamente conformadas por gramas y angleton con baja cantidad de biomasa y tiene áreas de suelos descubiertos y degradados, ya que la intervención es mínima.

Cuadro 6. Índice ecológico que se podría usar en la calificación de los diferentes predios para entrar en un proyecto para el PSA en el municipio de Patía

| sistemas | Componentes | stock de carbono | IBN | GEI | | | Biodiversidad | | | Producción de FV | Total |
|---------------|--|------------------|-----|-----------------|-----------------|------------------|---------------|------------|--------------------|------------------|-------|
| | | | | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | Macrofauna | Microfauna | Especies vegetales | | |
| Naturalizado | Pasturas Degradadas | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 8 |
| | Pastura Natural sin Arboles | 4 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 22 |
| | Pastura Natural Baja Densidad de Arboles (< 30/ Ha-1) | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 26 |
| | Pastura Natural con Alta Densidad de Arboles (> 30/ Ha-1) | 5 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 32 |
| Mejorado | Pastura Mejorada sin Arboles | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 21 |
| | Pastura Mejorada Baja Densidad de Arboles (< 30/ Ha-1) | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 | 27 |
| | Pastura Mejorada con Alta Densidad de Arboles (> 30/ Ha-1) | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 5 | 34 |
| | Cerca Viva Simple* | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 25 |
| Silvopastoril | Cerca Viva Multiestrato** | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 37 |
| | Banco Forrajero de Leñosas | 5 | 3 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 5 | 36 |
| | Banco Forrajero Diversificado | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 3 | 5 | 40 |
| | Sucesión Vegetal Secundaria | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 26 |
| | Bosque Ribereño o en Galería | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 2 | 41 |
| | Bosque Secundario Intervenido | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 34 |
| | Bosque Primario | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 2 | 42 |

*Cerca viva simple es aquella que tiene una o dos especies dominantes y manejadas bajo poda a una altura similar. **Cerca viva compuesta tiene más de dos especies leñosas de diferentes alturas y usos (maderables, frutales, forrajeras, medicinales, ornamentales, etc.). Fuente: Murgueitio et al. (2013).

Fuente: Modificado de Buenas Prácticas Agrícolas para la adaptación al cambio climático; Meneses y Hurtado, 2015.

El menor puntaje obtenido en el sistema naturalizado, puede deberse a que su cobertura se encuentra principalmente establecida sobre suelos degradados, luego de muchos años del desarrollo de la misma actividad. Son suelos expuestos al sol directo por la falta de árboles, cuya mayoría de plantas son malezas hospedantes de plagas y enfermedades.

Las zonas bajas con climas extremos producto de largas sequías, altas temperaturas o exceso de lluvias, provocan que estos ambientes naturales no se recuperen rápidamente. La ganadería basada en pastoreo, también conocida como de tipo extensivo, ha realizado el mayor cambio en los paisajes rurales y debe reconocerse como un proceso de enormes repercusiones ambientales y sociales. Todo esto ha originado la deforestación y por tanto las afectaciones sobre el suelo, que producen pérdida de fuentes de agua, biodiversidad y fertilidad.

Bajo condiciones climáticas tropicales de precipitaciones con eventos erosivos de alta frecuencia e intensidad, una cuenca hidrográfica sin cobertura vegetal está más expuesta al impacto de gota, lo cual podría causar severos efectos erosivos, situación que puede agravarse cuando las pasturas son sometidas a fuertes presiones de pastoreo (alta carga animal) que exponen el suelo y conducen a la formación de cárcavas, compactación,

disminución de las tasas de infiltración y pérdida de suelo por efecto de la escorrentía. En algunos casos, resulta en erosión severa y sedimentación de cuerpos de agua y presas hidroeléctricas (Ibrahim, Mora y Rosales, 2001).

En los sistemas silvopastoriles y mejorados se obtuvieron los mayores puntajes (256 y 107, respectivamente), mientras que el sistema naturalizado sólo alcanzó 88, refiriéndose con esta calificación a la cantidad de servicios ecosistémicos que ofrece cada sistema implementado. En los sistemas pecuarios tradicionales, el uso de prácticas inadecuadas como el sobrepastoreo y la quema, ha conducido a la degradación de los recursos naturales (degradación de pasturas y suelos, contaminación de fuentes de agua, pérdida de biodiversidad). En estos sistemas, bien pueden hacerse transformaciones tecnológicas que impliquen mejoras y a la vez generen servicios ambientales, mediante el uso y adaptación de prácticas agrícolas mejoradas capaces de almacenar carbono en suelo y biomasa aérea, disminuir emisiones de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso), incrementar biodiversidad en flora y fauna y mantener fuentes de agua potable (Ibrahim, Mora y Rosales, 2001).

Los sistemas silvopastoril y mejorado cuentan con bosques secundarios, que además del establecimiento de diferentes forrajes, cumplen con algunas funciones de servicios medioambientales como:

Mantenimiento de la fertilidad del suelo, reducción de la erosión mediante insumo de materia orgánica al suelo, fijación de nitrógeno y reciclado de nutrientes.

Conservación del agua (cantidad y calidad) por vía de mayor filtración y escurrimiento de superficie reducido que podría contaminar las fuentes de agua.

Captura de carbono, por el gran potencial que tiene estos sistemas, al contar con mayor vegetación.

Conservación de la diversidad biológica en los paisajes fragmentados.

Aumento de la IBN por la utilización de especies que proveen este servicio.

Ayudan a disminuir las emisiones de GEI.

En sistemas ganaderos tropicales se han probado prácticas que cumplen con este doble fin. Así, la introducción de tecnologías silvopastoriles como la siembra de árboles en los potreros, el uso de cercas vivas, cortinas rompevientos, bancos forrajeros, al tiempo que mejoran la calidad de la dieta nutricional (disminuyendo la capacidad de emitir metano de los bovinos), ayudan a liberar áreas degradadas para permitir en ellas la regeneración natural, constituirse como sumideros de carbono y hábitat de diversos organismos o corredores que permiten la conectividad entre ecosistemas más estables (por ejemplo, entre bosques riparios). Los sistemas silvopastoriles si bien no son de uso generalizado, cada día se están difundiendo más por los beneficios probados que representan para el productor. Los agricultores y ganaderos se han interesado en el manejo de árboles en pasturas, debido a su valor para proveer alimento de alto valor nutritivo, especialmente durante la época seca, y por su valor económico como madera y fuente de servicios ambientales como sumidero de carbono y conservador de la biodiversidad (Harvey y Haber, 1999; Souza *et al.*, 2000, citado por Ibrahim, Mora y Rosales, 2001).

Ante estos planteamientos, se articuló un proyecto de acuerdo municipal para la región del Patía, en el cual se expuso el trabajo realizado por parte del Grupo de Investigación NUTRIFACA de la Universidad del Cauca, dando a conocer los resultados obtenidos de las evaluaciones efectuadas principalmente sobre servicios ecosistémicos para esta zona, obtenidos a partir de la implementación de tecnologías limpias como los SSP y la siembra de forrajes mejorados para la alimentación animal del ganado bovino, siendo este el sistema más extendido en esta zona y por lo tanto el que más lo afecta. De esta manera se puede trabajar en conjunto para el PSA, con los demás sistemas productivos que se tiene en esta región y que cumplan con los requisitos estipulados por el ente encargado por parte de la Alcaldía dentro del proyecto (Anexo A).

3.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ÚLTIMO MUESTREO DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LOS TRES SISTEMAS DE USO DE SUELO

Colombia pasó de emitir el 0,37% de las emisiones mundiales de GEI a arrojar el 0,42% en los últimos años, ocupando el lugar 40 a nivel mundial; de este valor, el sector forestal aporta el 36% y el agropecuario el 26%. La ganadería participa con el 12% de las emisiones (IDEAM, 2016).

En el departamento del Cauca la emisión total es del 5,74%. La responsabilidad de Colombia es disminuir el 20% en las emisiones globales de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, que son los principales causantes del cambio climático. Aunque el aporte es pequeño, ha ido en aumento en los últimos 20 años (IDEAM, 2016).

3.2.1 Gases de efecto invernadero del sistema naturalizado. En el cuadro 7 se presentan los resultados de los análisis correspondientes al muestreo de gases efecto invernadero, obtenidos en sistema naturalizado de cada finca en evaluación en el municipio de Patía.

Cuadro 7. Promedio de producción de gases de efecto invernadero en el sistema naturalizado (ppm)

| SISTEMA NATURALIZADO | | | |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| ITEM | CH ₄ (ppm) | CO ₂ (ppm) | N ₂ O (ppm) |
| F1 | 2,77 | 1105,19 | 0,49 |
| F2 | 2,71 | 1477,21 | 0,47 |
| F3 | 2,91 | 2107,74 | 0,45 |
| F4 | 2,70 | 2572,72 | 0,44 |
| F5 | 2,66 | 1750,96 | 0,53 |
| F6 | 2,63 | 2794,55 | 0,43 |
| PROMEDIO | 2,73 | 1968,06 | 0,47 |

Según los resultados observados en el último muestreo, las emisiones de los GEI no tienen diferencias significativas en ninguna de las fincas. Las pérdidas de carbono por respiración son significativamente mayores para la especie natural que una pastura mejorada. Los resultados indican que la emisión y captura de CH₄ y CO₂ es generada por una serie de factores como son las condiciones ambientales, sitios de mayor movimiento y remoción continua de materia orgánica, aportes de aguas continentales e influencia de actividad antrópica. El CH₄ es emitido por fuentes naturales como los humedales pero también por actividades humanas como fugas de los sistemas de gas natural y las crecientes actividades ganaderas (FAOSTAT, 2014).

3.2.2 Gases de efecto invernadero del sistema mejorado. En el cuadro 8, se presentan los resultados de los análisis de datos correspondientes al muestreo de gases efecto invernadero obtenidos en los sistemas mejorados de las diferentes fincas ubicadas en el municipio de Patía.

Cuadro 8. Promedio de producción de gases de efecto invernadero de los sistemas mejorados (ppm)

| SISTEMA MEJORADO | | | |
|------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| ITEM | CH ₄ (ppm) | CO ₂ (ppm) | N ₂ O (ppm) |
| F1 | 2,75 | 1063,08 | 0,48 |
| F2 | 2,67 | 2117,51 | 0,46 |
| F3 | 2,60 | 1546,42 | 0,46 |
| F4 | 2,69 | 1717,88 | 0,44 |
| F5 | 2,69 | 1928,19 | 0,44 |
| F6 | 2,66 | 3590,81 | 0,55 |
| PROMEDIO | 2,68 | 1993,98 | 0,47 |

Las praderas con base en forrajes mejorados retienen más Carbono en partes profundas del perfil del suelo, entre la capa arable (10-15 cm, generalmente) al tener unas raíces profundas. Esta característica hace que este Carbono esté menos expuesto a los procesos de oxidación y por tanto a su pérdida como gas invernadero (Botero, 2003). La producción de CH₄ es consecuencia inevitable de la fermentación de los carbohidratos en el rumen (Agarwal *et al.*, 2008), que se favorece cuando los animales se alimentan con forrajes de baja calidad, típicos de áreas tropicales.

El concepto de “LivestockPlus” está basado en tres principios: 1. Los forrajes mejorados se adaptan mejor a limitaciones bióticas y abióticas que los nativos o adaptados, y producen un excelente alimento en mayor cantidad; 2. Este tipo de forraje bien manejado en sistemas cultivo-ganado, optimizan la eficiencia del uso de los recursos a nivel de finca para producir más leche y carne, particularmente durante el período seco; y 3. La siembra de estos pastos solos o integrados con cultivos y árboles, restablecen la productividad del

sistema y generan múltiples servicios ecosistémicos, reduciendo la huella ambiental por unidad de producto animal.

3.2.3 Gases de efecto invernadero del sistema silvopastoril. El cuadro 9 expone los resultados de los análisis de datos correspondientes al muestreo de gases efecto invernadero obtenidos en los sistemas silvopastoriles de Patía.

Cuadro 9. Promedio de producción de gases de efecto invernadero de los sistemas silvopastoriles (ppm)

| SISTEMA SILVOPASTORIL | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| ITEM | CH ₄ (ppm) | CO ₂ (ppm) | N ₂ O (ppm) |
| F1 | 2,70 | 917,63 | 0,48 |
| F2 | 2,81 | 1459,81 | 0,47 |
| F3 | 2,66 | 1709,14 | 0,46 |
| F4 | 2,61 | 1485,08 | 0,42 |
| F5 | 2,63 | 1608,89 | 0,41 |
| F6 | 2,66 | 2300,98 | 0,49 |
| PROMEDIO | 2,68 | 1580,26 | 0,46 |

Es un hecho que los Sistemas Silvopastoriles poseen una mayor capacidad de fijación de C que los de sólo gramíneas, por contar con una mayor producción de biomasa tanto aérea como radical, lo que genera mayor captura de C orgánico en un rango de profundidad más amplio en el suelo. Los resultados obtenidos se pueden corroborar a través de lo expresado por Murgueitio *et al.* (2008) quienes afirman que “se mejora la capacidad productiva del suelo mediante el reciclaje de nutrientes, que está siendo aprovechado por el sistema radicular de las diferentes especies vegetales asociadas al sistema”.

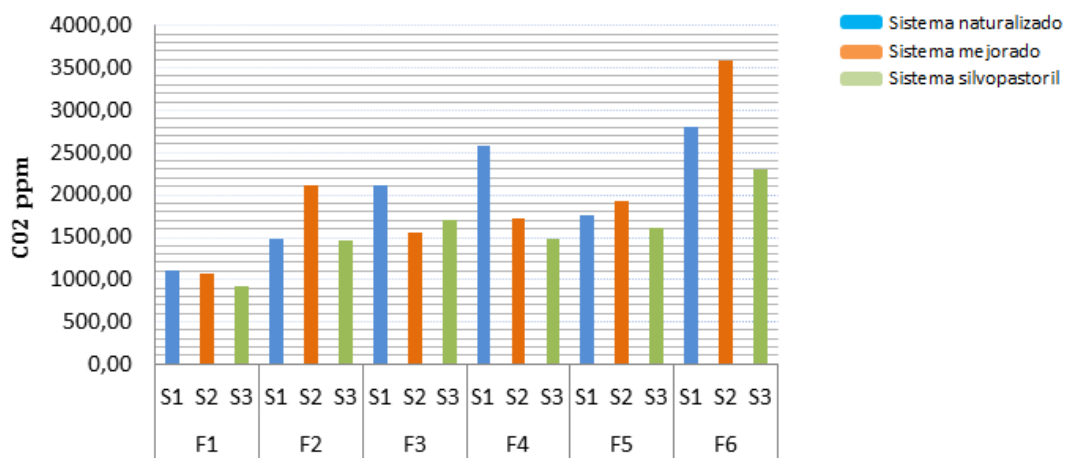
Galindo (2004) y Wei Lian *et al.* (2005) citados por Alonso (2011), aseveran que “la introducción de los árboles y arbustos como modificadores de la fermentación ruminal, con el propósito de reducir la metanogénesis, es un enfoque nuevo y atractivo. Se ha identificado un número de plantas que contienen compuestos antiprotozoarios y propiedades antimetanogénicas. Las saponinas y taninos presentes en muchas de ellas disminuyen la producción de metano, reducen los conteos de protozoos del rumen y cambian los patrones de fermentación”.

3.2.4 Comparación de gases efecto invernadero entre los tres sistemas de uso de suelo situados en el Valle del Patía. En los resultados obtenidos en el laboratorio del Centro de Investigación de Agricultura Tropical (CIAT), se observa que los sistemas mejorados y silvopastoriles se presentan como alternativas promisorias que sustentan una

menor emisión de gases de efecto invernadero. Así mismo, el sistema naturalizado fue el que presentó concentraciones de gas más altas en la mayoría de las fincas experimentales.

3.2.4.1 Dióxido de carbono (CO₂). Conforme con los resultados, se observa que el sistema naturalizado presentó mayor emisión de gas en las parcelas 1,3 y 4 con un valor 1105.19, 2107.74, 2572.72 ppm, respectivamente, y el sistema mejorado ofreció la mayor emisión en las parcelas 2, 5 y 6 con un valor de 2117.51, 1928.19 y 3590.81 ppm, respectivamente. El sistema silvopastoril fue el que menor emisión de gas produjo (Figura 6).

Figura 6. Cantidad de CO₂ entre los diferentes sistemas (ppm)

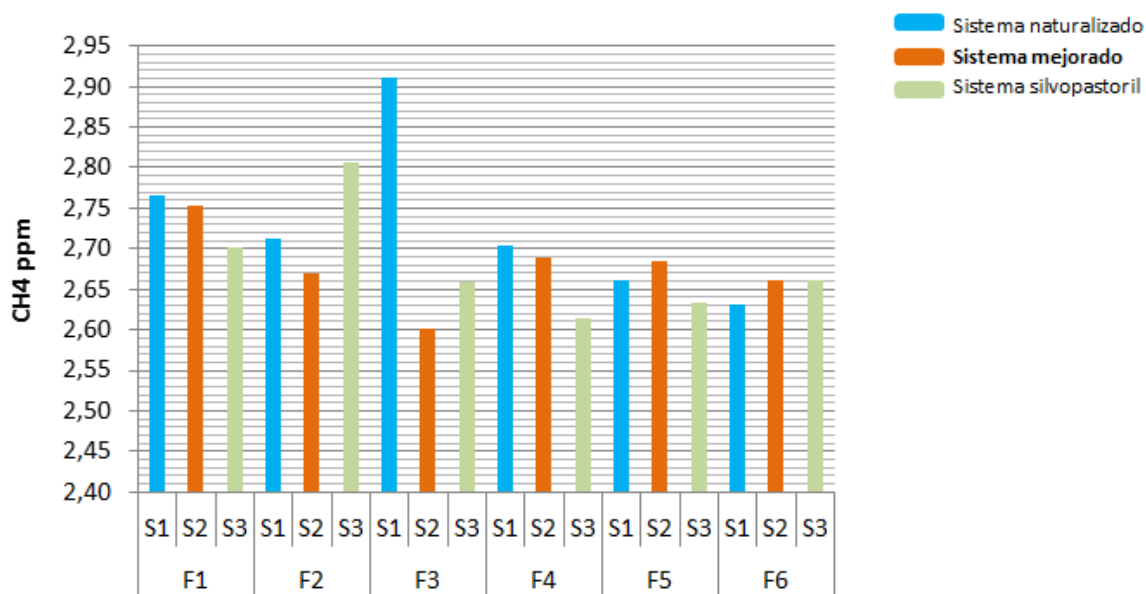


Las existencias de C en el suelo de los pastizales están influenciadas por el fuego, intensidad de pastoreo, gestión de los fertilizantes, encalado, riego y re-sembrado de especies de forraje más productivas que otras y pradera mezcladas con leguminosas que fijan N (Conant *et al.*, 2001; Follett *et al.*, 2001; Ogle *et al.*, 2004).

En los SSP el carbono puede acumularse en cuatro componentes: biomasa sobre el suelo, hojarasca, sistemas radiculares y carbono orgánico del suelo. Los sistemas radiculares representan la biomasa bajo el suelo y constituyen otro sumidero de carbono (Andrade e Ibrahim, 2003).

3.2.4.2 Metano (CH₄). Con los resultados se observa que el sistema naturalizado presenta mayor emisión en las parcelas 1, 3 y 4 (con un valor de 2.77, 2.91, y 2.70 ppm, respectivamente). Por el contrario, en el sistema mejorado se dio en la 5 (con 2.69 ppm) siendo este valor muy cercano a lo hallado en la parcela 6 del sistema silvopastoril (con un valor de 2.66 ppm), el cual presenta mayor emisión en la parcela 2 con un valor 2,81 ppm (Figura 7).

Figura 7. Cantidad de CH₄ entre los diferentes sistemas (ppm)

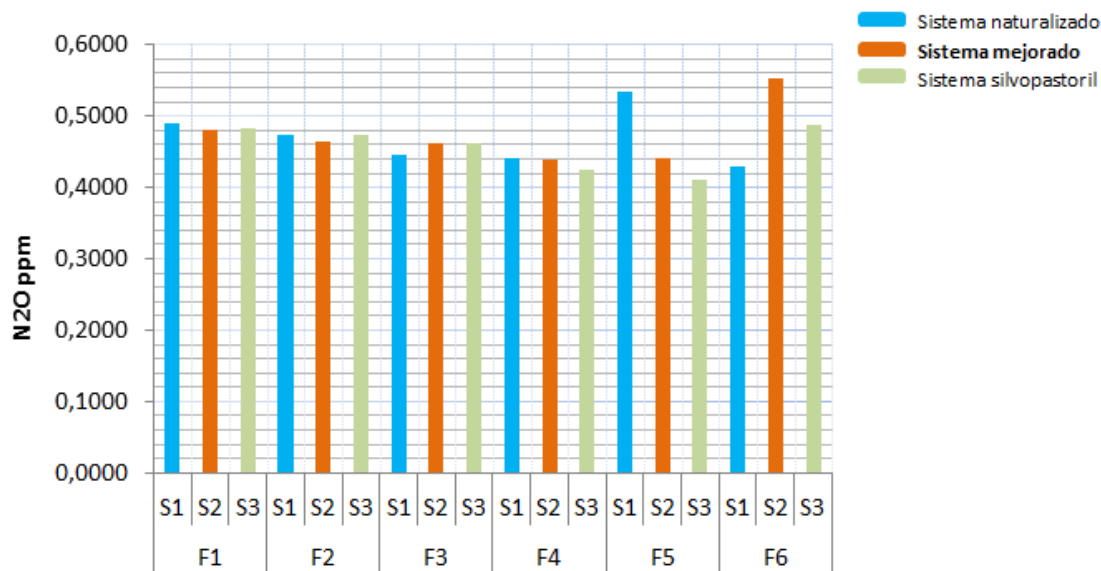


De la figura anterior, se puede concluir que las praderas con gramíneas de baja calidad nutricional, con sistemas de pastoreo continuo y baja disponibilidad forrajera, generan las mayores emisiones de CH₄ mientras que los datos más bajos corresponden a praderas mejoradas, con sistemas de pastoreo rotacional, fertilización y alta disponibilidad de forraje. Aumentar la calidad y cantidad de la dieta animal a partir de la alimentación con dietas más balanceadas con leguminosas, gramíneas y otras especies arbóreas, hace que haya una reducción de la emisión total de CH₄, siendo una alternativa viable para disminuir la producción de metano por emisiones de CH₄ en el estiércol (Carmona, Bolívar y Giraldo, 2005).

3.2.4.3 Óxido Nitroso (N₂O). Los resultados muestran que los sistemas presentaron emisiones de este gas muy similares entre las diferentes fincas; la variación se produjo especialmente en los sistemas naturalizados, con un valor de 0.5343 ppm de la finca 5 y el sistema mejorado con un valor de 0.5548 ppm. Esto pudo ser debido a la actividad microbiológica o por alguna fertilización que se haya realizado. Cabe mencionar que, en estas fincas, al momento de hacer el muestreo el suelo estaba recién arado (Figura 8).

De acuerdo a Oenema y Sapek (2000) y Saggari *et al.* (2007) citados por Núñez *et al.* (2012), los factores ambientales y de manejo de la pradera, como el tipo, cantidad y método de aplicación del fertilizante nitrogenado, sistema de pastoreo, compactación del suelo, tipo de pradera y drenaje, estarían controlando las emisiones de N₂O. La disminución en la emisión de este gas se puede deber a la implementación de SSP, ya sea en bancos forrajeros, cultivo en callejones o en cercas vivas, que en su mayoría son leguminosas las cuales aportan N al suelo y se disminuye la producción de N₂O a la atmósfera, al actuar como una fijación de tipo biológica y natural que ocasionan bajas pérdidas por volatilización (Millard *et al.*, 2004).

Figura 8. Cantidad de N₂O entre los diferentes sistemas (ppm)



3.3 APOYO A LAS ACTIVIDADES DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN NUTRICIÓN AGROPECUARIA NUTRIFACA

3.3.1 Apoyo al proyecto “Investigación del uso de especies forrajeras y no forrajeras multipropósito en sistemas de pequeños y medianos productores de carne en los municipios de Patía y Mercaderes, Cauca”. Mediante evaluaciones de persistencia de las especies forrajeras *Megathyrsus maximus*, *Chloris gayana* y *Cenchrus ciliaris* establecidas por bloques en diferentes predios ubicadas en el municipio del Patía, se recolectó información sobre las interacciones ambientales y su comportamiento agronómico (producción de forraje verde, materia seca, conteo de retoños, vigor, altura, cobertura, plagas y floración), utilizando un marco de 50cm por 50cm (Figura 9).

Figura 9. Aforo de especies forrajeras



Figura 10. Evaluación de forrajes y pesaje de muestras obtenidas en el aforo



Se colaboró con el secado de las muestras para la determinación del contenido de MS y la sistematización de datos de las evaluaciones agronómicas del grupo de investigación.

Figura 11. Pesaje y sistematización del peso de MS obtenido de cada muestra



3.3.2 Apoyo al proyecto “Estudio de emisiones de gases efecto invernadero y captura de carbono en sistemas de pequeños y medianos productores de carne en los municipios Patía y Mercaderes, Cauca”. Se contribuyó al alistamiento de materiales, herramientas y equipos para hacer los muestreos de suelo y su almacenamiento en las salidas de campo (Figura 12).

Figura 12. Alistamiento de materiales para muestreo



3.3.2.1 Apoyo en el muestreo de Inhibición Biológica de la Nitrificación (IBN). Se realizó el muestreo de suelo para análisis de IBN en ocho fincas de Patía; con visitas a los sitios donde se encontraban ubicados los sistemas de uso de suelo (naturalizado, mejorado y silvopastoril), con el fin de tomar las muestras de suelo para cuantificación de potencial IBN, utilizando un barreno de acero inoxidable con ½" de diámetro para hacer perforaciones en el suelo, a una profundidad media de 10 cm sobre la zona de raíces de los forrajes allí establecidos (Figura 13).

Figura 13. Penetración del barreno en el suelo y obtención de la muestra



Se realizó la rotulación y pesaje de muestras de suelo obtenidas en las fincas (figura 14), que hacen parte del proyecto de investigación en el municipio de Patía. Cada una fue almacenada en neveras con cadena de frío y aisladas de la luz para su conservación (figura 14), para luego ser llevadas al CIAT para el análisis de IBN.

Figura 14. Pesaje y rotulación de muestras



3.3.2.2 Apoyo en el muestreo de suelo para biomasa de raíces, captura de carbono y densidad aparente en ocho fincas del Patía y en La Sultana en el municipio de Timbío, Cauca. En cada uno de los lotes evaluados se hizo una calicata de 1m x 1m x 1m, con el fin de obtener las muestras de suelo correspondientes a diferentes profundidades. Para la toma de densidad aparente las muestras de suelo se tomaron en unos anillos de acero en las siguientes profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-100 cm. Para el muestreo de biomasa de raíces se utilizó un barreno de acero inoxidable

con un diámetro de ½” para hacer perforaciones en el suelo en las siguientes profundidades: 0-20, 20-40, 40-60 (Figuras 16, 17 y 18).

Figura 15. Almacenamiento de muestras para su conservación



Figura 16. Toma de muestras, anillos de acero con las muestras



Figura 17. Penetración del barreno en el suelo y muestras de suelo tomadas a diferentes profundidades



Figura 18. Calicata



Algunas de las labores implicaron rotulación y pesaje de muestras de suelo obtenidas en los ensayos, facilitando con ello su identificación y almacenamiento por variable a evaluar, previo transporte al CIAT, en donde se hicieron los diferentes análisis (Figura 19).

Figura 19. Rotulación y pesaje de muestras



3.3.3 Apoyo a actividades adicionales. Se acompañó en la siembra de las gramíneas *Brachiaria brizantha* cv. Toledo y *Megathyrsus maximus* cv Mombasa en diferentes localidades del municipio de Patía Cauca (Figura 20).

Figura 20. Mezcla de semilla con cisco de madera para siembra



Complementariamente, se apoyó al grupo en el establecimiento de leguminosas en un lote de la finca El Porvenir con enfoque de pradera ecoeficiente, donde se sembraron estacas de *Tithonia diversifolia* en surcos intermedios, algunos con varas con traslape a 15 cm de profundidad y en otras a chuzo a 30 cm de profundidad, con el suelo previamente preparado mecánicamente. Se hizo la siembra en cuadro de 20m por 20m de *Gliricidia sepium* para obtener un banco de proteína integrado (Figura 21).

Figura 21. Medición de terreno y siembra con traslape de *Tithonia diversifolia*



3.3.3.1 Muestreo de Macrofauna en tres sistemas de uso de suelo en el municipio de Patía. Se acompañó en labores de muestreo de Macrofauna del suelo en tres sistemas (naturalizado, mejorado y silvopastoril). Esta actividad se llevó a cabo en conjunto con trabajadores de campo, con quienes se revisó el suelo de manera manual y minuciosa, para recolectar y clasificar en recipientes con alcohol al 70%, separando lombrices del resto de especies encontradas (Figuras 22 y 23).

Figura 22. Obtención de monolito del suelo y recolección manual de macrofauna



3.3.3.2 Alistamiento de semillas para stand del grupo de investigación NUTRIFACA. Se efectuó el alistamiento de muestras de semillas forrajeras de *Megathyrus maximus*, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizantha* cv Toledo, Marandu, *Brachiaria humidicola*, entre otros, para ser llevados a un Stand del grupo ubicado dentro de la Audiencia Pública de Rendición de Cuentas por parte de la Gobernación del Cauca, realizado en el municipio de Patía (Figura 24).

Figura 23. Muestra de suelo y materiales para la recolección de Macrofauna



Figura 24. Empaque de muestras de semillas forrajeras



3.3.3.3 Alistamiento de material vegetal para algunos productores ganaderos de la región del Patía. En el vivero Las Palmas ubicado en el municipio del Patía, se alistó material vegetal en canastillas para ser llevados a algunos productores en distintas veredas de la región, como complemento a la siembra realizada de praderas, para obtener bancos forrajeros destinados a la alimentación de los animales; el almácigo estaba compuesto básicamente de *Desmodium velutinum*, *Tithonia diversifolia* y *Leucaena leucocephala*, entre otras, en una labor que se llevó a cabo durante dos jornadas con el apoyo de tres trabajadores de la región (Figura 25).

Figura 25. Organización de material vegetal en canastillas para transporte



Figura 26. Entrega de material vegetal a algunos productores ubicados en distintas veredas del Valle del Patía



3.3.3.4 Acompañamiento en exposición del trabajo realizado por el Grupo de Investigación NUTRIFACA. Esta importante labor se desarrolló en el Stand ubicado en la Audiencia Pública de Rendición de Cuentas por parte de la Gobernación del Cauca, el día 23 de marzo del 2018. En el Stand se dio a conocer el trabajo que se viene realizando en la región del Valle del Patía y se compartieron algunas muestras y plántulas del material utilizado para el mejoramiento de las praderas para la alimentación animal (Figura 27).

Figura 27. Exposición en la Audiencia Pública de Rendición de Cuentas por parte de la Gobernación del Cauca



4. CONCLUSIONES

En el municipio del Patía, la mejoría de los sistemas silvopastoriles se evidencia en el incremento de la productividad y la calidad de los sistemas ganaderos, al tiempo que genera servicios ambientales, principalmente en la captura de carbono y la disminución de las emisiones GEI. La importancia de estos procesos, radica en que los productores ganaderos de la región pueden continuar con la implementación de tecnologías ecoeficientes, que contribuyen a la rehabilitación y conservación del medio ambiente. Como apoyo a esta tendencia, se propone el PSA como un método de compensación para el mantenimiento y/o el incremento en la calidad y cantidad de servicios ecosistémicos para esta región.

La alta cobertura arbórea de los SSP, ha mostrado resultados significativos en la protección del suelo, secuestro de carbono, aumento de la fertilidad y la conservación de la biodiversidad, al incrementar la producción de biomasa y materia orgánica.

Durante la ejecución del proyecto se evidenció la importancia de las prácticas profesionales en los territorios, en cuanto contribuyen con ideas innovadoras a la conservación del medio ambiente por medio de la aplicación de los conocimientos técnicos adquiridos en la academia, la organización administrativa para el trabajo en oficina, la entrega de informes oportunos y el manejo de diversos tipos de software, como herramientas complementarias para proponer y desarrollar diferentes actividades productivas y sociales.

5. RECOMENDACIONES

Se hace necesario evaluar cada uso del suelo en las fincas a partir de la aplicación de los índices ecológicos, para evidenciar cambios importantes con la implementación de los SSP en cercas y en potreros, y verificar si los forrajes mejorados generan consecuencias negativas para las áreas de bosques primarios.

Existe un proceso definido para evaluar la viabilidad económica de un esquema de Pago por Servicios ambientales, el cual se recomienda tener en cuenta una vez se definan los pormenores técnicos, para la procedencia de la estrategia propuesta en el presente proyecto de acuerdo.

Es importante el papel del gobierno para establecer y ejercer de manera centralizada un programa de subsidios. La creación de mercados constituye *per se* un proceso político, que requiere la intervención del Estado en alguna escala (nacional/regional/local); sin embargo, el esquema actual del programa pasa por alto funciones clave atribuibles al Estado, ya que sin su participación el PSA no es posible.

Se debe hacer un acompañamiento constante por parte de la Alcaldía, para verificar el cumplimiento de los requerimientos por parte de los productores, para ser beneficiarios del PSA.

Es necesaria la participación activa del sector privado y de los entes encargados en los municipios, ya que la inversión que tiene el municipio para el PSA no es suficiente. Un incremento de presupuesto conseguiría que la participación inicial de unos pocos se generalice a la totalidad de productores que hacen esta transformación y reciban la compensación en más de una ocasión.

Se recomienda que los esquemas de PSA se apliquen por más de dos años, para garantizar el establecimiento y la sostenibilidad de los sistemas silvopastoriles, la asistencia técnica y el equilibrio.

BIBLIOGRAFÍA

AGARWAL, N.; KAMRA, D.N.; CHATTERJEE, P.N.; KUMAR, R. y CHAUDHARY, L.C. In vitro methanogenesis, microbial profile and fermentation of green forages with buffalo rumen liquor as influenced by 2-bromoethanesulphonic Acid. En: Asian-Australian Journal Animal Sciences, 2008.

ALCALDÍA MUNICIPAL DEL PATÍA. Plan de Desarrollo Municipal. Cauca 2012-2015.

_____. Plan de Ordenamiento Territorial Patía Cauca Caracterización Biofísica. Documentos Municipales. El Bordo, Cauca: 2006, 50 p.

ALONSO, J. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. En: Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 2011, vol. 45, no. 2, pág. 107-115.

ANDRADE, H. e IBRAHIM, M. ¿Cómo Monitorear el secuestro de carbono en los Sistemas Silvopastoriles? En: Agroforestería en las Américas, 2003, vol. 10, pág. 39-40.

ARENAS, L. Diseño de Cámara Estática cerrada y medición de flujos de gases de efecto invernadero (GEI) en suelos. Tesis Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Administración. Palmira, Colombia: 2015.

ARÉVALO, A.L. Inhibición Biológica de la Nitrificación (IBN) en arroz (*Oryza sativa* L.) en suelos del Piedemonte llanero. Tesis Maestría en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira, Colombia: 2016.

BENAVIDES, H; LEÓN, G. Información técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el Cambio Climático. IDEAM. 2007.

BHAGWAT, A.S.; WILLIS, C.; BIRKS, J. y WHITAKER, R. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? En: Trends in Ecology and Evolution, 2008, vol. 23, pág. 261-267.

BOTERO, J. Agroforestería para la Producción Animal en América Latina. (2: Conferencia Electrónica FAO, 2003).

BUTTERBACH-BAHL, K.; KIESE, R. y LIU, C. Measurements of biosphere-atmosphere exchange of CH₄ in terrestrial ecosystems. En: Methods in enzymology, 2011, vol. 495, pág. 271–287.

CARMONA, J.C; BOLÍVAR, D.M; GIRALDO, L.A. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. En: Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 2005, vol. 18, no. 1, pág. 49-63.

CARO, C; y TORRES, M.A. Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas. En: Orinoquia, 2015, vol. 19, no.2, pág. 237-252.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 870 de 25 de mayo de 2017. Por el cual se establece el Pago por Servicios Ambientales y otros incentivos a la conservación. El Ministerio. Bogotá D.C.: 2017.

_____. _____. Decreto 953 de 17 de mayo de 2013. Por el cual se reglamenta el artículo 111 de la Ley 99 de 1993 modificado por el artículo 210 de la Ley 1450 de 2011. El Ministerio. Bogotá D.C.: 2013.

_____. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Unidad Administrativa del Sistema de Parques Nacionales Naturales, WWF, Conservación Internacional y The Nature Conservancy. Reconocimiento de los Servicios Ambientales: Una Oportunidad para la Gestión de los Recursos Naturales en Colombia. Bogotá: 2008, 203 p.

CONANT, R.T.; PAUSTIAN, K. y ELLIOTT, E.T. Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. En: Ecological Application, 2001, vol. 11, pág. 343-355.

DE ALBA, J. El libro de los bovinos criollos de América. Serie Biblioteca Básica de Agricultura. Texcoco, México: 2011, 444p. ISBN 9786077699118.

DE PETRE, A.; KARLIN, U.O.; ALI, S. y REYNERO, N. Alternativas de sustentabilidad del bosque nativo del Espinal. Área Captura de Carbono. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas. Argentina Banco Mundial, no. 4085-AR. 2006.

DEMANET, R. Pastizales en el sur de Chile. En: Publicación Docente Praderas y pasturas, 2013. Universidad de la frontera. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Producción.

DENMEAD, O.T. Approaches to measuring fluxes of methane and nitrous oxide between landscapes and the atmosphere. En: Plant and Soil, 2008, vol. 309, pág. 5–24.

DETWILLER R. y HALL C. Tropical forest and the global carbon cycle. En: Science, 1988, vol. 239, pág. 42-47.

DOMENECH, X. Una atmósfera cambiante. 1994 Citado por MELENDI, Daniel. Química ambiental. Ediciones Miraguano. En: Investigación y Ciencia. On the Role of Methane in Atmospheric Chemistry, vol. 24, no. 1, pág. 52-55.

ECOVERSA J. La experiencia colombiana en esquemas de Pagos por Servicios Ambientales. Bogotá, Colombia: 2005.

FAO. Captura de Carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informes sobre recursos mundiales de suelos. París. Francia: 2002.

FAO/REDLACH. Foro electrónico sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales en Cuencas. Aplicación de Pagos por Servicios Ambientales en manejo de Cuencas Hidrográficas: lecciones de experiencias recientes en América Latina. 2004.

FAOSTAT. The Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. 2014.

FISCHER, M.; RAO, I.; AYARZA, M.; LASCANO, C.; SANZ, J.; THOMAS, N. y VERA, R. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American Savanna Nature. 1994, pág. 236-238.

FISHER, M.J.; BRAZ, S.P.; DOS SANTOS, R.S.M.; URQUIAGA, B.J.R. y BODDEY, R.M. Another dimension to grazing systems: Soil Carbon. En: Tropical Grasslands, 2007, vol. 41, pág. 65-83.

FOLLETT, R.; KIMBLE, J. y LAL, R. The Potential of U.S. Grazing Lands to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida: 2001.

GIRALDO PINEDA, C. Pago por Servicios Ambientales en Colombia. Tesis Maestría en Derecho. Universidad de Medellín. Antioquia: 2017

GONZÁLEZ, A. y RIASCOS, E. Panorama latinoamericano del pago por servicios ambientales. En: Gestión y Ambiente, 2007, vol. 10, no. 2, pág. 129-144.

HERNÁNDEZ, J; TIRADO, D.R. y BELTRÁN, I. Captura de carbono en los suelos. En: Boletín Científico del IDBI. Universidad Autónoma de Hidalgo, 2014.

HONORIO, E, y BAKER, T. Manual para el Monitoreo del Ciclo de Carbono en Bosques Amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Universidad de Leeds. Lima: 2010, 54 p.

IBRAHIM, M.; MORA, J. y ROSALES, M. Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales. Conferencia electrónica (1: CATIE, Turrialba, Costa Rica: 2006).

IDEAM INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia. Bogotá D.C.: diciembre, 2007.

_____. Inventario nacional y departamental de gases efecto invernadero. Colombia: 2016.

LOK, S; FRAGA, S.; NODA, A. y GARCÍA, M. Almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno. En: Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 2013.

MAQUEDA, M.R.; CARBONELL, M.V.; MARTÍNEZ, E. y FLÓREZ, M. Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en la agricultura. En: Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, 2005, no. 4, pág. 14-18.

MAYRAND, K. y PAQUIN, M. Pago por servicios ambientales: Estudio y evaluación de esquemas vigentes. Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). Unisfera International Centre. Montreal: 2004.

MENESES, J, y HURTADO, X. Estudio de los Servicios Ecosistémicos en el Sistema Integrado de Producción Agropecuaria (Sipa) en la Finca La Sultana, Vereda Urubamba – Municipio de Timbío. Tesis Ingeniería Agropecuaria. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agrarias. Popayán: 2015.

MILLARD, N.; NDUFA, J.; CADISCH, G. y BAGGS, E. Nitrous oxide emissions following incorporation of improved-fallow residues in the humid tropics. En: Global Biogeochem Cycle, 2002, vol. 18, pág. 1032.

MINAMI, K.; GOUDRIAAN, I.; LANTINGA, E.; KIMURA, T. y BAKER, M. Significance of grasslands in emission and absorption of greenhouse gases. En: Grasslands for our world, 1993.

MORALES, L.A. Alternativas de pagos por Servicios Ecosistémicos como instrumento de ordenamiento ambiental territorial en comunidades indígenas en Antioquia: estudio de caso Resguardo Indígena Embera Chamí Karmata Rua, Suroeste antioqueño. Tesis Maestría en Ciencias Sociales. Universidad Nacional de Colombia. Medellín: 2016.

MORALES, S.; VIVAS, N.J. Y TERÁN, V.F. Ganadería eco-eficiente y la adaptación al cambio climático. Popayán: 2016.

MUHAMMAD, I.; MORA, J. y ROSALES, M. Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales. Conferencia electrónica (1: CATIE, Turrialba, Costa Rica: 2006).

MURGUEITIO, E.; CHARÁ, J.; BARAHONA, R.; CUARTAS, C. y NARANJO, J. Los Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPI), Herramienta de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático. Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria CIPAV. Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 2014.

MURGUEITIO, E.; CUARTAS, C. y NARANJO, J. Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo. Fundación CIPAV. Cali, Colombia: 2008.

MURGUEITIO, E.; URIBE, F. y TAFUR, O. Los Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) en el trópico húmedo: reconversión ambiental con producción ganadera rentable. Memorias de Foros 50 Años de FEDEGAN. Nutrición Animal. Florencia, Caquet: 2013.

MURGUEITIO, E.; CALLE, Z.; URIBE, F.; CALLE, A. and SOLORIO, B. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. En: Forest Ecol Manag., 2011, vol. 261, pág. 1654-1663.

NARANJO, J.; CUARTAS, C.; MURGUEITIO, E.; CHARÁ, J.; BARAHONA, R. Balance de gases de efecto invernadero en sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* en Colombia. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, CIPAV. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia: 2012.

NAVARRO, H.; SANTIAGO, A.; MUSALEM, M.; VIBRANS, H. y PÉREZ, M.A. La diversidad de especies útiles y sistemas agroforestales. En: Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 2012, vol. 18, no 1, pág. 71-86.

NIEUWENHUYSE, A.; AGUILAR, M.; MENA, M.; NÁJERA, K. y OSORIO, M. La siembra de pastos asociados con maní forrajero. Serie Técnica. Manual Técnico no 82. CATIE. 74 p. 2008.

NÚÑEZ, J. Potencial de la inhibición biológica de la nitrificación (IBN) en forrajes tropicales. Tesis Maestría en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira, Colombia: 2015.

NÚÑEZ, P.; DEMANET, R.; JARA, A. y MORA, M. Emisión de amoníaco y óxido nítrico en diferentes sistemas de pastoreo en el sur de Chile. En: Revista Agropecuaria y Forestal APF, 2012, vol. 1, no. 1, pág. 21-28.

OGLE, S.M.; CONANT, R.T. y PAUSTIAN, K. Deriving grassland management factors for a carbon accounting approach developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change. En: Environmental Management, 2004, vol. 33, pág. 474-484.

PETERS, M.; RAO, I.; CASTRO, A.; HYMAN, G.; MILES, J.; ARANGO, J.; MORETA, D.; RINCÓN, A.; BAQUERO, J. y GUIMARAES, E. Potencial de los forrajes tropicales para la mitigación de emisiones de gases de efecto Invernadero. Taller Internacional: Hacia una Política Nacional de Ganadería Agroclimáticamente Sostenible. Bogotá – Colombia: 2013.

PEZO, D; IBRAHIM, M. Sistemas Silvopastoriles: Una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos. Foro Internacional sobre Pastoreo Intensivo en Zonas Tropicales (1: FIRA, Banco de México, Veracruz, México: 1996).

QUINTO, L.; MARTÍNEZ, H.; PIMENTEL, L. y RODRÍGUEZ, D. Planeación de un sistema silvopastoril en Huatusco, Veracruz aplicando el método Netzahualcōyotl. En: Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 2009, pág. 141-146.

RAMÍREZ, L.; SANDOVAL, C.; KU VERA, J. y ESTRADA, J. Integración del componente arbóreo en los sistemas de producción animal tropical. Simposio Internacional de Forrajes Tropicales en la Producción Animal (1: Eds. E. Velasco, R. Pinto y B. Martínez. 2005, pág. 111).

RAO, I. *et. al.* LivestockPlus: La intensificación sostenible de sistemas agrícolas basados en forrajes para mejorar los medios de vida y los servicios ecosistémicos en los trópicos.

RAYNAUD, D., JOUZEL, J.; BARNOLA, J.M.; CHAPPELLAZ, J.; DELMAS, R.J. y LORIUS, C. The ice core record of greenhouse gases. En: Science, 1993, vol. 259, pág. 926-934.

ROMERO, L.; BATISTA, M.F. y VARGAS, J. Diversidad y Servicios Ecosistémicos del Bosque Tropical Seco de la cuenca alta del Valle del río Magdalena. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. 2014.

SUBBARAO G.V. *et al.* Evidence for biological nitrification inhibition in *Brachiaria* pastures. En: PNAS, 2009, vol. 106, no. 41.

SUBBARAO, G.V. *et al.* Biological nitrification inhibition (BNI) - is it a widespread phenomenon? En: Plant and Soil, 2007a, vol. 294, pág. 5-18.

SUBBARAO, G.V.; WANG, H.Y.; ITO, O.; NAKAHARA, K. & BERRY, W.L. NH₄⁺ triggers the synthesis and release of biological nitrification inhibition compounds in *Brachiaria humidicola* roots. En: Plant and Soil, 2007, vol. 290, pág. 245-257.

TOLEDO, J. Manual para la evaluación agronómica. Red internacional de evaluación de pastos tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. Cali, Colombia: 1982.

UDCA UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES. Diversidad y servicios ecosistémicos del bosque tropical seco de la cuenca alta del valle del río Magdalena. 2014.

VERGARA V., H. Patrones de la vegetación y tipos de uso de la tierra en el Valle del Patía. En: Colombia Forestal, 2015, vol. 18, no. 1, pág. 25-45.

VERHULST, N; FRANÇOIS, I; GOVAERTS, B. Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: Entre el mito y la realidad del agricultor. CIMMYT Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 2015.

VILLAVICENCIO, A. Propuesta Metodológica para un Sistema de Pago Por Servicios Ambientales en el Estado de México. En: Cuadernos Geográficos, 2009, vol. 44, no. 1. 31p.

YAMAMOTO, W.; DEWI, I.A. & IBRAHIM, M. Effects of silvopastoral areas on milk production at dual-purpose cattle farms at the semi-humid old agricultural frontier in central Nicaragua. 2007.

YEPES, F. Ganadería y transformación de ecosistemas: Un análisis ambiental de la política de apropiación territorial. Bogotá, Colombia: 1995.

ZAPATA, Y.; MURGUEITIO, E.; MEJÍA, C.; ZULUAGA, A.; IBRAHIM, M. Impacto del pago por servicios ambientales y la asistencia técnica en la adopción y permanencia de sistemas silvopastoriles en la cuenca del río La Vieja, Colombia. En: Agroforestería de las Américas, 2006, n0. 45.

ZULUAGA, A.F.; GIRALDO, C. y CHARÁ, J. Servicios Ambientales que proveen los sistemas silvopastoriles y los beneficios para la biodiversidad. Manual 4, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGAN, CIPAV, FONDO ACCION, TNC. Bogotá, Colombia: 2011, 36 p.

ANEXOS

ANEXO A. Acuerdo para la implementación de un PSA para el municipio de Patía, Cauca

DEPARTAMENTO DEL CAUCA MUNICIPIO DEL PATÍA Alcaldía Municipal

PROYECTO DE ACUERDO No. ----- de 2018
(Mes-----)

POR MEDIO DEL CUAL SE DEFINEN LAS POLITICAS PARA EL PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES EN LAS FINCAS DONDE SE ESTAN IMPLEMENTANDO SISTEMAS SILVOPASTORILES Y FORRAJES MEJORADOS EN EL MUNICIPIO DEL PATÍA

EL HONORABLE CONCEJO MUNICIPAL DEL PATÍA, Cauca, en uso de las atribuciones que le confieren los artículos 65, 79, 80 y 313 de la Constitución Política de 1991.

CONSIDERANDO

Lo establecido en el artículo 65 de la ley 99 de 1993, el artículo 80 de la Constitución Política de Colombia y el Decreto 870 de 2017

- Que en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial PBOT del municipio del Patía se establecen conjuntamente con la comunidad los objetivos, políticas, programas y proyectos para orientar y administrar el desarrollo físico del Municipio y la utilización del suelo, en armonía con el medio ambiente, que sea equitativo, sostenible y armónico en el que sobresalga la función social y ecológica de la propiedad, el interés general sobre el particular y la distribución equitativa de cargas y beneficios; y se garantice la seguridad alimentaria y las fuentes de trabajo a partir de la recuperación del equilibrio ecológico y de la base productiva del municipio.
- Que en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial PBOT del municipio del Patía es necesario propender por la adopción de un modelo territorial en el que los recursos naturales municipales puedan ser recuperados, protegidos, conservados y aprovechados de forma sostenible, controlando y mitigando de forma prioritaria la sequía y estableciendo alertas tempranas para el manejo del fenómeno del Pacífico.
- Que en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial PBOT del municipio del Patía establece como principio promover el manejo concertado de los recursos naturales

que constituyen la Estructura Ecológica Principal Regional, ayudando a la preservación del patrimonio ecológico, cultural e histórico del Municipio del Patía, representado por los recursos naturales, el medio ambiente y la identidad cultural.

- Que en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial PBOT del municipio del Patía se busca garantizar la sostenibilidad ambiental a las futuras generaciones con un uso adecuado de cantidad y calidad de los recursos naturales y el medio ambiente.
- Que en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial PBOT del municipio del Patía busca definir la vocación de la producción de las distintas zonas ambientales que conforman el área rural para que se implante de forma diversificada la producción agrícola por medio de cultivos sostenibles y más rentables. Teniendo como base el aprovechamiento de los recursos naturales a través de la diversificación, introducción de los principios de racionalidad ecológica y la tecnificación de la producción agropecuaria. Todo esto con la participación de la comunidad mediante la toma de decisiones sobre el uso racional de los recursos naturales, igualmente se propone la creación de espacios de socialización, capacitación y concertación.
- La Universidad del Cauca viene realizando estudios en diferentes localidades dentro del municipio del Patía a través del grupo de investigación Nutrición Animal NUTRIFACA, apoyados por el CIAT (CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DEL TRÓPICO), en estos lugares se está llevando a cabo la evaluación de diferentes parámetros ambientales para definir como se encuentran los suelos y el medio ambiente, encontrándose grandes problemas de degradación, disminución de la biodiversidad, emanación de grandes cantidades de gases de efecto invernadero (GEI), etc., motivo por el cual se requirió la implementación de tecnologías agropecuarias que ayuden a disminuir los problemas ambientales generados por las actividades antropogénicas, además de ser esta una zona que presenta una dinámica de degradación y desertificación influenciadas por los cambios naturales y climáticos.
- Desde el año 2001 en la Universidad del Cauca se creó el grupo de Investigación Nutrición Agropecuaria (NUTRIFACA), quienes vienen haciendo uso de tecnologías de producción limpia en el municipio del Patía y sus alrededores, territorios en los que se están implementando sistemas silvopastoriles y forrajes mejorados para la alimentación animal. Haciendo un adecuado manejo ambiental se pretende generar beneficios económicos y ecológicos para el productor que actualmente en esta región no existen, buscando estimular el cuidado de los recursos naturales existentes por medio del Pago por Servicios Ambientales (PSA), fundamentado en principios de sustentabilidad ambiental, manejo novedoso de recursos naturales y el desarrollo de políticas ambientales para proteger los ecosistemas y contribuir al crecimiento económico local, todo esto teniendo en cuenta el incremento de la producción ganadera en esta región, ya que se les está garantizando a los productores la obtención de mayor cantidad de forraje en cualquier época del año en cantidad y con buena calidad.
- Es así como el grupo de investigación Nutrición Agropecuaria NUTRIFACA, de la Universidad del Cauca, adelanta estudios con respecto a la forma más adecuada de retribuir, por medio de canjes ecológicos y con proyectos de desarrollo agropecuario,

a los productores de la región del Patía, con el fin de estimular el cuidado del medio ambiente, acciones que proveen de bienes y servicios ecosistémicos a diferentes usuarios en la región. La compensación que consta del 1% es voluntaria y se efectúa haciendo el intercambio en especie, ésta se recibirá de las entidades reguladoras de la protección del medio ambiente mediante el reconocimiento social y económico de los servicios ambientales.

- A través de las investigaciones se pretendió identificar sistemas ganaderos con bajas emisiones de GEI, además se observó la disminución de los suelos degradados, siendo esto visible por medio del aumento de la producción de forraje como alimento para los animales en los sistemas establecidos (naturalizado, mejorado y el silvopastoril) en el Valle del Patía. Las actividades agropecuarias se han asociado con el incremento de óxido nitroso hacia la atmósfera, ya que las prácticas de manejo (Fertilización y mecanización) contribuyen con la dinámica del nitrógeno, incrementando la emisión de Óxido nitroso N_2O y limitando el almacenamiento de Metano CH_4 . Sin embargo, los sistemas agropecuarios se han constituido en sumideros de GEI, dependiendo del manejo que se dé a estos. Por tal razón en cuatro sistemas instaurados en 21 sitios del Valle del Patía Pradera Naturalizada – PN, Pradera Mejorada - PM, Silvopastoril - SSP, Pradera Degradada - PD) de clima cálido (msnm: 860; T°: 27°C; ppa: 1200 mm y HR: 74%) se han realizado mediciones de las emisiones de CH_4 , N_2O y CO_2 , con el fin de establecer estrategias de manejo en pro de la mitigación y adaptación al cambio climático de acuerdo al manejo y condiciones de los sistemas representativos en la zona de estudio así como en las regiones localizadas en trópico bajo.
- El Decreto 870 del 25 de mayo de 2017, establece las directrices para el desarrollo de los Pagos por Servicios Ambientales (PSA) y otros incentivos a la conservación que permitan el mantenimiento y generación de servicios ambientales en áreas y ecosistemas estratégicos, a través de acciones de preservación y restauración en Colombia. La ejecución del PSA constituye un reconocimiento económico inmediato de carácter voluntario por las acciones que permitan el mantenimiento y generación de servicios ambientales, realizadas en áreas y ecosistemas ambientalmente estratégicos con presencia de cultivos de uso ilícito, conflictos por usos del suelo, entre otros, constituyéndose en áreas de especial importancia para la construcción de una paz estable y duradera. Con el PSA se crean nuevas alternativas económicas que desincentivan usos del suelo que generen pérdida de biodiversidad y permiten a su vez, crear lazos de confianza entre las comunidades con el Estado fortaleciendo al tiempo, los valores culturales y de reconocimiento social asociados a la conservación de áreas y ecosistemas estratégicos para el desarrollo sostenible, así como complementar a los instrumentos de gestión ambiental del Estado, todo esto bajo el imperativo de que los recursos naturales renovables son de propiedad de la nación y es al Estado a quien le corresponde la formulación de las políticas y regulaciones para su adecuada administración.
- Teniendo en cuenta lo anterior el PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES es un mecanismo relativamente nuevo, que favorece las externalidades positivas gracias a las transferencias de recursos financieros entre los beneficiarios de ciertos servicios ecológicos y los prestadores de servicios o los gestores de recursos ambientales. El principio fundamental del PSA es que los colectivos que proveen los servicios

ambientales deben recibir una compensación y los que se benefician de ellos deben pagar por el bien que reciben.³

- Que en desarrollo de este proceso, se elaboró el documento técnico denominado "**PROPUESTA DE UN ESQUEMA PARA EL PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES EN EL MUNICIPIO DEL PATÍA – CAUCA**", el cual hace parte de este acto administrativo y recoge los argumentos técnicos que sirven de soporte ante la CRC, Y EL HONORABLE CONCEJO MUNICIPAL DEL PATIA, para adoptar la decisión que se recoge en el presente Acuerdo.

ACUERDA

ARTICULO PRIMERO. Promover el Pago por Servicios Ambientales en el municipio del Patía a los productores de ganadería bovina en primera instancia, por medio de canjes ecológicos establecidos con la comunidad ubicada dentro de los predios donde se está llevando a cabo la implementación de sistemas silvopastoriles y forrajes mejorados.

PARÁGRAFO: Con el PSA se pretende disminuir el impacto causado por los usos deficientes en las actividades agrarias, queriendo abarcar no solo la producción ganadera, sino también, cada sistema productivo existente en la región del Patía que este contribuyendo a su rehabilitación por medio de la producción de servicios ecosistémicos.

ARTICULO SEGUNDO. Establecer las fincas que serían beneficiadas con algún estímulo monetario o en especie con el fin de promover el cuidado del medio ambiente con la conservación y protección de predios que sirven como corredores biológicos, reservas para la biodiversidad y disminución de la contaminación provocada por las diferentes actividades agropecuarias.

Tabla 1. Uso del suelo en tres sistemas, en el Valle de Patía

| | | FINCAS EN ESTUDIO |
|---|-----------------------|-------------------|
| USOS DE SUELO EN CUATRO SISTEMAS, EN EL VALLE DEL PATÍA | SISTEMA NATURALIZADO | EL SOL |
| | | CALIFORNIA |
| | | EL EDÉN |
| | | LA PACHUCA |
| | | H. GUACHICONO |
| | SISTEMA MEJORADO | EL PORVENIR |
| | | CALIFORNIA |
| | | LOTE 2 |
| | | LA PACHUCA |
| | | H. GUACHICONO |
| | SISTEMA SILVOPASTORIL | EL PORVENIR |
| | | CALIFORNIA |
| | | EL EDÉN |
| | | MANZANILLO |
| | | H. GUACHICONO |

³ MAYRAND, K. y PAQUIN, M. Pago por servicios ambientales: Estudio y evaluación de esquemas vigentes. Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). Unisfera International Centre. Montreal: 2004.

* **Sistema naturalizado:** Pradera conformada por especies que han sido introducidas y que en el transcurso del tiempo se han adaptado a las condiciones climáticas, edáficas y antrópicas del lugar donde se han desarrollado. También se puede decir que es una comunidad polifítica, primordialmente dominada por gramíneas perennes⁴.

* **Sistema mejorado:** Aquella en la cual se busca tener un contenido equilibrado de plantas forrajeras, encaminadas al aumento de la cantidad y calidad del forraje y la distribución más homogénea de la productividad, de modo que es posible alcanzar un mayor potencial productivo, teniendo siempre presente que este tipo de pradera es muy exigente en fertilidad de suelos y uso racional del pastoreo⁵.

* **Sistema silvopastoril:** Sistema que contiene arreglos espaciales y temporales de plantas leñosas perennes (árboles y/o arbustos), que interactúan con los componentes tradicionales de la producción pecuaria (forrajeras herbáceas y animales) visualizados y manejados de forma integral, con el mayor aprovechamiento de las interacciones que se presenten. Es una alternativa planteada para obtener producciones sostenibles, que además contribuyan a mitigar el impacto ambiental de sistemas tradicionales de producción⁶.

ARTICULO TERCERO. Determinar que en las fincas beneficiadas deberán cumplirse los siguientes objetivos de conservación:

Los objetivos de conservación identificados para los diferentes predios se relacionan con la importancia de éstos para los diferentes actores locales y aportan a los objetivos generales de conservación del país referentes a *“garantizar la oferta de bienes y servicios ambientales esenciales para el bienestar humano”, “garantizar la permanencia del medio natural, o de alguno de sus componentes, “disminuir la emanación de los gases de efecto invernadero y la recuperación de suelos degradados en el municipio”, así como “aumentar la inhibición biológica de la nitrificación y el sostenimiento de la biodiversidad de la región”* como fundamento para el soporte de la diversidad cultural del país y de la valoración social de la naturaleza y *“asegurar la continuidad de los procesos ecológicos y evolutivos naturales para mantener la diversidad biológica”*.

- Conservar, recuperar y/o restaurar los predios haciendo uso de técnicas agropecuarias que permitan el sostenimiento de las praderas como fuente de alimentación para los animales y por ende para mantener la economía del Municipio, con miras a mantener forraje en cantidad y calidad que demanda la producción ganadera, buscando de esta manera ayudar a disminuir la contaminación y el deterioro del suelo y el ambiente en esta zona.
- Conservar los bosques secos tropicales como ecosistemas estratégicos del Municipio del Patía, dado sus servicios como corredores biológicos.

⁴ Martinic, 2010. Praderas en una pradera naturalizada degradada.

⁵ Montesinos, 2011. Producción de forraje y calidad nutritiva de praderas mejoradas por diferentes métodos, en la zona sur de Chile.

⁶ Ospina, 2011. Rehabilitación de praderas mediante el uso de sistemas silvopastoriles utilizando cercas vivas.

- Proteger la biodiversidad, los recursos paisajísticos y el patrimonio cultural del municipio.
- Garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos, mediante un uso eficaz y eficiente, conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, información e investigación.
- Disminuir la afectación de ecosistemas estratégicos, la vulnerabilidad del territorio al cambio climático y la deforestación, además de generar oportunidades de desarrollo local y contribuir a la reducción de la pobreza.
- Establecer políticas en torno a la gestión que garantice el manejo sostenible de los diferentes predios establecidos con sistemas silvopastoriles y forrajes mejorados.
- Fortalecer la participación de la organización comunitaria en los procesos de conservación y restauración de los predios y sus alrededores.
- Aportar al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades asentadas en la zona, articulando iniciativas de propietarios que convengan en conformar Reservas Naturales de la Sociedad Civil.
- Implementar programas de restauración de la biodiversidad y servicios ecosistémicos que ofertan estos predios hacia otras fincas que aún no hayan establecido sistemas silvopastoriles y forrajes mejorados.

ARTICULO QUINTO. Proteger. Es preciso seguir implementando sistemas silvopastoriles y el establecimiento de forrajes mejorados en las fincas que se encuentran en ensayo como una instrumento de preservación, además estas servirían como modelo dentro de la región con el fin de que esta se siga beneficiando tanto productivamente como ecosistémicamente, además que puedan también ser partícipes del pago por servicios ambientales conforme se aplica el decreto 870 de 2017.

PARAGRAFO: Las fincas que entrarían a hacer parte del PSA son parte integral del estudio de investigación que se viene llevando a cabo desde hace 3 años, sobre generación de los servicios ecosistémicos que estas proveen, de tal manera que las estrategias de conservación no sólo se limiten a las áreas que tengan algún tipo de protección, ya sea por el estado o por la sociedad civil, sino que también se pueda hacer en áreas productivas, esta es una valiosa herramienta para detener el deterioro ambiental, además contribuirá a la restauración de los ecosistemas en el municipio del Patía, ensayo llevado a cabo por parte del grupo de Investigación de nutrición animal NUTRIFACA de la Universidad del Cauca.

ARTÍCULO SEXTO. Resultados Obtenidos. Para el logro de los objetivos propuestos, en los diferentes predios en el municipio del Patía, como áreas productoras de servicios ecosistémicos, se realizaron diferentes evaluaciones teniendo en cuenta ciertos parámetros, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2. Parámetros ambientales evaluados para determinar los rangos obtenidos en cada sistema implementado en diferentes ubicaciones del municipio del Patía, Cauca.

| TRATAMIENTO (Sistema) | Stock C (Kg /Ha) | IBN (mg N- NCV/L) | CO ₂ (mg/m ² /185 días) | CH ₄ (mg/m ² /185 días) | N ₂ O (mg/m ² /185 días) | Macrofauna (N° de sp) | Microfauna (N° de sp) | N° de especies vegetales | Ton de MS/ Ha | Tipo de forraje |
|-----------------------|------------------|-------------------|---|---|--|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------|---|
| Naturalizado | 47,46 - 63,27 | 0,26 - 3,08 | 2804359 - 8006786 | -40 - 1900 | 63 - 774 | 16 | 120000 - 2,3055E+10 | 44 | 2,52 | En su mayoría suelos descubiertos, malezas, plantas nativas (angleton y grama). |
| Mejorado | 63,27-101,54 | 3,4 - 6,02 | 3094924 - 6153932 | -41 - 715 | 107 - 598 | 14 | 4900000 - 2,3055E+10 | 52 | 3,44 | Forrajes mejorados como: Brachiarias sp, Megathyrus maximus, leguminosas herbáceas, etc. |
| Silvopastoril | 80,43 - 123,34 | 2,86 - 6,40 | 3106015 - 4896417 | -192 - 800 | 171 - 579 | 16 | 2100000 - 2,3055E+10 | 54 | 4,85 | Integración de pastos mejorados, leguminosas arbóreas y arbustivas además de árboles de la región (totumo, samán, matarratón, guásimo, caña fistula, ocobo, entre otros.) |

Fuente: Grupo de investigación de nutrición agropecuaria NUTRIFACA.

Con los valores obtenidos en las diferentes evaluaciones llevadas a cabo desde el año 2015, se ha podido determinar cómo los sistemas silvopastoriles y mejorados son una herramienta óptima para el cuidado del medio ambiente, sobre todo en las producciones agropecuarias, beneficiando a los pequeños productores con la obtención de una mayor productividad y así mismo ayudando a la conservación ambiental.

PARÁGRAFO: En los sistemas silvopastoriles para su establecimiento se han incorporado especies, especialmente leguminosas como *Desmodium sp*, *Leucaena sp*, *Cratylia argentea*, etc., conformando una vegetación estratificada (herbácea, arbustiva y arbórea), permitiendo que estos sistemas presenten un mayor número de especie haciéndolos más biodiversos y con ello otorgando propiedades de autorregulación, lo que genera que haya una mejor distribución de especies y mejore la calidad de la dieta⁷.

Se pretende valorar algunas de las potencialidades que pueden obtenerse con el desarrollo de tecnologías que impliquen mejoras en los agroecosistemas y a la vez generen servicios ambientales, mediante el uso y adaptación de prácticas agrícolas que consideren los árboles y arbustos elementos indispensable para la producción animal, ya que estos son capaces de incrementar la producción y la calidad de las pasturas, disminuir emisiones de gases de efecto invernadero, incrementar la biodiversidad en flora y fauna, mantener fuentes de agua potable y mejorar las características físicas, químicas y biológicas de los suelos.

ARTÍCULO SÉPTIMO. Actividades Permitidas en las Áreas que se encuentran en rehabilitación y producción con sistemas silvopastoriles y mejorados.

⁷ MILERA, M. Contribución de los sistemas silvopastoriles en la producción y el medio ambiente. 2013.

- ✓ Conservación. Son actividades que contribuyen a la permanencia de los recursos naturales renovables y el paisaje y al fomento del equilibrio biológico de los ecosistemas presentes en el área y la región.
- ✓ Rehabilitación: enfocada en la investigación, desarrollo y consolidación de protocolos; así como la articulación y divulgación de la información sobre restauración ecológica; la articulación de actores relacionados con la restauración ecológica, identificación y promoción de incentivos e implementación de proyectos piloto; se implementarán procesos de restauración a gran escala, llevando a cabo un monitoreo a la restauración ecológica.
- ✓ Se debe hacer un aislamiento de áreas degradadas y supresión de los agentes de tensión, enriquecimiento de bosque, núcleos de vegetación en áreas abiertas, barreras en bordes de bosque, cercas vivas, manejo de especies invasoras, franjas protectoras de cuerpos de agua, corredores de conectividad, sistemas agroforestales y silvopastoriles, restauración pasiva en páramos, trabajo con las comunidades para la disminución de los elementos y agentes de tensión.
- ✓ Preservación. Se refiere a las medidas que se orientan a evitar el deterioro ambiental por la introducción de factores ajenos.
- ✓ Manejo y Control. Son las dirigidas a la recuperación, reforestación y restauración de los ecosistemas deteriorados.

ARTÍCULO OCTAVO. Función ecológica de los predios. En desarrollo de la función ecológica asignada a los predios por la Constitución Política, para el uso de los recursos naturales en los inmuebles de dominio privado comprendidos en el área donde se está llevando a cabo la implementación de tecnologías limpias, se deberá tener en cuenta que la utilización de dichos recursos no podrán lesionar el interés general de la comunidad.

ARTÍCULO NOVENO. Autorizaciones y Permisos. Para la ejecución de los proyectos de investigación que se han venido implementando en las fincas ubicadas en el municipio del Patía y sus alrededores, se ha requerido de la autorización o permiso de los pequeños y medianos productores ganaderos, lo cual ha permitido llevar a cabo los diferentes ensayos y de esta manera se ha podido determinar los servicios ambientales obtenidos a partir de la implementación de los sistemas silvopastoriles. Para lograr el PSA en esta zona es necesario contar con el apoyo del Concejo Municipal para obtener los recursos financieros para poder beneficiar a los productores de carne del municipio por medio de canjes ecológicos, quienes vienen cumpliendo una labor ambiental en el territorio, conforme a lo establecido en el Decreto 870 de 2017.

ARTÍCULO DÉCIMO. Administración. Para garantizar la activa participación de los actores sociales en la administración y manejo de las tecnologías limpias del municipio del Patía, se debe incentivar el desarrollo de los comités respectivos promovidos por la Autoridad Municipal, teniendo en cuenta por sobre todo a las comunidades asentadas en áreas productoras de servicios ecosistémicos.

Dicha administración tendrá las siguientes funciones:

- Participar activamente en la formulación e implementación del Plan de Manejo de los sistemas silvopastoriles y forrajes mejorados.
- Promover en el marco del Plan de Desarrollo Municipal, Plan Básico de Ordenamiento Territorial, Planes de Ordenamiento y Manejo Integral los Planes Específicos que se aprueben con posterioridad, los proyectos destinados a la conservación y desarrollo sostenible de los ecosistemas naturales, culturales, sociales que permitan recuperar, mantener y garantizar la sostenibilidad de la oferta hídrica y ambiental de las áreas declaradas. Asimismo participar en el desarrollo de proyectos afines que beneficien a la comunidad en general.
- Participar y promover proyectos de conservación de los recursos naturales y producción sostenible a través de proceso de planificación y gestión ambiental para el manejo adecuado de las producciones ganaderas teniendo en cuenta el medio ambiente.
- Participar y apoyar el desarrollo de programas educativos que permitan sensibilizar, capacitar y vincular a la comunidad en los procesos de conservación, uso y manejo de los recursos naturales.
- Promover y coordinar todos los actos necesarios para cumplir con el objeto del comité con la vinculación económica y logística de la empresa privada, instituciones educativas, organismos no gubernamentales y de los organismos del orden internacional, nacional, departamental y municipal que tengan relación con esta clase de programas.
- Proponer a las autoridades competentes la adopción de las medidas que sean necesarias de acuerdo con la Constitución y la Ley, para el cumplimiento de sus deberes y la debida protección, recuperación y mejoramiento de la calidad y cantidad de las aguas, la fauna, los suelos y los bosques.
- Gestionar recursos para la sostenibilidad de las fincas que están dentro de un proceso ambiental como apoyo a su administración y manejo e impulsar nuevas iniciativas de conservación, con el fin de consolidar el sistema de áreas protegidas del orden local y departamental.
- Promover el objetivo del comité a través de los funcionarios de las instituciones que lo conforman.

PARÁGRAFO: En la Administración deberá ser parte integral el Concejo Municipal junto con los pequeños y medianos productores de ganado bovino doble propósito, quienes abrieron las puertas a la Universidad del Cauca para llevar a cabo los estudios tanto productivos como ambientales.

ARTICULO ONCE. Plan de Manejo. Una vez constituida la figura de administración deberá participar activamente en la formulación e implementación el Plan de Manejo de producciones limpias a nivel municipal, que beneficia tanto a los pequeños productores como al municipio.

El plan de Manejo tendrá como base los resultados obtenidos en las evaluaciones llevadas a cabo por la Universidad del Cauca a través del grupo de investigación de alimentación animal NUTRIFACA, en los diferentes predios ubicados en el municipio del Patía, teniendo en cuenta los diferentes parámetros ambientales valorados, lo cual permitirá identificar las líneas de acción que faciliten lograr y desarrollar las acciones necesarias para cumplir los objetivos propuestos, con respecto al PSA.

A partir de las líneas de acción definidas se determinan programas, que permitan tener un claro panorama de acción.

Los proyectos son la herramienta que facilita el logro de la misión de la organización, y es mediante estos proyectos que se establecen metas concretas para el adecuado manejo de los PSA en esta región.

PARÁGRAFO: El Plan de Manejo, que será para una vigencia no menor a cinco años y aprobado mediante acuerdo del Concejo Municipal, deberá contener como mínimo los siguientes componentes:

- Componente Descriptivo.
- Componente de Ordenamiento.
- Componente Operativo.

ARTÍCULO DOCE. Instrumentos Financieros. Para orientar las inversiones en los predios que se verán respaldados por este acuerdo se adoptan las siguientes disposiciones:

- a) El Municipio del Patía, por conducto del Concejo Municipal, destinará los recursos financieros pertinentes como apoyo a la administración y manejo de los predios donde se establecieron los sistemas silvopastoriles y mejorados así como dar aplicación a lo establecido en el Decreto 870 del 2017, y demás que favorezcan la protección de los recursos naturales y las áreas especiales de conservación.
- b) Para implementar los esquemas de pago por servicios ambientales a partir de lo establecido por el Decreto 953 de 2013 el cual determina que las entidades territoriales deben asignar el 1% de su presupuesto destinado para el financiamiento PSA, para compra y mantenimiento de predios⁸. Por medio de esta resolución ese 1% se podría desglosar en 3 partes contando con un 33% para el PSA, y de ese porcentaje poder hacer un canje ecológico con los propietarios de los predios en el municipio del Patía de la siguiente manera:
 - El 30% se podría considerar para predios donde se haya implementado un sistema mejorado.
 - El 40% para predios donde este implementado un sistema silvopastoril.
 - El 30% sobrante se puede dejar en considerado para fomento u otras actividades que tengan que ver con el PSA en esta región.
- c) Para efectos de lo dispuesto en el artículo 44 de la Ley 99 de 1993, y en el marco del Plan de Desarrollo Municipal, el representante legal de la administración municipal del Patía gestionará ante la Corporación Autónoma Regional de Cauca CRC, la inversión de las sobretasas referidas en el citado artículo 44, en beneficio de las actividades determinadas en el Plan de Manejo destinado a la protección ambiental del Municipio.

⁸ Resolución 1781 de 2014.

PARÁGRAFO: El PSA se pretende implementar en primera medida en la producción ganadera por ser esta la más predominante en la región, teniendo en cuenta además que este sistema productivo es el causante del mayor impacto ambiental.

ARTÍCULO CATORCE. El presente Acuerdo rige a partir de la fecha de su sanción y publicación.

Dado en el Municipio del Patía a los xxxx (xxxx) días del mes de xxxx de 2018.

FRANCISCO TULIO ARIAS
Alcalde Municipal del Patía