

**"BALANCE DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN SISTEMAS  
SILVOPASTORILES INTENSIVOS CON LEUCAENA (*Leucaena leucocephala*) EN  
LA HACIENDA "EL CHACO", TOLIMA, COLOMBIA"**

**JUAN CARLOS ARCOS DORADO**

**Trabajo para optar a Maestría en Ciencias Pecuarias Énfasis en Ganadería  
Ecológica.**

**Director**

**HERNÁN JAIR ANDRADE CASTAÑEDA**

**Ph D. en Agroforestería**

**UNIVERSIDAD DEL TOLIMA**

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS PECUARIAS ÉNFASIS EN GANADERÍA ECOLÓGICA**

**IBAGUÉ-TOLIMA**

**2016**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

|   |  |                             |
|---|--|-----------------------------|
|  | <b>UNIVERSIDAD DEL TOLIMA</b><br><b>FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA</b> | ACTA No. 001                |
|   | <b>ACTA SUSTENTACIÓN TESIS DE GRADO</b>  | Fecha: 7 de Febrero de 2017 |
|   |  | Página 1 de 1               |

### TESIS DE GRADO DIRIGIDA

Siendo las 18:00 horas del día martes 7 de febrero de 2017, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad del Tolima, los jurados calificadores integrados por los doctores **Luisa Amparo Díaz Jaimes** y **Jairo Ricardo Mora Delgado**, el Director de Tesis doctor **Hernán Jair Andrade Castañeda** para dar su concepto sobre la Tesis de Grado, presentada por el estudiante de la Maestría en Ciencias Pecuarias Énfasis en Ganadería Ecológica **Juan Carlos Arcos Dorado**.

Titulada: "BALANCE DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES INTENSIVOS CON LEUCAENA (*Leucaena leucocephala*) EN LA HACIENDA "EL CHACO", TOLIMA, COLOMBIA".

Luego de las correcciones y deliberaciones, el jurado asignó la calificación de

cuatro punto cuatro (4,4)

Para constancia se firma:

**LUISA AMPARO DÍAZ JAIMES**  
JURADO




**JAIRO RICARDO MORA DELGADO**  
JURADO



**HERNAN JAIR ANDRADE CASTAÑEDA**  
DIRECTOR



**LINA MARIA PEÑUELA SIERRA**  
CORDINADORA MAESTRIA



## DEDICATORIA

A:

*Dios, Todopoderoso.*

*Mis padres, hermanas y sobrinos por ser siempre ese apoyo incondicional cuando están a mi lado y aun en su ausencia.*

*Juanita María, mi hija, mi mayor inspiración.*

*Mis maestros, por su gran apoyo.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al doctor Roberto Mejía Caicedo Q.E.D. y su familia que incondicionalmente pusieron a mi disposición la Hacienda “El Chaco”.

Al director de mi trabajo doctor Hernán Jair Andrade Castañeda quien apoyó desde un principio mi idea y me guio paso a paso hasta culminar con este trabajo.

A la Universidad del Tolima.

A la Federación Colombiana de Ganaderos FEDEGAN.

A todos y cada una de las personas que de una u otra forma me apoyaron en este proceso para hoy poder ver realizado mi proyecto y poder culminar otra etapa más en la vida.

## CONTENIDO

|   | Pág. |
|---|------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                                     | 15   |
| <b>1. OBJETIVOS</b>                                     | 19   |
| 1.1. OBJETIVO GENERAL                                   | 19   |
| 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS                              | 19   |
| 1.3. HIPÓTESIS  | 19   |
| <b>2. MARCO REFERENCIAL</b>                             | 20   |
| 2.1. REVISIÓN DE LITERATURA                             | 20   |
| 2.1.2. Gases de efecto invernadero                      | 21   |
| 2.1.3. Dióxido de carbono                               | 23   |
| 2.1.4. Metano   | 25   |
| 2.1.5. Óxido nitroso                                    | 26   |
| 2.1.6. Captura y almacenamiento de carbono              | 27   |
| 2.1.7. Captura y almacenamiento de carbono              | 29   |
| 2.1.8. Balance de GEI                                   | 30   |
| <b>3. DISEÑO METODOLÓGICO</b>                           | 32   |
| 3.1. MATERIALES Y MÉTODOS                               | 32   |
| 3.1.1. Área de estudio                                  | 32   |
| 3.1.2. Sistemas a evaluar                               | 34   |
| 3.2. METODOLOGÍA  | 37   |
| 3.2.1. Componente arbóreo y arbustivo                   | 37   |
| 3.2.2. Biomasa y carbono total del componente arbóreo   | 39   |
| 3.2.3. Biomasa y carbono total del componente arbustivo | 41   |

|   |    |
|---|----|
| 3.2.4. Biomasa y carbono total de la pastura  | 42 |
| 3.2.5. Almacenamiento de carbono en suelo   | 43 |
| 3.3. COMPONENTE PECUARIO  | 44 |
| 3.3.1. Emisión de metano (CH <sub>4</sub> )   | 44 |
| 3.3.2. Factor de emisión de metano (FE):  | 44 |
| 3.3.3. Factor de conversión en metano (Y <sub>m</sub> )   | 44 |
| 3.3.4. Determinación de la energía bruta (EB)   | 45 |
| 3.3.5. Energía neta de mantenimiento (EN <sub>m</sub> )   | 46 |
| 3.3.6. Energía neta para la actividad animal (EN <sub>a</sub> )   | 46 |
| 3.3.7. Energía neta para crecimiento (EN <sub>g</sub> )   | 47 |
| 3.3.8. Energía neta para lactancia (EN <sub>l</sub> )   | 47 |
| 3.3.9. Energía neta para la preñez (EN <sub>p</sub> )   | 48 |
| 3.3.10. Relación entre la energía   | 48 |
| 3.3.11. Relación entre la energía neta disponible para crecimiento<br>y la energía digerible consumida (REG). | 49 |
| 3.3.12. Ingesta de alimento en materia seca (IMS)   | 49 |
| 3.4. EMISIÓN DE METANO (CH <sub>4</sub> ) POR MANEJO O GESTIÓN DEL<br>ESTIÉRCOL DEL COMPONENTE BOVINO         | 50 |
| 3.4.1. Tasa de excreción de sólidos volátiles (SV).   | 52 |
| 3.5. EMISIONES DIRECTAS DE N <sub>2</sub> O RESULTANTES DE LA<br>GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL                        | 54 |
| 3.5.1. Emisiones de GEI procedentes del componente pecuario.  | 57 |
| 3.6. MÉTODOS ESTADÍSTICOS   | 58 |
| <b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>  | 59 |
| 4.1. BIOMASA Y CARBONO TOTAL DEL COMPONENTE ARBÓREO   | 59 |
| 4.2. BIOMASA Y CARBONO TOTAL DEL COMPONENTE ARBUSTIVO   | 61 |
| 4.2.1. Biomasa residual y carbono total de la pastura. La biomasa   | 62 |
| 4.2.2. Biomasa total, carbono total y fijación de CO <sub>2</sub> de los sistemas<br>silvopastoriles          | 63 |
| 4.3. CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO (COS) Y   |    |

|   |           |
|---|-----------|
| ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO   | 65        |
| <b>4.4. COMPONENTE PECUARIO</b>   | <b>66</b> |
| 4.4.1. Energía neta de mantenimiento ENm:   | 66        |
| 4.4.2. Energía neta para la actividad animal ENa:   | 66        |
| 4.4.3. Energía neta para crecimiento (ENg):   | 67        |
| 4.4.4. Energía neta para lactancia (ENl):   | 68        |
| 4.4.5. Energía neta para la preñez (ENp):   | 69        |
| 4.4.6. Relación entre la energía neta disponible  | 69        |
| 4.4.7. Relación entre la energía neta disponible  | 70        |
| 4.4.8. Energía bruta EB:  | 70        |
| 4.4.9. Factor de emisión de metano FE   | 70        |
| 4.4.10. Emisiones de M por fermentación entérica  | 71        |
| 4.4.11. Ingesta de alimento en materia seca (IMS):  | 72        |
| <b>4.5. EMISIÓN DE METANO (CH<sub>4</sub>) POR MANEJO O GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL DEL COMPONENTE BOVINO</b> | <b>72</b> |
| <b>4.6. EMISIONES DIRECTAS DE OXIDO NITROSO (N<sub>2</sub>O)</b>  | <b>73</b> |
| 4.6.1. Emisiones de GEI   | 74        |
| <br>  |           |
| <b>5. CONCLUSIONES</b>  | <b>78</b> |
| <br>  |           |
| <b>RECOMENDACIONES</b>  | <b>80</b> |
| <br>  |           |
| <b>REFERENCIAS</b>  | <b>81</b> |

## LISTA DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Usos del suelo en la Hacienda “El Chaco”.                                    | 33 |
| <b>Tabla 2.</b> Peso de los bovinos según categoría. Hacienda “El Chaco”, Piedras            | 37 |
| <b>Tabla 3.</b> Factores utilizados para calcular las emisiones de metano (CH <sub>4</sub> ) | 54 |
| <b>Tabla 4:</b> Potencial de calentamiento por efecto invernadero                            | 57 |
| <b>Tabla 5.</b> Distribución de dap y densidad de árboles en SSP                             | 59 |
| <b>Tabla 6.</b> Biomasa total y carbono almacenado en el componente                          | 60 |
| <b>Tabla 7.</b> Distribución de d <sub>30</sub> y densidad de arbustos en SSP                | 61 |
| <b>Tabla 8.</b> Biomasa total y carbono almacenado en el componente                          | 62 |
| <b>Tabla 9.</b> Biomasa residual y carbono almacenado por la pastura <i>Cynodon</i>          | 63 |
| <b>Tabla 10.</b> Biomasa total, carbono almacenado y fijación de CO <sub>2</sub> en los SSP  | 65 |
| <b>Tabla 11.</b> Inventario de carbono orgánico del suelo y almacenamiento                   | 65 |
| <b>Tabla 12.</b> Energía Neta para mantenimiento (ENm)                                       | 66 |
| <b>Tabla 13.</b> Energía Neta para la actividad animal (ENa)                                 | 67 |
| <b>Tabla 14.</b> Energía Neta para crecimiento (ENg)   | 67 |
| <b>Tabla 15.</b> Energía Neta para lactancia (ENl)   | 68 |
| <b>Tabla 16.</b> Energía Neta para preñez (ENp)  | 69 |
| <b>Tabla 17.</b> Energía bruta requerida por el componente pecuario.                         | 70 |



|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 18.</b> Factor de emisión de metano (FE)   | 71 |
| <b>Tabla 19.</b> Emisiones de metano por fermentación entérica                                    | 71 |
| <b>Tabla 20.</b> Ingesta de materia seca (IMS)  | 72 |
| <b>Tabla 21.</b> Emisiones de metano (CH <sub>4</sub> )   | 73 |
| <b>Tabla 22.</b> Emisiones de óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)                                    | 74 |
| <b>Tabla 23.</b> Emisiones de tres gases de efecto invernadero (GEI)                              | 74 |
| <b>Tabla 24.</b> Emisiones de C en Mg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> del componente pecuario. | 75 |
| <b>Tabla 25:</b> Huella de carbono unitaria por producción de leche                               | 76 |
| <b>Tabla 26:</b> Balance de Gases de Efecto Invernadero en los SSP                                | 76 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica de la Hacienda “El Chaco”.  | 34 |
| <b>Figura 2.</b> Ubicación espacial de los sistemas a evaluar: SSP1, SSP2 y SSP3  | 36 |
| <b>Figura 3.</b> Distribución espacial de las parcelas de muestreo  | 38 |
| <b>Figura 4.</b> Diseño espacial de las parcelas de muestreo de árboles y arbustos  | 39 |
| <b>Figura 5.</b> Toma de muestra de suelo para determinación de densidad aparente   | 42 |
| <b>Figura 6.</b> Toma de muestra para determinación de Carbono Orgánico   | 42 |
| <b>Figura 7.</b> Aplicación de estiércol a las pasturas en la Hacienda El Chaco   | 51 |
| <b>Figura 8.</b> Biomasa total en $Mg\ ha^{-1}$ de los SSP estudiados en la Hacienda “El Chaco”, municipio de Piedras-Tolima. | 63 |
| <b>Figura 9.</b> Almacenamiento total de Carbono de los SSP estudiados  | 64 |
| <b>Figura 10</b> Balance de Gases de Efecto Invernadero en los SSP  | 77 |

## RESUMEN

El estudio se realizó para estimar el balance de gases de efecto invernadero (GEI) en sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) en la Hacienda “El Chaco” municipio de Piedras, mediante la cuantificación de la fijación de carbono (C) en la biomasa de los SSP y la estimación las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) en el sistema de producción pecuaria. Se evaluaron tres SSPi con diferentes edades compuestos por leucaena (*Leucaena leucocephala*) y árboles de sombrío y maderables, sembrados en surcos múltiples y con pasto estrella (*Cynodon nlenfuensis*) como cobertura. El componente pecuario es una lechería tropical, con ordeño mecánico conformado por vacas de raza Gyrolando. La fijación de carbono en los componentes arbóreo y arbustivo se estimó como el almacenamiento de carbono en un tiempo dado, realizando muestreos no destructivos utilizando modelos alométricos. Para determinar las emisiones de GEI del componente pecuario se utilizó el método de Nivel 2 propuesto por el IPCC, que se emplea para calcular los factores de emisión FE. El FE de CH<sub>4</sub> por fermentación entérica se estimó sobre la base de ingesta de energía bruta EB. Los FE de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O por gestión del estiércol se calcularon siguiendo los lineamientos del IPCC-2006.

Se determinó que el carbono total almacenado del componente arbóreo en los SSPi es mayor cuando sus individuos son árboles con diámetro a la altura del pecho (DAP) superior. Esto se evidencia en el SSP1 donde hay mayor presencia de árboles con DAP superior a 25 cm. ( $9,2 \pm 4,4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de carbono), mientras que en el SSP3 donde el componente arbóreo es superior en número pero el DAP no supera los 10 cm. fue de  $1,3 \pm 0,2 \text{ Mg ha}^{-1}$  de carbono. La fijación total de CO<sub>2</sub> está relacionado con la edad, desarrollo y biomasa total de los SSP así, el SSP3 está fijando mayor cantidad de CO<sub>2</sub> ( $13,2 \pm 1,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) que los SSP1 y SSP2 que tienen mayor edad ( $2,5 \pm 0,9 \text{ Mg ha}^{-1}$  y  $2,5 \pm 0,6 \text{ Mg ha}^{-1}$  respectivamente).

En “El Chaco” se presentan emisiones de  $249,5 \text{ Mg CO}_2\text{e año}^{-1}$  por fermentación entérica y gestión del estiércol del componente pecuario. Estas emisiones son

equivalentes a  $1,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  de carbono. El balance general de GEI en la Hacienda “El Chaco”, para los SSP1 y SSP2 donde pastorea el ganado que no está en producción de leche es positivo y con valor igual a  $0,2 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Para el SSP3 donde pastorean las vacas en producción de leche, el balance general también es positivo con valor de  $1,3 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

El balance general positivo de GEI de los SSP estudiados, permite verificar que son sistemas ambientalmente sostenibles ya que sus componentes forrajeros son capaces de fijar mayor cantidad de  $\text{CO}_2$  que las emisiones del mismo originadas por la fermentación entérica y la gestión del estiércol del componente pecuario.

**Palabras Claves:** Cambio climático, gases efecto invernadero, factores de emisión de GEI, balance de GEI, sistemas silvopastoriles.

## ABSTRACT

The study was carried out to estimate the greenhouse gas (GHG) balance in intensive silvopastoral systems (SSPi) at the "El Chaco" municipality of Piedras, by quantifying the carbon fixation (C) in the biomass of the SSP and estimation of emissions of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) in the production of the livestock system. Three SSPi with different ages composed of leucaena (*Leucaena leucocephala*) and shady and timber trees, multirowed and stargrass (*Cynodon nlenfuensis*) were surveyed as cover. The livestock component is a tropical dairy, with mechanical milking conformed by Gyrolando cows. The carbon fixation in the arboreal and shrub components was estimated as the storage of carbon in a given time, making nondestructive sampling using allometric models. To determine the GHG emissions of the livestock component, the Tier 2 method proposed by the IPCC was used to calculate the FE emission factors. The FE of CH<sub>4</sub> by enteric fermentation was estimated on the basis of gross energy intake EB. The FE of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O for manure management were calculated following the IPCC-2006 guidelines.

It was determined that the total carbon stored in the component of the trees in SSPi is higher when its individuals are trees with a higher level in the diameter at breast height (DBH). This is evidenced in SSP1 where there is a greater presence of trees with DBH greater than 25 cm. ( $9.2 \pm 4.4 \text{ Mg ha}^{-1}$  of carbon), whereas in SSP3 where the tree component is superior in number but the DAP does not exceed 10 cm. was  $1.3 \pm 0.2 \text{ Mg ha}^{-1}$  of carbon. The total CO<sub>2</sub> fixation is related to the age, development and total biomass of the SSPs, so SSP3 is setting a higher amount of CO<sub>2</sub> ( $13.2 \pm 1.2 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) than the older SSP1 and SSP2 ( $2.5 \pm 0.9 \text{ Mg ha}^{-1}$  and  $2.5 \pm 0.6 \text{ Mg ha}^{-1}$  respectively).

The emissions of  $249.5 \text{ Mg CO}_2\text{e year}^{-1}$  of "El Chaco" are presented through enteric fermentation and manure management of the livestock component. These emissions are equivalent to  $1.5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  carbon. The general GHG balance in the "El Chaco" Hacienda, for SSP1 and SSP2 where it grazing livestock is not in milk production is

positive and with a value equal to 0.2 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. For the SSP3 where they graze cows in milk production, the overall balance is also positive with a value of 1.3 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>.

The positive GHG balance of the SSPs studied allows us to verify that they are environmentally sustainable systems since their forage components are capable of fixing more CO<sub>2</sub> than the emissions from the same originated by the enteric fermentation and the manure management of the livestock component.

**Keywords:** Climate change, greenhouse gases, GHG emission factors, GHG balance, silvopastoral systems.

## INTRODUCCIÓN

Desde hace varios años, hay prácticamente un consenso científico universal sobre el hecho de que el cambio climático es una realidad y que su causa es la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), como resultado de la actividad humana. Según Costa. (2007). El sector pecuario presenta un gran potencial para contribuir a la mitigación del cambio climático, a pesar de ser criticado en el pasado como un emisor neto de GEI.

La magnitud del cambio climático y sus impactos dependerá totalmente de las decisiones políticas que los grandes emisores de GEI tomen durante los próximos años. Asegurando Costa (2007) que los escenarios de emisiones futuras avalados por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático<sup>1</sup> (IPCC, por su sigla en inglés de *Intergovernmental Panel on Climate Change*) muestran que, si no se imponen controles efectivos a la emisión de GEI, para el año 2100 el aumento de la temperatura promedio puede llegar a ser de tres grados y medio, el nivel promedio del mar puede subir hasta 60 cm. Por otra parte, las lluvias se redistribuirán: en general, las zonas áridas y secas serán más áridas y secas aumentando los desiertos y zonas inhabitables.

De acuerdo con los escenarios de cambio climático, el departamento del Tolima tiene un incremento de 0,32°C por cada década y una reducción de la precipitación mayor o igual al 10%. El mayor impacto se reflejaría en el aumento de la intensidad y frecuencia de los fenómenos de variabilidad climática (Fenómeno El niño y Fenómeno La niña),

---

<sup>1</sup> El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) fue establecido conjuntamente en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con el mandato de analizar la información científica necesaria para abordar el problema del cambio climático y evaluar sus consecuencias medioambientales y socioeconómicas, y de formular estrategias de respuesta realistas.

los cuales afectan en forma diferente y muy perjudicial al departamento. Debido a que estos fenómenos continuarán manifestándose en los próximos años con mayor intensidad, es necesario que el departamento del Tolima cuente con un instrumento que permita desarrollar e implementar acciones, tanto de mitigación como de adaptación, ante la variabilidad y el cambio climático (IDEAM, 2010).

Una aproximación del perfil de las emisiones de GEI del Departamento del Tolima, obtenido a partir del inventario nacional realizado por el IDEAM (2004), mediante la distribución regional asociada al PIB departamental de cada rama de actividad económica, muestra que el mayor aporte de GEI está asociado con el sector agricultura con un 55,6%, seguido del sector uso del suelo, cambio del uso del suelo y silvicultura con el 21,1%, luego el sector de energía con el 18,5%, le sigue el sector tratamiento de residuos con el 2,5% y por último el sector procesos industriales con el 2,3% (CAEM, 2015).

El sector agricultura el mayor aporte de emisiones de GEI lo genera la fermentación entérica con el 48,5%, seguido de la utilización de fertilizantes nitrogenados en los suelos agrícolas con el 47,5%, luego los cultivos de arroz con el 2,0%, le sigue el manejo de estiércol con el 1,7%, continua la quema en el campo de residuos agrícolas con el 0,1%, y por último, la quema de sabanas con el 0,1% (CAEM, 2015)

La variación de las concentraciones de GEI y aerosoles en la atmósfera, y las variaciones de la cubierta terrestre y de la radiación solar, alteran el equilibrio energético del sistema climático. Una meta prioritaria en el Mundo es remover o reducir el CO<sub>2</sub> de la atmósfera, lo cual es factible mejorando los sumideros o reservorios de carbono y disminuyendo las emisiones del mismo y de otros GEI (IPCC, 2007).

Los sistemas silvopastoriles (SSP) constituyen tecnologías que contribuyen con la remoción y reducción de GEI mediante el secuestro de carbono en la biomasa vegetal y el suelo. Esto se logra mediante el manejo mejorado de sus prácticas como el incremento de la calidad de la dieta de los rumiantes y reduciendo el uso de fertilizantes nitrogenados en las pasturas. También se ha encontrado que la densidad y



disposición de leñosas perennes en los sistemas ganaderos son claves para reducir la huella de carbono (Ibrahim, Mora y Rosales, 2006).

La reducción de los GEI es un compromiso internacional en la actualidad, y la producción bovina representa una fuente importante de emisión de GEI a la atmósfera. La fermentación entérica la cual es una de las principales fuentes de metano depende fundamentalmente de la cantidad y calidad del alimento ingerido, siendo la digestibilidad de la ración uno de los factores más influyentes. Generalmente, existe una correlación negativa entre la digestibilidad de las dietas y la emisión de metano (Cambra, 2008).

Es urgente que los gobiernos y las instituciones elaboren y pongan en práctica políticas adecuadas que se centren en las interacciones ganado-medioambiente, tomando provecho de la producción amigable con el medioambiente. De otro modo, el incremento continuado de la producción pecuaria ejercerá una gran presión sobre los ecosistemas, la biodiversidad, los recursos de tierras y bosques y la calidad del agua, y contribuirá al cambio climático global.

Los SSP se constituyen como una alternativa tecnológica para los sistemas de producción ganadera prevalentes en América Latina (Pagiola, 2004). Ellos contribuyen con la remoción y reducción de GEI mediante el secuestro de carbono en la biomasa vegetal y el suelo, con la mejora de la calidad de la dieta de los rumiantes y la eficiencia en el uso de fertilizantes nitrogenados en las pasturas. A pesar del alto potencial de secuestro de carbono de las tierras de pastoreo del trópico, existe resistencia a implementar los cambios necesarios para potenciar los esfuerzos de mitigación. Así mismo Reid (2003) manifiesta que estas acciones tendrán mayores posibilidades de éxito si se integran las instituciones, se tiene un adecuado conocimiento del ecosistema y los bienes y servicios que brinda, y además, se provee a los productores de elementos para su seguridad alimentaria

El presente estudio considera cuantificar el almacenamiento de carbono y estimar el balance de GEI en sistemas silvopastoriles intensivos con leucaena en el norte del

Tolima para definir si realmente son amigables con el medio ambiente. Los resultados servirán de base para el fomento de sistemas de producción ganaderos amigables con el ambiente.

# 1. OBJETIVOS

## 1.1 OBJETIVO GENERAL

Estimar el balance de GEI en sistemas silvopastoriles intensivos con leucaena (*Leucaena leucocephala*) en la Hacienda “El Chaco” del municipio de Piedras, Tolima, Colombia.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuantificar las tasas de fijación de carbono en biomasa en sistemas silvopastoriles intensivos con leucaena (*Leucaena leucocephala*).
- Estimar las emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso en el sistema de producción pecuaria.
- Construir el balance de GEI para los sistemas silvopastoriles intensivos con leucaena (*Leucaena leucocephala*) en la explotación ganadera “El Chaco”.

## 1.3 HIPÓTESIS

- El componente leñoso de los sistemas silvopastoriles intensivos tiene un impacto positivo en la fijación de carbono en biomasa y suelo.
- Los sistemas silvopastoriles permiten fijar netamente GEI y ser más amigables con el medio ambiente que sistemas de producción ganadera tradicional.
- La edad de los sistemas silvopastoriles afecta la fijación y huella de carbono.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1. REVISIÓN DE LITERATURA

**2.1.1.** Efecto invernadero. En los últimos 10000 años, que corresponde al presente período interglaciar, el clima de la tierra ha permanecido relativamente estable. A lo largo de dicho período, las sociedades modernas han venido evolucionando y en muchos casos han logrado adaptarse a las condiciones climáticas locales y a su variabilidad natural. En la actualidad sin embargo, la sociedad enfrenta cambios potencialmente mucho más rápidos en las condiciones climáticas futuras debido a actividades humanas que afectan tanto la composición de la atmósfera como el balance de la radiación solar (Baethgen y Martino, 1995).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 2003) establece que se debe estabilizar, a un cierto nivel, las concentraciones de GEI en la atmósfera, lo cual podría prevenir la peligrosa interferencia antropogénica con el clima y contribuiría a minimizar los riesgos y efectos adversos en los ecosistemas. Hasta ahora, no se ha definido cuál es el nivel de GEI en la atmósfera o cual debe ser y que tan rápido debe cumplirse la meta de estabilización. Partes de la CMNUCC (2003) acordaron comprometerse con ciertas acciones para lograr el objetivo global de la convención. La meta para la estabilización de concentraciones de GEI en la atmósfera puede, en principio, lograrse reduciendo las emisiones (reducción de fuentes), y quitando GEI de la atmósfera (perfeccionamiento de sumideros). Estas acciones fueron acordadas en la COP-3 (Conferencia de las partes de la CMNUCC), realizada en Japón en 1997, donde se firmó el Protocolo de Kyoto.

La meta global de la convención sobre el clima requiere que los ecosistemas terrestres del mundo estén en un estado donde su habilidad de actuar como sumidero de GEI se mantenga y se refuerce. Es necesario la conservación y el manejo sostenible de los bosques y otros ecosistemas. Con respecto a la conservación, al perfeccionamiento de

sumideros y reservorios, se requieren cuatro tipos de acciones generales (Kanninen, 2004).

- Medidas contra la desertificación, deforestación y destrucción del bosque. Estos deben apuntar a la estabilización del bosque, donde sea apropiado y aumentarlo, cuando sea posible.
- Promoción de la salud global de los ecosistemas. Esto incluye especialmente acciones contra efectos dañinos causados por contaminantes.
- Medidas contra la degradación de los ecosistemas, tal como el manejo no sostenible, y medidas que aumenten el potencial de bosques para actuar como sumideros de GEI (densidades y áreas de reservorios y cantidad de biomasa).
- Promoción de investigación científica, monitoreo e intercambio de información sobre los bosques como fuentes y sumideros de GEI, y sobre el manejo sostenible de los mismos.

Los ecosistemas pueden ser tanto fuentes como sumideros de GEI, ya que pueden ser depósitos considerables de carbono. Por ejemplo, los bosques contienen más de 80% del carbono global sobre el suelo. De esta manera, las acciones que incluyen los bosques se relacionan con estas categorías: las fuentes y los sumideros (Kanninen, 2004).

El manejo sostenible del reservorio de carbono en bosques existentes, SSP y tierras agrícolas ofrece una opción interesante de mitigación. El contenido de carbono por encima del suelo de los ecosistemas forestales tropicales varía entre 25 y 250 Mg C ha<sup>-1</sup>. De esta manera, al reducir la deforestación y al aumentar las medidas para la protección del bosque se ofrece una manera rentable de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, esta opción se excluyó de los Mecanismos de Desarrollo Limpio durante las negociaciones de implementación del Protocolo de Kyoto (Kanninen, 2004).

En 2005, un grupo de países liderado por Papua Nueva Guinea, llevó el tema de la deforestación evitada a la agenda de la CMNUCC, realizada en Montreal (COP-11). Así, la discusión sobre el papel de los bosques en la lucha contra el cambio climático

volvió al debate internacional. Durante la COP-13, realizada en Bali en 2007, la CMNUCC reconoció la reducción de emisiones por deforestación y degradación de los bosques (REDD) como un mecanismo válido en la lucha contra el cambio climático (UICN, 2013).

Según el Plan de Acción de Bali (2007), se denomina REDD+ a la reducción de emisiones derivadas de la deforestación y la degradación forestal; además de la conservación, el manejo sostenible y el mejoramiento del stock de carbono de los bosques en los países en desarrollo (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2013).

Comparado con otros mecanismos para la reducción de emisiones de GEI, el tema REDD+ es complejo. Actualmente se discute la posibilidad de pagar a los países en desarrollo por el valor del carbono almacenado en sus bosques. Se considera que estos pagos podrían contribuir a revertir la deforestación, lo que otorga un mayor atractivo al manejo forestal sostenible (UICN, 2013).

**2.1.2. Gases de efecto invernadero.** Los principales GEI son el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y los halocarbonos. Estos gases absorben la radiación infrarroja emitida desde la superficie de la tierra incrementando la temperatura global (IPCC 2003). De los doce últimos años (1995-2006), once años figuran entre los doce más cálidos en los registros instrumentales de la temperatura de la superficie mundial (desde 1850). La tendencia lineal a 100 años (1906-2005), cifrada en 0,74°C es superior a la tendencia correspondiente de 0,6°C (1901-2000), este aumento de temperatura está distribuido por todo el planeta y es más acentuado en las latitudes septentrionales superiores. Las regiones terrestres se han calentado más aprisa que los océanos (IPCC, 2007).

Sin la presencia de GEI, la temperatura en la superficie de la Tierra sería unos 33°C inferior a la actual, siendo hostil a la vida. El CO<sub>2</sub> también se agrega a la atmósfera como consecuencia de las actividades humanas comunes, principalmente por la quema de combustibles fósiles y la destrucción de la selva pluvial. Por ello, es necesario

distinguir entre el efecto invernadero natural y el efecto invernadero antropogénico (Universidad de Medellín, 2005).

Las actividades humanas generan emisiones de cuatro GEI de larga permanencia: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y halocarbonos (grupo de gases que contienen flúor, cloro o bromo). Las concentraciones de GEI en la atmósfera aumentan cuando las emisiones son superiores en magnitud a los procesos de detracción o mitigación (IPCC, 2007).

Según el inventario de GEI para el año 2004, Colombia aporta el 0,37% (180.010 Gg) del total emitido en el mundo además de este último informe se concluye también que el módulo “Agricultura” registra la mayor proporción en las emisiones totales de GEI en Colombia con una participación de 38,1% (68.566 Gg CO<sub>2</sub>e), siendo del 18,5% la proporción en que la fermentación entérica participa en el total de los GEI en Colombia en 2004 (IDEAM, 2009).

Los GEI provocan que la radiación infrarroja producida por el sol se concentre en la atmósfera, calentando así la superficie de la Tierra y la parte inferior de la misma. Estos gases han estado presentes en la atmósfera en cantidades residuales en gran parte de la historia de la Tierra. El vapor de agua, debido a su abundancia, es el gas natural de efecto invernadero más importante.

**2.1.3. Dióxido de carbono.** El CO<sub>2</sub>, principal GEI, es capturado de la atmósfera en sistemas terrestres mediante la fotosíntesis de las plantas, y puede ser almacenado en la materia orgánica del suelo, ocupa el segundo lugar de importancia (y primero de origen antropogénico), se agrega a la atmósfera tanto de modo natural como antropogénico (Arias et al. 2001). Sus emisiones anuales aumentaron en torno a un 80% entre 1970 y 2004. La disminución a largo plazo de las emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de energía suministrada invirtió su tendencia a partir del año 2000. Los aumentos de la concentración mundial de CO<sub>2</sub> se deben principalmente a la utilización de combustibles de origen fósil y, en una parte apreciable pero menor, a los cambios de uso de la tierra (IPCC, 2007).

Entre los años 1970 y 2004, las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> han aumentado en aproximadamente un 80%, pasando de 21 a 38 Gt, y en 2004 representaban un 77% de las emisiones totales de GEI antropogénicos. Durante el reciente decenio 1995-2004, la tasa de crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>-e) fue mucho mayor (0,92 Gt CO<sub>2</sub>e año<sup>-1</sup>) que durante el período anterior de 1970-1994 (0,43 GtCO<sub>2</sub>e/año) (IPCC, 2007).

El desarrollo sostenible puede potenciar tanto la capacidad de adaptación como la de mitigación. El desarrollo sostenible, por consiguiente, puede reducir la vulnerabilidad al cambio climático aminorando las sensibilidades (mediante adaptación) y/o la exposición (mediante mitigación). Sin embargo, en la actualidad son pocos los planes de fomento de la sostenibilidad que incluyen explícitamente la adaptación a los efectos del cambio climático o la promoción de una capacidad adaptativa (IPCC, 2007).

Se conoce el papel de las pasturas en el ciclo global del carbono. Según Minami et al. (1993), las pasturas contienen aproximadamente el 20% del aporte global del carbono orgánico del suelo (COS). De esta forma las áreas de pastos están contribuyendo al secuestro de carbono de la atmósfera y reduciendo la tasa de incremento de CO<sub>2</sub> atmosférico.

Una buena parte del carbono está almacenado en las pasturas dedicadas a la actividad ganadera. Por ejemplo, Veldkamp et al. (1997) indican que por la introducción de pasturas seleccionadas, las sabanas de Sudamérica estarían secuestrando entre 100 y 507 Mg C año<sup>-1</sup>. En este sentido, las gramíneas con altos rendimientos de biomasa y bien adaptadas, tienen un rol importante en la retención y reducción de la emisión de carbono. Lo anterior se debe tanto a la productividad de biomasa aérea como de raíces; a la longevidad de estas últimas; y a la deposición de materia orgánica al suelo cuando son establecidas en suelos de vocación agropecuaria, y en sistemas de producción adecuados.

En general, los sistemas agroforestales pueden contener considerables depósitos de carbono, los cuales en ciertos casos están por encima de aquellos en bosques



secundarios. Estudios recientes mostraron que la productividad primaria neta en pastizales tropicales es mayor que la concebida previamente. De manera que, el papel de los pastizales tropicales es muy importante en el ciclo global del carbono y su respuesta al cambio del clima. Los pastizales cubren el 20% del área global, por lo que sus suelos son un importante reservorio de carbono (Kanninen, 2004).

**2.1.4. Metano.** Las emisiones de metano por los rumiantes domésticos no solo representan un problema económico por las pérdidas energéticas que implican menor productividad, sino también uno ambiental debido al efecto del metano producto de la fermentación entérica sobre el cambio climático. El metano emitido por los bovinos domésticos, en su calidad de GEI, juega un papel cada vez más importante en relación con el calentamiento global dado su incremento en los últimos años (Marín, 2013).

Los bovinos disponen de un sistema digestivo que tiene la capacidad de aprovechar y convertir material fibroso con altos contenidos de celulosa, en alimentos de alta calidad nutritiva: carne y leche. Sin embargo, por sus características innatas, este mismo sistema digestivo también produce metano, un potente gas con efecto invernadero y que contribuye con el 18% del calentamiento global antropogénico, superado sólo por el CO<sub>2</sub> (Carmona et al. 2005).

El ganado bovino emite metano debido a que en el proceso digestivo, que ocurre bajo condiciones anaeróbicas, participan diferentes tipos de bacterias. Estas degradan la celulosa ingerida a glucosa, que fermentan después a ácido acético y reducen el dióxido de carbono, formando metano en el proceso. La emisión de metano representa energía alimenticia que se pierde en forma de gas, en vez de ser aprovechada y transformada en leche o carne (Murgueitio, Cuartas y Naranjo, 2008; Marín, 2013).

Se ha estimado que los rumiantes pueden producir entre 250 y 500 l de metano por día y que dicha producción representa una pérdida de 2 al 12% de la ingesta de los rumiantes de la energía bruta, dependiendo del nivel de consumo de alimento, la composición de la dieta y la digestibilidad aparente de la energía alimentaria, (Marín, 2013).

Cuando los bovinos son alimentados con forrajes de baja calidad nutritiva se presentan deficiencias en nutrientes esenciales para los microorganismos ruminales, por lo que la eficiencia en el crecimiento de éstos en el rumen es baja. Bajo estas circunstancias, la producción de metano podría representar entre el 15 y el 18% de la energía digestible. La corrección de estas deficiencias nutricionales podría reducir las pérdidas a valores cercanos al 7% (Murgueitio et al. 2008).

Afortunadamente, es factible reducir las emisiones de metano en la ganadería y además, en la mayoría de los casos, los productores pueden incrementar sus ingresos por el mejoramiento de la respuesta animal. Adicionalmente, si se necesitan menos animales para producir la misma cantidad de producto, esto significa que la emisión de metano por unidad de producto obtenido es menor. Por lo tanto, se podría emitir menos cantidad de metano en la producción de carne o leche. En consecuencia, se necesitaría menos terreno dedicado a la ganadería, y dependiendo del uso potencial de ese suelo, el área liberada podría ser dedicada a la agricultura, a la plantación de especies arbóreas, o bien se podría destinar como área de conservación (Kanninen, 2004).

**2.1.5. Óxido nitroso.** Es un GEI producido en cantidades considerables en la actividades agropecuaria, con una contribución relativa al efecto invernadero estimada en 5% (IPCC 1996). El valor potencial de calentamiento global de este gas se estima en 298 veces mayor que una molécula de CO<sub>2</sub> (IPCC, 2007). El N<sub>2</sub>O se produce naturalmente en el suelo por dos procesos biológicos: la desnitrificación y la nitrificación. En la desnitrificación los microorganismos del suelo utilizan el nitrato (en ausencia de oxígeno) como aceptor final de electrones en el proceso respiratorio. El nitrato es reducido y uno de los productos intermedios del proceso que puede ser liberado a la atmósfera es el N<sub>2</sub>O (Mora, 2001). Las fuentes antropógenas más importantes de N<sub>2</sub>O son las heces y orina de los animales, aguas residuales de explotaciones ganaderas y fertilizantes nitrogenadas aplicados a las pasturas y cultivos.

Según el IPCC (2006), las emisiones de N<sub>2</sub>O pueden ser directas e indirectas. Las emisiones directas se producen por aplicaciones de N a los suelos y las indirectas por

volatilización de  $\text{NH}_3$  por el manejo del suelo, por la quema de combustibles fósiles y la quema de biomasa. Desde la perspectiva agrícola, las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  del suelo, representan pérdidas del sistema y disminución en la eficiencia de uso del nitrógeno (N). El suelo es considerado la fuente más importante de emisiones, contribuyendo con un 65% del total global. La emisión anual de  $\text{N}_2\text{O}$  de sistemas agrícolas es de  $6,3 \text{ Tg}^3$ , e incluye las emisiones de suelos agrícolas y sistemas de producción animal a sistemas acuáticos y a la atmósfera. (Messa, 2009).

Las concentraciones atmosféricas de  $\text{CO}_2$  (379 ppm) y  $\text{CH}_4$  (1774 ppm) en 2005 exceden con mucho el intervalo natural de valores de los últimos 650.000 años. Los aumentos de la concentración mundial de  $\text{CO}_2$  se deben principalmente a la utilización de combustibles de origen fósil y, en una parte apreciable pero menor, a los cambios de uso de la tierra. Es muy probable que el aumento observado de la concentración de  $\text{CH}_4$  se deba predominantemente a la agricultura y a la utilización de combustibles de origen fósil. El aumento de metano ha sido menos rápido desde comienzos de los años 90, en concordancia con las emisiones totales (como suma de fuentes antropogénicas y naturales), que han sido casi constantes durante ese período. El aumento de la concentración de  $\text{N}_2\text{O}$  procede principalmente de la agricultura. (IPCC, 2007).

**2.1.6.** Captura y almacenamiento de carbono. La fijación se estima como el cambio en el almacenamiento de carbono en un tiempo dado. La captura de carbono se realiza únicamente durante el desarrollo de los árboles. Estos árboles absorben cantidades importantes de  $\text{CO}_2$  atmosférico junto otros elementos en suelos y aire para convertirlos en madera. La cantidad de  $\text{CO}_2$  que un árbol captura durante un año, consiste sólo en el pequeño incremento anual de la biomasa en el árbol multiplicado por la biomasa del árbol que contiene carbono. Los índices de captura varían de acuerdo a la especie, al suelo, a la topografía y a las prácticas de manejo por la utilización de fertilizantes químicos. (Quiñones, 2012).

---

<sup>3</sup>Tg =  $10^{12}\text{g}$  = 1.000.000 t

A través del secuestro de carbono, los niveles del CO<sub>2</sub> atmosférico pueden reducirse en la misma medida que los niveles de carbono orgánico del suelo aumentan. Si el carbono orgánico del suelo no es alterado, puede permanecer en el suelo por muchos años como materia orgánica estable. Este carbono es entonces secuestrado o removido por el reservorio disponible para ser reciclado en la atmósfera. De esta forma se pueden reducir los niveles de CO<sub>2</sub>, disminuyendo las probabilidades de calentamiento global (Rice, 2002)

El término "sumidero", según la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (CMNUCC), se define como cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe o remueve un GEI, un aerosol o un precursor de un GEI de la atmósfera. Por tanto, de acuerdo a la CMNUCC se define como Depósito de carbono: todo componente del sistema climático que almacena un GEI o un precursor del mismo. La permanencia depende de varios factores tales como la respiración, los raleos, los incendios y plagas, el aprovechamiento maderable, la deforestación y el cambio de uso de la tierra, que regulan la pérdida de carbono acumulado (Russo, 2002).

Los bosques y sistemas agroforestales desempeñan un papel primordial en el ciclo del carbono porque almacenan grandes cantidades de carbono en la vegetación y en el suelo, lo intercambian con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración y son fuentes de CO<sub>2</sub> cuando son perturbados por actividad antropogénica o causas naturales. En los ecosistemas terrestres el carbono queda retenido en la biomasa, en la materia orgánica en descomposición y en el suelo. Estos ecosistemas, por lo tanto, desempeñan un rol importante en el ciclo global del carbono (Ramírez, 2006).

Otras opciones de manejo de carbono relacionadas con los ecosistemas existentes y con los sistemas de producción incluyen la incorporación de árboles en los sistemas, ya sea como sistemas agroforestales o como sistemas silvopastoriles. El contenido de carbono por encima del suelo en sistemas agroforestales o en sistemas silvopastoriles varía entre 10 y 70 Mg C ha<sup>-1</sup>, y el flujo anual de carbono para el sistema se encuentra entre 1 a 10 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Cuando el carbono almacenado en los suelos de estos

sistemas es considerando, las formas anteriores pueden ser multiplicadas por un factor 2. Kanninen (2004) afirma que el almacenamiento potencial de carbono en sistemas silvopastoril es en América Latina, revela que el promedio de flujo de carbono anual, por encima del suelo, para el sistema (durante un período de 50 años), se encuentra entre 1 y 3 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Los valores para el promedio anual del flujo de carbono para el suelo (durante un período de 50 años) es aún más alto, variando entre 1 y 4 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Entretanto, Ibrahim (1994) estima que el almacenamiento de carbono en sistemas arbóreos se es de 2,8 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en plantaciones para leña, (1 Mg = 10<sup>6</sup> g), 1,2 Mg de C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en bosques secundarios, 1,1 Mg de C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en árboles de sombra y de 0,1 Mg de C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en árboles establecidos en potreros (Kurstén y Burschel, 1993). Se ha documentado que la asociación de pasturas con leguminosas forrajeras, mejora el almacenamiento de carbono en los suelos (Ibrahim, 1994).

Se asume que el 50% de la biomasa es carbono (IPCC, 1996). Estudios realizados por Alvarado (2007), determinaron que al realizarse una comparación entre el carbono fijado por la biomasa aérea y el fijado en el suelo, se observa mayor fijación en la biomasa aérea (43,4 ± 1,4%), que en el suelo, en los primeros 15 cm (2,1 ± 0,4%). A medida que las raíces se van profundizando en el suelo, menor es la capacidad de fijar carbono, porque la mayor parte de las raíces de las plantas se encuentran en las capas superficiales del suelo (Alvarado, 2007). Sin embargo, el carbono fijado a capas más profundas del suelo es más estable porque resulta más difícil de removerlo y se puede conservar ahí por mayor tiempo.

**2.1.7. Emisión de metano.** Según el IPCC (2006), el CH<sub>4</sub> procedente de la fermentación entérica de los rumiantes se calcula multiplicando el número de animales que emiten dicho gas por un factor de emisión anual (FE) para el ganado bovino. Este factor de emisión, expresado en kg de CH<sub>4</sub> animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, depende de la ingestión de energía bruta (EB) y del factor de conversión de CH<sub>4</sub> (Y<sub>m</sub>) (Cambra y Torres, 2008).

Las pérdidas de CH<sub>4</sub> se expresan normalmente como fracción de la EB, y a este término se le conoce como Y<sub>m</sub> (IPCC, 1996; IPCC 2006), el valor de Y<sub>m</sub> depende de la calidad y la digestibilidad de las distintas dietas. Dada la relación negativa que existe entre el Y<sub>m</sub> y la digestibilidad, se asume que a medida que aumenta la digestibilidad disminuye el Y<sub>m</sub>. Los valores de Y<sub>m</sub> que se encuentran en la bibliografía varían entre el 2 y 12% de la energía ingerida para distintas dietas (Johnson y Ward, 1995), si bien los valores extremos corresponden a situaciones no usuales en la práctica.

Las emisiones anuales de metano por novillas de carne en pastoreo están entre 32 y 83 kg y entre 60 y 95 kg para vacas adultas, pastoreando en diferentes tipos de praderas. El dato más alto en cada tipo de animal, corresponde a gramíneas de baja calidad nutricional, con sistemas de pastoreo continuo y baja disponibilidad forrajera, mientras que el dato más bajo corresponde a praderas mejoradas, a sistemas de pastoreo rotacional, fertilización y con alta disponibilidad de forraje. En estos reportes, se observa, que de acuerdo a las condiciones de la dieta, las emisiones de metano pueden variar ampliamente, indicando que las características nutricionales de la pastura tienen un efecto marcado en la producción de dicho gas (Carmona et al. 2005).

Se ha determinado que cuando en la dieta de los bovinos en pastoreo se dispone de leguminosas, se mejoran los parámetros productivos concomitantes con una disminución en las producciones de metano, lo que permite visualizar a los sistemas silvopastoriles como una buena alternativa. (Carmona et al. 2005).

**2.1.8. Balance de GEI.** La fijación de carbono en los sistemas agroforestales depende de las características del dosel de sombra, tal como la densidad arbórea, las tasas de crecimiento y la densidad de la madera (Andrade e Ibrahim, 2003). La agroforestería incentiva prácticas sostenibles, las cuales emplean insumos orgánicos de la finca que mejoran la calidad de los suelos, incrementan la materia orgánica del suelo y del ciclaje de nutrientes. Esto permite mayores tasas de fijación de carbono, principalmente en el suelo. La huella de carbono se refiere al balance neto de GEI en cualquier actividad humana. En este caso, se trata de la diferencia entre el carbono fijado en la biomasa y/o suelo y los GEI emitidos por efecto del manejo del SSP. Una huella de carbono

positiva implica una fijación neta de GEI (mitigación); mientras que una huella negativa indica una emisión neta de GEI. Los sistemas más amigables con el medio ambiente, en términos de cambio climático, serán aquellos que tengan la mayor diferencia entre la fijación de carbono y la emisión de GEI (Segura y Andrade, 2012).

Es evidente el efecto positivo que tiene el balance de dietas con leguminosas y otras especies arbóreas en la producción de metano en los sistemas silvopastoriles. Estos sistemas que involucran leguminosas rastreras, arbustivas o arbóreas, y otros tipos de especies con potencial alimenticio, se han considerado una alternativa de amplia viabilidad con animales bajo pastoreo de gramíneas tropicales de baja calidad. Además, se consideran otros aspectos que redundan en una mejoría de las características edáficas y de bienestar en el animal (Carmona et al. 2005).

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. MATERIALES Y MÉTODOS

**3.1.1. Área de estudio.** El estudio se realizó en la Hacienda “El Chaco”, localizada en la vereda Parador Chipalo del municipio de Piedras en el departamento del Tolima – Colombia. El municipio de Piedras hace parte del Valle del Magdalena, una depresión tectónica limitada por fallas inversas de las cordilleras Central y Oriental de Colombia, al oeste y al este respectivamente. En la mayor parte del municipio los basamentos de estas cordilleras limitan directamente y no existe el valle propiamente dicho debido a la prolongación de la cordillera oriental hacia el oeste del río Magdalena conformando la llamada “Barra de Girardot”; que atraviesa en forma diagonal la fosa del Magdalena. (PDM-PIEDRAS. 2008).

La cabecera municipal dista 47 km de la capital del departamento del Tolima y está localizada sobre 4°32.463' N y 74°52.797' O, con una altitud promedio de 404 m. Su área es de 355 km<sup>2</sup>, de los cuales el 0,3%, pertenece al área urbana y el 99,7% al sector rural. En cuanto al uso del suelo, el 59% está destinado a la actividad agrícola, el 14% son pastos y el 27% bosques.

Su ubicación geográfica determina las principales características meteorológicas del municipio: régimen bimodal de lluvias con abundantes precipitaciones a mediados del primero y segundo semestre, un alto contenido de humedad del aire y un régimen térmico poco contrastante. Se presentan dos períodos lluviosos intercalados con dos períodos secos. El primer período lluvioso ocurre entre los meses abril y mayo, siendo mayo el mes más lluvioso en toda el área municipal a excepción de los sectores aledaños al río Magdalena, que tienen su máximo en abril. El segundo período de lluvias se sucede en la mayor parte del municipio entre septiembre y octubre, salvo en el extremo sur occidental (Teucali) donde el período se extiende al mes de noviembre. La precipitación promedio anual incluyendo los dos períodos de lluvia y con reportes



históricos de los últimos 20 años es igual a 1250 mm (Alcaldía municipal de Piedras, 2008).

La Hacienda “El Chaco” está ubicada en la vereda Parador Chipalo del municipio de Piedras (4° 28,935´ N y 74° 59,058´ O). El área total de la Hacienda es de 413 ha, de las cuales 64 están dedicadas a ganadería, 300 ha al cultivo de arroz bajo condiciones de riego. Un área reducida se conserva como bosque secundario y se han adelantado esfuerzos para su conservación desde hace 20 años (Tabla 1 y Figura 1). El área de estudio se clasifica como bosque seco tropical (bs-T) de acuerdo a la clasificación de Holdridge, y a la provincia de humedad Sub-húmeda (precipitación de 500 a 1500 mm/año) (Villaneda, 1989).

**Tabla 1.** Usos del suelo en la Hacienda “El Chaco”.

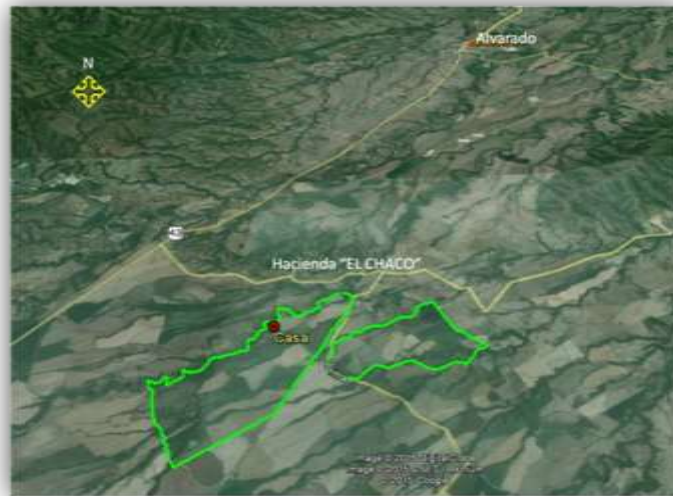
| <b>USO DEL SUELO</b>   | <b>ÁREA (ha)</b> |
|--|------------------|
| Bosque en sucesión secundaria                                | 13,6             |
| Bosque sucesional avanzado                                   | 3                |
| Cultivos de arroz con riego                                  | 300              |
| Cultivo de fique   | 6,6              |
| Silvopastoriles de mediana densidad arbórea                  | 7,2              |
| Silvopastoriles intensivos                                   | 52,1             |
| Banco de forraje con matarratón ( <i>Gliricidia sepium</i> ) | 3,3              |
| Reservorio hídrico (represa)                                 | 2                |
| Instalaciones  | 3,3              |
| Caminos  | 8,8              |
| Otros  | 13               |
| <b>TOTAL</b>   | <b>413</b>       |

Fuente: FEDEGAN, Ganadería Colombiana Sostenible (2014).

Se identifica el área agroecológica Cj, caracterizada por presentar tierra de las planicies aluviales de relieve plano con pendientes menores del 3%. Los suelos predominantes

son Ustropepts, Ustifluvents, Haplustolls, desarrollados a partir de materiales sedimentarios, son moderadamente profundos, generalmente bien drenados y de fertilidad moderada alta. Tierras aptas para cultivos transitorios (arroz, algodón, sorgo, maíz), y para ganadería semiintensiva (CORPOICA-SENA, 1999).

**Figura 1.** Ubicación geográfica de la Hacienda El Chaco.



Fuente: FEDEGAN. Ganadería Colombiana Sostenible, (2014).

**3.1.2. Sistemas a evaluar.** Se evaluaron tres sistemas silvopastoriles intensivos (SSP1, SSP2 y SSP3) compuestos por leucaena (*Leucaena leucocephala*) y árboles de sombrío y maderables, sembrados en surcos múltiples. Los surcos múltiples constan de tres o cuatro filas formando franjas bien definidas. La cobertura de los SSP está conformada por pasto estrella blanca o africana (*Cynodon nlenfuensis*), intercalado en los SSP intensivo se encuentran en segundo y tercer estrato árboles cuyo objetivo es proporcionar sombra al componente pecuario, y otros productos como maderas.

El sistema silvopastoril SSP1 con 16 ha, corresponde al “Lote No.13” de la nomenclatura de la Hacienda “El Chaco”. Este SSP tiene edad de 17 años y su diseño corresponde a franjas de tres surcos de leucaena sembradas a 1 x 1 m con franjas de 3 m. En el espacio entre franjas están establecidos árboles de de cují (*Prosopis juliflora*),

cachimbo (*Erythrina poeppigiana*), leucaena (*Leucaena leucocephala*) y matarratón (*Gliricidia sepium*). La siembra de árboles y arbustos está orientada siguiendo la salida y el ocultamiento del sol. La cobertura del SSP está conformada por pasto estrella (*Cynodon nlenfuensis*).

El sistema silvopastoril SSP2 con 15 ha, corresponde al “Lote Casa” de la nomenclatura de la Hacienda “El Chaco”. Tiene edad de 12 años y su diseño corresponde a franjas de cuatro surcos de leucaena sembradas con distancia de 0,6 x 0,6 m y franjas cada 3 m. Intercalados entre las franjas están establecidos árboles de cují (*Prosopis juliflora*), cachimbo (*Erythrina poeppigiana*), leucaena (*Leucaena leucocephala*) y matarratón (*Gliricidia sepium*). La siembra de árboles y arbustos es de oriente a occidente siguiendo la salida y ocultamiento del sol. La cobertura del SSP está conformada por pasto estrella (*Cynodon nlenfuensis*)

El sistema silvopastoril SSP3 con 15 hectáreas, corresponde al “Lote No.2” de la nomenclatura de la Hacienda “El Chaco”. Es un sistema con árboles maderables y Leucaena, tiene edad de tres años y su diseño corresponde a franjas de tres surcos de árboles maderables sembradas con distancia de 1 x 2 m entre árboles, la distancia entre franjas es de 30 m. Cada franja de los árboles corresponde a una sola especie y están conformadas por teca (*Tectona grandis*), Iguá (*Pseudosamanea guachapele*) y Neem (*Azadirachta indica*). El componente arbustivo conformado por Leucaena (*Leucaena leucocephala*) está sembrado en cuadro a 0,7 m, La cobertura del SSP está conformada por pasto estrella (*Cynodon nlenfuensis*) (Figura 2).

El componente pecuario se maneja bajo el sistema de producción de lechería tropical, con ordeño mecánico y sin ternero. Se realizan dos ordeños diarios, el primero a las 6:00 a.m. y el segundo a las 2:00 p.m. El hato está conformado por vacas de raza Gyrolando y Criollo x Holstein, el manejo reproductivo es mediante monta directa con toros Gyrolando. En la Hacienda permanecen las vacas en producción, las vacas secas, las preñadas, las novillas de reemplazo y los toros reproductores. Las crías son retiradas del hato al quinto día de nacidas. El sistema de pastoreo en el SSP es de tipo

rotacional con permanencia de dos días y descanso de 35 días en los SSP 1 y 2, y un día de ocupación y 35 de descanso en el SSP3.

**Figura 2.** Ubicación espacial de los sistemas a evaluar: SSP1, SSP2 y SSP3



Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

Caracterización del hato ganadero de la Hacienda El Chaco. Las diferentes categorías del ganado presente en La Hacienda “El Chaco” se muestran en el Cuadro 2. Se evidencia un ganado lechero maduro, (vacas en producción de leche y vacas secas o que no están en producción láctea), el ganado clasificado como otros maduros y los bovinos en crecimiento (novillas de reemplazo y levante). La Hacienda “El Chaco” tiene una carga animal de 123,5 UGG<sup>2</sup>, pastoreando en 52,1 h de sistemas silvopastoriles intensivos para una capacidad de carga real de 2,4 UGG h<sup>-1</sup>.

---

<sup>2</sup> Se define para Colombia como Unidad de Gran Ganado UGG, el peso de un bovino adulto equivalente a 450 kilogramos y es utilizada como referencia para igualar todas las categorías del ganado. (Franco, 2006).

**Tabla 2.** Peso de los bovinos según categoría. Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima, 2013.

| <b>CATEGORÍA</b>        | <b>n</b>   | <b>Peso vivo<br/>(kg)</b> | <b>Unidades de<br/>Ganado Grande<br/>(UGG)</b> |
|-------------------------|------------|---------------------------|--|
| Vacas en producción     | 66         | 487,0 ± 12,6              | 71,4   |
| Vacas secas             | 34         | 459,9 ± 18,9              | 34,7   |
| Toros                   | 3          | 781,0 ± 24,5              | 5,2  |
| Novillas en crecimiento | 16         | 343,3 ± 36,7              | 12,2   |
| <b>Total</b>            | <b>119</b> |                           | <b>123,5</b>                                   |

Valores presentados como promedio ± desviación estándar.

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

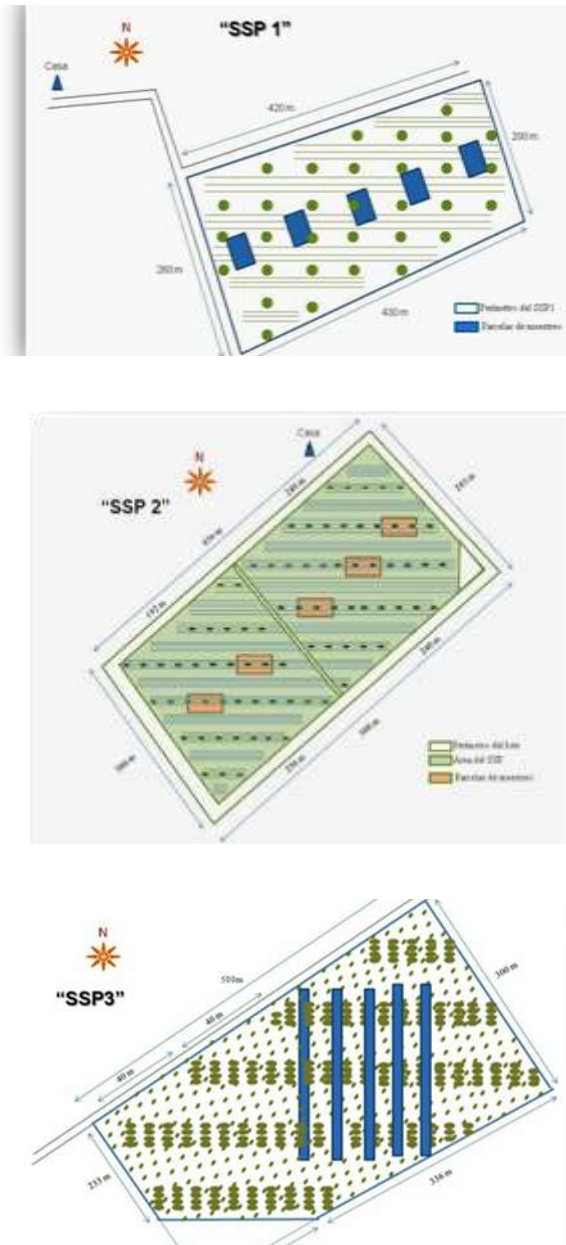
### 3.2. METODOLOGÍA

**3.2.1.** Componente Arbóreo y Arbustivo. Almacenamiento de carbono en biomasa (arriba y abajo del suelo) La fijación se estimó como el almacenamiento de carbono en un tiempo dado, en este caso, la edad de cada sistema. El almacenamiento de carbono se estimó realizando muestreo no destructivo mediante el establecimiento y medición de parcelas y subparcelas temporales de muestreo. En el componente arbóreo se establecieron cinco parcelas rectangulares de muestreo de 1200 m<sup>2</sup> en los SSP 1 y 2 y de 1120 m<sup>2</sup> en el SSP3. Las diferencias en las áreas de las parcelas de muestreo se deben a la densidad de las arbóreas en el sistema (Figura 3).

En cada parcela permanente se midió el dap (diámetro del tronco a la altura del pecho) con cinta métrica a todos los árboles y la altura del fuste y altura de copa con clinómetro marca SUUNTO. Para el componente arbustivo (*Leucaena leucocephala*), se establecieron dos subparcelas de 25 m<sup>2</sup> en cada una de las cinco parcelas de muestreo de los SSP. Las subparcelas se ubicaron en los extremos sur-oriente y nor-occidente de las parcelas para un área total de 50 m<sup>2</sup> por subparcela Figura 4. En

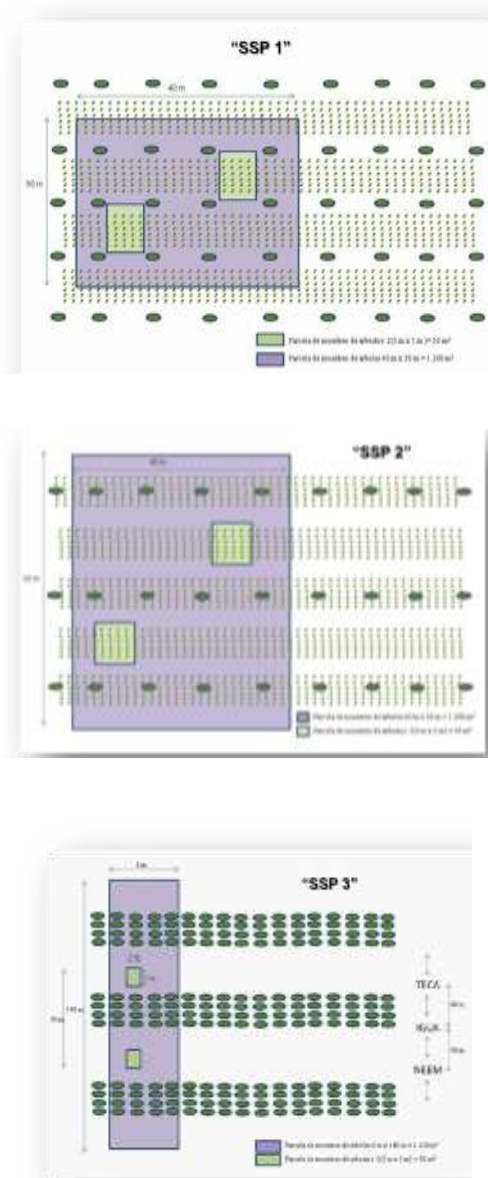
cada subparcela, se midió el diámetro del tronco a 0,3 m de altura y la altura total de todas las plantas. Se utilizó cinta métrica y nonio o calibrador de reloj. Se emplearon modelos de biomasa por especie para transformar las dimensiones de los árboles en pie a biomasa arriba y abajo del suelo.

**Figura 3.** Distribución espacial de las parcelas de muestreo.



Fuente: Hacienda "El Chaco", Piedras – Tolima, (2014).

**Figura 4.** Diseño espacial de las parcelas de muestreo de árboles y arbustos.



Fuente: Hacienda "El Chaco", Piedras – Tolima, (2014).

**3.2.2.** Biomasa y carbono total del componente arbóreo. La biomasa aérea de las especies *Prosopis juliflora*, *Erythrina poeppigiana*, *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Pseudosamanea guachapele* y *Azadirachta indica* se estimó con el método del factor de expansión de biomasa (FEB):

Ecuación: 
$$Ba = Vf * GE * FEB$$

Donde:

$Ba$  = Biomasa aérea (t planta<sup>-1</sup>)

$Vf$  = Volumen del fuste (m<sup>3</sup>)

$GE$  = Gravedad específica de la madera (t m<sup>3</sup>)

$FEB$  = Factor de expansión de biomasa.

El volumen del fuste se estimó con la siguiente ecuación:

Ecuación: 
$$Vf = \frac{\pi}{4} * dap^2 * hf * ff$$

Donde:

$Vf$  = Volumen del fuste (m)

$dap$  = Diámetro a la altura del pecho en centímetros

$hf$  = Altura del fuste en metros

$ff$  = Factor de forma.

La biomasa arriba del suelo de *Tectona grandis* se estimó con el modelo alométrico desarrollado por Pérez y Kanninen (2003).

Ecuación: 
$$Ba = 10^{-0,82+2,38 \log(dap)}$$

Donde:



$B_a$  = Biomasa aérea (kg planta<sup>-1</sup>)

$d_{ap}$  = Diámetro a la altura del pecho (cm.)

**3.2.3.** Biomasa y carbono total del componente arbustivo. En la estimación de la biomasa aérea del componente arbustivo (*Leucaena leucocephala*), se utilizó el modelo alométrico desarrollado por Messa (2009),

Ecuación: 
$$\ln(B_a) = (-2,3013 + 1,8655 \ln(D_{cb_{30}}))$$

Donde:

$\ln(B_a)$  = Biomasa aérea de *Leucaena leucocephala*.

$D_{cb_{30}}$  = Diámetro a 30 cm de altura

La estimación de la biomasa de raíces se utilizó el modelo recomendado por el IPCC, 2003.

Ecuación: 
$$B_r = e^{-1,0587 + 0,88 \cdot \ln(B_a)}$$

Donde:

$B_r$  = Biomasa de raíces (Mg ha<sup>-1</sup>)

$B_a$  = Biomasa aérea (Mg ha<sup>-1</sup>)

**3.2.4.** Biomasa y carbono total de la pastura. La biomasa correspondiente a la pastura *Cynodon nlenfuensis* (pasto estrella), se estimó realizando un aforo del pasto residual en cada SSP, es decir, aquel remanente luego de sacar los animales del pastoreo. El carbono total es equivalente al 50% de la biomasa total (IPCC, 2003)

**3.2.5. Almacenamiento de carbono en suelo.** El almacenamiento de COS se estimó siguiendo la metodología de Andrade e Ibrahim (2003), midiendo la densidad aparente y la concentración de COS. Para la determinación de la densidad aparente del suelo se siguió la metodología del “cilindro de volumen conocido” descrita por MacDicken (1997), para ello se tomaron muestras no alteradas en la cara Norte de la calicata con la utilización de un toma muestras tipo *Ulhand* con cilindros metálicos de aproximadamente 5 cm de diámetro y 5 cm de alto (volumen = 98 cm<sup>3</sup>). Para ello, se construyeron dos minicalicatas de 0,3 x 0,3 x 0,3 m. en cada parcela permanente y se tomaron dos muestras por cada calicata (Figura 5).

La concentración de COS se estimó en base seca utilizando la metodología de Walkley-Black en el Laboratorio Laserex de la Universidad del Tolima. Para ello se tomaron 10 submuestras a 30 cm de profundidad en cada parcela permanente de muestreo, utilizando barreno tipo francés. Figura 6.

**Figura 5.** Toma de muestra de suelo para determinación de densidad aparente.



Fuente: Hacienda “El Chaco” – Tolima, (2014).

**Figura 6.** Toma de muestra para determinación de Carbono Orgánico del suelo COS.



Fuente: Hacienda “El Chaco” – Tolima, (2014).

El almacenamiento de COS se calculó con la siguiente fórmula:

Ecuación: 
$$AC = DA \times COS \times P$$

Donde:

$AC$  = Almacenamiento de carbono ( $Mg\ ha^{-1}$ )

$DA$  = densidad aparente del suelo ( $g\ cm^3$ )

$COS$  = Concentración de carbono orgánico del suelo (%)

$P$  = profundidad de muestreo (cm)

**3.2.6.** Fijación total de  $CO_2$ . La fijación de total de  $CO_2$  en la biomasa se estimó mediante la ecuación:

Ecuación: 
$$CO_2 = (Ct/E) * 3,67$$

Donde:

$CO_2$  = Fijación total de  $CO_2$  ( $Mg\ ha^{-1}\ año^{-1}$ )

$Ct$  = Almacenamiento de carbono ( $Mg\ ha^{-1}$ )

$E$  = Edad del SSP (años)

3,67= Factor de conversión de C a CO<sub>2</sub>.

### 3.3. COMPONENTE PECUARIO

**3.3.1.** Emisión de metano (CH<sub>4</sub>) por fermentación entérica en el componente bovino. Se utilizó el método de Nivel 2 (*Tier 2*), que se aplica a categorías de población de ganado más desagregadas y se emplea para calcular los factores de emisión y no valores por defecto. Para estimar la emisión total de CH<sub>4</sub>, los factores de emisión FE seleccionados se multiplican por la población animal asociada y se suman. Los principales elementos a considerar son los factores de emisión FE y la recopilación de datos detallados de la actividad ganadera (IPCC, 2006).

**3.3.2.** Factor de emisión de metano (FE): Se determinó para cada categoría de ganado y se estima sobre la base de la ingesta de energía bruta EB y el factor de conversión en metano correspondiente  $Y_m$ . Para ello se utiliza la ecuación siguiente propuesta por IPCC 2006.

Ecuación: 
$$FE = \left( EB * \left( \frac{Y_m}{100} \right) * 365 \right) / 55,6$$

Donde:

$FE$  = factor de emisión (kg CH<sub>4</sub> cabeza<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)

$EB$  = ingesta de energía bruta (MJ cabeza<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>)

$Y_m$  = factor de conversión en metano, porcentaje de la energía bruta del alimento convertida en metano.

El factor 55,65 (MJ/kg CH<sub>4</sub>) es el contenido de energía del metano.

**3.3.3.** Factor de conversión en metano ( $Y_m$ ). Es el grado en el que la energía de los alimentos se convierte en  $CH_4$  y depende de varios factores alimentarios y animales interrelacionados. Se utilizara el Factor de conversión de metano  $Y_m$  suministrado por el IPCC 2006 equivalente a 5,5% para vacunos/búfalos cuando se dispone de buena alimentación (es decir, con alta digestibilidad y altos valores de energía) (IPCC, 2006).

**3.3.4.** Determinación de la Energía Bruta (EB). Los datos sobre el comportamiento y la dieta animal se emplean para estimar la ingesta de alimentos, es decir, la cantidad de energía (MJ/día) que necesita un animal para su mantenimiento y para actividades tales como el crecimiento, la lactancia y la preñez. (IPCC 2006).

Ecuación: 
$$EB = \left( \left( \frac{EN_m + EN_a + EN_l + EN_p}{REM} \right) + \frac{EN_g}{REG} \right) / \left( \frac{ED\%}{100} \right)$$

Donde:

$EB$  = energía bruta (MJ día<sup>-1</sup>)

$EN_m$  = energía neta requerida por el animal para su mantenimiento (MJ día<sup>-1</sup>)

$EN_a$  = energía neta para la actividad animal (MJ día<sup>-1</sup>)

$EN_l$  = energía neta para lactancia (MJ día<sup>-1</sup>)

$EN_p$  = energía neta requerida para la preñez (MJ día<sup>-1</sup>)

$REM$  = relación entre la energía neta disponible en una dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida ( $REN_m/ED\%$ ).

$EN_g$  = energía neta para el crecimiento (MJ día<sup>-1</sup>)

$REG$  = relación entre la energía neta disponible en una dieta para crecimiento y la energía digerible consumida ( $REN_g/ED\%$ ).

$ED\%$  = energía digerible expresada como porcentaje de la energía bruta.

**3.3.5.** Energía neta de mantenimiento  $EN_m$ : Es la cantidad de energía necesaria para mantener a un animal en equilibrio sin que se gane ni se pierda energía corporal (Jurgen, 1988 citado por IPCC 2006).

Ecuación: 
$$EN_m = Cf_i * (Peso)^{0,75}$$

Donde:

$EN_m$  = energía neta requerida por el animal para su mantenimiento (MJ día<sup>-1</sup>)

$Cf_i$  = Coeficiente para calcular  $EN_m$ . Varía para cada categoría de animales (MJ día<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>)

$Peso$  = peso vivo del animal (kg)

El coeficiente  $Cf_i$  para bovinos lecheros en producción es 0.386, para bovinos lecheros que no están en producción y bovinos en crecimiento es 0,322 y para toros 0,370 (IPCC, 2006).

**3.3.6.** Energía neta para la actividad animal  $EN_a$ : Es la energía neta que necesitan los animales para obtener su alimento, agua y refugio (IPCC 2006).

Ecuación: 
$$EN_a = C_a * EN_m$$

Donde:

$EN_a$  = energía neta para la actividad animal (MJ día<sup>-1</sup>)

$C_a$  = coeficiente correspondiente a la situación alimentaria del animal igual a 0,17 (IPCC 2006)

$NE_m$  = energía neta requerida por el animal para su mantenimiento (MJ día<sup>-1</sup>)

**3.3.7.** Energía neta para crecimiento ( $EN_g$ ): Es la energía neta necesaria para ganar peso. La Ecuación se basa en NRC (1996, citado por IPCC 2006). Las constantes incorporadas a la ecuación permiten la conversión de calorías en julios y de peso corporal vivo a reducido y vacío.

Ecuación: 
$$EN_g = 22,02 * (PV / (C * PM))^{0,75} * GP^{1,097}$$

Donde:

$EN_g$  = energía neta para el crecimiento (MJ día<sup>-1</sup>)

$PV$  = peso corporal vivo promedio de los animales de la población (kg)

$C$  = es un coeficiente con un valor de 0,8 para hembras, 1,0 y 1,2 para toros (NRC, 1996 citado por IPCC 2006)

$PM$  = peso corporal vivo y maduro de una hembra adulta en condición corporal moderada (kg)

$GP$  = aumento de peso diario promedio de los animales de la población (kg día<sup>-1</sup>)

**3.3.8.** Energía neta para lactancia ( $EN_l$ ): La energía neta para lactancia se expresa como función de la cantidad de leche producida y su contenido graso expresado como porcentaje (NRC, 1989 citado por IPCC 2006):

Ecuación: 
$$EN_l = Leche * (1,47 + 0,40 * Grasa)$$

Donde:

$EN_l$  = energía neta para lactancia (MJ día<sup>-1</sup>)

$Leche$  = cantidad de leche producida (kg de leche día<sup>-1</sup>)

$Grasa$  = contenido graso de la leche (% por peso)

**3.3.9.** Energía neta para la preñez ( $EN_p$ ): Para bovinos, el total de requerimiento de energía para la preñez durante un período de gestación de 281 días, promediado para todo un año, se calcula como el 10% del  $EN_m$  (IPCC 2006), por lo tanto el coeficiente de preñez ( $C_{preñez}$ ) equivale a 0,10.

Ecuación: 
$$EN_p = C_{preñez} * EN_m$$

Donde:

$EN_p$  = energía neta para la preñez (MJ día<sup>-1</sup>)

$C_{preñez}$  = coeficiente de preñez (equivalente 0,10)

$EN_m$  = energía neta requerida por el animal para su mantenimiento (MJ día<sup>-1</sup>)

**3.3.10.** Relación entre la energía neta disponible en la dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida REM: La relación entre la energía neta disponible en una dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida (REM) se estima empleando la siguiente ecuación (Gibbs y Johnson, 1993 citado por IPCC 2006):

Ecuación:

$$REM = (1,123 - (4,092 * 10^{-3} * ED\%) + (1,126 * 10^{-5} * (ED\%)^2 - \left(\frac{25,4}{ED\%}\right))$$

Donde:

$REM$  = relación entre la energía neta disponible en una dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida

$ED\%$  = energía digerible expresada como porcentaje de la energía bruta

Para “El Chaco” se utilizara  $ED=70\%$ , para vacas en producción, teniendo en cuenta que la alimentación es forraje de buena calidad y suplementado con concentrado, y



ED=65% para vacas secas, toros y bovinos en crecimiento, teniendo en cuenta que la alimentación es forraje de buena calidad.

**3.3.11.** Relación entre la energía neta disponible para crecimiento y la energía digerible consumida (REG). La relación entre la energía neta disponible para crecimiento o ganancia de peso y la energía digerible consumida (ED%) se estima empleando la siguiente ecuación (Gibbs y Johnson, 1993. Citado por IPCC-2006):

Ecuación:

$$REG = (1,164 - (5,150 * 10^{-3} * ED\%) + (1,308 * 10^{-5} * (ED\%)^2 - \left(\frac{37,4}{ED\%}\right))$$

Donde:

*REG* = relación entre la energía neta disponible para crecimiento y la energía digerible consumida

*ED%* = energía digerible expresada como porcentaje de la energía bruta

**3.3.12.** Ingesta de alimento en materia seca IMS. Una vez calculados los valores de EB para cada subcategoría animal, se calcula la ingesta de alimento en kilos de materia seca por día. La IMS en ganado maduro y en crecimiento se calcula sobre la base del peso corporal del animal y la concentración del alimento  $NE_{ma}$  (NRC, 1996 citado por IPCC 2006). La concentración dietaria  $NE_{ma}$  puede oscilar entre 3,0 y 9,0 MJ  $kg^{-1}$  de materia seca. La ingesta diaria de materia seca resultante debe ser del orden del 2 al 3% del peso corporal de los animales maduros o en crecimiento. En vacas lecheras de alta producción, las ingestas pueden superar el 4% del su peso corporal. IPCC 2006.

Estimación de IMS para ganado maduro:

Ecuación:  $IMS = PC^{0,75} * ((0,0119 * NE_{ma}^2 + 0,1938/NE_{ma}))$

Donde:

$IMS$  = ingesta de materia seca ( $\text{kg día}^{-1}$ )

$PC$  = peso corporal en pie (kg)

$NE_{ma}$  = concentración de energía neta dietaria ( $\text{MJ kg}^{-1}$ ). Valores por defecto IPCC 2006

Estimación de IMS para ganado en crecimiento:

$$\text{Ecuación: } IMS = PC^{0,75} * ((0,2444 * NE_{ma} - 0,0111 * NE_{ma}^2 - 0,472) / NE_{ma})$$

$PC$  = peso corporal en pie, kg

$NE_{ma}$  = concentración de energía neta dietaria  $\text{MJ kg}^{-1}$ . Valores por defecto IPCC, 2006.

### 3.4. EMISIÓN DE METANO ( $\text{CH}_4$ ) POR MANEJO O GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL DEL COMPONENTE BOVINO

En cuanto al manejo del estiércol, y en concordancia con las directrices establecidas por el IPCC (2006), en la Hacienda El Chaco se identificaron dos sistemas de manejo: a) el estiércol se deja en las áreas de pastoreo tal como lo depositan los animales y no se maneja y b) el estiércol del establo es recolectado diariamente, mezclado con agua y almacenado en un tanque estercolero. Posteriormente es recogido del tanque y aplicado en las pasturas para su fertilización mediante un sistema de aspersion (Figura 7).

**Figura 7:** Aplicación de estiércol a las pasturas en la Hacienda El Chaco.



Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

Las emisiones de metano se estimaron como resultado del manejo del estiércol de los bovinos en la Hacienda “El Chaco”, se utilizó la metodología propuesta por el IPCC 2006, mediante la siguiente ecuación:

Ecuación: 
$$E_{metano} = FE_{metano(i)} * N_i / 10^3$$

Donde:

$E_{metano}$  = emisiones de metano por la gestión del estiércol, para una población definida (Mg CH<sub>4</sub> año<sup>-1</sup>)

$FE_{metano(i)}$  = factor de emisión de CH<sub>4</sub> para la población de ganado definida (kg CH<sub>4</sub> animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)

$N_i$  = la cantidad de animales de la especie/categoría de ganado.

Para la estimación de factor de emisión de metano ( $FE_{metano}$ ) resultado del manejo del estiércol se utilizó la ecuación propuesta por el IPCC 2006 para el Nivel 2.

Ecuación: 
$$FE_{metano} = [(SV_i * 365) * Bo_i * 0,67] * \sum_{(jk)} (FCM_{jk} / 100) * SM_{ijk}$$

Donde:

$FE_{metano}$  = factor de emisión anual de CH<sub>4</sub> para la población de ganado por categoría  $i$  (kg CH<sub>4</sub> animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)

$SV_i$  = sólidos volátiles excretados por día en la categoría  $i$  de ganado (kg materia seca animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>)

365 = base para calcular la producción anual de Sv (días año<sup>-1</sup>)

$Bo_i$  = capacidad máxima de producción de metano del estiércol producido por el ganado de la categoría  $i$  (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> de SV excretados)

0,67 = factor de conversión de m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> a kilos de CH<sub>4</sub>

$MCF_{jk}$  = factores de conversión de metano para cada sistema de gestión del estiércol  $j$ , por región climática  $k$  (%)

$MS_{ijk}$  = fracción del estiércol del ganado de la categoría  $i$  manejado usando el sistema de gestión de desechos  $j$  en la región climática  $k$ , sin dimensión.

**3.4.1.** Tasa de excreción de sólidos volátiles (SV). Los sólidos volátiles (SV) constituyen el material orgánico del estiércol animal y consisten en fracciones tanto biodegradables como no-biodegradables. La excreción de SV se estimó empleando la ecuación propuesta por IPCC 2006.

Ecuación: 
$$SV = \left[ EB * \left( 1 - \left( \frac{DE}{100} \right) \right) + (EU * GE) \right] * \left[ \left( 1 - \left( \frac{Ceniza}{100} \right) \right) / VCD \right]$$

Donde:

$SV$  = excreción de sólidos volátiles por día en base a materia orgánica seca (kg VS día<sup>-1</sup>)

$EB$  = ingesta de energía bruta (MJ día<sup>-1</sup>)

$DE\%$  = digestibilidad del alimento en porcentaje (p. ej., 60%)

$(EU * GE)$  = energía urinaria expresada como fracción de la EB. Habitualmente, se puede considerar una excreción de energía urinaria de 0,04 GE para la mayoría de los rumiantes.

**CENIZA** = el contenido de ceniza del estiércol calculado como fracción de la ingesta alimentaria de materia seca (8% para vacunos IPCC, 2006).

**VCD** = Valor calórico de la dieta, es el factor de conversión para EB dietaria por kg de materia seca ( $MJ\ kg^{-1}$ ). Este valor es relativamente constante en toda una gama de forrajes y de alimentos basados en granos que consume regularmente el ganado y equivale a 18.45 (IPCC 2006).

En la Tabla 3 se especifican los factores utilizados para el cálculo de emisiones de metano en la Hacienda “El Chaco”, referenciados por el IPCC 2006 y de aplicación en América Latina.

**Tabla 3.** Factores utilizados para calcular las emisiones de metano ( $CH_4$ ) resultado del manejo del estiércol del componente bovino de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| Factor   | Condiciones   | Valor                          | Fuente       |
|--|---|--------------------------------|--------------|
| Bo:<br>Capacidad máxima<br>de<br>producción de $CH_4$<br>del estiércol<br>producido por el<br>ganado | Vacas en producción   | $0,13m^3\ CH_4\ kg^{-1}$ de SV | IPCC<br>1996 |
| FCM:<br>Factor de<br>conversión del  | Clima: cálido<br>Temp. prom. anual = 26 °C<br>Sistema de pastoreo | $FCMp = 2.0\%$                 | IPCC<br>2006 |

|   |   |  |                  |
|---|---|--|------------------|
| CH <sub>4</sub> para el sistema de manejo del estiércol en una región climática determinada | (FCMp)<br>Clima: cálido<br>Temp. prom. anual = 26 °C<br>Sistema líquido (FCMq)  | <i>FCMq = 44,0%</i>  |                  |
| SM:<br>Fracción del estiércol del ganado manejado en el sistema i.                          | Varía de acuerdo al manejo aplicado al estiércol en la Hacienda "El Chaco" para las diferentes categorías de animales.<br>SMp = Sistema pastoreo.<br>SMq= Sistema líquido | SMp (vacas en producción) = 0,85<br>SMq (vacas en producción) = 0,15<br>SMp (otros bovinos) = 0,98<br>SMq (otros bovinos) = 0,02 | Cálculos propios |

Fuente. Hacienda "El Chaco", Piedras, Tolima, 2013.

### 3.5. EMISIONES DIRECTAS DE N<sub>2</sub>O RESULTANTES DE LA GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL

Estas emisiones de GEI corresponden al N<sub>2</sub>O producido, directa o indirectamente, durante el almacenamiento y el tratamiento del estiércol antes de que se lo aplique a la tierra o se lo utilice de otra manera con fines alimentarios, como combustible o para la construcción. Las emisiones directas de N<sub>2</sub>O se producen a través de la nitrificación y desnitrificación combinadas del nitrógeno contenido en el estiércol. La emisión de N<sub>2</sub>O del estiércol durante su almacenamiento y tratamiento depende de su contenido de nitrógeno y de carbono, así como de la duración del almacenamiento y del tipo de tratamiento. La nitrificación (oxidación del nitrógeno amoniacal en nitrógeno nitrato) es un prerrequisito necesario para la emisión de N<sub>2</sub>O del estiércol animal almacenado (IPCC, 2006).

Para el cálculo de las emisiones directas de N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación: } N_2O_{D(em)} = [(Población_{(i)} * N_{ex(i)} * \sum_{(ij)} MS_{(ij)})FE_{(j)}] * (44/28)$$

Donde:

$N_2O_{D(em)}$  = Emisiones directas de N<sub>2</sub>O del manejo del estiércol por categoría  $i$  (kg N<sub>2</sub>O año<sup>-1</sup>)

$Población_{(i)}$  = número de animales por categoría  $i$ .

$N_{ex(i)}$  = promedio anual de excreción de N por animal de la categoría  $i$  (kg N animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)

$MS_{(ij)}$  = fracción de la excreción total anual de nitrógeno por categoría  $i$  que se maneja en la gestión del estiércol  $j$ . Sin dimensión

$FE_{(j)}$  = factor de emisión para emisiones directas de N<sub>2</sub>O del sistema de gestión del estiércol  $s$  (kg N<sub>2</sub>O-N kg N<sup>-1</sup>) en el sistema de gestión del estiércol  $j$ .

$j$  = sistema de gestión del estiércol

(44/28) = conversión de emisiones de (N<sub>2</sub>O-N)<sub>(em)</sub> a emisiones de N<sub>2</sub>O<sub>(em)</sub>

La tasa de excreción de nitrógeno ( $N_{ex}$ ) se estimó a partir de la ingesta de nitrógeno para cada categoría de animales, mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación: } N_{ex} = N_{ingesta (i)} * (1 - N_{retención (i)})$$

Donde:

$N_{ex}$  = tasa de excreción anual de N (kg N animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)

$N_{ingesta (i)}$  = ingesta anual de N por animal de la categoría  $i$  (kg N animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)

$N_{retención (i)}$  = fracción de la ingesta anual de N retenida por el animal de la categoría  $i$ , sin dimensión

La tasa total de ingesta de nitrógeno se estimó aplicando la siguiente ecuación:

Ecuación: 
$$N_{ingesta} = EB/18,45 * (PC\%/100)/6,25$$

Donde:

$N_{ingesta}$  = N consumido diariamente por animal por categoría (kg N animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>)

$EB$  = ingesta de energía bruta del animal (MJ animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>).

$18,45$  = fracción de conversión para EB dietaria por kg de materia seca (MJ kg<sup>-1</sup>). Este valor es relativamente constante para una amplia gama de forraje que consume habitualmente el ganado.

$PC\%$  = porcentaje de proteína cruda de la dieta, entrada

$6,25$  = conversión de kg de proteína de la dieta a kg de N de la dieta, kg proteína en el alimento (kg N<sup>-1</sup>)

Para calcular el total del N retenido se utilizó la siguiente ecuación (IPCC 2006).

Ecuación:

$$N_{retención} = ((leche * PR\%/100)/6,38) + (GP * (268 - (7,03 * EN_g))/GP)/1000/6,25$$

Donde:

$N_{retención}$  = N retenido diariamente por animal por categoría (kg N animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>)



*leche* = producción de leche ( $\text{kg animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) (sólo aplicable a vacas lecheras)

*PR%* = porcentaje de proteína en la leche, calculado como  $(1,9 + (0,4 * \%Grasa))$ . (sólo aplicable a vacas lecheras)

*6.38* = conversión de proteína de la leche a N de la leche ( $\text{kg proteína (kg N)}^{-1}$ )

*GP* = aumento de peso, entrada para cada categoría de ganado ( $\text{kg día}^{-1}$ )

*268 y 7,03* = constantes de la Ecuación NRC (1996)

*EN<sub>g</sub>* = energía neta para crecimiento, calculada en la caracterización del ganado sobre la base del peso actual, el peso maduro, la tasa de aumento de peso y constantes del IPCC ( $\text{MJ día}^{-1}$ )

*1000* = conversión de gramos por kilo ( $\text{g kg}^{-1}$ )

*6,25* = conversión de kg de proteína de la dieta a kg de N de la dieta ( $\text{kg proteína (kg N)}^{-1}$ ).

**3.5.1.** Emisiones de GEI procedentes del componente pecuario. Para determinar la emisión anual de GEI se presentan los datos de gas Metano procedente de la fermentación gástrica y del manejo del estiércol y la emisión de óxido nitroso proveniente del manejo del estiércol en el componente pecuario en forma de  $\text{CO}_2$  equivalente ( $\text{CO}_2\text{e}$ ). Cada GEI tiene un potencial de calentamiento global (simbolizado por la sigla GWP derivada de Global Warming Potential), y es la capacidad de un gas de contribuir al apantallamiento radiativo relativo a otro gas de referencia (IPCC, 2007). Cuadro 4 muestra los valores para  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{CH}_4$ . El GWP del  $\text{CO}_2$  es igual a 1:

**Tabla 4:** Potencial de calentamiento por efecto o invernadero para distintos gases. Los potenciales están en unidades equivalentes a CO<sub>2</sub>.

| <b>Gas (kg)</b>                       | <b>Potencial de Calentamiento Global (GWP)<br/>(kg de CO<sub>2</sub>e)<sup>a</sup></b> |
|---------------------------------------|--|
| Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) | 1  |
| Metano (CH <sub>4</sub> )             | 25   |
| Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)      | 298  |

Dónde: <sup>a</sup> horizonte para 100 años.

Fuente: IPCC, (2006).

### 3.6. METODOS ESTADISTICOS

Se utilizaron pruebas “t” para verificar la existencia de diferencias significativas en las variables evaluadas entre los tratamientos. Para comparar las medias entre los tratamientos en cada variable se realizó un análisis de varianzas. En caso de detectarse diferencias estadísticamente significativas se realizó la prueba de comparaciones múltiples no paramétrica de Kruskal–Wallis. Los análisis estadísticos se realizarán con el programa InfoStat software estadístico, versión estudiantil.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. BIOMASA Y CARBONO TOTAL DEL COMPONENTE ARBÓREO

Se encontraron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre la densidad de los árboles en cada uno de los SSP estudiados, encontrándose que en el SSP3 hay mayor cantidad de árboles, esto por presentar diseño espacial diferente a los SSP1 y SSP2. El componente arbóreo presente en el SSP1 presenta densidad promedio de 72 árboles  $ha^{-1}$ , de los cuales el 49% corresponde a *Prosopis juliflora*, el 30% *Erythrina poeppigiana*, el 14% a *Leucaena leucocephala* y el 7% a *Gliricidia sepium*. En el SSP2, la densidad es de 70 árboles  $ha^{-1}$ , de los cuales el 90% corresponde a *P. juliflora*, el 5% a *E. poeppigiana*, y el 5% a *L. leucocephala*. En el SSP3, la densidad es de 298 árboles  $ha^{-1}$ , de los cuales el 37% corresponde a *Tectona grandis*, el 32% a

*Pseudosamanea guachapele*, y el 31% a *Azadirachta indica*.

Igualmente, se encontraron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre el dap de los árboles en cada uno de los SSP, siendo el SSP1 el sistema que presenta mayor cantidad de árboles con dap entre 25,0 y 50,0 cm. y el SSP3 presenta todo su componente arbóreo con dap inferior a 10,0 cm, esto se explica por la diferencia de edad de los SSP y por los sistemas espaciales de cada uno de ellos (Tabla 5).

**Tabla 5.** Distribución de dap y densidad de árboles en SSP de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| SSP | Rango dap (cm) | dap (cm)   | Densidad (árboles $ha^{-1}$ ) |
|-----|----------------|------------|-------------------------------|
| 1   | 5,0 – 25,0     | 15,7 ± 5,5 | 32                            |
|     | 25,1 – 50,0    | 34,4 ± 7,4 | 27                            |
|     | >50,0          | 59,3 ± 5,0 | 13                            |
| 2   | 5,0 – 25,0     | 17,2 ± 3,8 | 62                            |
|     | 25,1 – 50,0    | 29,7 ± 6,2 | 8                             |
|     | >50,0          | --         | 0                             |

|   |            |           |     |
|---|------------|-----------|-----|
|   | 1,0 – 5,0  | 3,9 ± 0,9 | 114 |
| 3 | 5,1 – 10,0 | 6,3 ± 0,7 | 184 |
|   | >10,0      | 0         | 0   |

Valores presentados como promedio ± desviación estándar.

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

Se detectaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en la biomasa arriba del suelo entre sistemas, en el cual el SSP1 superó en un 67,2% y 86,7% a SSP2 y SSP3, respectivamente, igual comportamiento se determinó en la biomasa de raíces en donde el SSP1 fue superior en el 62,2% y 83,0% a SSP2 y SSP3 respectivamente y con respecto a la biomasa total del componente arbóreo, el SSP1 fue superior en el 66,2% al SSP2 y 86,0% al SSP3 (Tabla 6).

Se encontraron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre sistemas con respecto al carbono total almacenado por el componente arbóreo, en donde en el SSP1 fue superior en el 66.1% al SSP2 y 86,0% al SSP3 (Tabla 6).

La diferencia del valor de la biomasa total y del carbono total almacenado del componente arbóreo entre los diferentes SSP, obedece a que en el SSP1 los árboles con dap superior a 25,0 cm se encuentran en mayor cantidad, esto por su mayor edad y por la especie predominante. En el SSP3 los árboles son muy jóvenes y por lo tanto el dap en todos los arboles es inferior a 10,0 cm.

**Tabla 6.** Biomasa total y Carbono almacenado en el componente arbóreo en SSP de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| SSP | Biomasa aérea<br>(Ba) Mg ha <sup>-1</sup> | Biomasa de raíces<br>(Br) Mg ha <sup>-1</sup> | Biomasa total<br>(Bt) Mg ha <sup>-1</sup> | Carbono total<br>Mg ha <sup>-1</sup> |
|-----|---|---|---|--------------------------------------|
| 1   | 14,7 ± 7,3 <sup>a</sup>                   | 3,6 ± 1,6 <sup>a</sup>                        | 18,4 ± 8,9 <sup>a</sup>                   | 9,2 ± 4.4 <sup>a</sup>               |
| 2   | 4,8 ± 1,5 <sup>ab</sup>                   | 1,4 ± 0,4 <sup>ab</sup>                       | 6,2 ± 1,8 <sup>ab</sup>                   | 3,1 ± 0,9 <sup>ab</sup>              |
| 3   | 1,9 ± 0,3 <sup>b</sup>                    | 0,6 ± 0,1 <sup>b</sup>                        | 2,6 ± 0,4 <sup>b</sup>                    | 1,3 ± 0,2 <sup>b</sup>               |

Valores presentados como promedio  $\pm$  desviación estándar. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p>0,05$ ).

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

#### 4.2. BIOMASA Y CARBONO TOTAL DEL COMPONENTE ARBUSTIVO

Se encontraron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre la densidad de los arbustos en cada uno de los SSP estudiados, encontrándose que en el SSP3 hay mayor cantidad de arbustos, esto por presentar diseño espacial diferente a los SSP1 y SSP2. El componente arbustivo del SSP1 presenta densidad promedio de 4.840 arbustos de *L. leucocephala* ha<sup>-1</sup>. En el SSP2, la densidad es de 13.680 arbustos de *L. leucocephala* ha<sup>-1</sup> y en el SSP3, la densidad es de 36.920 arbustos de *L. leucocephala* ha<sup>-1</sup>. No se encontraron diferencias significativas ( $P<0,05$ ) entre el  $d_{30}$  de los arbustos en cada uno de los SSP, encontrándose que el 84% de las arbustos presentas  $d_{30}$  en el rango de 0,5 a 3,0 cm, y el 16% de los arbustos presentan  $d_{30}$  superior a 3,0 cm (Tabla 7).

**Tabla 7.** Distribución de  $d_{30}$  y densidad de arbustos en SSP de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| SSP | Rango $d_{30}$ (cm) | $d_{30}$ (cm) | Densidad (arbustos ha <sup>-1</sup> ) |
|-----|---------------------|---------------|---------------------------------------|
| 1   | 0,5 – 3,0           | 1,8 $\pm$ 0,6 | 3.840                                 |
|     | >3,0                | 4,0 $\pm$ 0,9 | 1.000                                 |
| 2   | 0,5 – 3,0           | 1,9 $\pm$ 0,5 | 10.880                                |
|     | >3,0                | 3,8 $\pm$ 0,6 | 2.800                                 |
| 3   | 0,5 – 3,0           | 1,8 $\pm$ 0,5 | 34.000                                |
|     | >3,0                | 3,6 $\pm$ 0,5 | 2.920                                 |

Valores presentados como promedio  $\pm$  desviación estándar.

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

Se detectaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) en la biomasa arriba del suelo entre sistemas, en el cual el SSP3 superó en un 80,7% y 48,0% a SSP1 y SSP2, respectivamente, igual comportamiento se determinó en la biomasa de raíces en donde el SSP3 fue superior en el 77,0% y 44,3% a SSP1 y SSP2 respectivamente y con respecto a la biomasa total del componente arbóreo, el SSP3 fue superior en el 66,2% al SSP2 y 86,0% al SSP1. Igualmente, Se encontraron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre sistemas con respecto al carbono total almacenado por el componente arbóreo, en donde en el SSP3 fue superior en el 78,0% al SSP1 y 47,2% al SSP2 (Tabla 8).

La diferencia de la biomasa total en los diferentes SSP obedece a las diferentes densidades de siembra del componente arbustivo si se tiene en cuenta que los rangos diamétricos a  $d_{30}$  tienen similitud en los tres SSP.

**Tabla 8.** Biomasa total y Carbono almacenado en el componente arbustivo en SSP de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| SSP | Biomasa aérea ( $B_a$ )<br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) | Biomasa de raíces ( $B_r$ )<br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) | Biomasa total ( $B_t$ )<br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) | Carbono total<br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) |
|-----|---|---|---|---|
| 1   | 2,6 ± 1,8 <sup>a</sup>                            | 0,8 ± 0,5 <sup>a</sup>                                | 3,4 ± 2,3 <sup>a</sup>                            | 1,7 ± 1,1 <sup>a</sup>                  |
| 2   | 7,2 ± 3,8 <sup>ab</sup>                           | 1,9 ± 0,9 <sup>ab</sup>                               | 9,1 ± 4,6 <sup>ab</sup>                           | 4,5 ± 2,3 <sup>ab</sup>                 |
| 3   | 13,8 ± 1,5 <sup>b</sup>                           | 3,5 ± 0,3 <sup>b</sup>                                | 17,2 ± 1,8 <sup>b</sup>                           | 8,6 ± 0,9 <sup>b</sup>                  |

Valores presentados como promedio ± desviación estándar. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p>0,05$ ).

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

**4.2.1.** Biomasa residual y carbono total de la pastura. La biomasa de las pasturas correspondiente al pasto residual en materia seca MS, no presenta diferencias significativas, siendo en el SSP3 superior, esto se puede explicar debido al manejo del ganado en el sistema, la menor permanencia del ganado permite mayor producción de pastura. Igualmente, como el Carbono total almacenado en las pasturas es

directamente proporcional a la biomasa, en el SSP3 se presenta mayor cantidad de C almacenado (Tabla 9).

**Tabla 9.** Biomasa residual y Carbono almacenado por la pastura *Cynodon nlenfuensis* en SSP de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

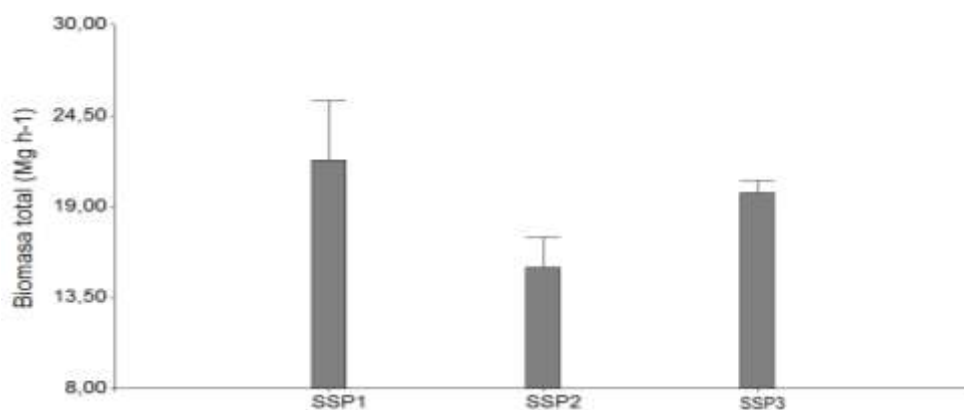
| SSP | Biomasa residual total pasturas MS (Mg ha <sup>-1</sup> ) | Carbono total (Mg ha <sup>-1</sup> ) |
|-----|---|--------------------------------------|
| 1   | 1,1 ± 0,1   | 0,6 ± 0,1                            |
| 2   | 1,3 ± 0,2   | 0,7 ± 0,1                            |
| 3   | 1,8 ± 0,8   | 0,9 ± 0,4                            |

Valores presentados como promedio ± desviación estándar.

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

**4.2.2.** Biomasa total, carbono total y fijación de CO<sub>2</sub> de los sistemas silvopastoriles. Los resultados indican que la biomasa total entre los SSP fue superior en el SSP1, siendo mayor en el 27,1% con respecto al SSP2 y superior en el 5,7% con respecto al SSP3. Esto se explica que por la mayor edad de los árboles del SSP1 estos han adquirido mayor biomasa (Figura 8). Igualmente la figura indica que existe alta variabilidad con respecto a la biomasa total de cada uno de los componentes de los SSP estudiados.

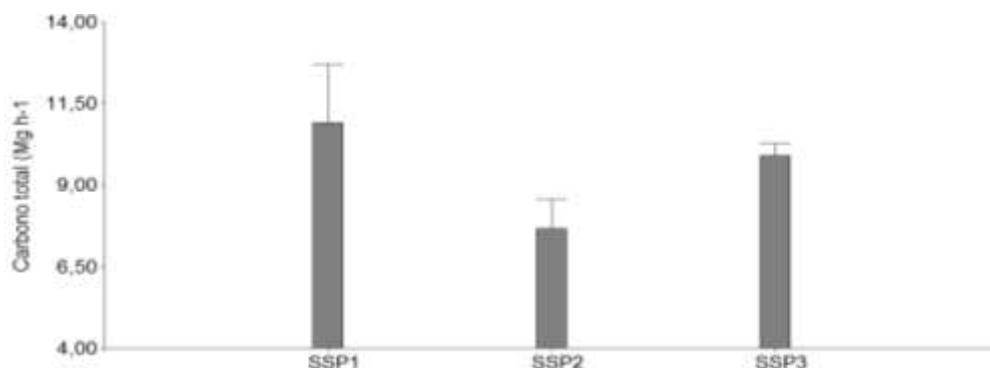
**Figura 8.** Biomasa total de los SSP estudiados de la Hacienda “El Chaco”, municipio de Piedras-Tolima.



Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

Se encontraron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre los SSP estudiados con respecto al carbono total almacenado por los componentes arbóreo y arbustivo, siendo el SSP1 el sistema con mayor almacenamiento. En el SSP1 el carbono almacenado fue superior en el 27,8% con respecto al SSP2 y del 6,1% con respecto al SSP3 (Figura 2). En esta figura se evidencia la alta variación en el almacenamiento de Carbono lo que indica que cada uno de los componentes de los SSP almacena este elemento de acuerdo a su participación en el SSP. El componente arbóreo es el que mayor participa en el almacenamiento de Carbono en los SSP 1 y 2, mientras que en el SSP 3 el que mayor Carbono almacena es el componente arbustivo, esto por su alta densidad de siembra.

**Figura 9.** Almacenamiento total de Carbono de los SSP estudiados de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.



Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

Los resultados anteriores determinan la fijación total de CO<sub>2</sub>, encontrándose diferencias significativas ( $P>0,05$ ), en el SSP3 con respecto a los SSP1 y SSP2. El SSP3 fija el 81,1% más de CO<sub>2</sub> que los SSP 1 y 2, esto está inversamente relacionado con la edad del sistema. Como la fijación de CO<sub>2</sub> está relacionada con la edad y desarrollo de los SSP, se afirma que el SSP3 está fijando mayor cantidad de CO<sub>2</sub> que los SSP 1 y 2 que tienen mayor edad, porque el SSP3 está en un proceso de formación y crecimiento (Tabla 10).



**Tabla 10.** Biomasa total, Carbono almacenado y fijación de CO<sub>2</sub> en los SSP de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| SSP | Edad SSP<br>años | Biomasa total<br>(B <sub>t</sub> ) Mg ha <sup>-1</sup> | Carbono<br>total Mg ha <sup>-1</sup> | Fijación de<br>carbono<br>(Mg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) |
|-----|------------------|--|--------------------------------------|--|
| 1   | 17               | 22,9 ± 8,0   | 11,5 ± 4,0                           | 2,5 ± 0,9 <sup>a</sup>   |
| 2   | 12               | 16,7 ± 4,2   | 8,3 ± 2,1                            | 2,5 ± 0,6 <sup>a</sup>   |
| 3   | 3                | 21,6 ± 1,9   | 10,8 ± 1,0                           | 13,2 ± 1,2 <sup>b</sup>  |

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

#### 4.3. CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO (COS) Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO

En el Cuadro 11 se presenta el inventario de COS y el almacenamiento de Carbono estimado en los diferentes SSP estudiados, Como se puede evidenciar, no existen grandes diferencias en los valores de los SSP debido a que son sistemas con manejo agrícola similar. El mayor valor del SSP3 se explica por la mayor presencia de sistema radicular por la alta densidad de siembra de arbustos. El testigo obedece a suelo destinado a la producción de arroz, en donde son incorporados los residuos de cosecha. Los valores fueron corregidos de acuerdo a la densidad aparente del suelo y se expresan en Mg ha<sup>-1</sup>.

**Tabla 11.** Inventario de Carbono Orgánico del Suelo y almacenamiento de Carbono a 30 centímetros de profundidad en los SSP de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| SSP     | COS<br>%  | Almacenamiento de COS (Mg ha <sup>-1</sup> ) |
|---------|-----------|--|
| 1       | 1,1 ± 0,2 | 52,7 ± 8,6                                   |
| 2       | 0,9 ± 0,1 | 47,0 ± 5,2                                   |
| 3       | 1,1 ± 0,1 | 54,6 ± 5,5                                   |
| Testigo | 1,0 ± 0,6 | 47,1 ± 26,3                                  |

Valores presentados como promedio ± desviación estándar.

Fuente: Hacienda “El Chaco”. Piedras – Tolima. (2014).

#### 4.4. COMPONENTE PECUARIO

**4.4.1.** Energía neta de mantenimiento  $EN_m$ : Los resultados indican que los toros requieren por unidad, mayor  $EN_m$ , esto está relacionado directamente por el mayor peso corporal. Las vacas en producción requieren el 20% más de  $EN_m$  que las vacas secas y el 36% más que las hembras en crecimiento (Tabla 12). El componente pecuario necesita de 4.302,3 MJ  $\text{dia}^{-1}$  de  $EN_m$ .

**Tabla 12.** Energía Neta para mantenimiento ( $EN_m$ ) requerida por el componente bovino de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| CATEGORÍA               | N  | $EN_m$ (MJ animal <sup>-1</sup><br>dia <sup>-1</sup> ) | TOTAL $EN_m$ (MJ<br>dia <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------|----|--|---|
| Vacas en producción     | 66 | 40,0 ± 0,8   | 2.640,8                                 |
| Vacas secas             | 34 | 32,0 ± 1,0   | 1.087,2                                 |
| Toros                   | 3  | 54,6 ± 1,3   | 163,8                                   |
| Novillas en crecimiento | 16 | 25,6 ± 2,1   | 410,5                                   |
| Total                   |    |  | 4.302,3                                 |

Valores presentados como promedio ± desviación estándar.

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

**4.4.2.** Energía neta para la actividad animal  $EN_a$ : Se encontró que la  $EN_a$  expresada en MJ  $\text{dia}^{-1}$  requerida por los toros es mayor en el 26,7% con respecto a las vacas en producción, y 41,5% y 53,0% mayor para vacas secas y hembras en crecimiento respectivamente. Estas diferencias están relacionadas directamente con el peso vivo de los animales. El componente pecuario necesita de 731,4 MJ  $\text{dia}^{-1}$  de energía neta para realizar su actividad animal (Tabla 13).

**Tabla 13.** Energía Neta para la actividad animal (EN<sub>a</sub>) requerida por el componente bovino de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| CATEGORÍA               | N  | EN <sub>a</sub> (MJ animal <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> ) | TOTAL EN <sub>a</sub> (MJ día <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------|----|--|---|
| Vacas en producción     | 66 | 6,8 ± 0,1  | 448,9   |
| Vacas secas             | 34 | 5,4 ± 0,2  | 184,8   |
| Toros                   | 3  | 9,3 ± 0,2  | 27,8  |
| Novillas en crecimiento | 16 | 4,4 ± 0,3  | 69,8  |
| Total                   |    |  | 731,4   |

Valores presentados como promedio ± desviación estándar.

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

**4.4.3.** Energía neta para crecimiento (EN<sub>g</sub>): Según los datos obtenidos, la ganancia de peso diario para las novillas en crecimiento es de 0,5 kg día<sup>-1</sup>, y para el resto del componente pecuario está entre 0,12 y 0,15 kg día<sup>-1</sup>. El peso corporal vivo y maduro de una hembra adulta en condiciones moderadas es de 477,8 kg.

En la tabla 14, se indica que la EN<sub>g</sub> expresada en MJ día<sup>-1</sup> en las hembras en crecimiento es mayor con respecto a las vacas en producción y vacas secas en el 71,5% y mayor en el 55,2% con respecto a los toros. Esto se explica por la mayor demanda de EN<sub>g</sub> requerida por los animales que están en fase de crecimiento y formación. El componente pecuario necesita de 408,0 MJ día<sup>-1</sup> de energía neta para ganancia diaria de peso.

**Tabla 14.** Energía Neta para crecimiento (EN<sub>g</sub>) requerida por el componente bovino de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| CATEGORÍA           | N  | EN <sub>g</sub> (MJ animal <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> ) | TOTAL EN <sub>g</sub> (MJ día <sup>-1</sup> ) |
|---------------------|----|--|---|
| Vacas en producción | 66 | 2,6 ± 0,0  | 170,2   |
| Vacas secas         | 34 | 2,5 ± 0,1  | 84,0  |
| Toros               | 3  | 4,0 ± 0,9  | 11,9  |

|                         |    |           |       |
|-------------------------|----|-----------|-------|
| Novillas en crecimiento | 16 | 8,7 ± 0,7 | 141,8 |
| Total                   |    |           | 408,0 |

Valores presentados como promedio ± desviación estándar.

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

**4.4.4.** Energía neta para lactancia (EN<sub>l</sub>): La producción diaria de leche en “El Chaco” es de 15,3 ± 6,0 litros de leche día<sup>-1</sup>, con contenido de grasa en % de peso equivalente a 3,6% ± 0,8% para las 66 vacas en producción.

En la tabla 15, se indica que la energía neta requerida para lactancia en MJ vaca día<sup>-1</sup> es de 44,0 ± 18,0 para vacas en producción, requiriéndose un total de 2.901,5 MJ día<sup>-1</sup> de energía neta para esta actividad. Solo se calcula para vacas en producción.

**Tabla 15.** Energía Neta para lactancia (EN<sub>l</sub>) requerida por el componente bovino de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| CATEGORÍA                  | n  | Leche<br>Kg día <sup>-1</sup> | Grasa (%) | EN <sub>l</sub> (MJ<br>animal <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> ) | TOTAL EN <sub>l</sub><br>(MJ día <sup>-1</sup> ) |
|----------------------------|----|-------------------------------|-----------|---|--|
| Vacas en<br>producción     | 66 | 15,3 ± 6,0                    | 3,6 ± 0,8 | 44,0 ± 18,0   | 2.901,5  |
| Vacas secas                | 34 | 0                             | 0         | 0   | 0  |
| Toros                      | 3  | 0                             | 0         | 0   | 0  |
| Novillas en<br>crecimiento | 16 | 0                             | 0         | 0   | 0  |
| Total                      |    |                               |           |   | 2.901,5  |

Valores presentados como promedio ± desviación estándar.

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

**4.4.5.** Energía neta para la preñez (EN<sub>p</sub>): En la tabla 16, se indica que la energía neta requerida para preñez en MJ vaca día<sup>-1</sup> es de 4,0 ± 0,1 para vacas en producción y 3,2 ± 0,1 para vacas secas. La estimación de EN<sub>p</sub> debe ponderarse respecto a la cantidad

de hembras maduras que realmente pasan por una gestación en un año dado (IPCC 2006). Para “El Chaco” la EN<sub>p</sub> se pondera al 80% que es el porcentaje de las vacas maduras que paren en un año, entonces se usaría el 80% del valor de NE<sub>p</sub>, requiriéndose un total de 298,3 MJ día<sup>-1</sup> de energía neta para suplir las necesidades de preñez.

**Tabla 16.** Energía Neta para preñez (EN<sub>p</sub>) requerida por el componente bovino de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| CATEGORÍA               | n  | EN <sub>p</sub> (MJ animal <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> ) | TOTAL EN <sub>p</sub> (MJ día <sup>-1</sup> ) | Total EN <sub>p</sub> corregido* (MJ día <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------|----|--|---|--|
| Vacas en producción     | 66 | 4,0 ± 0,1  | 264,2   | 211,3  |
| Vacas secas             | 34 | 3,2 ± 0,1  | 108,7   | 87,0   |
| Toros                   | 3  | 0  | 0   | 0  |
| Novillas en crecimiento | 16 | 0  | 0   | 0  |
| Total                   |    |  |   | 298,3  |

Valores presentados como promedio ± desviación estándar.\* Corregido al 80%, ya que éste es la proporción de vacas que paren en un año.

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

**4.4.6.** Relación entre la energía neta disponible en la dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida REM: Siguiendo los lineamientos del IPCC-2006, la energía digerible expresada como porcentaje de la energía bruta ED%, para el componente animal alimentado con pasturas oscila en el rango de 55–75%, siendo los límites inferiores para pasturas de baja calidad, y los límites superiores para pasturas de buena calidad y suplementados con alimentos concentrados.

**4.4.7.** Relación entre la energía neta disponible para crecimiento y la energía digerible consumida REG: La relación entre la energía neta disponible en una dieta para ganancia de peso y la energía digerible consumida es igual a 0,33 para vacas en

producción y 0,31 para vacas secas, toros y bovinos en crecimiento correspondiente al componente pecuario de la Hacienda “El Chaco”.

**4.4.8.** Energía bruta (EB): Aplicando la ecuación para EB descrita en este documento y propuesta por IPCC 2006, en la tabla 17 se relacionan los requerimientos de EB por categoría de edad. Para el componente pecuario de “El Chaco”. La EB requerida por las vacas en producción es el doble de la requerida por las vacas secas, esto demuestra las exigencias energéticas necesarias para la producción de leche. Igualmente, la EB requerida por las vacas en producción es el 20,3% superior a la exigida por los toros y 49,2% superior a la necesitada por las novillas en crecimiento. Los requerimientos de EB diaria para el componente pecuario de la Hacienda “El Chaco” son de 22.820,5 MJ día<sup>-1</sup>.

**Tabla 17.** Energía bruta requerida por el componente pecuario de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| <b>CATEGORÍA</b>        | <b>n</b> | <b>EB (MJ animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>)</b> | <b>TOTAL EB (MJ día<sup>-1</sup>)</b> |
|-------------------------|----------|---|---------------------------------------|
| Vacas en producción     | 66       | 264,9 ± 48,0  | 17.485,1                              |
| Vacas secas             | 34       | 131,0 ± 4,1   | 4.487,9                               |
| Toros                   | 3        | 211,1 ± 5   | 633,2                                 |
| Novillas en crecimiento | 16       | 134,1 ± 10,8  | 2.145,3                               |
| <b>Total</b>            |          |   | <b>22.820,5</b>                       |

Valores presentados como promedio ± desviación estándar

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

**4.4.9.** Factor de emisión de metano FE: Utilizando la ecuación propuesta por IPCC 2006, en la tabla 18 se indica el FE para el componente pecuario de la Hacienda “El Chaco”. Es evidente que el FE es superior en el 49,7% por las vacas en producción con respecto a las vacas secas y las novillas en crecimiento y superior en el 20,4% con respecto a los toros. Esto explica que la producción de leche por parte de las vacas es

la actividad con mayor emisión de metano entre todos los componentes del sector pecuario.

**Tabla 18.** Factor de emisión de Metano FE por fermentación entérica por categoría animal de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| <b>CATEGORÍA</b>        | <b>FE<br/>(kg CH<sub>4</sub> cabeza<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)</b> |
|-------------------------|--|
| Vacas en producción     | 95,6   |
| Vacas secas             | 47,6   |
| Toros                   | 76,1   |
| Novillas en crecimiento | 48,4   |

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

**4.4.10.** Emisiones de metano por fermentación entérica: Siguiendo la metodología IPCC 2006 y una vez determinado el FE por categoría animal en la Hacienda “El Chaco” se tiene que las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) por fermentación entérica de las vacas en producción son equivalentes al 70,8% del todo el componente pecuario. Esto se explica por las altas exigencias nutricionales y por la alta producción láctea. La emisiones anuales totales de metano por fermentación entérica del componente pecuario es igual a 8,9 Mg año<sup>-1</sup> (Tabla 19).

**Tabla 19.** Emisiones de Metano por fermentación entérica del componente pecuario de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| <b>CATEGORÍA</b>        | <b>n</b> | <b>FE<br/>(kg CH<sub>4</sub> animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)</b> | <b>CH<sub>4</sub><br/>(kg año<sup>-1</sup>)</b> | <b>CH<sub>4</sub><br/>Mg año<sup>-1</sup></b> |
|-------------------------|----------|--|---|---|
| Vacas en producción     | 66       | 95,6   | 6.307,5   | 6,3   |
| Vacas secas             | 34       | 47,6   | 1.618,9   | 1,6   |
| Toros                   | 3        | 76,1   | 228,4   | 0,2   |
| Novillas en crecimiento | 16       | 48,4   | 773,9   | 0,8   |
| Total                   |          |  | 8.928,8   | 8,9   |

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

**4.4.11. Ingesta de alimento en materia seca (IMS):** Siguiendo los lineamientos del IPCC 2006, los valores por defecto para la concentración dietaria o calidad de la dieta  $NE_{ma}$  para alimentación de alta calidad (gramíneas y leguminosas suplementados con concentrados) suministrada a las vacas en producción es de 7,5 Mj (kg de materia seca)<sup>-1</sup> y de 7,0 Mj (kg de materia seca)<sup>-1</sup> para alimentación de alta calidad (leguminosas y forrajera) suministrada a vacas secas, toros y novillas en crecimiento. La IMS para vacas en producción es  $11,9 \pm 0,2$  kg día<sup>-1</sup>, equivalente al 2,4% % de su peso corporal, para las vacas secas es de  $11,0 \pm 0,3$  kg día<sup>-1</sup>, equivalente al 2,4% de su peso corporal, para los toros es de  $16,4 \pm 0,4$  kg día<sup>-1</sup>, equivalente al 2,1% de su peso corporal y para las novillas en crecimiento es de  $7,9 \pm 0,6$  kg día<sup>-1</sup>, equivalente al  $2,3\% \pm 0,1\%$  de su peso corporal (tabla 20).

**Tabla 20.** Ingesta de materia seca IMS del componente pecuario de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| <b>CATEGORÍA</b>        | <b>n</b> | <b>IMS<br/>(kg animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>)</b> | <b>% del peso<br/>corporal</b> | <b>IMS<br/>(kg total día<sup>-1</sup>)</b> |
|-------------------------|----------|--|--------------------------------|--|
| Vacas en producción     | 66       | $11,9 \pm 0,2$   | $2,4 \pm 0$                    | 787,4                                      |
| Vacas secas             | 34       | $11 \pm 0,3$   | $2,4 \pm 0$                    | 374,7                                      |
| Toros                   | 3        | $16,4 \pm 0,4$   | $2,1 \pm 0$                    | 49,1                                       |
| Novillas en crecimiento | 16       | $7,9 \pm 0,6$  | $2,3 \pm 0,1$                  | 126,5                                      |
| Total                   |          |  |                                | 1.337,8                                    |

Valores presentados como promedio  $\pm$  desviación estándar.

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

#### **4.5. EMISIÓN DE METANO (CH<sub>4</sub>) POR MANEJO O GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL DEL COMPONENTE BOVINO**

En la tabla 21 se indica que las emisiones de CH<sub>4</sub> por manejo o gestión del estiércol de las vacas en producción es equivalente al 73.0% de las emisiones totales del componente pecuario por este concepto. El total de CH<sub>4</sub> emitido por gestión del estiércol es de 1,1513 Mg año<sup>-1</sup>. Los resultados encontrados, son similares a los



reportados por Carmona 2005, quien determinó que el Metano emitido por novillas de reemplazo y vacas en producción pastoreando en sistemas silvopastoriles con leucaena está entre 32 y 83 kg y entre 60 y 95 kg respectivamente y dependiendo de la dieta suministrada.

**Tabla 21.** Emisiones de Metano (CH<sub>4</sub>) por manejo del estiércol del componente pecuario de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| CATEGORÍA               | n  | FE <sub>metano</sub>   | FE <sub>metano</sub>                    | METANO                  |
|-------------------------|----|--|---|-------------------------|
|                         |    | (kg CH <sub>4</sub> animal <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) | (kg CH <sub>4</sub> año <sup>-1</sup> ) | (Mg año <sup>-1</sup> ) |
| Vacas en producción     | 66 | 12,8 ± 2,3   | 842,1                                   | 0,84                    |
| Vacas secas             | 34 | 5,6 ± 0,2  | 190,9                                   | 0,19                    |
| Toros                   | 3  | 8,9 ± 0,2  | 26,8                                    | 0,03                    |
| Novillas en crecimiento | 16 | 5,7 ± 0,4  | 91,5                                    | 0,09                    |
| Total                   |    |  | 1.151,2                                 | 1,15                    |

Valores presentados como promedio ± desviación estándar.

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

#### 4.6. EMISIONES DIRECTAS DE OXIDO NITROSO (N<sub>2</sub>O) RESULTANTES DE LA GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL

En la tabla 22 se indica que las emisiones de N<sub>2</sub>O por manejo o gestión del estiércol de las vacas en producción es el 71,4% del total del componente bovino, esto se explica por el mayor número de vacas en producción con respecto a los otros componentes y por el mayor tamaño de los animales. El total de N<sub>2</sub>O emitido por este concepto es de 0,000783 Mg año<sup>-1</sup>.

**Tabla 22.** Emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) por manejo del estiércol del componente pecuario de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| CATEGORÍA               | n  | FE N <sub>2</sub> O   | N <sub>2</sub> O        |
|-------------------------|----|---|-------------------------|
|                         |    | (kg N <sub>2</sub> O animal <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) | (Mg año <sup>-1</sup> ) |
| Vacas en producción     | 66 | 0,00847 ± 0.00118   | 0,000559                |
| Vacas secas             | 34 | 0,00450 ± 0,00015   | 0,000153                |
| Toros                   | 3  | 0,00732 ± 0,00020   | 0,00,022                |
| Novillas en crecimiento | 16 | 0,00304 ± 0,00004   | 0,00,049                |
| Total                   |    |   | 0,000783                |

Valores presentados como promedio ± desviación estándar.

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

**4.6.1.** Emisiones de GEI procedentes del componente pecuario. Presentado como emisiones equivalentes a CO<sub>2</sub>, la emisión anual por animal, para las vacas en producción fue de 2,7 Mg, de las vacas secas 1,3 Mg, de los toros 2,1 Mg y de las novillas en crecimiento de 1,3 Mg. Con los datos anteriores, en la Hacienda “El Chaco” se presenta emisión de 249,5 Mg CO<sub>2</sub>e año<sup>-1</sup> por concepto de la fermentación entérica y gestión de estiércol del componente pecuario (Tabla 23). Los resultados encontrados son equivalentes a los reportados por Mora Calvo 2.001, quien determinó emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes a 2,9 Mg animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> siguiendo la metodología IPCC. 2006, y en un sistema silvopastoril con árboles dispersos suministrando concentrado comercial a las vacas en lactancia en lechería especializada.

Las emisiones de Carbono tanto por fermentación entérica como por gestión del estiércol son iguales a 1,5 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. En la Tabla 24 se relacionan las emisiones de C por categoría de edad.

**Tabla 23.** Emisiones de tres gases de efecto invernadero (GEI) del componente pecuario de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| CATEGORÍA               | n  | Fermentación entérica  | Manejo de estiércol  |   | CO <sub>2</sub> e (Mg animal <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) | CO <sub>2</sub> e (Mg año <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------|----|--|--|---|--|---|
|                         |    | CH <sub>4</sub> (kg animal <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) | CH <sub>4</sub> (kg animal <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) | N <sub>2</sub> O (kg animal <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) |  |   |
| Vacas en producción     | 66 | 95,57  | 12,76  | 0,00847   | 2,7  | 178,2                                     |
| Vacas secas             | 34 | 47,62  | 5,61   | 0,00450   | 1,3  | 44,2                                      |
| Toros                   | 3  | 76,14  | 8,94   | 0,00732   | 2,1  | 6,3                                       |
| Novillas en crecimiento | 16 | 48,37  | 5,72   | 0,00304   | 1,3  | 20,8                                      |
| <b>Total</b>            |    |  |  |   |  | <b>249,5</b>                              |

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

**Tabla 24.** Emisiones de carbono del componente pecuario de la Hacienda “El Chaco”, municipio de Piedras-Tolima.

| CATEGORÍA               | n  | Emisión de Carbono (Mg C ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------|----|---|
| Vacas en producción     | 66 | 1,06  |
| Vacas secas             | 34 | 0,27  |
| Toros                   | 3  | 0,04  |
| Novillas en crecimiento | 16 | 0,12  |
| <b>Total</b>            |    | <b>1,5</b>  |

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

Con los datos anteriores y teniendo en cuenta que la producción de leche es igual a 1.007 litros día<sup>-1</sup>, y la vacas en producción pastorean en el SSP3, se calcula la huella de leche en kg CO<sub>2</sub> litro leche<sup>-1</sup> es igual a 1,28 kg. En los SSP1 y SSP2 permanece el resto del ganado hasta que inician su fase de producción (Tabla 25).

**Tabla 25.** Huella de carbono unitaria por producción de leche de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| <b>Sistema</b> | <b>Fijación de CO<sub>2</sub><br/>(Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)</b> | <b>Producción de<br/>leche (l ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)</b> | <b>Huella de leche<br/>(kg CO<sub>2</sub> l leche<sup>-1</sup>)</b> |
|----------------|--|---|---|
| SSP1           | 2,5  | 0   | N/A   |
| SSP2           | 2,5  | 0   | N/A   |
| SSP3           | 13,2   | 24.503,7  | 1,28  |
| <b>Total</b>   | <b>18,2</b>  | <b>24.503,7</b>   | <b>1,28</b>   |

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

El balance general de GEI en la Hacienda “El Chaco”, para los SSP1 y SSP2 en los cuales pastorea el ganado que no está en producción de leche es positivo e igual a 0,2, y para el SSP3 en donde pastorea permanentemente las vacas que están en producción de leche también es positivo con valor de 1,3 (Tabla 26).

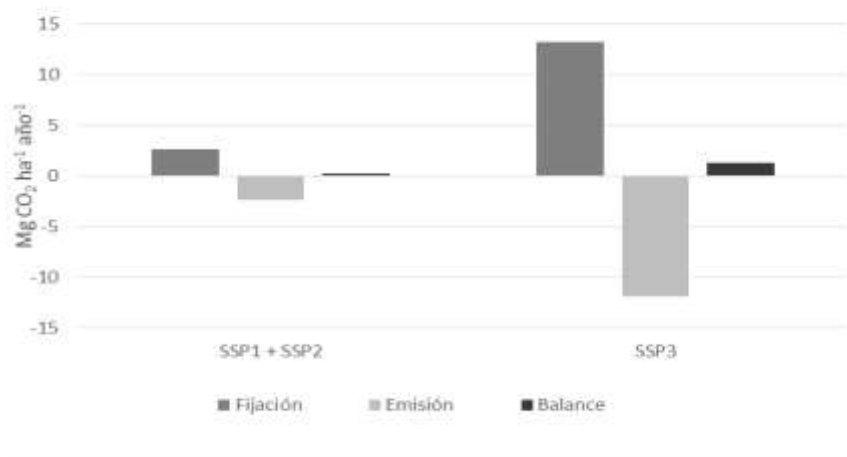
**Tabla 26.** Balance de Gases de Efecto Invernadero en los SSP de la Hacienda “El Chaco”, Piedras, Tolima.

| <b>Sistema</b> | <b>Fijación<br/>(Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)</b> | <b>Emisión<br/>(Mg CO<sub>2e</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)</b> | <b>Balance</b> |
|----------------|--|--|----------------|
| SSP1 + SSP2    | 2,6  | 2,4  | 0,2            |
| SSP3           | 13,2   | 11,9   | 1,3            |

Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

En la Figura 10, se muestran los resultados del balance general de GEI determinados en los SSP estudiados. Se invirtieron los valores de las emisiones para visualizar gráficamente el balance.

**Figura 10.** Balance de Gases de Efecto Invernadero en los SSP de la Hacienda “El Chaco”, municipio de Piedras-Tolima.



Fuente: Hacienda “El Chaco”, Piedras – Tolima, (2014).

## 5. CONCLUSIONES

El carbono total almacenado del componente arbóreo en los Sistemas Silvopastoriles es mayor en la medida que sus individuos sean árboles con DAP superior. Esto se evidencia en el SSP1 en donde hay mayor presencia de árboles con DAP superior a 25 cm. ( $9,2 \pm 4,4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de carbono), a diferencia del SSP3 en donde el componente arbóreo es superior en número, pero el DAP no supera los 10,0 cm. ( $1,3 \pm 0,2 \text{ Mg ha}^{-1}$  de carbono).

La fijación total de  $\text{CO}_2$  está directamente relacionado con la edad, desarrollo y biomasa total de los SSP, se afirma que el SSP3 está fijando mayor cantidad de  $\text{CO}_2$  ( $13,2 \pm 1,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) que los SSP 1 y 2 que tienen mayor edad ( $2,5 \pm 0,9 \text{ Mg ha}^{-1}$  y  $2,5 \pm 0,6 \text{ Mg ha}^{-1}$  respectivamente), porque el SSP3 está en un proceso de formación y crecimiento.

Siguiendo los lineamientos propuestos por el IPCC 2006, los cálculos de emisiones de GEI por parte del componente pecuario están basados en los requerimientos de energía bruta (EB) para el desarrollo de las actividades productivas. En la Hacienda “El Chaco”, la EB requerida por las vacas en producción ( $264,9 \pm 48 \text{ MJ animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) es el doble de la requerida por las vacas secas ( $131 \pm 4,1 \text{ MJ animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ), esto demuestra las exigencias energéticas necesarias para la producción de leche. Igualmente, la EB requerida por las vacas en producción es el 20,3% superior a la exigida por los toros y 49,2% superior a la necesitada por las novillas en crecimiento. Los requerimientos de EB diaria para el componente pecuario de la Hacienda “El Chaco” son de  $22.820,5 \text{ MJ día}^{-1}$ .

En la Hacienda “El Chaco” se presentan emisiones de  $249,5 \text{ Mg CO}_2\text{e año}^{-1}$  por concepto de la fermentación entérica y la gestión del estiércol del componente pecuario. Estas emisiones de  $\text{Mg CO}_2\text{e año}^{-1}$  presentadas como emisiones de carbono son equivalentes a  $1,5 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

El balance general de GEI en la Hacienda “El Chaco”, para los SSP1 y SSP2 en los cuales pastorea el ganado que no está en producción de leche es positivo y con valor igual a  $0,2 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Para el SSP3 en donde pastorean permanentemente las vacas que están en producción de leche, el balance general también es positivo con valor de  $1,3 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

El balance general positivo de GEI de los SSP estudiados, permite verificar que son sistemas ambientalmente sostenibles ya que sus componentes forrajeros son capaces de fijar mayor cantidad de  $\text{CO}_2$  que las emisiones del mismo originadas por la fermentación entérica y la gestión del estiércol del componente pecuario. Esto ratifica que los SSP se constituyen como una alternativa tecnológica para los sistemas de producción ganadera que contribuyen con la reducción de GEI mediante la fijación de carbono en la biomasa vegetal.

## RECOMENDACIONES

Es necesario continuar con las investigaciones para determinar la huella de carbono de los sistemas silvopastoriles en el trópico y en un futuro determinar el balance de GEI para la producción por litro de leche y por kilogramo de carne de bovino en el departamento, resultados que orientaran los programas de desarrollo ganadero para reubicar la producción bovina bajo conceptos de sostenibilidad ambiental.

Es importante desarrollar los factores de emisión de metano para las condiciones locales de producción bovina, ya que los propuestos por el IPCC son generales y provenientes principalmente de zonas templadas; igualmente es necesario determinar los factores de emisión mediante la utilización de otras metodologías y así poder tener diferentes puntos de comparación para realizar ajustes metodológicos.



## REFERENCIAS

- Alvarado, M. F. et al. (2007) Concentración de Carbono y Nitrógeno a seis frecuencias de poda en *Gliricidia sepium* y *Erythrina sp.* Universidad EARTH Las Mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica. En *Tierra Tropical* (2): 211-220. ISSN: 1659-2751.
- Andrade H. J.; Brook R.; Ibrahim M. (2008). Growth, production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry lowlands of Costa Rica. *Plant Soil*, 308, 11–22. Costa Rica.
- Andrade, H.J.; Alvarado, J, Segura, M. (2013). Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) En el municipio del Líbano, Tolima, Colombia. *Colombia Forestal*, 16(1), 21-31.
- Andrade, H; Ibrahim, M. (2003). ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles. *Agroforestería en las Américas*, 10(39-40): 109-116.
- Andrade, M. (2008). Mitos y verdades acerca del cambio climático en Bolivia. *Revista Boliviana de Física*, 14(14), 42-49.
- Arias, K., Ruiz-Silvera, C. Milla, M, et. al. (2001). Almacenamiento de carbono por *Gliricidia sepium* en sistemas agroforestales de Yaracuy, Venezuela. *Livestock Research for Rural Development* (13).
- Arias, K; Ruiz, C; Milla, M; Messa, H y Escobar, A. (2001). Almacenamiento de carbono por *Gliricidia sepium* en sistemas agroforestales de Yaracuy, Venezuela (documento electrónico). Instituto Universitario de Tecnología. Yaracuy, VE.

- Cambra-López, M; Garcia, R; Estellés, F y Torres, A. (2008). Estimation of emissions from ruminants in Spain: the methane conversion factor. *Arch. Zootec.* 57 (R): 89-101. 2008. Madrid.
- Carmona, J. C; Bolívar, D. M. y Giraldo, L. A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1), 49-63.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical. (2013). Evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático de la agricultura en la región Andina de Colombia. Síntesis número 13. Cali Colombia.
- Corpoica-Sena. (1999). Procesos Productivos Agropecuarios del Departamento del Tolima. Estructura y Función. CORPOICA C.I. Nataima. El Espinal.
- CAEM (Corporación Ambiental Empresarial). (2015). Proyecto Plan de Cambio Climático Departamental Tolima. Gobernación del Tolima, Cámara de Comercio de Bogotá. Ibagué 2015.
- Costa P. Carlos. (2007). La adaptación al cambio climático en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Bogotá D.C. Colombia.
- De Blas, C; García-Rebollar, P; Cambra-López, M. y Torres, A. G. (2008). Contribución de los rumiantes a las emisiones de gases con efecto invernadero. XXIV Curso de especialización FEDNA. Editorial FEDNA. Madrid, 121-150.
- Detwiller, R.P. (1996). Land use change and the global carbon cycle on the role of tropical soils. *Revista Biogeochemistry*. No. 2.
- Fassbender, HW. (1993). Modelos Edafológicos de Sistemas Agroforestales. Proyecto agroforestal CATIE/GTZ. Turrialba, Costa Rica.
- Houghton, R. A.; Boone, R. D.; Melillo, J. M.; Palm, C. A.; Woodwell, G. M.; Myers, N.; Moore, B. & Skole D .L. (1985). Net flux of carbone dioxide from Tropical Forest in 1980. *Revista Nature* No. 316.

- Houghton, R. A.; Skole, D. L.; Lefrowitz, D. S. (1991). Changes in the landscapes of Latin America between 1850 and 1985. II- Net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. *Revista Forest Ecology and Management*. No. 38.
- Ibrahim, M. (1994). Compatibility, persistence and productivity of grass-legume mixture for sustainable animal production in the Atlantic Zone of Costa Rica. Thesis. Agricultural University, Wageningen, Netherlands.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. (2009). "Inventario nacional de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero 2000 – 2004". Bogotá D.C.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. 2010. Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. IDEAM. Bogotá D.C. 2010.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (1996). Revised 1996 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Chapter 4. Agriculture. IPPC/OECD/IEA. Paris. 140 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2003). National Greenhouse Gas Inventories Programme Intergovernmental. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Chapter 4: Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol, Panel on Climate Change, pp: 4, 113 – 116.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2003). Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-Induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types. The Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japón, 32 págs.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. Agriculture, forestry and land

- use. IGES. Kanagawa, Japón. Chapter 10. p. 10.1-10.87. Disponible en <http://www.grida.no/climate/ipcc>
- Johnson, D. E. & Ward, G. M. (1995). Estimates of animal methane emissions. *Environ. Monit. Assess.* 42: 133-141.
- Kajikawa, H.; Hai J.; Terada, F. & Suga, T. (2003). Operation and characteristics of newly improved and marketable artificial rumen (Rusitec). In: *Memoirs of National Institute of Livestock and Grassland Science*. N° 2. Mar. 2003
- Kanninen, M. (2004). *Sistemas Silvo-Pastoriles y almacenamiento de carbono: potencial para América Latina*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- MacDiken, K. (1997). *A guide to monitoring carbon storage in forestry and groforestry*. Projects. Arlington, USA, Winrock International. 87 p.
- Marin, A. (2013). *Estimación del inventario de emisiones de metano entérico de ganado lechero en el departamento de Antioquia, Colombia*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad, Ciencias Agrarias. Medellín.
- Messa, H.F. (2009). *Balance de gases de efecto invernadero en un modelo de producción de ganadería doble propósito con alternativas silvopastoriles en Yaracuy, Venezuela*. Programa de Enseñanza en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales. CATIE. Costa Rica.
- Mora Calvo, V. (2001). *Fijación, emisión y balances de Gases de Efecto Invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras intensivas de las zonas altas de Costa Rica*. Programa de Enseñanza en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales. CATIE. Costa Rica.
- Mora Calvo, Vesalio. (2001) *Fijación, emisión i balance de gases de efecto invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras*

- intensivas de las zonas altas de Costa Rica. Centro Agronomico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Turrialba – Costa Rica.
- Morchón, S., Blasco, J. A., Rovira, A., Arias, C. N., & Ramón, J. M. (2001). Efectividad de una intervención de deshabituación tabáquica en pacientes con patología cardiovascular. *Revista Española de Cardiología*, 54(11), 1271-1276.
- Murgueitio, E; Cuartas, C. y Naranjo, J. (2008). Ganadería del Futuro: Investigación para el Desarrollo. Fundación CIPAV. Cali, Colombia 490 p.
- Pagiola, S; Agostini, P; Gobbi, J; Haan, C; Ibrahim, M; Murgueitio, E; Ramírez, E; Rosales, M; Ruiz, J. 2004. Payin for biodiversity conservation services in agricultural landscapes. The World Bank Environmental Department. Paper No. 96. Washington, US, World Bank. 37 p.
- Alcaldía municipal de Piedras (2008). Estructura Administrativa municipal 2008-2011: Autor.
- Posada, SL, Noguera, RR. 2005. Técnica *in vitro* de producción de gases: Una herramienta para la evaluación de alimentos para rumiantes. Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias-Grupo de Investigación en Ciencias Animales-GRICA. Medellín, Colombia.
- Ramírez, M. A; Carballo, L. R; Bonilla, V. M. y Pita, S. E. (2006). Secuestro de Carbono en Bosques Tropicales. Universidad de Pinar del Río. Facultad de Forestal y Agronomía. Departamento de Química. Pinar del Río. Cuba.
- Reid, R.; Thornton, P.; McCrabb, G.; Kruska, R.; Atieno, F. & Jones, P. (2003). Is it possible o mitigate greenhouse gas emissions in pastoral ecosystems of the tropics? *Environmental, Development and Sustainability* 6:91-109.
- Rice, CW. y McVay, K. (2002). Carbon Sequestration: Top 10 Frequently Asked Questions, Kansas State University, October 2002. [www.oznet.ksu.edu/kccm](http://www.oznet.ksu.edu/kccm).

- Russo, R.O. (2002). Los Bosques como sumideros y depósitos de carbono. Ponencia presentada en el Curso Taller Internacional: "Valoración Económica del Capital Natural: Aplicaciones Prácticas". Fundación Defensores de la Naturaleza (FUNDENA) y el Centro Regional de Estudios de Economía Ecológica (CREESE). San José, Costa Rica. [www.monografias.com/trabajos5/ornaun/ornaun.shtml](http://www.monografias.com/trabajos5/ornaun/ornaun.shtml)
- Segura, M. A. y Andrade, H. J. (2012). Huella de carbono en cadenas productivas de café (*Coffea arabica* L.) con diferentes estándares de certificación en Costa Rica. *Revista Luna Azul*, 35, 60-77.
- Stefano Pagiola & Paola Agostini & José Gobbi & Cees de Haan & Muhammad Ibrahim, (2004). "Paying for Biodiversity Conservation Services in Agricultural Landscapes," *Others 0405005*, EconWPA.
- Umaña, J. (2012). Huella de carbono en los sistemas de producción agrícola dominantes en el municipio de Falán, Tolima. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Bogotá, D.C.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza UICN. 2013. Informe anual del Consejo de la UICN. Gland-Suiza 2012.
- Universidad de Medellín. (2005). Primer Inventario de Emisiones en la Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge y Diagnóstico Ambiental de la Calidad Acústica en el Municipio de Montería. Montería.
- Veldkamp, E.; Keller, M.; Núñez, M. (1997). Effects of management on N<sub>2</sub>O and NO emissions from pastures soils in the humid tropic of Costa Rica. Enviado a *Global Biogeochemical Cycles*.
- Villaneda, V. E; Suarez, G. M. (1989). Zonificación agroecológica. Departamento del Tolima. Ibagué – Colombia

Baethgen, W. E. y Martino, D. L. (1995). Emisiones de gases de efecto invernadero en los sectores agropecuario y forestal del Uruguay y oportunidades en el mercado de carbono. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Montevideo - Uruguay.

Zambrano, C. y Cordero, D. (2008). REDD+ en América del Sur, caracterización de los principales actores.



## SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD

FORMATO DE AUTORIZACION DE PUBLICACION EN  
EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Página 1 de 3

Código: GB-P04-F03

Versión: 01

Los suscritos:

|                          |            |            |
|--------------------------|------------|------------|
| Juan Carlos Arcos Dorado | con C.C N° | 14.236.996 |
| _____                    | con C.C N° | _____      |
| _____                    | con C.C N° | _____      |
| _____                    | con C.C N° | _____      |
| _____                    | con C.C N° | _____      |

Manifiesto (an) la voluntad de:

**Autorizar**

**No Autorizar**

**Motivo:** \_\_\_\_\_

La consulta en físico y la virtualización de **mi OBRA**, con el fin de incluirlo en el repositorio institucional de la Universidad del Tolima. Esta autorización se hace sin ánimo de lucro, con fines académicos y no implica una cesión de derechos patrimoniales de autor.

Manifestamos que se trata de una OBRA original y como de la autoría de LA OBRA y en relación a la misma, declara que la UNIVERSIDAD DEL TOLIMA, se encuentra, en todo caso, libre de todo tipo de responsabilidad, sea civil, administrativa o penal (incluido el reclamo por plagio).

Por su parte la UNIVERSIDAD DEL TOLIMA se compromete a imponer las medidas necesarias que garanticen la conservación y custodia de la obra tanto en espacios físico como virtual, ajustándose para dicho fin a las normas fijadas en el Reglamento de Propiedad Intelectual de la Universidad, en la Ley 23 de 1982 y demás normas concordantes.

La publicación de:

Trabajo de grado

Artículo

Proyecto de Investigación

Libro

Parte de libro

Documento de conferencia

Patente

Informe técnico

Otro: (fotografía, mapa, radiografía, película, video, entre otros)





Producto de la actividad académica/científica/cultural en la Universidad del Tolima, para que con fines académicos e investigativos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad del Tolima. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la Ley 23 de 1982. En concordancia suscribo este documento en el momento mismo que hago entrega del trabajo final a la Biblioteca Rafael Parga Cortes de la Universidad del Tolima.

De conformidad con lo establecido en la Ley 23 de 1982 en los artículos 30 “...**Derechos Morales. El autor tendrá sobre su obra un derecho perpetuo, inalienable e irrenunciable**” y 37 “...**Es lícita la reproducción por cualquier medio, de una obra literaria o científica, ordenada u obtenida por el interesado en un solo ejemplar para su uso privado y sin fines de lucro**”. El artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “**los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores**” y en su artículo 61 de la Constitución Política de Colombia.

- Identificación del documento:

Título completo: “BALANCE DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES INTENSIVOS CON LEUCAENA (*Leucaena leucocephala*) EN LA HACIENDA “EL CHACO”, TOLIMA, COLOMBIA”

- Trabajo de grado presentado para optar al título de:

**Magister en Ciencias Pecuarias con Enfoque en Ganadería Ecológica**

- Proyecto de Investigación correspondiente al Programa (No diligenciar si es opción de grado “Trabajo de Grado”):

\_\_\_\_\_

- Informe Técnico correspondiente al Programa (No diligenciar si es opción de grado “Trabajo de Grado”):

\_\_\_\_\_

- Artículo publicado en revista:

\_\_\_\_\_

- Capítulo publicado en libro:

\_\_\_\_\_

- Conferencia a la que se presentó:

\_\_\_\_\_


|   |  |                    |
|---|--|--------------------|
|  | <b>SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD</b><br><br><b>FORMATO DE AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b> | Página 3 de 3      |
|   |  | Código: GB-P04-F03 |
|   |  | Versión: 01        |

Quienes a continuación autentican con su firma la autorización para la digitalización e inclusión en el repositorio digital de la Universidad del Tolima, el:

Día: 17 Mes: Febrero Año: 2017

Autores:

Firma

|   |  |                        |
|---|--|------------------------|
| Nombre: <u>Juan Carlos Arcos Dorado</u> |  | C.C. <u>14.236.996</u> |
| Nombre: _____                           | _____  | C.C. _____             |
| Nombre: _____                           | _____  | C.C. _____             |
| Nombre: _____                           | _____  | C.C. _____             |

El autor y/o autores certifican que conocen las derivadas jurídicas que se generan en aplicación de los principios del derecho de autor.