

ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN FINCAS GANADERAS ALTOANDINAS DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO*

MITIGATION STRATEGIES BEFORE CLIMATE CHANGE IN HIGH ANDEAN LIVESTOCK FARMS IN THE DEPARTMENT OF NARIÑO

Jean Alexander León Guevara**

Docente Investigador, Facultad de Posgrados y Relaciones Internacionales, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia

Hernán Darío Zamora Zamora***

Docente Investigador, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia

Javier Aníbal León Guevara****

Director Fundación Biofuturo Recursos Naturales, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia

Fecha de recepción:
20 de abril de 2012
Fecha de aprobación:
29 de junio de 2012

Palabras clave:

Alternativas locales, Gases Efecto Invernadero, ganadería.

RESUMEN

El objetivo de este artículo es presentar los resultados de investigación sobre las posibles alternativas locales de mitigación, que se pueden aplicar para aminorar los efectos del cambio climático, a partir de la cuantificación de Gas Efecto Invernadero (GEI) en fincas ganaderas lecheras altoandinas, ubicadas en la zona suroccidental en los municipios de Cumbal y Guachucal, por encima de los 2.800 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) en el departamento de Nariño (sur de Colombia). Se partió de un análisis clúster para identificar grupos de fincas con características similares; de cada grupo resultante se escogió una Finca Tipo (FT) y una Finca Replica (FR) para su caracterización socioeconómica y biofísica, con 18 variables que incluyeron el inventario de ganado en cada una de ellas.

Se realizó así la estimación anual de GEI con metodologías IPCC nivel 1, a partir de fuentes de emisiones de GEI como: Dióxido de Carbono, Metaño, Oxido Nitroso, entre otros. Gracias a los valores obtenidos para los dos municipios de estudio (0,247 ton-c-año para Cumbal, y 0,340 ton-c-año para Guachucal) y, teniendo en cuenta las tipologías generadas: Fincas Ganaderas Lecheras Grandes (FGLG), Fincas Ganaderas Lecheras Medianas (FGLM) y, Fincas Ganaderas Pequeñas (FGLP), se proponen alternativas de mitigación, basadas en el mejoramiento de la alimentación con el ensilaje, picado, bloques nutricionales y manejo de estiércoles, a través de compostaje y biodigestores que pueden reducir más de la mitad de las emisiones actuales.

* Artículo Resultado de Investigación.

** Magíster Agricultura Ecológica, Grupo de Investigación Ambiental GIA, Universidad Mariana.
Correo electrónico: anjeleon1@hotmail.com
Tel. Móvil: (0057) 3148141790.

*** Ingeniero Químico. Correo electrónico:
hdzamora@hotmail.com

**** Magíster Agroforestería Tropical.

Correo electrónico: león_anibal@hotmail.com

Key words:

Local alternatives, Greenhouse Gases, cattle.

ABSTRACT

The aim of this paper is to show the research's results about possible local mitigation alternatives which could be developed to decrease the climate change's, effects from Greenhouse Gases (GHG) quantification in the Andean livestock farms located in Cumbal and Guachucal towns in the southwest and above 2.800 meters above sea level in the Department of Nariño, (southern Colombia). It was based on a cluster analysis to identify groups of farms with similar features or properties then, it was chosen from each group a Type Farm (FT) and a Replica Farm (FR) for socioeconomic and biophysical characterization, with 18 variables, including the cattle's stock in each one.

After that, it was computed the annual GHG emissions using IPCC methodology level one, from sources of GHG, such as: carbon dioxide, methane, nitrous oxide, among others. Thanks to the values obtained for the two municipalities of study (0,247 tonne of carbon per year in Cumbal, and 0,340 tonne of carbon per in Guachucal) and, considering the types generated: Large Livestock Farms Dairy (LLFD), Medium Dairy Livestock Farms (MDLF) and, Small Livestock Farms (SLF), there are proposed mitigation alternatives, based on the improvement food supply with ensilage, chop, nutritional blocks, and handling of manure through composting and biogas digesters which can reduce more than half of current emissions.

Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático IPCC, 2001), el cambio climático, es el cambio de clima que en la actualidad se atribuye directa o indirectamente a la actividad humana; en los últimos años ha modificado la composición de la atmósfera global al incrementar los Gases Efecto Invernadero (GEI), y ha conducido a un forzamiento radiactivo al modificar: la reflexión, absorción o emisión de la radiación. Siendo así, los GEI, más importantes considerados bajo la guía IPCC son: el Dióxido del Carbono, el Metano y el Óxido Nitroso.

El cambio climático es un tema que se ha convertido en uno de los grandes retos que debe enfrentar la humanidad, de ahí que es necesario entender dichas alteraciones, afrontar los desafíos teóricos, conceptuales y empíricos, que permitirán determinar qué los ocasiona, cuáles serán sus consecuencias, en qué lugares y a qué niveles, para que contribuyan finalmente con la minimización de los GEI y para tomar medidas globales y locales orientadas a la mitigación y adaptación.

Así también, se conoce que las actividades agropecuarias generan una gran parte de las emisiones antropogénicas del mundo; las más importantes que no son de Dióxido de Carbono (CO₂) corresponden a Óxido Nitroso (N₂O) provenientes de los suelos, y el Metano (CH₄) proveniente de fermentación entérica. Existe también generación por la quema de biomasa, la producción de arroz y el aprovechamiento del estiércol (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD, 2009).

En términos económicos, el sector pecuario no es uno de los principales sectores a nivel mundial, sin embargo, su importancia social y política es altamente significativa. Este sector representa el 40 % del

producto interno bruto (PIB) agrícola, genera empleo para mil trescientos millones de personas y medios de subsistencia para mil millones de pobres en todo el mundo. Los productos de la ganadería suministran un tercio del consumo mundial. Con respecto a la producción mundial de carne, ésta se incrementará en más del doble, pasando de 229 millones de toneladas en 1999/01 a 465 millones de toneladas en 2050; y, la producción de leche crecerá de 580 a 1043 millones de toneladas. Es por esta razón, que el sector pecuario tiene un impacto relevante en el uso y calidad del agua, la hidrología y en los ecosistemas acuáticos; este impacto se origina en todos los segmentos de la cadena de producción (Henning Steinfeld, Pierre Gerber, Tom Wassenaar, Vincent Castel & Mauricio Rosales Ceas de Haan, 2009).

Los municipios altoandinos del departamento de Nariño, desarrollan actividades agrícolas y ganaderas, esta última ha incrementado la concentración de GEI en los años anteriores, muchos de ellos procedentes de la fermentación entérica, el manejo del estiércol, el consumo de combustible y el uso de agroquímicos como fertilizantes nitrogenados para los cultivos. Sin embargo, no existen investigaciones ni referentes teóricos regionales sobre el tema que permitan tener una visión real de la situación. De ahí la importancia de la realización de la investigación para mitigar el cambio climático, por cuanto se logró aplicar la metodología IPCC nivel 1¹, aceptada internacionalmente para cuan-

¹ El método nivel 1 IPCC es el método simplificado que se basa en factores de emisión por defecto extraídos de estudios anteriores. Puede utilizarse para estimar las emisiones de: vacas lecheras, otro tipo de ganado vacuno; cuando se aplica el método de nivel 1, se deben utilizar los datos sobre las categorías de ganado y la producción de leche para seleccionar factores de emisión por defecto.

tificar los GEI procedentes de la actividad ganadera, con el propósito de presentar estrategias teóricas adaptadas a las condiciones locales de los municipios de estudio, se prosiguió a: la agrupación de las fincas a través de un clúster análisis, la caracterización socioeconómica y biofísica, y la estimación de la carga anual de GEI en los municipios de Cumbal y Guachucal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este artículo presenta los resultados de la investigación desarrollada entre el periodo febrero a diciembre de 2011, apoyada por la Fundación Biofuturo Recursos Naturales y, como propósito fundamental, dentro del proyecto alternativas de mitigación frente al cambio climático en diferentes agroecosistemas del Departamento de Nariño, se enmarca dentro de las ciencias ambientales, bajo un paradigma cuali-cuantitativo y con un tipo descriptivo-evaluativo, en donde se establecen estrategias teóricas para disminuir la carga anual de emisiones de GEI.

El trabajo se desarrolló en las fincas de los municipios de Cumbal y Guachucal, ubicados al sur del departamento y al suroccidente del municipio de Pasto, que hacen parte del Nudo de Los Pastos y donde sobresalen los Cerros de Colimba y el Páramo de Paja Blanca; las fincas ganaderas lecheras de estos municipios constituyen la población de estudio, se encuentran registradas en el inventario de fincas realizado por el programa de Ingeniería Agroforestal de la Universidad de Nariño del proyecto SACHA.

Para el municipio de Cumbal se tuvieron en cuenta un total de 200 fincas, en el caso de Guachucal fueron 100 las fincas seleccionadas, las cuales ya han sido estudiadas por León, Muñoz y Navia (2009) y permitieron tener un referente para mejorar el proceso investigativo. Con base en este registro, se realizó un muestreo por conglomerados con probabilidades idénticas, para agrupar las fincas en conjuntos de valores de diversas variables a través del *software* estadístico *Infostat* versión 2008; las variables independientes empleadas, fueron escogidas por los investigadores después un análisis del sector ganadero de los dos municipios, y porque contienen el componente social, económico, productivo, así como el nivel tecnológico en cada una de ellas; (propietario y administrador, administrador o arrendatario), orientación productiva (ganadería de leche y agricultura, ganadería de leche o agricultura), años de pertenencia de la finca, hectáreas totales de la finca, fertilización de pastos, tipo de fertilización -orgánica y química, química u orgánica-, producción total de leche diaria y número total de

cabezas de ganado. De cada conglomerado o grupo de clasificación, se eligió una Finca Tipo (FT) a través de un muestreo aleatorio y, una Finca Replica (FR) a través de un muestreo intencional; para un total de doce de ellas (seis en Cumbal y seis en Guachucal) que finalmente fueron el objeto de estudio para la identificación y estimación de las emisiones de GEI.

Identificadas las fincas de estudio (FT y FR), se realizó la recopilación de información primaria por medio de visitas a fincas y la aplicación de una encuesta semiestructurada, empleando inicialmente, una validación de las mismas y, posteriormente, un intercambio oral con el productor y la observación de campo. El instrumento está dividido en 18 variables, teniendo en cuenta las guías de IPCC y los datos requeridos para realizar la cuantificación de GEI nivel 1, se incluyeron aspectos de carácter socioeconómico, biofísico y enfocados especialmente al inventario de ganado (Tabla 1), así como también a las fuentes de emisiones de Metano, procedentes de la fermentación entérica, emisiones de Metano procedentes del estiércol, emisiones de Óxido Nitroso procedentes del estiércol, emisiones de Óxido Nitroso procedentes de los suelos agrícolas, emisiones indirectas de Óxido Nitroso procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura, y combustibles fósiles utilizados en el transporte y actividades productivas.²

Tabla 1. Categorías y subcategorías de ganado vacuno.

| Categorías principales | Subcategorías |
|--|---|
| Vacas lecheras adultas, lecheras adultas | Vacas lecheras de alto rendimiento que hayan parido por lo menos una vez y que se utilicen principalmente para producción lechera. Vacas lecheras de bajo rendimiento que hayan parido por lo menos una vez y que se utilicen principalmente para producción lechera. |
| Animales vacunos adultos no lecheros | Hembras: Vacas destinadas principalmente a la producción de carne. Vacas utilizadas con más de un fin productivo: para producción de leche, carne o animales de tiro. Machos: Toros utilizados con fines de reproducción. Bueyes utilizados principalmente como animales de tiro. Novillos destinados a la producción de carne. |
| Vacunos o búfalos jóvenes | Terneros en la etapa anterior al destete. Vacunos de crecimiento. Vacunos alimentados principalmente con granos en corrales de engorde. |

Fuente: Esta investigación, 2011.

² El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2001), sostiene que en los métodos para estimar la cantidad de GEI generados en las fincas ganaderas lecheras, es necesario la aplicación de las directrices del IPCC, para ello, en un comienzo se realiza un inventario ganadero, teniendo en cuenta la caracterización por categoría y subcategoría del ganado vacuno y ovino.

Así también, para la estimación las emisiones de GEI se establecieron ordenes jerárquicos (Figura 1), y se sistematizaron las ecuaciones propuestas por el IPCC en hojas de cálculo en Excel, que permitieron la cuantificación y análisis de los GEI en FGL de los municipios de estudio.

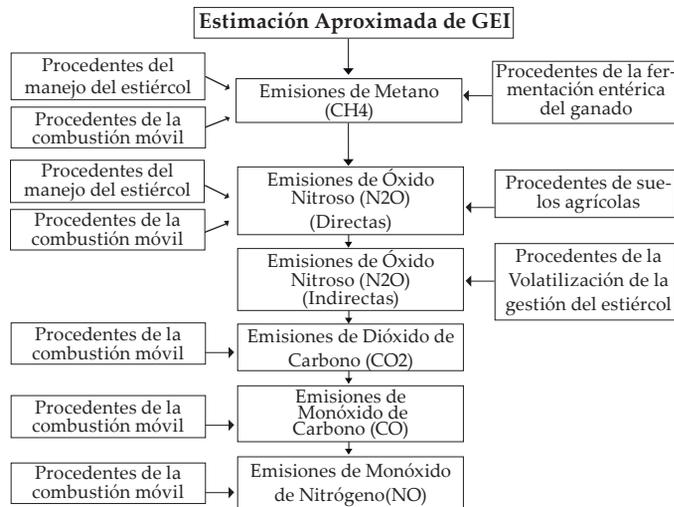


Figura 1. Orden jerárquico de la estimación teórica aproximada de GEI. Fuente: Esta investigación, 2011.

intervalo, permitió identificar tres categorías de las fincas ganaderas lecheras, las grandes que a través de este artículo se identificarán como **FGLG**, las fincas ganaderas lecheras medianas **FGLM**, las fincas ganaderas pequeñas **FGLP**, y un grupo de fincas que no hicieron parte de las categorías anteriores denominadas SC (sin clasificar). Este análisis de conglomerados de las fincas ganaderas lecheras de los municipios de Cumbal y Guachucal definió la tipología de las mismas, predominando las FGLM, representando el 38,5% y 35% respectivamente en los municipios de estudio; las FGLP con el 26% y 29%; y las FGLG con 11,5% y el 12% respectivamente. El anterior comportamiento está relacionado con la principal característica de minifundio del sector rural de los municipios del departamento.

Tabla 2. Clasificación de las fincas Ganaderas Lecheras según la Tipología generada para los municipios de Cumbal y Guachucal. Nariño 2011.

| Municipio | Número de Fincas Ganaderas por Categoría | | | | Total de Fincas |
|-----------|--|---------------|---------------|----|-----------------|
| | Grandes FGLG | Medianas FGLM | Pequeñas FGLP | SC | |
| Cumbal | 23 | 77 | 52 | 48 | 200 |
| Guachucal | 12 | 35 | 29 | 24 | 100 |

Fuente: Esta investigación, 2011.

DISCUSIÓN

1. Análisis de fincas ganaderas lecheras por conglomerados

Como lo muestra la Tabla 2, el análisis por conglomerados, o por agrupación o también llamado clúster de

En la Tabla 3 y 4 se puede observar las características de las fincas objeto de estudio con la descripción en aspectos técnicos, productivos, capital natural, manejo entre otras.

Tabla 3. Descripción de las principales características de las fincas ganaderas lecheras del municipio de Cumbal según su tipología.

| Variable | Unidad | Municipio de Cumbal | | | | | |
|-----------------------------------|---------|---------------------|----------------|----------------|------------------|----------------|--------------|
| | | Finca | | | | | |
| Categoría | -- | FGLP Tipo | FGLP Replica | FGLM Tipo | FGLM Replica | FGLG Tipo | FGLG Replica |
| Productor | -- | Franco Morcillo | Adelmo Puerres | Leonel Burbano | Gerardo Tipaz | María Martínez | Álvaro Tipaz |
| Vereda | -- | El Laurel | Cuaspud Grande | Boyera | Cuaspud Chiquito | Nazate | Cuical S.J. |
| Tipo de Ganado | -- | Lechero | | | | | |
| Extensión de La Finca | Ha | 7 | 3 | 8 | 15 | 25 | 30 |
| Numero de Potrerros | und | 8 | 7 | 3 | 10 | 15 | 8 |
| Extensión Pastos Mejorados | Ha | 1 | 1 | 2 | 10 | 15 | 2 |
| Extensión Pastos Nativos | Ha | 7 | 1 | 1 | 0 | 5 | 6 |
| Número Total de Cabezas de Ganado | und | 24 | 10 | 21 | 27 | 28 | 38 |
| Vacas Lecheras | und | 14 | 5 | 12 | 18 | 10 | 25 |
| Vacas Secas | und | 4 | 2 | 8 | 6 | 14 | 8 |
| Terneros | und | 5 | 3 | 0 | 3 | 4 | 5 |
| Toros | und | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Número de Especies Forrajeras | und | 5 | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 |
| Producción de Leche | L/día | 126 | 50 | 204 | 342 | 100 | 375 |
| Consumo de Gasolina | gal/año | 0,0 | 52,0 | 106,3 | 372,2 | 160,0 | 104,0 |

Fuente: Esta investigación, 2011.

La información recopilada identificó la existencia de una relación directa entre la extensión de cada finca, el tipo, y la categoría otorgada. Así se observa que en Guachucal las FGLG presentan un promedio de 8 ha, las FGLM 4,75 ha y las FGLP 0,516 ha. En Cumbal, las FGLG tienen un promedio mayor en el área, con respecto al municipio de Guachucal con 27 ha, le siguen las FGLM con 11.5 ha

y las FGLP con 5 ha. Esta variable es quizá una de las más importantes para la clasificación de fincas, debido a que del área van a depender muchas de las actividades ganaderas, incluyendo el manejo de pasturas, número de animales, manejo del estiércol y en general el nivel tecnológico usado, lo que va a permitir finalmente la implementación o no de las alternativas de mitigación en cada una de ellas.

Tabla 4. Descripción de las principales características de las fincas ganaderas lecheras del municipio de Guachucal según su tipología.

| Municipio de Guachucal | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------|----------------|-----------------|------------|------------------|----------------|----------------|
| Variable | Unidad | Finca | | | | | |
| Categoría | -- | FGLP Tipo | FGLP Replica | FGLM Tipo | FGLM Replica | FGLG Tipo | FGLG Replica |
| Productor | -- | Fidencio Caípe | Humberto Cuatin | Carlos Gil | Libio Charfuelan | Ramón Tutalcha | Luis Cuastumal |
| Vereda | -- | Cristo Bajo | Cristo Bajo | Guachucal | Cualapud Bajo | Guachucal | Mayo |
| Tipo de Ganado | -- | Lechero | | | | | |
| Extensión de La Finca | ha | 1 | 0,032 | 6 | 3,5 | 10 | 6 |
| Numero de Potreros | und | 2 | 4 | 16 | 5 | 20 | 8 |
| Extensión Pastos Mejorados | ha | 0 | 0 | 6 | 0 | 1 | 5 |
| Extensión Pastos Nativos | ha | 1 | 0,032 | 0 | 3,5 | 9 | 1 |
| Número Total de Cabezas de Ganado | und | 13 | 4 | 12 | 18 | 31 | 29 |
| Vacas Lecheras | und | 6 | 2 | 4 | 8 | 18 | 14 |
| Vacas Secas | und | 4 | 0 | 4 | 7 | 0 | 7 |
| Terneros | und | 2 | 2 | 0 | 2 | 12 | 8 |
| Toros | und | 1 | 0 | 4 | 1 | 1 | 0 |
| Número de Especies Forrajeras | und | 2 | 1 | 6 | 2 | 3 | 4 |
| Producción de Leche | L/día | 90 | 9 | 58 | 140 | 450 | 245 |
| Consumo de Gasolina | gal/año | 104,0 | 0,0 | 91,9 | 208,0 | 91,9 | 53,1 |

Fuente: Esta investigación, 2011.

Con relación a la variable número de potreros, en las fincas ganaderas lecheras existe la tendencia de dividir en áreas más pequeñas para la siembra escalonada de pastos, ya que según los productores locales se alimenta al ganado de una manera proporcional, permitiendo un mejor manejo de los mismos y así garantizar un adecuado uso de la tierra, además de mantener cierta cantidad de alimento durante todo el año para una constante producción de leche, por ello se observa que las divisiones van desde 3 potreros en fincas pequeñas hasta 15 para el municipio de Cumbal, y de 2 hasta 20 en el municipio de Guachucal, esta división de potreros finalmente estará condicionada al área disponible en cada finca. Según Herrera (2012) se recomienda utilizar la rotación de potreros para la alimentación del ganado lechero, con el propósito de propor-

cionar una buena alimentación a todos los animales, haciendo buen uso de pastizales y además porque éste sistema permite un mejor control de los parásitos. Existen dos sistemas de rotación de potreros: "rotación diaria" y "rotación periódica". El primero se usa especialmente para vacas en producción, reja, las que necesitan una cantidad de hierba fresca cada día para mantener una producción alta y sin fluctuaciones. Esto puede lograrse instalando una cerca eléctrica o haciendo divisiones en los potreros de tal forma que los animales permanezcan un solo día en el mismo lote.

Rúa franco (2009), también afirma que la práctica del pastoreo es absolutamente ancestral, sin embargo, sólo hasta principios del siglo XX, Warmland, el primer científico en proponer el método de "rotación de potreros", dio inicio a la práctica zootécnica de dejar descansar las pasturas para

permitir su óptima recuperación (en cantidad y calidad), y sólo hacia mediados del mismo siglo se hizo popular esta práctica a través de los escritos y conferencias del Dr. André Marcel Voisin (Francia 1903 - Cuba 1964). En la actualidad, “rotar los potreros” es bastante común, no sólo con los bovinos sino con todas las especies herbívoras que pastorean en los campos ganaderos (equinos, ovinos, caprinos, etc.).

Por otro lado, las fincas ganaderas lecheras en Guachucal no disponen de extensiones de pastos mejorados y especies forrajeras como: Raigrás (*Lolium perenne*), Pasto azul orchoro (*Dactylisglomerata*) y Trébol rojo (*Trifolium pratense*), pero si hacen uso en su gran mayoría con pastos nativos como kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). De manera contraria, las fincas ganaderas lecheras de Cumbal disponen de una variedad amplia de especies forrajeras como las nombradas anteriormente además de extensiones considerables con estos tipos de pastos. Bernal Eusse (2011) afirma que las dos características mencionadas, están íntimamente ligadas con el potencial para que el animal desarrolle las funciones de producción, lo que se puede evidenciar en la producción diaria de leche. La anterior situación se justifica teniendo en cuenta el nivel tecnológico de las mismas y, que los pastos mejorados suministran complementos alimenticios nutritivos al ganado, que permiten mejorar la calidad y el volumen del sustrato (alimento), elevando a su vez la producción de leche.

Fedegan (1999) citado por Cárdenas Rocha (2009), ha caracterizado diversos núcleos de explotación lechera en el país, demarcando en la región alto andina (1800–3200 msnm), al altiplano norte de Antioquia, el cordón de Ubaté-Chiquinquirá, la sabana de Bogotá y las zonas altas de Nariño como las cuencas lecheras del país, quienes aportan el 34% de la producción nacional. Estos sistemas de producción han basado la alimentación de sus animales en pasturas nativas, de baja producción y calidad nutricional. De otra parte, el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) ha sido el forraje de más amplio uso dentro del trópico alto andino, luego de su introducción en 1927. Está adaptado a altitudes que varían entre 1700 y 2800 msnm; con excelentes rendimientos en forraje de aceptable calidad, alguna exigencia

en agua y fertilizantes. Sin embargo, ha visto limitada su persistencia y su alta producción de biomasa, debido a su susceptibilidad a heladas, las cuales se presentan comúnmente en ésta ecorregión durante los meses de enero y febrero, y julio y agosto en menor proporción; como también una alta susceptibilidad a plagas como el chinche de los pastos (*Collaria scenica*) la cual se ha desbordado durante la última década.

Es importante también resaltar la relación entre las variables extensión de la finca, vacas lecheras y la producción de leche. De acuerdo con la tipología en los dos municipios, las FGLG poseen mayor número de vacas lecheras y mayor producción de leche. Fue posible observar que las fincas de Guachucal la tendencia es a una explotación ganadera intensiva, ya que el sistema de crianza de ganado se lleva a cabo en pequeñas extensiones de terreno, con gran cantidad de animales en promedio, 23 animales para Cumbal y 17 en Guachucal, estos municipios poseen además un promedio de producción de leche de 199 litros/día y 165 litros/día respectivamente.

En cuanto al consumo de gasolina, en Cumbal las fincas consumen más energía que en las de Guachucal, esto se ve representado por un total de consumo promedio de casi 400 gal/año para Cumbal y 275 gal/año para Guachucal. (Variable)

2. Identificación y Estimación de Emisiones de Gases Efecto Invernadero en Fincas Ganaderas Altoandinas

2.1. Emisiones de Metano (CH₄) procedentes de la fermentación entérica

De acuerdo con la Tabla 5, las mayores emisiones de Metano (CH₄) generadas a partir de la fermentación entérica se presentan en las fincas ganaderas lecheras del municipio de Cumbal con 0,2135 Gg de CH₄/año, debido a la existencia de un mayor inventario de ganado en las fincas de este municipio, se observa que en los dos municipios de estudio las FGLM son las que hacen mayores aportes en la emisión de GEI con 54% y 47%. Sin embargo, si se observa el promedio de emisiones, son las grandes las que emiten mayores cantidades con valores de 0,0020 en Cumbal y 0,0017 Gg CH₄/año en Guachucal. De acuerdo

a estas tres situaciones, se puede deducir que las emisiones de Metano están directamente relacionadas con el número de cabezas de ganado por finca, el número de fincas más representativas por municipio y el tamaño de las mismas.

Tabla 5. Emisiones de Metano por fermentación entérica.

| Municipio | Propietario de la Finca | Categoría | Emisiones Gg CH ₄ /año | Promedio Gg CH ₄ /año | Número de Fincas | Emisiones Totales Gg CH ₄ /año | % |
|-----------|-------------------------|-----------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------|---|------|
| Cumbal | Franco Morcillo | Pequeña | 0,0014 | 0,0010 | 52 | 0,0520 | 24,4 |
| | Adelmo Puerres | | 0,0006 | | | | |
| | Leonel Burbano | Mediana | 0,0013 | 0,0015 | 77 | 0,1155 | 54,1 |
| | Gerardo Tipaz | | 0,0017 | | | | |
| | María Martínez | Grande | 0,0017 | 0,0020 | 23 | 0,0460 | 21,5 |
| | Álvaro Tipaz | | 0,0024 | | | | |
| Total | | | | | 152 | 0,2135 | 100 |
| Guachucal | Fidencio Caipe | Pequeña | 0,0008 | 0,0005 | 29 | 0,0147 | 21,5 |
| | Humberto Cuatin | | 0,0002 | | | | |
| | Carlos Gil | Mediana | 0,0008 | 0,0009 | 35 | 0,0325 | 47,6 |
| | Libio Charfuelan | | 0,0011 | | | | |
| | Ramón Tutalcha | Grande | 0,0018 | 0,0017 | 12 | 0,0211 | 30,9 |
| | Luis Cuastumal | | 0,0017 | | | | |
| Total | | | | | 76 | 0,0684 | 100 |

Fuente: Esta investigación, 2011.

Berra, Castuma, Finster y Maldonado (2011) afirman que la cantidad de Metano entérico que se emite depende principalmente del número de animales, el tipo de aparato digestivo, la clase y la cantidad de alimentos que consumen. La producción de Metano es parte de los procesos digestivos normales de los animales herbívoros (rumiantes vacunos) durante la digestión, los microorganismos presentes en el aparato digestivo fermentan el alimento consumido por el animal (la celulosa), esta descomposición (la fermentación entérica) se origina en el rumen, órgano del sistema digestivo que hace parte del estómago, en el cual microorganismos (bacterias) producen la enzima celulasa que descompone la celulosa en moléculas más simples (D-glucosa); los gases producidos en este proceso, como subproductos, (Metano y Anhídrido Carbónico) son expulsados al ser exhalados o eructados por el animal. La Tabla 5 presenta el resumen de las emisiones de Metano referidas a la fermentación entérica.

Carmona y Giraldo (2005) definen que en Colombia la proyección de emisiones de CH₄ de origen pecuario para el 2010 representaría el 70 % de la participación de los GEI, correspondiendo un 95 % las emisiones entéricas del ganado lechero y productor de carne, además Kurihara et al. y Johnson citados por Bolívar, Carmona y Giraldo (2005) señalan que las emisiones de gas

Metano por el ganado bovino, están estimadas en 58 millones de toneladas/año, lo que representa el 73% del total de emisiones (80 millones) de todas las especies domésticas.

La estimación de Metano para los dos municipios de estudio que corresponden a 213, 5 ton/año y 6,84 ton/año para Cumbal y Guachucal respectivamente, en comparación con las emisiones citadas por Bolívar et al. (2005), estas quizá no son representativas; sin embargo, es necesario tener en cuenta no sólo la estimación para estos municipios sino todos municipios ganaderos lecheros de las zonas altoandinas, así como el hato ganadero que permita dimensionar que este GEI, es uno de los que más se generan a nivel de fincas.

2.2. Emisiones de Metano procedentes del manejo del estiércol

El estiércol del ganado está compuesto principalmente de materia orgánica, cuando este se descompone en un medio anaeróbico, las bacterias Metanogénicas producen Metano (CH₄), estas condiciones se dan a menudo cuando se manejan grandes cantidades de animales en espacios limitados. En la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos para este GEI.

Tabla 6. Emisiones de Metano por manejo del estiércol en los municipios de Cumbal y Guachucal.

| Municipio | Propietario de la Finca | Categoría | Emisiones Gg CH ₄ /año | Promedio Gg CH ₄ /año | Número de Fincas | Emisiones Totales Gg CH ₄ /año | % |
|-----------|-------------------------|-----------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------|---|------|
| Cumbal | Franco Morcillo | Pequeña | 0,000024 | 0,000016 | 52 | 0,000832 | 24,2 |
| | Adelmo Puerres | | 0,000008 | | | | |
| | Leonel Burbano | Mediana | 0,000021 | 0,000024 | 77 | 0,001848 | 53,7 |
| | Gerardo Tipaz | | 0,000027 | | | | |
| | María Martínez | Grande | 0,000028 | 0,000033 | 23 | 0,000759 | 22,1 |
| | Álvaro Tipaz | | 0,000038 | | | | |
| Total | | | | | 152 | 0,003439 | 100 |
| Guachucal | Fidencio Caipe | Pequeña | 0,000013 | 0,000009 | 29 | 0,000247 | 21,8 |
| | Humberto Cuatin | | 0,000004 | | | | |
| | Carlos Gil | Mediana | 0,000012 | 0,000015 | 35 | 0,000525 | 46,4 |
| | Libio Charfuelean | | 0,000018 | | | | |
| | Ramón Tutalcha | Grande | 0,000031 | 0,000030 | 12 | 0,000360 | 31,8 |
| | Luis Cuastumal | | 0,000029 | | | | |
| Total | | | | | 76 | 0,001132 | 100 |

Fuente: Esta investigación, 2011.

Los resultados encontrados permiten identificar que en los dos municipios de estudio, las FGLM presentan el promedio más alto de emisión de Metano para manejo de estiércol, con 0,003439 en Cumbal Gg CH₄/año que representa el 53,7% y un promedio de 0,001132 Gg CH₄/año en FGLM que representa el 46%, resultados que permiten identificar que son las fincas medianas las que más Metano emiten a la atmósfera por la actividad ganadera.

La emisión de Metano por estiércol, es quizá una de las mayores limitantes encontradas en la producción lechera de los municipios ganaderos del departamento, estas emisiones dependen de la disposición y del manejo del mismo, ya sea en forma líquida o en forma sólida, se reconoce que si no hay un adecuado manejo, se presentará una descomposición anaeróbica que por desconocimiento de estas reacciones de des-

composición, los productores no realizan un adecuado manejo, es de suponer que las fincas medianas no realizan un tratamiento adecuado y por lo tanto mayores emisiones.

McCaughy et al. y Moss citados por Bolívar et al. (2005), señalan que los animales domésticos, principalmente el ganado bovino son responsables de aproximadamente el 15% de la producción de Metano global; precisamente sobre este tema, se afirma que la concentración de Metano es inferior a las de Dióxido de Carbono, sin embargo, hay un acelerado incremento y se considera que tiene un efecto 21-30 veces más contaminante con respecto al CO₂ y, con el transcurrir de los años el Metano pueda ser el GEI predominante.

2.3. Emisiones de Óxido Nitroso (N₂O) procedentes del manejo del estiércol

Tabla 7. Emisiones de Óxido Nitroso por manejo del estiércol para los municipios de Cumbal y Guachucal.

| Municipio | Propietario de la Finca | Categoría | Emisiones Gg N ₂ O/año | Promedio Gg N ₂ O/año | Número de Fincas | Emisiones Totales Gg N ₂ O/año | % |
|-----------|-------------------------|-----------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------|---|------|
| Cumbal | Franco Morcillo | Pequeña | 0,000021 | 0,000015 | 52 | 0,000773 | 23,5 |
| | Adelmo Puerres | | 0,000009 | | | | |
| | Leonel Burbano | Mediana | 0,000019 | 0,000024 | 77 | 0,001851 | 56,2 |
| | Gerardo Tipaz | | 0,000029 | | | | |
| | María Martínez | Grande | 0,000018 | 0,000029 | 23 | 0,000668 | 20,3 |
| | Álvaro Tipaz | | 0,000040 | | | | |
| Total | | | | | 152 | 0,003292 | 100 |
| Guachucal | Fidencio Caipe | Pequeña | 0,000008 | 0,000006 | 29 | 0,000173 | 19,8 |
| | Humberto Cuatin | | 0,000004 | | | | |
| | Carlos Gil | Mediana | 0,000011 | 0,000011 | 35 | 0,000396 | 45,3 |
| | Libio Charfuelean | | 0,000012 | | | | |
| | Ramón Tutalcha | Grande | 0,000030 | 0,000025 | 12 | 0,000305 | 35,0 |
| | Luis Cuastumal | | 0,000021 | | | | |
| Total | | | | | 76 | 0,000873 | 100 |

Fuente: Esta investigación, 2011.

En la Tabla 7 se observa los valores de las emisiones de Óxido Nitroso (N₂O) referidas al manejo del estiércol en las fincas del municipio de Cumbal, las cuales presentan las mayores emisiones de Óxido Nitroso, estas se relacionan directamente con las cabezas de ganado que se tienen en cada finca y principalmente al inadecuado manejo y uso del estiércol. Tan solo en algunas fincas de Guachucal, se observaron prácticas de manejo, como su recolección para la elaboración artesanal de abonos que permite la disminución en la emisión de este GEI al sistema atmosférico.

La estimación el Óxido Nitroso (N₂O) incluye el manejo del estiércol en forma sólida y los líquida producidos por el ganado, es por ello que estas emisiones de procedentes del estiércol durante su almacenamiento y tratamiento, dependerán además del contenido de Nitrógeno y Carbono del mismo, así como de la duración de su almacenamiento y el tipo de tratamiento que se le aplique para su manejo.

fabricación de diferentes abonos como lombricompost y compost que permiten el manejo de los mismos como una opción amigable con el ambiente.

2.4. Emisiones de Óxido Nitroso procedentes de pérdidas de Nitrógeno debido a la volatilización de la gestión del estiércol – indirectas

De acuerdo con la Tabla 8 se puede observar que en los dos municipios las FGLM y FGLG son las que más contribuyen a la emisión de Óxido Nitroso (N₂O), a partir de nitrógeno en la volatilización del manejo del estiércol. La emisión de este GEI se relaciona con las categorías de fincas encontradas, con el número de cabezas de ganado y el uso inadecuado del estiércol de cada finca, estos son los factores que más favorecen la generación de dichas emisiones. Este GEI se expresa en el municipio de Cumbal con un valor de 0,002750 Gg. N₂O/año frente a 0,001062 Gg. N₂O/año del municipio de Guachucal.

Tabla 8. Emisiones de Óxido Nitroso por pérdidas de Nitrógeno por volatilización del manejo del estiércol.

| Municipio | Propietario de la Finca | Categoría | Emisiones Gg N ₂ O/año | Promedio Gg N ₂ O/año | Número de Fincas | Emisiones Totales Gg N ₂ O/año | % |
|-----------|-------------------------|-----------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------|---|------|
| Cumbal | Franco Morcillo | Pequeña | 0,000000 | 0,000005 | 52 | 0,000235 | 8,5 |
| | AdelmoPuerres | | 0,000009 | | | | |
| | Leonel Burbano | Mediana | 0,000019 | 0,000024 | 77 | 0,001848 | 67,2 |
| | Gerardo Tipaz | | 0,000029 | | | | |
| | MaríaMartínez | Grande | 0,000018 | 0,000029 | 23 | 0,000667 | 24,3 |
| | ÁlvaroTipaz | | 0,000040 | | | | |
| Total | | | | | 152 | 0,002750 | 100 |
| Guachucal | Fidencio Caipe | Pequeña | 0,000011 | 0,000008 | 29 | 0,000218 | 20,5 |
| | Humberto Cuatin | | 0,000004 | | | | |
| | Carlos Gil | Mediana | 0,000013 | 0,000014 | 35 | 0,000473 | 44,5 |
| | Libio Charfuelan | | 0,000014 | | | | |
| | Ramón Tutalcha | Grande | 0,000036 | 0,000032 | 12 | 0,000372 | 35,0 |
| | Luis Cuastumal | | 0,000026 | | | | |
| Total | | | | | 76 | 0,001062 | 100 |

Fuente: Esta investigación, 2011.

Teniendo en cuenta los anteriores resultados, en los últimos años se ha incrementado el interés de los ganaderos en usar la fertilización orgánica, por sus innumerables ventajas frente a los abonos químicos, por la mejora de la calidad de los pastos y productos agrícolas, como a nivel económico por la disminución de los costos de producción de los mismos y especialmente por los beneficios ambientales, como la disminución de la contaminación de las fuentes hídricas como su eutrofización, los residuos frescos de estiércol y otras fuentes de residuos como de forrajes y de cosecha, permiten la

Según Pattey, Trzcinski y Desjardins (2005) estos valores de producción de Óxido Nitroso (N₂O) forman parte del ciclo del Nitrógeno en el ambiente. Las actividades agropecuarias son las principales fuentes de emisión de N₂O hacia la atmósfera, y los residuales orgánicos (excretas y orina) generados en la producción ganadera, responsables de aproximadamente el 18% de las emisiones totales de N₂O a nivel global; en la atmósfera, este gas, además de contribuir notablemente al calentamiento global, tiene efecto sobre la capa de ozono. En la ganadería, los procesos de oxidación de

las formas de Nitrógeno orgánico (nitrificación y desnitrificación) de los residuales de origen animal por los microorganismos del ambiente (suelo, aire y agua), son la principal fuente de emisión del N_2O .

2.5. Emisiones de Óxido Nitroso (N_2O) procedentes de suelos agrícolas

Tabla 9. Emisiones de Óxido Nitroso por suelos agrícolas.

| Municipio | Propietario de la Finca | Categoría | Emisiones Gg N_2O /año | Promedio Gg N_2O /año | Número de Fincas | Emisiones Totales Gg N_2O /año | % |
|-----------|-------------------------|-----------|--------------------------|-------------------------|------------------|----------------------------------|------|
| Cumbal | Franco Morcillo | Pequeña | 0,000000 | 0,000000 | 52 | 0,000000 | 0,0 |
| | Adelmo Puerres | | 0,000000 | | | | |
| | Leonel Burbano | Mediana | 0,000010 | 0,000005 | 77 | 0,000367 | 25,5 |
| | Gerardo Tipaz | | 0,000000 | | | | |
| | María Martínez | Grande | 0,000093 | 0,000047 | 23 | 0,001070 | 74,5 |
| | Álvaro Tipaz | | 0,000000 | | | | |
| Total | | | | | 152 | 0,001436 | 100 |
| Guachucal | Fidencio Caipe | Pequeña | 0,000007 | 0,000004 | 29 | 0,000103 | 19,8 |
| | Humberto Cuatin | | 0,000000 | | | | |
| | Carlos Gil | Mediana | 0,000006 | 0,000010 | 35 | 0,000359 | 68,8 |
| | Libio Charfuelan | | 0,000014 | | | | |
| | Ramón Tutalcha | Grande | 0,000006 | 0,000005 | 12 | 0,000060 | 11,4 |
| | Luis Cuastumal | | 0,000004 | | | | |
| Total | | | | | 76 | 0,000522 | 100 |

Fuente: Esta investigación, 2011.

El Óxido Nitroso (N_2O) emitido en los suelos agrícolas, se produce en forma natural mediante los procesos microbianos de nitrificación y desnitrificación. Ciertas actividades agrícolas aportan Nitrógeno a los suelos, aumentando su cantidad disponible en los procesos de nitrificación y desnitrificación, en consecuencia la emisión de Óxido Nitroso a causa del uso de fertilizantes nitrogenados. Las emisiones basadas en la cuantificación de fertilizante utilizado y el tipo, ya que de este depende el porcentaje de Nitrógeno presente. La Tabla 8 resume las emisiones de Óxido Nitroso referidas a suelos agrícolas.

En el municipio de Cumbal las únicas FT donde se generan emisiones de Óxido Nitroso (N_2O) son las FGLM y FGLG, esto debido a que estas no sólo se dedican explícitamente a la actividad ganadera, sino también a la producción anual de cultivos con uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados.

De igual manera, las fincas del municipio de Guachucal, realizan actividades agrícolas complementarias con cultivos agrícolas, especialmente de papa (*Solanum tuberosum*), en los cuales aplican fertilizantes que permiten evidenciar y confirmar los resultados encontrados. Además, son las FGLP las

que mayor cantidad de fertilizantes nitrogenados utilizan, por consiguiente son las que más generan Óxido Nitroso (N_2O)

El IPCC (2001), en su resumen técnico indica que el Óxido Nitroso (N_2O) contribuye al calentamiento global en un 7,9%, y desde 1750 su concentración en la atmósfera ha aumentado 16%; actual-

mente por lo que su potencial de calentamiento es mucho mayor que el del Metano. A nivel global, la agricultura emite entre 65% y 80% del total de Óxido Nitroso (N_2O), especialmente a partir del uso de fertilizantes nitrogenados y la alimentación animal. Se estima que el 41% de las emisiones de N_2O es de origen antropogénico, al menos el 60% de sus emisiones brutas globales provienen del suelo, como resultado de la acción microbiana sobre las transformaciones de Amonio en Nitrato (nitrificación) y viceversa (desnitrificación). Por tanto, la fertilización nitrogenada (orgánica o mineral) y el nitrógeno fijado por las plantas leguminosas, tienden a elevar las emisiones.

2.6. Emisiones por consumo de combustible en transporte terrestre

Las fuentes móviles también generan emisiones de gases directos de efecto invernadero como Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4) y Óxido Nitroso (N_2O), procedentes de la quema de diversos tipos de combustible, así como varios otros contaminantes como el Monóxido de Carbono (CO), Monóxido de Nitrógeno (NO) y los compuestos orgánicos

volátiles diferentes del Metano (COVDM), que causan o contribuyen a la contaminación del aire local o regional. En la Tabla 10, 11 y 12, se muestran los resultados obtenidos para emisiones de Óxido Carbónico por combustión.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la estimación teórica de las emisiones de GEI, procedentes de las fincas ganaderas lecheras analizadas bajo la metodología IPCC, son las FGLM las que mayores emisiones generan seguidas de las FGLG

Tabla 10. Emisiones de GEI por combustión.

| Municipio | Categoría | Combustión | | | | |
|-----------|-----------|---|---|---|-----------------------------|-----------------------------|
| | | Emisiones Totales Gg CO ₂ /año | Emisiones Totales Gg CH ₄ /año | Emisiones Totales Gg N ₂ O/año | Emisiones Totales Gg NO/año | Emisiones Totales Gg CO/año |
| Cumbal | Pequeñas | 0,010684 | 0,000003 | 0,000000 | 0,092560 | 1,233400 |
| | Medianas | 0,145589 | 0,000042 | 0,000001 | 1,260490 | 16,806800 |
| | Grandes | 0,023947 | 0,000007 | 0,000000 | 0,207350 | 2,764400 |
| | Total | 0,180219 | 0,000052 | 0,000002 | 1,560400 | 20,804600 |
| Guachucal | Pequeñas | 0,011786 | 0,000003 | 0,000000 | 0,103180 | 1,375620 |
| | Medianas | 0,041313 | 0,000012 | 0,000000 | 0,359050 | 4,787480 |
| | Grandes | 0,006877 | 0,000002 | 0,000000 | 0,059540 | 0,793920 |
| | Total | 0,060000 | 0,000017 | 0,000000 | 0,521770 | 6,957010 |

Fuente: Esta investigación, 2011.

Como se indica en la Tabla 10 las mayores emisiones se generan en el municipio de Cumbal, de igual forma se logro determinar, que son las fincas medianas en los dos municipios las de mayor uso de combustibles fósiles para el transporte de los productos a los puntos de acopio, con un 80,7% en Cumbal y 68,9% en el Guachucal, estos valores se relacionan de manera directa con las variables: tipo de vehículo, modelo del mismo, frecuencia con que se utiliza, distancia del recorrido y prioridad con que este es utilizado. Al contrario las fincas grandes presentan participan escasamente en la emisión de estos GEI, debido a que la producción de leche es recolectada por las empresas acopiadoras en las mismas fincas.

3. Alternativas teóricas de mitigación para reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero

Las alternativas que se proponen a continuación, tienen un enfoque ambiental, basadas en técnicas agroecológicas que permitirán un respeto por el medio ambiente, asegurando la conservación, mejorando los sistemas productivos y respetando las habilidades, conocimientos tradicionales y prácticas locales, estas deberán ser adaptadas a las condiciones locales de cada uno de los municipios con el fin de promover la resiliencia ante el cambio climático y, lograr el empoderamiento de los ganaderos lecheros para lograr estrategias de desarrollo.

que se presentan en mayor número en los dos municipios de estudio, es por ellos que son estas las que necesitan involucrar en sus actividades un mayor número de estrategias de mitigación, basadas en la disminución de gases en los procesos asociados a fermentación entérica, manejo del estiércol y combustión.

Para la selección de cada una de las alternativas en las diferentes categorías de fincas, se tuvo en cuenta la caracterización de ellas en lo que se involucra principalmente aspectos técnicos y económicos, relacionándolos con las actividades productivas, capital natural y manejo en general, esto con el fin de que las alternativas que se seleccionen sean implementadas a corto plazo, maximizando la producción de sus actividades y disminuyendo las emisiones de GEI; cabe mencionar, que las alternativas pueden servir para cualquier categoría, estas permitirán la autonomía, estabilidad y resiliencia de los sistemas ganaderos del departamento para la reducción de entradas de material agrícola a los sistemas y, que permitan aumentar la productividad, mejorar las condiciones y la calidad de vida de los campesinos lecheros del suroccidente del departamento, así también las acciones de mitigación a realizar deben ser integrales, teniendo en cuenta todas las fuentes de emisiones aplicando medidas que minimicen la emisión de GEI.

3.1. Alternativas de mitigación de Metano (CH₄) por fermentación entérica

Para mitigar el problema, más que intentar disminuir la producción de Metano asociado a la explotación ganadera, lo que hay que hacer es identificar las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la explotación, que en la mayoría de los casos se asocia a una práctica incorrecta de la alimentación y el pastoreo de los animales. Hay que tener en cuenta que la contribución de la ganadería al cambio climático está en buena parte asociada con su alimentación. En concreto a los costos que supone producir y transportar hasta la granja las materias primas que formarán parte de las raciones aportadas a los animales. Las pérdidas a nivel intestinal (provocadas por la ineficiencia en la digestión de los alimentos por parte de los animales) y la producción de Metano, o incluso los alojamientos en los que se explotan los animales van a ser el origen de un cambio posible en el clima.

Bolívar et al. (2005), destacan que las intervenciones en la alimentación ofrecida a los animales, orientadas hacia la optimización del proceso de fermentación, repercuten en una mejora de los parámetros productivos, reproductivos y en la disminución de emisiones de los GEI. El mejoramiento de las características nutricionales de los bovinos que poseen un sistema digestivo con capacidad de aprovechar y convertir material fibroso, con altos contenidos de carbohidratos estructurales, en alimentos de alta calidad nutritiva, puede incrementar para mejorar la digestión de los animales y así minimizar el Metano exhalado. Teniendo en cuenta los anteriores planteamientos, se proponen las siguientes alternativas para cada categoría de fincas, indicando las alternativas que son más viables para cada unidad productiva.

Tabla 11. Alternativas para reducir Metano por fermentación entérica.

| Alternativas para la Reducción de GEI (CH ₄) | FGLG | FGLM | FGLP |
|--|------|------|------|
| Procesamiento mecánico: picado de alimento | + | | |
| Conservación de forrajes: ensilaje | | + | |
| Suplementos estratégicos | + | + | + |

Fuente: Esta investigación, 2011.

a. Procesamiento mecánico. Berra, Castuma, Finster y Maldonado (2011), proponen que una mejora en la nutrición reduce las emisiones de Metano por unidad de producto, mediante un aumento del rendimiento, incluyendo ganancia de peso y produc-

ción de leche. También pueden reducirse las emisiones de Metano por unidad de energía digestible consumida por el animal. Esta opción es aplicable a rumiantes con recursos alimenticios limitados: "Asumiendo que la digestibilidad del alimento aumenta un 5% las emisiones de Metano por unidad de producto podrían disminuir en el orden del 10 al 25%, dependiendo de las prácticas de manejo".

b. Picado de alimentos de baja digestibilidad. El picado de alimentos puede aumentar el consumo y, como consecuencia, en algunos casos, el desempeño animal. Esta práctica queda limitada a algunas áreas, debido a la falta de equipamiento para el picado, para el cual se requiere una inversión, siendo así viable su implementación. Por lo tanto, esta alternativa o lineamiento es el más recomendable para fincas grandes, debido a que estas poseen mayores ingresos económicos. Además, podría utilizarse un centro de picado en las fincas grandes, el cual preste el servicio (a bajo costo) a las demás fincas y así estas recibir los beneficios.

Así también, Gallardo (2011) asevera que en la elaboración o el proceso de picado de alimentos, se debe realizar mediante un procedimiento mecánico (picadoras), reduciendo el tamaño para que se pueda proveer al animal de fibra efectiva, asegurándole una normal masticación y una adecuada rumia cuando el animal ingiere ese forraje. El picado del forraje se lo denomina doble picado de precisión, con un tamaño teórico de corte de 1 cm, que depende de la regulación del equipo de picado. Aquí se muestran algunas de las especificaciones técnicas que debe tener la máquina para garantizar un buen corte.

c. Conservación de forrajes. El ensilaje es un método de conservación de forrajes, ya sea de pastos o de árboles de leguminosas en la época de abundancia, para que sea usado en la época de escasez. El ensilaje es un proceso fermentativo, que con la presencia de ácidos orgánicos afectan la acidez hasta niveles en los cuales la actividad de los microorganismos se detiene. Es una estructura a prueba de aire y agua, que permite la conservación del forraje, manteniendo su condición jugosa y su color verde sin disminuir el valor nutritivo.

La importancia de esta alternativa se debe a que la mayoría de ganaderos, olvidan que vendrán épocas difíciles de ausencia de lluvia con poco pas-

to verde para sus vacas, y por lo tanto pérdidas por baja producción de leche. Si se realiza un silo, se pueden aprovechar los excedentes de pasto verde en la época de lluvia, de igual forma, evitará las pérdidas y aumentará la disponibilidad de alimento, sosteniendo una producción normal durante todo el año. Además, esta práctica limita las emisiones de Metano, por cuanto se está regulando la ración diaria de materia seca, lo cual limita netamente las emisiones de Metano.

d. Suplementos estratégicos. Berra y Finster (2002) afirman que una mejora en la función del rumen, reducirá las emisiones de Metano por unidad de alimento consumido. Aún más, proporcionando proteína microbiana adicional al animal, las emisiones por unidad de producto se reducirán, debido a una mejora en el rendimiento animal. “Una mejor función ruminal reducirá las emisiones en alrededor de 5 a 10%. Además las emisiones por unidad de producto podrían reducirse en 25 a 75%”.

e. Bloques nutricionales. Berra y Finster (2002), afirman también, que los alimentos que aportan proteína, pueden combinarse con suplementos nutricionales que permiten suministrar nutrientes como: carbohidratos y minerales de forma lenta y segura. Una de las mayores ventajas de los bloques nutricionales es que mejoran el ambiente ruminal al incrementar el número de microorganismos. “Por sus características nutricionales los bloques permiten disminuir las pérdidas de peso durante las épocas secas de baja disponibilidad de forrajes y mejoran la relación proteína-energía en el animal. Desafortunadamente, debido a la obtención de biocombustibles, las materias primas empleadas en la fabricación de los bloques han aumentado considerablemente su costo y adquirir estos suplementos en tiendas agropecuarias es una gran limitante para su utilización”

3.2. Alternativas de mitigación de Metano y Óxido Nitroso por manejo del estiércol

En las actividades ganaderas, son muchas las prácticas que influyen en las emisiones de GEI, sin embargo, estas deberán hacerse de manera integral, por ejemplo, según datos del Programa Europeo sobre el Cambio Climático (ECCP, 2004) el manejo del estiércol y el uso de compost, pueden implicar

un 1,38 t CO₂/ha año; estos datos permiten identificar alternativas de manejo del estiércol para reducir GEI.

El manejo de grandes cantidades de ganado en espacios limitados, donde el estiércol es almacenado, origina la descomposición anaerobia de la materia orgánica, generando emisiones de Metano (CH₄). A su vez, durante el almacenamiento y tratamiento del estiércol, antes de su disposición en campo, se producen emisiones de Óxido Nitroso (N₂O). Teniendo en cuenta lo anterior, se plantean las siguientes alternativas (Tabla 12), para aprovechar la producción de estiércol que genera el ganado, de acuerdo con el nivel económico de las fincas, representado en el número de cabezas de ganado.

Tabla 12. Alternativas para reducir CH₄ y N₂O por manejo del estiércol.

| Alternativas para la Reducción de GEI CH ₄ y N ₂ O | FGLG | FGLM | FGLP |
|--|------|------|------|
| Compostaje | + | + | + |
| Biodigestores | | | + |

Fuente: Esta investigación, 2011.

a. Compostaje. Es un proceso biológico, cuya materia prima es una mezcla de restos vegetales y animales, que se desarrolla en medio aerobio, mediante el cual los microorganismos aceleran la descomposición de los desechos orgánicos (restos de cosecha y excrementos de animales), permitiendo obtener compost (abono). Los factores que condicionan el proceso de compostaje son: temperatura (55°C), humedad relativa (55%), pH (7 y 8), Oxígeno, relación Carbono/Nitrógeno (para la fermentación inicial 2:1), aireación y población microbiana (bacterias, hongos y actinomicetos). Esta producción orgánica, tratará de aprovechar al máximo el estiércol producido en las fincas, con el fin de reemplazar los abonos sintéticos nitrogenados (Campioni et al., 2002).

b. Biodigestores. Son sistemas construidos herméticamente, aprovechan la digestión anaerobia del estiércol por medio de bacterias, para transformarlo en biogás y biol (fertilizante). El biogás es un gas con alto porcentaje de Metano, que puede ser empleado como combustible en las cocinas, sustituyendo la leña o el GLP (Gas Licuado de Petróleo distribuido en cilindros), también puede ser empleado para la iluminación de algunas zonas de las

fincas. El biol es un fertilizante ecológico que puede emplearse directamente en el riego de los potreros o decantarlo para obtener fertilizante foliar, de esta forma no se pierde la capacidad fertilizante del estiércol que es de uso común en el ámbito rural, mejorando fuertemente el rendimiento de las cosechas. (Centro de Demostración y Capacitación en Tecnologías Apropriadas CEDECAP, 2007)

3.3. Alternativas de mitigación de CO₂, N₂O, CO, y NO por combustión

De acuerdo con el nivel tecnológico y económico descrito en las encuestas aplicadas a las fincas tipo de las diferentes categorías de los municipios de estudio, se presentan en el cuadro 16 algunas alternativas que permitieran reducir las emisiones de este tipo de GEI.

Tabla 13. Alternativas para reducir CO₂, N₂O, CO, y NO por combustión.

| Alternativas para la Reducción de GEI | FGLG | FGLM | FGLP |
|---------------------------------------|------|------|------|
| Sumideros de Carbono | + | + | + |

Fuente: la presente investigación, 2011.

a. Sumideros de Carbono. Según Ayarza, Carulla, Lascano, Cárdenas, Boshell y Peña (2009), los recientes inventarios de GEI publicados por el Instituto Colombiano de Estudios Ambientales IDEAM, indican que la fermentación entérica del ganado bovino genera anualmente el 61% de las emisiones totales de Metano en Colombia. Este nivel de emisiones, podría tener en el futuro repercusiones negativas en la búsqueda de mercados internacionales para carne y leche, en la medida en que los compradores empiecen a exigir producciones en sistemas “limpios” y “amigables” con el medio ambiente. Sin embargo, con un buen manejo, los sistemas ganaderos también retienen Carbono y por lo tanto pueden contribuir a reducir las emisiones netas de GEI de estos sistemas.

Los sumideros de Carbono son depósitos naturales o artificiales que absorben Carbono de la atmósfera y, contribuye a reducir la cantidad de Dióxido de Carbono (CO₂) del aire. Los bosques y las plantas, y en general las formaciones vegetales, actúan como sumideros a través de la fotosíntesis que es su función vital y principal, mediante este proceso los vegetales captan Dióxido de Carbono (CO₂) de la atmósfera, o aquel que se encuentra di-

suelto en el agua y, con la ayuda de la luz solar, lo utilizan en la elaboración de moléculas sencillas de azúcares que acumulan en la biomasa (tronco, ramas, corteza, hojas y raíces) y en el suelo (mediante su aporte orgánico). Las plantas, al mismo tiempo que absorben Dióxido de Carbono (CO₂) a través de la fotosíntesis, también lo emiten mediante su respiración, pero en menor cantidad, por lo que el saldo neto de emisión es negativo, contribuyendo así a la reducción de la concentración de Dióxido de Carbono (CO₂) en la atmósfera (Castilla y León, 2011).

CONCLUSIONES

A través de la estimación teórica de GEI por metodologías IPCC nivel 1, se logró constatar que el sector ganadero lechero del suroccidente de Nariño, es uno de los más importantes económicamente, pero a la vez, uno de los más vulnerables ante el cambio climático, por cuanto la emisión de GEI está causando un desbalance en el sistema atmosférico global, generando periodos de sequías, inundaciones e incluso heladas. Por ello se necesita complementar este ejercicio investigativo, con modelos de predicción climática, que permitan generar escenarios futuros, y constituir herramientas tecnológicas para tomar decisiones en programas de mitigación y adaptación, especialmente para las fincas ganaderas que dependen exclusivamente de esta actividad.

Los resultados de la estimación teórica total de emisiones de GEI, permiten afirmar que las actividades involucradas en la producción de leche en el municipio de Guachucal, causan menores emisiones de GEI respecto a los productores del municipio de Cumbal, además, son las fincas medianas en los dos municipios las causantes de las mayores emisiones, ya que son las más representativas, por lo tanto son las más necesitadas de la implementación de alternativas de mitigación integradas, desde un enfoque agroecológico y con miras a la ganadería ecológica.

El cambio climático influye directamente en la ganadería del departamento de Nariño, especialmente en las zonas altoandinas; esta actividad económica, de importancia en los estilos de vida de las personas, tendrá que sufrir un proceso de adaptación, incluyendo medidas integrales que conlleven al modelo de ganadería ecológica, en donde el manejo racional de los recursos naturales sea una

prioridad. Es necesario vencer las dificultades socioculturales, técnicas y económicas, al momento de hacer frente al cambio climático, siendo necesaria la conexión a nivel territorial para una intervención integral a nivel global.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen: a los ganaderos de los municipios de Cumbal y Guachucal, por la información brindada y, por permitir la entrada a sus fincas para poder entender el funcionamiento de las mismas; a los estudiantes Fernando Campo, Danna Gómez, Carolina Montenegro y Alexander Moncayo, por su labor en la fase de campo; a la Fundación Biofuturo, por la financiación de esta investigación; y, al Dr. Néstor Hernández del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, por la motivación para llevar a cabo este ejercicio investigativo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baethgen, W., y Martino, D. (2000) Cambio climático, gases de efecto invernadero e implicancias en los sectores agropecuario y forestal del Uruguay. Recuperado el 25 de junio de 2011, de <http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/le/pol/2002/informe-7.pdf>.
- Bernal, J. (2011) Fertilización de pastos mejorados. 2. 4-11.
- Berra, G. & Finster, L. (2002) Emisión de Gases Efecto Invernadero; Influencia de la Ganadería Argentina. *IDIA*, 21 (2), 212 -215.
- Berra, G., Castuma, E., Finster, L. & Maldonado, V. (2011) *Reducción y opciones de mitigación de Metano-Ganado Bovino Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente – Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental*. Argentina: Sistema de Comunicaciones Nacionales de la República Argentina.
- Bolívar, D., Carmona, J. & Giraldo, L. (2005). El gas Metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. En *Colombia Revista de Ciencias Pecuarias*, 18 (1), 49 – 63.
- Cárdenas Rocha. (2009) Alternativas Forrajeras Para Clima Frío En Colombia. Recuperado el 25 de junio de 2011 de http://www.cundinamarca.gov.co/cundinamarca/archivos/FILE_EVENTOSENTI/FILE_EVENTOSENTI10332.pdf, 2009.
- Carmona, C. J., Bolívar, M. D. & Giraldo, A. L. (2005) El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombia Ciencias Pecuarias*, 18 (1), 49-63
- Castilla & León. (2001) Los Sumideros de Carbono. Recuperado el 25 de junio de 2011, de http://www.eup.uva.es/emisionesco2/ELCAMBIOCLIMATICO_LOSSUMIDEROSDECARBONOYELPNAENCASTILLAYLEON/7.Los-sumiderosdeCarbono.htm.
- Centro de Demostración y Capacitación en Tecnologías Apropriadas, CEDECAP. (2007) Biodigestores de polietileno-construcción y diseño. Recuperado el 25 de junio de 2011, en www.cedecap.org.pe/uploads.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO. (2001) ¿Qué es la agricultura orgánica?. Recuperado el 25 de junio de 2011, de <http://www.fao.org/docrep/007/ad818s/ad818s03.htm>
- Gallardo, M. (2011) Forrajes: la importancia del tamaño del picado. Área de Investigación Animal EEA Rafaela. Recuperado en junio de 2011, de <http://www.todoagro.com.ar/todoagro2/nota.asp?id=4231>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, IPCC. (2001) Tercer Informe de Evaluación Cambio Climático 2001 Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Recuperado el 25 de junio de 2011, de <https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes.../impact-spm-ts-sp.pdf>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, IPCC. (2003) Caracterización de la población de ganado y emisiones de CH₄ procedentes de la fermentación entérica en el ganado doméstico. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de fases de efecto invernadero. Capítulo 4 agricultura. Recuperado el 25 junio de 2011, de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/4_Agriculture_ES.Pdf.
- León, J., Muñoz, D. & Navia, J. (2009) Caracterización y evaluación de prácticas silvopastoriles en el sistema de producción papa-pasto-bovinos-leche en fincas ganaderas de los municipios de Pasto, Pupiales, Cumbal y Guachucal. Departamento de Nariño. Hacia la sostenibilidad del suelo y agua. Informe de Trabajo de investigación, Ingeniería Agroforestal. San Juan de Pasto, Universidad de Nariño, Colombia.
- Pattey, E., Trzcinski, M. & Desjardins, R. (2005). "Quantifying the reduction of greenhouse gas emissions as a result of composting dairy and beef cattle manure", *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 72, 173-187.

Peña Turruella, E., Carrion Ramírez, M., Martínez, F., Rodríguez Nodals, A. & Campanioni Concepción, N. (2002) *Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana*. La Habana, Cuba: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD, INIFAT.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. (2009) Evaluación de flujos de inversión y de financiamiento para acciones de mitigación y adaptación en el sector agropecuario (resumen ejecutivo). Recuperado el 25 de junio de 2011, de www.undpcc.org/.../IFF%20Chapter%206_Agriculture%20Mitigatio