	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 1 de 7

24.

FECHA martes, 9 de febrero de 2021

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad


UNIDAD REGIONAL	Sede Fusagasugá
TIPO DE DOCUMENTO	Trabajo De Grado
FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Maestría
PROGRAMA ACADÉMICO	Maestría en Ciencias Ambientales

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
CAICEDO LOZANO	CARLOS EDUARDO	11.389.866

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 2 de 7

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APPELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
GRANADOS MORENO	JAIRO ENRIQUE

TÍTULO DEL DOCUMENTO
Cuantificación del depósito de Carbono, en un Sistema Silvopastoril, finca el Encanto, vereda Cucharal, Fusagasugá.

SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
Magister en ciencias ambientales.

AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS
11/12/2020	74

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1. Ciclo del carbono.	Carbon cycle.
2. Gases de efecto invernadero.	Greenhouse gases.
3. Depósitos de carbono.	Carbon deposits,
4. Sistema silvopastoril.	Silvopastoral system,
5. Suelos.	Soils.
6. Forraje.	Forage.



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
	PAGINA: 3 de 7

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

El suelo puede actuar como fuente o reservorio de C dependiendo del uso y manejo que se dé al mismo (Lal *et al.*, 1990, Lal, 1997, citados por Martínez *et al.* 2008). Por tanto, el COS puede incrementarse, reducir su concentración o mantener constante su nivel, dependiendo del uso de la tierra en los sistemas agropecuarios (Guo y Gifford, 2002; Don *et al.*, 2011). El carbono es un bioelemento que da estructura y soporte a los organismos vivos, biomoléculas como: aminoácidos, proteínas, nucleótidos, ácidos nucleicos, carbohidratos, lípidos, enzimas, hormonas y aminoácidos. El Carbono al combinarse con el Oxígeno, genera CO₂: dióxido de Carbono, uno de los principales gases de efecto invernadero (GEI), el cual es absorbido por las plantas desde la tropósfera, vía estomática, y es fijado en el estroma del cloroplasto, por medio del Ciclo de Calvin de la fotosíntesis, para producir nutrientes energéticos, como base del crecimiento y desarrollo de la biomasa vegetal (Jaramillo, 2004; Connolly y Corea 2007). La Biomasa vegetal absorbe CO₂ de la atmósfera a través de los estomas presentes, una fracción del dióxido de carbono es fijado en el estroma de los cloroplastos ubicados en hojas, raíces y tejido leñosos, e ingresa al Ciclo de Calvin de la fotosíntesis, para producir gran cantidad de nutrientes energéticos: Carbohidratos, ácidos grasos y proteínas; calculándose la fijación en aproximadamente 60 Pg C/año; así mismo, el crecimiento de las plantas está directamente relacionado con la diferencia entre C fijado y C respirado (Jaramillo, 2004).

The soil can act as a source or reservoir of C depending on the use and management that is given to it (Lal *et al.*, 1990, Lal, 1997, cited by Martínez *et al.* 2008). Therefore, the SOC can increase, reduce its concentration or keep its level constant, depending on the use of land in agricultural systems (Guo and Gifford, 2002; Don *et al.*, 2011). Carbon is a bioelement that gives structure and support to living organisms, biomolecules such as: amino acids, proteins, nucleotides, nucleic acids, carbohydrates, lipids, enzymes, hormones and amino acids. Carbon when combined with Oxygen, generates CO₂: Carbon dioxide, one of the main greenhouse effect gases (GHG), which is absorbed by plants from the troposphere, via the stomata, and is fixed in the chloroplast stroma, through the Calvin Cycle of photosynthesis, to produce energetic nutrients, as the basis for the growth and development of plant biomass (Jaramillo, 2004; Connolly and Corea 2007). Plant biomass absorbs CO₂ from the atmosphere through the stomata present, a fraction of carbon dioxide is fixed in the stroma of chloroplasts located in leaves, roots and woody tissue, and enters the Calvin Cycle of photosynthesis, to produce large amount of energy nutrients: carbohydrates, fatty acids and proteins; calculating the fixation in approximately 60 Pg by year. Likewise, plant growth is directly related to the difference between fixed carbon and breathed carbon (Jaramillo, 2004).

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
	PAGINA: 4 de 7

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	x	
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	x	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	x	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
	PAGINA: 5 de 7

derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

SI ___ NO X.

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
	PAGINA: 6 de 7

Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.





MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
	PAGINA: 7 de 7

j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Cuantificación del depósito de Carbono, en un Sistema Silvopastoril, finca el Encanto, vereda Cucharal, Fusagasugá.pdf	Texto.
2.	
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
CAICEDO LOZANO CARLOS EDUARDO	

Código Serie Documental 21.1-51-20.

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



Cuantificación del depósito de Carbono, en un Sistema Silvopastoril, finca el Encanto, vereda Cucharal, Fusagasugá

Carlos Eduardo Caicedo Lozano

**Universidad de Cundinamarca
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Maestría en Ciencias Ambientales – Cohorte 1
Fusagasugá
2020**



UNIVERSIDAD DE
CUNDINAMARCA
Generación Siglo 21

**Cuantificación del depósito de Carbono, en un Sistema
Silvopastoril, finca el Encanto, vereda Cucharal,
Fusagasugá**

Carlos Eduardo Caicedo Lozano

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias Ambientales

**Prof: JAIRO ENRIQUE GRANADOS MORENO.,MSc;
PhD (c), Desarrollo Sostenible
Director**

**Universidad de Cundinamarca
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Maestría en Ciencias Ambientales – Cohorte 1
Fusagasugá, Cundinamarca
2020**

Dedicatoria

A mi esposa e hijos por su apoyo incondicional durante el desarrollo de la investigación y toda mi actividad profesional

«La emergencia climática es una carrera que estamos perdiendo, pero es una carrera que podemos ganar. La crisis climática está causada por nosotros y las soluciones deben venir de nosotros. Tenemos las herramientas: la tecnología está de nuestro lado».
(Antonio Guterres, secretario general de la ONU)

Contenido

ÍNDICE DE TABLAS	¡Error! Marcador no definido.
INDICE DE FIGURAS.....	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN	1
EL PROBLEMA	3
JUSTIFICACIÓN.....	5
OBJETIVOS	7
Objetivo General	7
Objetivos Específicos	7
REVISIÓN DE LITERATURA	8
Ciclo de Carbono.....	8
4.2 Propiedades del Dióxido de carbono (CO ₂)	11
4.3 Efecto de Invernadero (EI).....	12
4.4 Depósitos de Carbono	16
5. MATERIALES Y MÉTODOS	19
5.1 Localización	19
5.2 Sistemas Evaluados	19
5.3 Unidades Experimentales de muestreo	21
5.3.1 Muestreo de Pasturas	22
5.3.2 Muestreo de suelos	23
5.4 Variables Evaluadas	24
5.4.1 En pastos y Forrajes.....	24
5.4.3 Depósitos de Carbono Evaluados	25
5.4.4 Ecuaciones Alométricas para calcular los depósitos de carbono	26
5.5 Procedimientos	27
El trabajo se desarrolló mediante la siguiente secuencia metodológica	27
5.6 Diseño Experimental	28
5.7.1 Análisis Estadístico.....	29
6.RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
6.1 Análisis fisicoquímico de suelos al inicio del experimento (día 01).....	30

6.2 Análisis fisicoquímico de los suelos al finalizar el experimento (día 28).....	32
6.3 Análisis químico proximal de las muestras de forraje provenientes de los cuatro sistemas trabajados en la fina el encanto	36
6.4 Biomasa arriba del suelo componente forestal.....	39
6.5 Carbono almacenado en la Biomasa Forestal	40
6.6 Carbono Almacenado en los Forrajes	41
6.7 Carbono Total almacenado en la Biomasa Aérea	43
6.8 Carbono Almacenado en los suelos (COS).....	44
6.9 Carbono Total almacenado o depositado en los sistemas evaluados	47
6.10 COMPORTAMIENTO DEL DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂) EN LOS SISTEMAS EVALUADOS	49
6.11 Concentración promedio de CO ₂ (ppm) por cada sistema y sumideros evaluados.....	51
6.12 Relación entre CO ₂ circulante y Carbono almacenado	52
6.13 Evolución del CO ₂ en los cuatro momentos de medición.....	53
6.14 Comportamiento de temperatura y humedad en los sistemas evaluados	55
6.15 Correlación entre promedios de variables evaluadas en el experimento	58
7. CONCLUSIONES	59
8.RECOMENDACIONES.....	60
BIBLIOGRAFÍA	61
CIBERGRAFIA	68

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Propiedades Fisicoquímicas y estructurales del Dióxido de Carbono	11
Tabla 2	Origen de los gases de efecto de invernadero (GEI)	15
Tabla 3	Sistemas evaluados, forma y coordenadas del terreno	19
Tabla 4	Características propias de cada sistema seleccionado en términos de animales, área, y árboles	20
Tabla 5	Características propias de cada sistema seleccionado para la investigación	21
Tabla 6	VARIABLES del análisis químico proximal, evaluadas en <i>Pennisetum purpureum</i> , <i>Brachiaria</i> y <i>Cynodon nlemfluensis</i>	24
Tabla 7	. Indicadores del análisis fisicoquímico de suelos evaluados en cada sistema al inicio y finalización del experimento	24
Tabla 8	VARIABLES fisicoquímicas evaluadas en sumideros de los cuatro sistemas estudiados	25
Tabla 9	Resultados análisis de varianza para indicadores fisicoquímico de suelos al inicio del experimento	30
Tabla 10	Interpretación de los resultados en el análisis fisicoquímico de suelos al inicio del experimento	31
Tabla 11	Resultados análisis Fisicoquímico de suelos al finalizar el experimento	32
Tabla 12	Interpretación de los resultados en el análisis Fisicoquímico de suelos al finalizar el experimento	34
Tabla 13	Composición Química de los Forrajes provenientes de cuatro sistemas, finca El Encanto	36
Tabla 14	Carbono depositado en las pasturas de los sistema evaluados, finca el Encanto... ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 15	Carbono depositado en la biomasa aérea, finca el Encanto	43
Tabla 16	Carbono fijado o depositado (toneladas por hectárea) en los suelos al inicio y finalización de la investigación	45
Tabla 17	Carbono total almacenado (toneladas por hectárea) en los sistemas evaluados, finca El Encanto	47
Tabla 18	Concentración de CO ₂ , para cada sumidero en los respectivos sistemas evaluados	49
Tabla 19	Evolución de la concentración de gas carbónico (ppm) por semana y tipo de sistema estudiado	53
Tabla 20	Valores de Temperatura (°C) por semana y sistemas evaluados	56
Tabla 21	Valores de Humedad relativa en porcentaje (%) por semana y sistemas evaluados	56
Tabla 22	Resultados ANOVA doble vía para temperatura y humedad	57
Tabla 23	Correlación múltiple mediante coeficientes de correlación de Pearson	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama causa-efecto analítico del problema abordado en la investigación.....	4
Figura 2. Ciclo del Carbono en la naturaleza.....	9
Figura 3 Geometría molecular del dióxido de carbono	12
Figura 4 Efecto invernadero terrestre y los respectivos GEI	13
Figura 5 Comportamiento del CO ₂ como GEI.....	14
Figura 6 Localización finca el Encanto, vereda Cucharal, Fusagasugá.....	19
Figura 7 Distribución, estructura y componentes de cada sistema evaluados en la finca El Encanto	20
Figura 8 Muestreo de pasturas en los sistemas evaluados	22
Figura 9 Muestreo de suelos en los sistemas seleccionados(días 1 y 28).....	23
Figura 10 Secuencia metodológica de la investigación	27
Figura 11 Comportamiento Indicadores fisicoquímicos de los suelos, inicio y finalización del experimento.....	35
Figura 12 Composición de MS, CZ y Proteína en los forrajes provenientes de los cuatro sistemas, finca El Encanto.....	37
Figura 13 Concentración de Materia Orgánica y Fibra detergente Neutra en los forrajes provenientes de los cuatro sistemas, finca el Encanto	38
Figura 14 Biomasa del componente forestal en finca el Encanto	40
Figura 15 Carbono almacenado en componente forestal.....	41
Figura 16 Carbono depositado en las pasturas de los sistema evaluados, finca el Encanto . ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 17 Carbono Total almacenado en la biomasa aérea, finca el encanto ... ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 18 Carbono almacenado en suelo al inicio y finalización del experimento	47
Figura 19 Carbono total almacenado en los sistemas analizados de la finca El Encanto.....	48
Figura 20 Concentración de CO ₂ (ppm) en función de sumideros y sistemas.....	50
Figura 21 Concentración promedio de CO ₂ (ppm) en cada sistema evaluado	51
Figura 22 Circulación de CO ₂ (ppm) en cada sumidero evaluado en los sistemas, finca el Encanto	52
Figura 23 Relación entre carbono almacenado y CO ₂ circulante en los sistemas	53
Figura 24 Comportamiento de la circulación de CO ₂ en sistemas SEVO y SSIT	54
Figura 25 Comportamiento de CO ₂ en las semanas muestreadas para SSPA y STEC..... ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 26 Relación entre humedad y temperaturas promedios en los sistemas evaluados.....	57

INTRODUCCIÓN

El impacto de las actividades agropecuarias en los diferentes ecosistemas es considerado de suma importancia por las agencias de desarrollo e institutos de investigación; cuyos efectos en definitiva se traducen en baja fertilidad, baja capacidad de retención de humedad, alta susceptibilidad a la erosión, pérdida de la cobertura vegetal, problemas de compactación, deforestación, sistemas de manejo de praderas extractivos que acrecientan la pérdida de la capacidad productiva de estos y en fuentes de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Así mismo, es común en los últimos tiempos hablar de cambio climático y de sus efectos negativos en el medio, tanto que las investigaciones científicas sobre las emisiones de gases de efecto invernadero durante los últimos 10 años predicen que el cambio climático tendrá impactos negativos ambientales, sociales y económicos a nivel global. Los impactos pueden incluir aumento del nivel de los mares, erosión costera, cambios dramáticos en patrones climáticos, aumento de enfermedades tropicales, la pérdida acelerada de biodiversidad, y la desertificación (Stuart y Moura Costa, 1998).

Uno de los principales fenómenos ambientales que mueve la preocupación mundial es el cambio y la variabilidad climática, derivada del incremento de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), dentro de los cuales se destacan el Dióxido de Carbono (CO_2), el Óxido Nítrico (N_2O) y el Metano (CH_4). En este sentido, se atribuye a las actividades productivas el agudizamiento de fenómenos ambientales, porque la producción bovina impacta negativamente los ecosistemas, debido a la ganaderización de la frontera agrícola, las emisiones de gases con efecto de invernadero (GEI) y el uso indiscriminado de agro tóxicos que afectan el aire, el suelo y el agua del sistema donde se practica

Numerosas modelaciones del cambio climático global sugieren que se puede contribuir sustancialmente al control de los niveles de CO_2 en la atmósfera mediante la calidad del manejo

forestal, la conservación del bosque en peligro de deforestación, la rehabilitación de bosques, forestación, reforestación¹ o promoción de la agroforestería. Debido a que el suelo almacena cantidades considerables de carbono, las prácticas que promueven un aumento en el carbono orgánico del suelo también pueden tener un efecto positivo en la fijación (Stuart, M.D. y Moura Costa, P. 1998). Por lo descrito en los párrafos anteriores, el propósito de esta investigación se centró en la Cuantificación del almacenamiento de Carbono, a nivel de suelo, biomasa forestal, pasturas y biomasa total en sistemas: semiintensivo, tecnificado, Silvopastoril y extensivo, ubicados en finca el Encanto, vereda Cucharal, Fusagasugá

1. EL PROBLEMA

Las afectaciones producidas por las prácticas agropecuarias inadecuadas, entre las cuales la relación de causa y efecto entre la producción de Metano (CH₄), que es un gas de efecto invernadero (GEI), y la captación de dióxido de carbono (CO₂) por plantas forrajeras presentes en sistemas pecuarios, no son valoradas ni calculadas por los productores ni por los técnicos. Si lo anterior fuera debidamente conocido y fundamentado en lo científico, se lograrían adoptar y aplicar decisiones para las buenas prácticas ganaderas, que puedan favorecer la disminución de GEI por parte de los sistemas agropecuarios. En Colombia existe la necesidad urgente de ampliar la información sobre los factores de emisión y estrategias de mitigación de CO₂

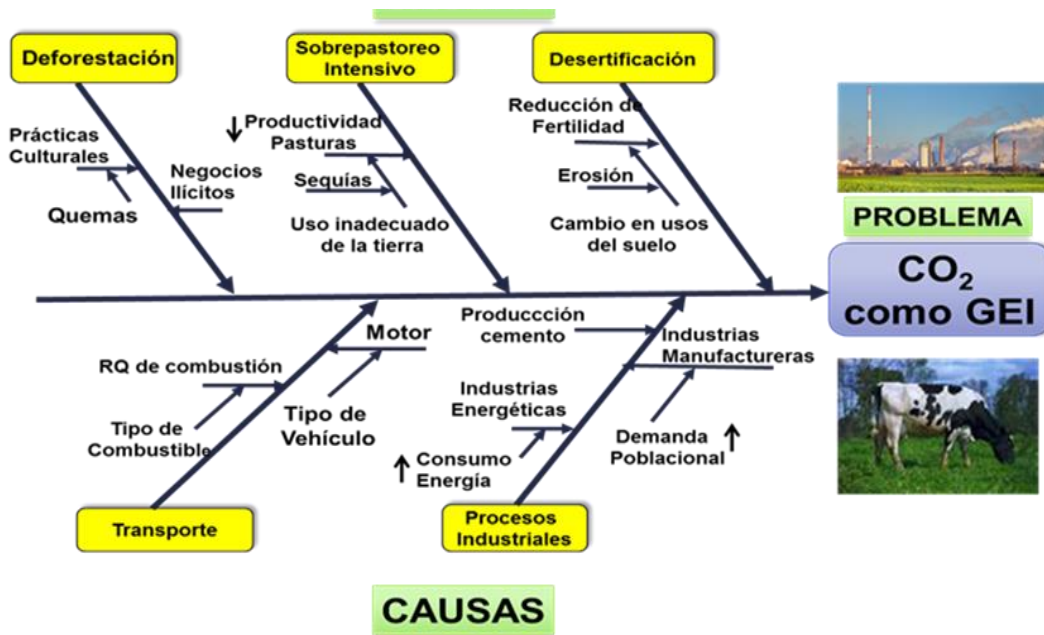
El Carbono Orgánico del Suelo (COS) es el componente principal de la Materia Orgánica del mismo (MOS) (Martínez *et al.*, 2008), dado que es un elemento esencial para el desarrollo de la vida, forma parte de todas las moléculas orgánicas y es fundamental dentro de los sistemas productivos por su flujo dinámico del CO₂ entre los procesos Fotosintéticos dados por organismos autótrofos y de respiración celular con los heterótrofos, además, teniendo en cuenta las propiedades biofísicoquímicas de esta biomolécula, relacionadas con su estructura molecular, La figura 1, corresponde a un diagrama multicausal de la situación problemática abordada en esta investigación:

¹ Novena Reunión de la Conferencia de las partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica.
Novena Reunión de la Conferencia de las partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica.

Sistema de producción del suelo que implica el asocio espacial y simultáneo de praderas (que sustentan la alimentación animal) y leñosas perennes multipropósito.

Figura 1

Diagrama causa-efecto analítico del problema abordado en la investigación



Fuente: elaboración propia (2020)

se puede comprender la incidencia directa sobre la productividad de los cultivos (Morón *et al.*, 1999, Sawchik, 2001); en consecuencia, las diferentes prácticas antrópicas relacionadas con manejo del suelo, pasturas, bosques, aire y otras como la deforestación, sobrepastoreo intensivo y desertificación, descritas en la figura 1, pueden incrementar significativamente la actividad molecular del CO₂ en el aire, causando el fenómeno fisicoquímico denominado efecto de invernadero (EI), lo cual convierte al dióxido de carbono en gas con efecto de invernadero (GEI) (Sawchik, 2001), es decir, el COS es emitido a la atmósfera en forma CO₂ producto de las transformaciones oxidativas que ocurren en el suelo y reacciones bioquímicas enzimáticas del ciclo de Calvin (Sandoval *et al.*, 2003).

En general, la figura 1, muestra que la acumulación de CO₂ como GEI, depende de situaciones multicausales, en su mayoría antrópicas, incluidas transporte y procesos industriales, lo cual, enlazado con prácticas culturales inadecuadas, quemas, usos inapropiados del suelo y la consecuente desertificación, afectan en gran medida los sistemas productivos agropecuarios.

Un problema de la actualidad es la deforestación el cual contribuye al aumento de la concentración de este CO₂ en la atmósfera, puesto que no hay cobertura vegetal que fije el C atmosférico y además se promueve la liberación de CO₂ a la atmósfera por la quema y descomposición de biomasa, incluida de la materia orgánica (García, 2003).

Por lo anterior, la Pregunta central que orientó la presente Investigación fué:

¿Cuál será el inventario de Carbono Almacenado en la Biomasa aérea, Biomasa del suelo y Biomasa Total, de cuatro sistemas, incluidos en finca el Encanto, vereda Cucharal, Fusagasugá ?

2. JUSTIFICACIÓN

Las emisiones totales de GEI en Asia ascienden al 43%, en América del Norte y Europa cada uno aporta el 14%, América Latina y el Caribe al 14%, entre tanto África y Asia aportan el 2% La emisión total de GEI por actividades agrícolas en el mundo son de un 13%, el 50% por CH₄ y del 60 al 80% por Óxido Nitroso (N₂O) Asia, Europa y América del Norte contribuyen con el 90% de las emisiones de CH₄ a nivel mundial, producidas por la fermentación entérica de rumiantes y los cultivos de arroz principalmente, el restante 9% por América Latina (IPCC, 2014, p. 12).

Debido a que el suelo almacena cantidades considerables de carbono, las prácticas que promueven un aumento en el carbono orgánico del suelo también pueden tener un efecto positivo en la fijación (Stuart, M.D. y Moura Costa, P. 1998). De hecho la Decisión 19/COP-9² ha definido como “reservorios de carbono” a la biomasa superficial, la biomasa subterránea, los detritos, la madera muerta y el carbono orgánico del suelo. Los Sistemas Agroforestales y entre ellos los Silvopastoriles³ pueden mantener y hasta aumentar las reservas de carbono en la vegetación y los suelos; fomentando a su vez prácticas sostenibles con bajos insumos, debido al ciclaje de nutrientes y la estratificación de la vegetación perenne con lo que se disminuye la presión sobre los recursos naturales.

² Novena Reunión de la Conferencia de las partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica.

³ Sistema de producción del suelo que implica el asocio espacial y simultáneo de praderas (que sustentan la alimentación animal) y leñosas perennes multipropósito.

Para efectos de homogenizar los conceptos y de acuerdo a la Decisión 17/COP-7⁴ de la Convención Marco Sobre el Cambio Climático (CMCC) del Panel Intergubernamental Sobre Cambio Climático (IPCC); se acordó que el almacenamiento o stock de carbono hace referencia a la capacidad de un ecosistema de mantener una determinada cantidad promedio de carbono por ha, expresándose en toneladas de carbono por ha ($t\ C\ ha^{-1}$). El carbono fijado se refiere a la capacidad de una unidad de área cubierta por vegetación para fijar carbono en un período determinado, adicional a la cantidad almacenada en el momento actual (Segura, 1997), expresándose en $t\ C\ ha^{-1}\ año^{-1}$.

La elaboración de inventarios de emisiones de CO_2 fiables, permiten reducir la incertidumbre actual y facilitan el seguimiento de las emisiones de los sistemas de producción pecuario antes y después de la implementación de estrategias de mitigación, por lo que la reducción de las emisiones puede ser corroborada y la eficacia de la estrategia evaluada.

⁴ Séptima Reunión de la Conferencia de las partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica.

3. OBJETIVOS

Objetivo General

Cuantificar el almacenamiento de carbono en un Sistema Silvopastoril, finca el Encanto, vereda Cucharal, Fusagasugá, Cundinamarca

Objetivos Específicos

- 1.** Analizar calidad fisicoquímica de los suelos presentes en Sistemas: extensivo, semiintensivo, silvopastoril y tecnificado, incluidos en la finca el Encanto
- 2.** Estudiar la calidad nutricional de las pasturas presentes en sistemas extensivo, semiintensivo, silvopastoril y tecnificado, distribuidos en la finca el Encanto
- 3.** Estimar el contenido de carbono almacenado en biomasa aérea, biomasa del suelo y biomasa Total de la finca el Encanto
- 4.** Establecer la relación entre CO₂ circulante y Carbono depositado, en los cuatro sistemas evaluados de la finca el encanto

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Ciclo de Carbono

El suelo puede actuar como fuente o reservorio de C dependiendo del uso y manejo que se dé al mismo (Lal *et al.*, 1990, Lal, 1997, citados por Martínez *et al.* 2008). Por lo tanto, el COS puede incrementarse, reducir su concentración o mantener constante su nivel, dependiendo del uso de la tierra en los sistemas agropecuarios (Guo y Gifford, 2002; Don *et al.*, 2011)

El carbono es un bioelemento que da estructura y soporte a los organismos vivos, biomoléculas como: aminoácidos, proteínas, nucleótidos, ácidos nucleicos, carbohidratos, lípidos, enzimas, hormonas y aminoácidos, tan esenciales para la vida, contienen carbono orgánico. C al combinarse con el Oxígeno, genera CO₂: dióxido de Carbono, uno de los principales gases de efecto invernadero(GEI), el cual es absorbido por las plantas desde la tropósfera, vía estomática, y es fijado en el estroma del cloroplasto, por medio del Ciclo de Calvin de la fotosíntesis, para producir nutrientes energéticos, como base del crecimiento y desarrollo de la biomasa vegetal (Jaramillo, 2004; Connolly y Corea 2007)

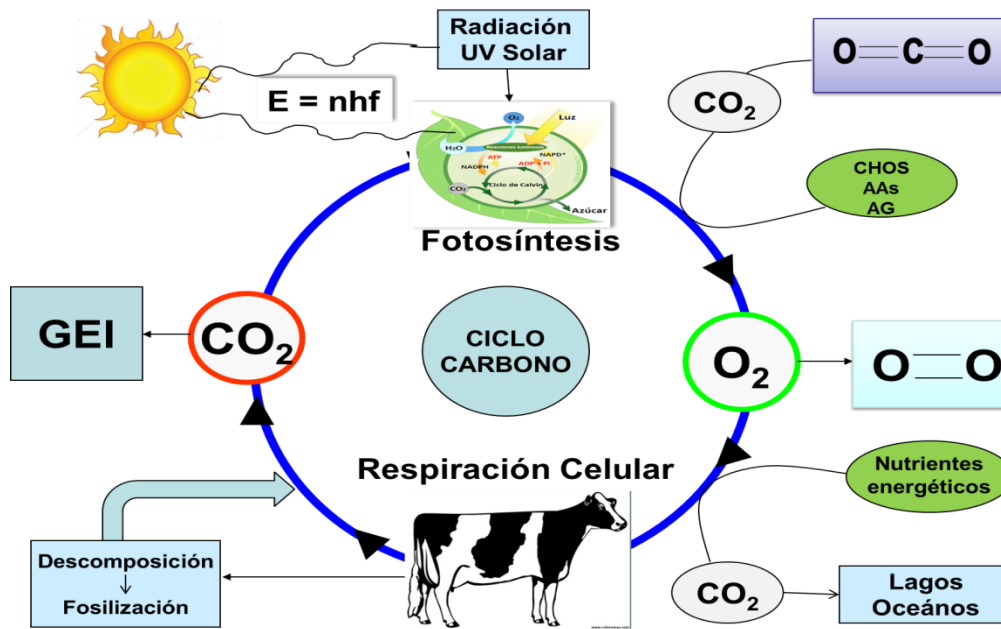
La Biomasa vegetal absorbe CO₂ de la atmósfera a través de los estomas presentes , una fracción del dióxido de carbono es fijado en el estroma de los cloroplastos ubicados en hojas, raíces y tejido leñosos, e ingresa al Ciclo de Calvin de la fotosíntesis, para producir gran cantidad de nutrientes energéticos: Carbohidratos, ácidos grasos y proteínas, entre los más abundantes están los carbohidratos solubles, como glucosa, fructosa, sacarosa y almidón, calculándose la fijación en aproximadamente 60 Pg C/año; así mismo, el crecimiento de las plantas está directamente relacionado con la diferencia entre C fijado y C respirado (Jaramillo, 2004).

Los nutrientes energéticos producidos en el Ciclo de Calvin fotosintético, pasan a los herbívoros (organismos heterótrofos) que consumen las plantas y de ese modo utilizan, reorganizan y degradan los compuestos carbonados mediante reacciones bioquímicas de respiración celular (RBE) constituídas por: glucólisis, ciclo de Krebs, betaoxidación de ácidos grasos, desaminación oxidativa de aminoácidos y cadena transportadora de electrones (fosforilación oxidativa), las cuales finalmente producen CO₂, H₂O y ATP; también se libera gas

carbónico como producto secundario del metabolismo, pero parte se almacena en los tejidos animales y pasa a los carnívoros, que se alimentan de los herbívoros. En última instancia, todos los compuestos del carbono se degradan por descomposición, y el carbono que es liberado en forma de CO₂ a la atmósfera, es utilizado de nuevo por las plantas en su proceso fotosintético; la figura 2, integra la secuencia de las etapas del ciclo.

Figura 2.

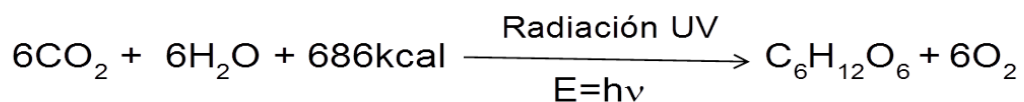
Ciclo del Carbono en la naturaleza



Fuente: autor (2020)

En resumen, las reacciones más importantes que ocurren en el ciclo del carbono son las siguientes: (Granados, J, 2011)

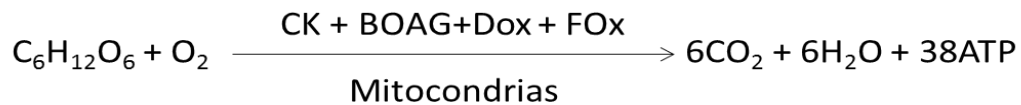
- **Fotosíntesis:** El dióxido de carbono de la troposfera es fijado por las plantas en el ciclo de Calvin y convertido en glucosa (azúcar aldohexosa: C₆) según la ecuación química:



Donde:

E= Energía de radiación de Planck; h= Constante de Planck; v: frecuencia de onda

- **Respiración celular:** Los animales consumen pasturas u otros alimentos, ricos en nutrientes energéticos, los cuales a través de sus procesos digestivos, absorptivos, de transporte y metabólicos, oxidan carbohidratos como la glucosa a través de las RBE mitocondriales, hasta producir gas carbónico, agua y energía, según la ecuación:



Donde

CK: Ciclo de Krebs; BOAG: Betaoxidación de AG; DOx: Desaminación oxidativa; FOx: Fosforilación Oxidativa

- **Descomposición:** Consiste en la degradación de necrobiomasa vegetal y animal, por medio de Bacterias y hongos, generando residuos de carbono, que retornan al medio ambiente
- **Fosilización:** Se relaciona con la producción de combustibles fósiles, como hulla, petróleo y gas natural, a partir de restos de organismos antiguos que contenían grandes cantidades de compuestos carbonados como resultado de la fotosíntesis ocurrida hace millones de años. En algunos casos el carbono presente en biomoléculas no regresa inmediatamente al ambiente abiótico, tal es el caso del CO presente en madera forestal ó el que formó parte de los depósitos de hulla a partir de restos de árboles antiguos que quedaron sepultados en condiciones anaerobias antes de descomponerse.

El Carbono también se deposita en los océano; estos grandes cuerpos de agua capturan entre 1,7 y 1,9 Pg C/año, dicho proceso biofísicoquímico se da específicamente en los sumideros naturales de CO₂, como aquellos expuestos a la atmósfera, es el caso de las aguas que han pasado mucho tiempo en el interior del océano; los océanos producen: CaCO₃: carbonato de calcio, el cual es depositado en sedimentos marinos mediante proceso de subducción, ingresando posteriormente a la corteza baja de la Tierra. Aquí se desarrolla una reincorporación y emisión de

Carbono a la atmósfera en forma de CO₂. Este ciclo geoquímico ha ayudado a mantener la concentración del CO₂ atmosférico por debajo de 1% durante los últimos 100 millones de años (Jaramillo, 2004).

4.2 Propiedades del Dióxido de carbono (CO₂)

CO₂ es un gas incoloro compuesto por una mol de átomos de carbono unido con enlaces covalentes dobles (uno σ y otro π) a dos moles de átomos de oxígeno. Es decir, los átomos comparten electrones en el enlace para alcanzar la regla del octeto. La tabla 1, expone las principales propiedades moleculares, estructurales y fisicoquímicas del dióxido de carbono

Tabla 1

Propiedades Fisicoquímicas y estructurales del Dióxido de Carbono

Características	Indicador
Fórmula Estructural	O=C=O
Fórmula Molecular	CO ₂
Características	Gas incoloro e inodoro, soluble en agua, acetona y etanol.
Nomenclatura	<u>Sistemática</u> : Dióxido de carbono <u>Stock</u> : óxido de carbono (IV) <u>Tradicional</u> : Anhídrido carbónico
Nombre Común	Gas Carbónico
Peso Molecular (M)	44,01 g/ mol
Riqueza de Carbono	27,27%
Densidad (d)	1,26 g/ mL
Solubilidad en agua	1,26 g/ mL
Punto Triple	P=5,1atm; T= -56,4°C

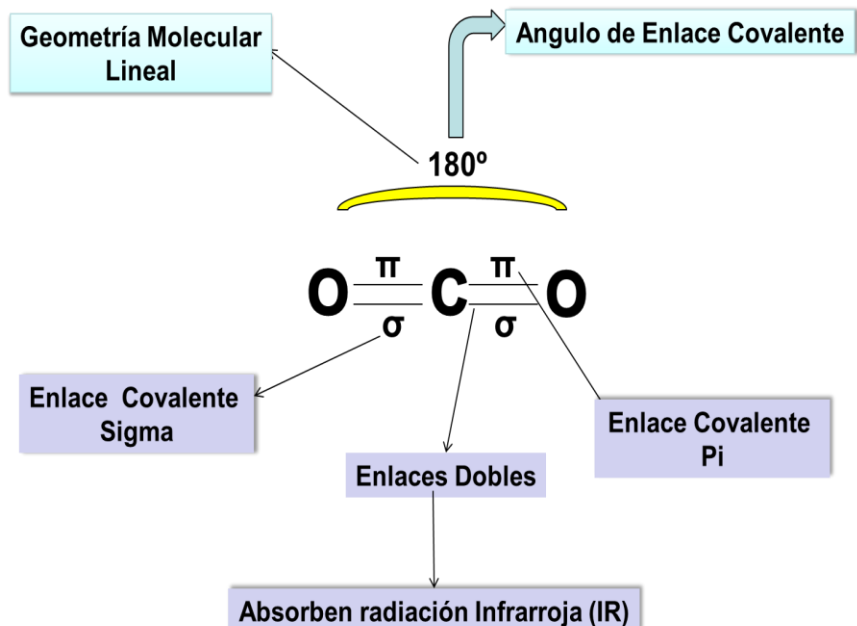
Fuente: Granados, J , García, J (2011)

Dióxido de carbono es una molécula lineal, como se muestra en la figura 3, dado que el oxígeno tiene mayor electronegatividad (3,44) que el carbono (2,55), cada uno de los enlaces

dobles C=O es polar. Además, como el momento dipolar de cada enlace es igual, pero en dirección contraria (los vectores van en direcciones opuestas), las fuerzas electrónicas se anulan. Por ese motivo la molécula de CO₂ como un todo es apolar y por lo tanto es eléctricamente neutra (Avellán, 2018).

Figura 3

Geometría molecular del dióxido de carbono



Fuente: elaborado por autor (2020)

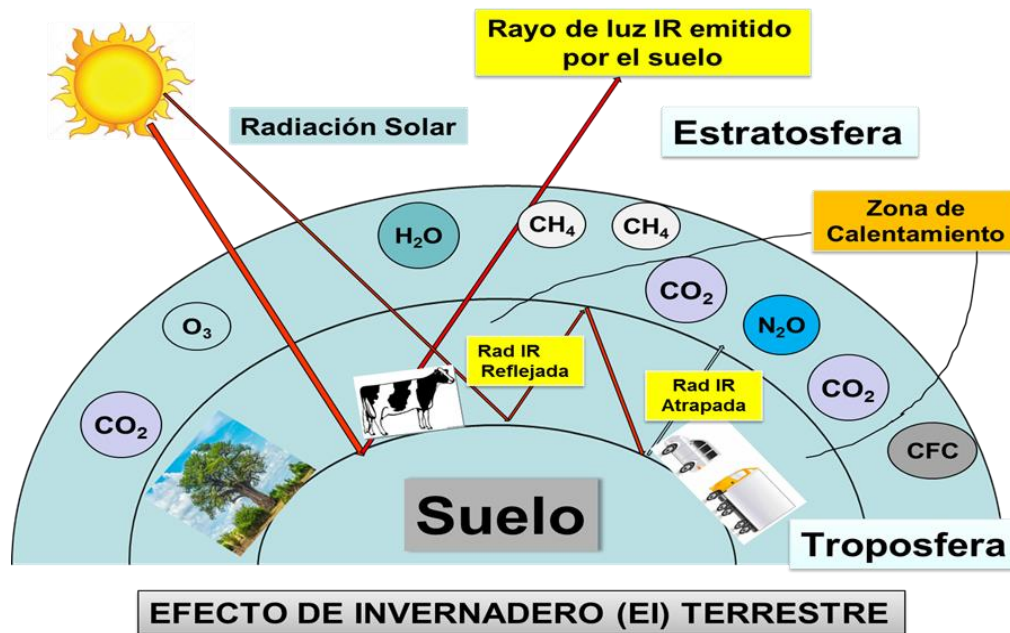
CO₂ como molécula lineal, presenta cuatro modos vibracionales, esto le permite absorber la radiación infrarroja (IR), los primeros movimientos son de tensión, en los que se modifica la longitud del enlace: uno de tensión simétrica, donde no hay cambio en el momento dipolar y otro de tensión asimétrica, donde sí lo hay. Ahora, si no hay cambio en el momento dipolar durante la vibración, la radiación electromagnética no es absorbida por la molécula. Los otros dos movimientos son de flexión, en los cuales se modifican los ángulos de enlace, lo que causa cambios en el momento dipolar. De tal forma que la molécula absorbe radiación infrarroja en tres movimientos (tensión asimétrica y los dos de flexión) (Fernández, 2013).

4.3 Efecto de Invernadero (EI)

Los gases atmosféricos como el nitrógeno (78%) y el oxígeno (21%), que se encuentran en mayor concentración, no muestran efectos significativos sobre el clima. Si estos gases fueran los únicos componentes de la atmósfera, la Tierra sería un planeta prácticamente deshabitado, en razón de que la temperatura promedio sobre la superficie estaría cercana a los -18°C . No obstante, a pesar de esto, algunos gases minoritarios como: CO_2 , vapor de agua, Metano (CH_4) y ozono (O_3), permiten el paso de la radiación ultravioleta (UV) del sol hasta la superficie terrestre para luego retener en sus enlaces químicos, la energía de la radiación infrarroja (IR) ascendente, que emite el suelo después de haber sido calentado por la radiación solar. Este proceso tal como se observa en la figura 4, involucra leyes de termodinámico y es denominado efecto de invernadero (EI), además, es natural y lo desarrolla cualquier atmósfera planetaria (Granados.,J, 2014)

Figura 4

Efecto invernadero terrestre y los respectivos GEI



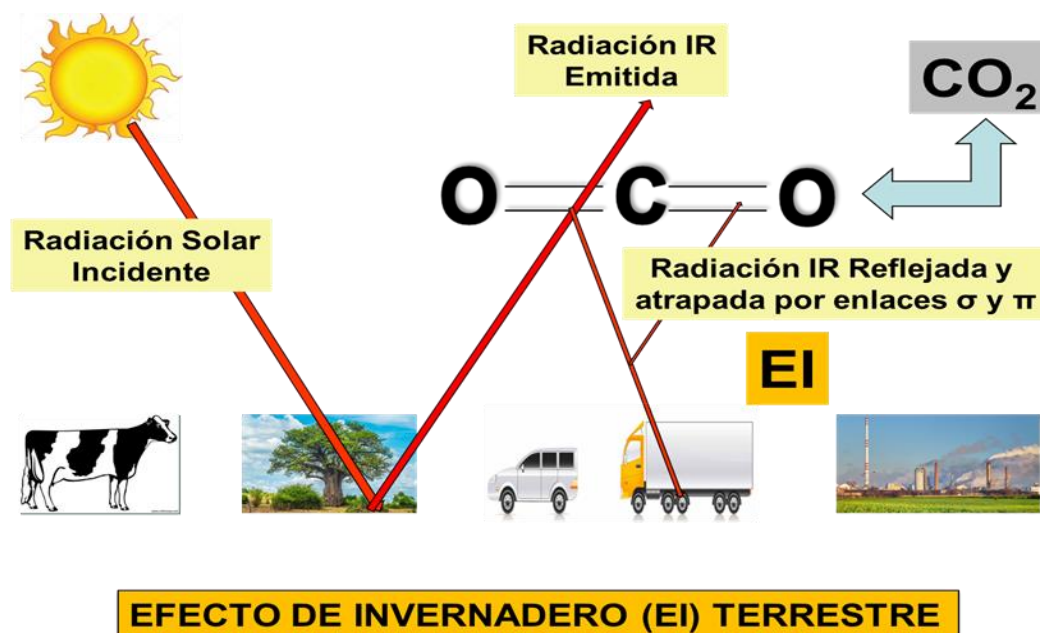
Fuente: autor (2020), adaptado de Granados, J (2014)

Cuando el efecto de invernadero (EI) se acentúa notablemente, los denominados gases minoritarios, mencionados anteriormente, se incrementan, constituyéndose como gases de efecto de invernadero (GEI), los cuales son generados mediante contribución antropogénica (actividad humana); El fenómeno descrito, ocurre análogicamente en los invernaderos agronómicos, donde

el vidrio actúa permitiendo el paso de la radiación UV solar y atrapa la radiación infrarroja emitida por el suelo, dentro del invernadero. La figura 5, muestra como los enlaces π y σ del CO_2 troposférico absorben la energía de la radiación solar emitida por la tierra, atrapando la radiación infrarroja para comportarse como GEI, contribuyendo así al calentamiento global y cambio climático terrestre

Figura 5

Comportamiento del CO_2 como GEI



Fuente: autor (2020), adaptado de Granados, J (2014)

En general, el comportamiento termodinámico específico de los GEI, frente a la radiación UV solar e IR terrestre, genera calentamiento del aire próximo a la superficie terrestre, incrementando la temperatura promedio del planeta. Otros gases que provocan efecto invernadero (GEI) son: óxidos de nitrógeno (NO_x) y los clorofluorcarbonados (CFC); El aumento en la concentración de los gases de invernadero debido a actividades humanas, y la consecuente potenciación del efecto invernadero, es una de las causas probables del aumento de 0.6°C de la temperatura media global observado en el período 1910 - 1995. (Seinfeld J., 2008) En la tabla 2, se indican las fuente y Reacciones químicas de origen de algunos gases con efecto de invernadero.

Las emisiones totales de GEI en Asia ascienden al 43%, en América del Norte y Europa cada uno aporta el 14%, América Latina y el Caribe al 14%, entre tanto África y Asia aportan el 2% La emisión total de GEI por actividades agrícolas en el mundo son de un 13%, el 50% por CH₄ y del 60 al 80% por Óxido Nitroso (N₂O) Asia, Europa y América del Norte contribuyen con el 90% de las emisiones de CH₄ a nivel mundial, producidas por la fermentación entérica de rumiantes y los cultivos de arroz principalmente, el restante 9% por América Latina (IPCC, 2014, p. 12)

Tabla 2

Origen de los gases de efecto de invernadero (GEI)

GEI	Fórmula	Fuente	Reacción Química de origen
Gas Carbónico (Dióxido de Carbono)	CO ₂	Combustión completa e incompleta de carburantes fósiles (petróleo, gas, hulla) y madera Erupciones volcánicas Emisiones del escape de motores diesel y gasolina	CO + O ₂ → CO ₂ + O CO + H ₂ O → CO ₂ + H ₂
Metano	CH ₄	Descomposición anaeróbica de vegetales en tierras húmedas (pantanos, ciénagas, arrozales) Combustión de biomasa Circulación de gas natural	CO ₂ + 4H ₂ → CH ₄ + 2H ₂ O
Óxidos de Nitrógeno (monóxido y dióxido de)	NO _x	Prácticas agrícolas (uso de fertilizantes nitrogenados) Combustión completa e incompleta de carburantes	N ₂ + O ₂ → 2NO NO + 1/2O ₂ → NO ₂
Nitrógeno	N ₂	fósiles Emisiones del escape de motores diesel y gasolina	
Ozono troposférico	O ₃	Fotodisociación del Oxígeno molecular	3O ₂ → 2O ₃
Clorofluor carbonados (Freones)	CFC	Síntesis industrial (propelentes de aerosoles, refrigeración, espumas)	R-H + X ₂ → R-X + HX R=radical; X=Cl, F, Br

Fuente: Elaboración del autor(2020) con base en información de Wark y Warner (1994)

Según, (Ciesla, 1996, Abarca, 1997, citados por Ramos, 2003), Indira et al. (2012) los principales gases de la producción ganadera son el Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄) y Óxido Nitroso (N₂O). y sus concentraciones aumentan sin control por el trabajo antrópico (Hergoualc'ha et al, 2012, IPCC, 2013) y las emisiones netas de CO₂ fueron de 0,9 GtC año⁻¹

durante el período de 2011 a 2018, de tal indicativo la agricultura aportó 10% al 12% de CO₂, el 40% de CH₄ y el 60% de N₂O (Mitloehner *et al.*, 2009)

Igualmente, la FAO Informa de 4700 millones de toneladas de CO₂ eq con un incremento anual del 14%. La ganadería ocupa el 30% de la superficie terrestre global, (Suárez, 2010), y el 75% de los suelos agrícolas son utilizados en ganaderías, incluyendo los cultivos de cereales para la alimentación animal (Buller *et al.*, 2014). En Colombia los agroecosistemas se encuentran en pasturas que ocupan entre el 60% y el 80% del área total del territorio, (Murgueitio *et al.*, 2009).

La actividad agropecuaria contribuye con el 19% a la contaminación por GEI, superando al sector industrial con el 10%, lo cual siembra dudas, dado que las informaciones de entidades mundiales reportan que realmente existe un mayor número de Tera toneladas de dichos gases emitidos por la industria colombiana. Por su parte, al sector de producción energética, se le atribuye el 9% de la producción de GEI (González *et al.*, 2010). El total de las emisiones de GEI en Megatoneladas de CO₂ países de América Latina y el Caribe, señalan a Brasil con 1.700 y 635, respectivamente; a México con 720 y 267 respectivamente; Argentina 459 y 117 respectivamente y Colombia con 265 y 78 respectivamente.

4.4 Depósitos de Carbono

Almacenamiento o stock de carbono hace referencia a la capacidad de un ecosistema de mantener una determinada cantidad promedio de carbono por hectárea (ha), expresándose en toneladas de carbono por ha (t C. ha⁻¹). (IPCC, decisión 17); los Reservorios de carbono son: biomasa superficial, biomasa subterránea, detritos, madera muerta y carbono orgánico del suelo (COS)

El carbono fijado se refiere a la capacidad de una unidad de área cubierta por vegetación para fijar carbono en un período determinado, adicional a la cantidad almacenada en el momento actual (Segura, 1997), expresándose en t C ha⁻¹ año⁻¹. El carácter de adicional es considerado, según la Decisión 19/COP-9 de la CMCC, si la absorción neta efectiva de GEI por los sumideros supera la suma de las variaciones del carbono almacenado que se habrían producido de no realizarse la actividad del proyecto de forestación o reforestación del Mecanismo de Desarrollo Limpio registrado, en el marco del Protocolo de Kyoto.

Se está reconociendo el papel de las pasturas en el ciclo del carbono, por cuanto las gramíneas seleccionadas con altos rendimientos de biomasa y bien adaptadas cumplen un papel importante en la reducción de la emisión de carbono a la atmósfera debido a la producción de biomasa aérea y raíces y deposición de materia orgánica en el suelo.

Se han reportado tasas de fijación de carbono del orden de 0,1 a 4,3 t C ha⁻¹ año⁻¹ para Sistemas Agroforestales y Silvopastoriles en Centroamérica (Kursten. 1993, Pomareda. 1999). Un estudio realizado en la Zona Norte de Costa Rica reporto niveles de almacenamiento de hasta 233 t C ha⁻¹ mientras que el suelo de un sistema silvopastoril con regeneración natural de laurel (*Cordia alliodora*) almacenó de 180 – 200 t C ha⁻¹.

En Guápiles, Costa Rica, Andrade (1999) estimó el almacenamiento de carbono sobre el suelo en sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en combinación con pasturas *B. brizantha*, *B. decumbens*, y *P. maximum* obteniéndose valores que oscilan de 3,7 t C ha⁻¹ a 4,7 t C ha⁻¹ donde el componente arbóreo aporta un promedio de 76 a 94% del carbono total.

Arias (2001) reporta para un sistema silvopastoril en Venezuela con la especie *Gliricidia sepium*, un almacenamiento de 309 Kg. C ha⁻¹ y una tasa de fijación de 124 Kg C ha⁻¹ año⁻¹; mientras que en el sistema de cultivos en callejones el almacenamiento fue de 654 Kg. C ha⁻¹ y la tasa de fijación de 327 Kg C ha⁻¹ año⁻¹.

Carvajal, C, et al (2009) analizaron almacenamiento de carbono del suelo en diferentes usos del terreno en paisajes andinos colombianos, zonas altas desde 1450msnm-1600msnm, encontrando valores de CO de 7,72% (profundidad 10cm) y 6,48% (10cm-20cm), con almacenamiento de COS de 42,88 t C.ha⁻¹ y 39,55 tC.ha⁻¹

Daza, M, et al (2013) en un estudio sobre efectos del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el páramo de Sumapaz, reporta para cuatro tipos de suelo, valores de pH en rangos de 4,25 hasta 4,75, densidad aparente (0,875 g.cm⁻³_1,050 g.cm⁻³) y Carbono Orgánico desde 3,57% hasta 8,84%

Andrade, H, et al (2016) estudiaron Carbono Orgánico en bosques de arrozales y pasturas en el Tolima, obteniendo en suelos, densidades aparentes de 1,00 g cm⁻³ hasta 1,70 gcm⁻³,

carbono orgánico (1,50% - 2,00%) y almacenamiento de carbono COS (desde 57,0 t C ha⁻¹ hasta 65 t C ha⁻¹)

La cantidad de Carbono orgánico depositado en el suelo, depende de la cantidad de C que se fija en el suelo y la que se produce en forma de dióxido de carbono por la respiración celular de la biomasa vegetal y animal, procedente de la mineralización microbiana, y en menor medida, de la lixiviación del suelo como CO disuelto, el cual, es exportado de suelos a ríos y océanos para ser almacenados. No obstante, la pérdida o ganancia de C también se puede dar través de la erosión o deposición del suelo. (FAO, 2017).

Castañeda y Montes (2017) reportan que en el primer metro de profundidad se acumula el 54% (1.500 gigatoneladas (Gt)), y cerca de 615 Gt de Carbono Orgánico en el suelo (COS) en los primeros 20 cm. Los suelos almacenan de la mitad a más de dos terceras partes del C en los ecosistemas terrestres, particularmente los bosques, almacenando alrededor del 40% de todo el C (Paz *et al.*, 2016).

Investigaciones desarrolladas por Burbano (2018) y Lok *et al.* (2013) indican que el contenido de COS obedece a sus características y al equilibrio entre la tasa de entrada del CO de origen vegetal y animal que es almacenado por la descomposición de la materia orgánica y la de salida, que resulta del metabolismo microbiano que genera el CO₂, de lo anterior, se predice que el suelo es el mayor sumidero terrestre de dióxido de Carbono (CO₂).

Las pasturas solas o integradas a sistemas silvopastoriles captan GEI, como el CO₂, contribuyendo a la disminución de las concentraciones en la atmósfera, ya que dichos ecosistemas concentran CO₂ en la materia orgánica (hojarascas) y en la biomasa arbórea, incluyendo buenazas o arvenses (Fisher *et al.*, 1994 citado por Botero, 1994).

Integrando leguminosas y gramíneas, se logra un incremento del 20% en secuestro de carbono, el cual se localiza en la parte profunda de los suelos y en los sistemas radiculares, evitando así que el carbono sea oxidado, y quede expuesto a incrementar los GEI. (Fisher *et al.*, 1994 citado por Botero(1994)

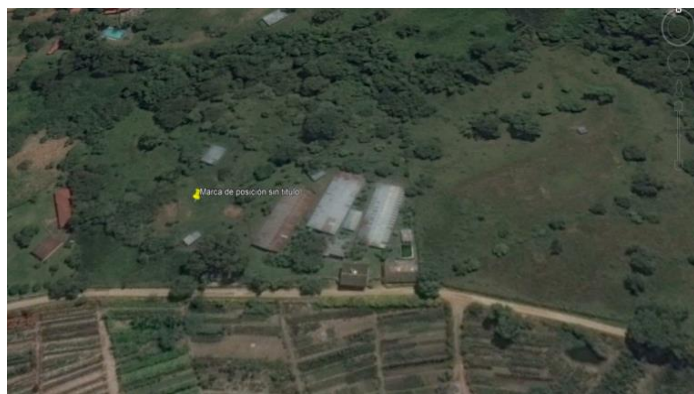
5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización

El estudio se realizó en el predio El Encanto, vereda Cucharal del Municipio de Fusagasugá Departamento de Cundinamarca, ubicado a 3 Km de Fusagasugá y 63 km a Bogotá, su georreferencia es: Latitud 4°21'17.95"N y Longitud 74°23'29.75"O, altura de 1550 msnm, 1620 mm de precipitación anual, 75 de humedad relativa y temperatura promedio de 21 °C.

Figura 6

Localización finca el Encanto, vereda Cuchara, Fusagasugá



Fuente: Google Earth., 2019

5.2 Sistemas Evaluados

En la investigación se analizaron los sistemas y arreglos dentro de la finca seleccionada como se muestran en la tabla 3 y figura 7, respectivamente ()

Tabla 3

Sistemas evaluados, forma y coordenadas del terreno

Sistema	Significado	Forma	Coordenadas
SEVO	Sistema Extensivo	Lineal	4° 21´ 19´´ N 74° 23´ 30´´ W
SSIT	Sistema semiintensivo	Circular	4° 21´ 17´´ N 74° 23´ 29´´ W
SSPA	Sistema silvopastoril	Lineal	4° 21´ 18´´ N 74° 23´ 28´´ W
STEC	Sistema Tecnificado	Rectangular	4° 21´ 17´´ N 74° 23´ 31´´ W

Fuente: Elaboración propia (202

Figura 7

Distribución, estructura y componentes de cada sistema evaluados en la finca el Encanto



Fuente: Elaboración propia (2020)

La selección de cada sistema se realizó acorde a las siguientes criterios: tipo y carga de animales, tipo y cantidad de árboles, tipo de suelos, tipo y clase de pasturas (); la tabla 4 muestra características de cada sistema, en términos de los criterios establecidos

Tabla 4

Características propias de cada sistema seleccionado en términos de animales, área, y árboles

Características propias	Sistemas Agropecuarios Seleccionados			
	SEVO	SSIT	SSPA	STEC
Tipo y Carga Animales	Ganado cebú (2)	Ganado cebú (2)	Ganado cebú (3)	Ganado cebú (4)
Área (m ²)	3600	3600	3600	2800
Tipo y Cantidad de Árboles	<p>Leguminosas, árboles y arbustos: <i>Gliricidia sepium</i> (5); <i>Leucaena leucocephala</i> (4) <i>Acacia mangium</i> (4) <i>Guazuma ulmifolia</i>(3); <i>Tithonia diversifolia</i> (6) <i>Trichanthera gigantea</i> (5); <i>Morus alba</i> (6)</p>	<p>Leguminosas, árboles y arbustos: <i>Gliricidia sepium</i> (5) <i>Leucaena leucocephala</i> (4) <i>Acacia mangium</i>(4); <i>Tithonia diversifolia</i> (6); <i>Trichanthera gigantea</i> (5).</p>	<p>Leguminosas, árboles y arbustos: <i>Guazuma ulmifolia</i>(3) <i>Gliricidia sepium</i> (5) <i>Alnus acuminata</i>(1) <i>Cajanus cajan</i> (4) <i>Psidium guajava</i> (6); <i>Mangifera indica</i> (4); <i>Citrus limon</i> (10) <i>Citrus reticulata</i> (2).</p>	<p>Leguminosas, árboles y arbustos: <i>Gliricidia sepium</i> (5) <i>Leucaena leucocephala</i> (4) <i>Acacia mangium</i>(4) <i>Tithonia diversifolia</i> (6) <i>Trichanthera gigantea</i> (5)</p>

Fuente: elaboración propia (2020)

La tabla 4, señala que en lo referente a animales, el predio cuenta con 11 bovinos cebú, de los cuales cuatro están en sistema tecnificado, tres en silvopastoril, dos en sistema semiintensivo y dos en sistema extensivo, así mismo, en cuanto a la cantidad de leguminosas, árboles y arbustos, se distribuyen así: 28 en SEVO, 24 en SSIT, 35 en SSPA y 24 en STEC, siendo más abundantes: *Gliricia sepium*, *Acacia mangium*, *Leucaena leucocephala* y *tithonia diversifolia*

Para los restantes criterios de clasificación de sistemas evaluados se presenta la tabla 5:

Tabla 5

Características propias de cada sistema seleccionado para la investigación

Características Propias	Sistemas agropecuarios seleccionados			
	SEVO	SSIT	SSPA	STEC
Tipo de suelos	Región Andina, suelo ácido hasta neutro y moderadamente alcalino. Con buena fertilización.			
Tipo y Clase de pasturas	<i>Pennisetum purpureum</i> ; <i>P hibrydum</i> = <i>Pennisetum purpureum</i> x <i>P. typhoides</i> ; <i>Panicum maximum</i> ; <i>Brachiaria decumbens</i> ; <i>Cynodon nlemfuensis</i> ; <i>Melinis minutiflora</i> ; <i>Hyparrhena rufa</i> .	<i>Pennisetum purpureum</i> ; <i>P hibrydum</i> = <i>Pennisetum purpureum</i> x <i>P. typhoides</i> ; <i>Arachis pintoi</i> ; <i>Pennisetum purpureum</i>	Pasturas: <i>Brachiarias</i> y sus variedades: <i>Brachiaria humidicola</i> ; <i>Brachiaria brizantha</i>	<i>Cynodon nlemfuensis</i> y <i>brachiarias</i>

Fuente: elaboración propia (2020)

Respecto a la tabla anterior, se advierte que los suelos de los sistemas elegidos son similares en términos de su pH y fertilización agrícola; por otra parte, los pastos más frecuentes en el predio son: *Pennisetum purpureum*, *Brachiaria* y *Cynodon nlemfuensis*

5.3 Unidades Experimentales de muestreo

Teniendo en cuenta los cuatro sistemas diferenciales y acorde a sus características propias descritas en las tablas 4 y 5, se muestrearon suelos y pasturas, para realizar respectivos fisicoquímico de suelos, fundamentado en IGAC (2016) y análisis químico proximal de forrajes,

mediante técnicas instrumentales de AOAC (2015); así mismo, se midieron diámetros a la Altura del Pecho (DAP), a 1,30 m de la base de árboles y se determinó altura comercial de cada árbol por medio de clinómetro marca Suunto; con base en la información de carbono orgánico, materia seca, DAP y ecuaciones alométricas se calcularon depósitos de carbono para cada sistema evaluado.

5.3.1 Muestreo de Pasturas

En cada sistema se recolectó muestra de pasturas representativas acorde a lo descrito por Cuesta, P, Villaneda, E., (2010), para tal fin, se seleccionó un área representativa ó parcela permanente (PPM) en cada sistema, luego se realizó una apreciación visual detallada del lugar, buscando evaluar aproximadamente composición botánica y producción de biomasa de las pasturas; la muestra se recolectó el pasto de forma similar como los animales lo consumen o ramonean en campo: Se tomaron 2 muestras en cada PPM constituídas por *Pennisetum purpureum*, *Brachiaria* y *Cynodon nlemfluensis*, para un total de 8 muestras de pasturas, siguiendo camino zig-zag y cortando el forraje a una altura de 10 cm sobre la superficie del suelo, luego se mezclaron en forma cuidadosa, hasta obtener más o menos 500g de material fresco, finalmente se depositó el material en bolsa plástica negra, la cual se selló y rotuló con datos de origen y luego se transportó al laboratorio de Nutrición de la Universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá; la figura 8, muestra el método de recolección, corte y homogenización de las pasturas

Figura 8

Muestreo de pasturas en los sistemas evaluados



Fuente: elaboración propia (2019)

5.3.2 Muestreo de suelos

El muestreo de suelos se realizó con la metodología Zig-Zag, al inicio (día 1) y finalización del experimento (día 28), acorde a lo descrito por Cuesta, P, Villaneda, E., (2010), la muestra de suelo se tomó a una profundidad de 30 cm y para especies de crecimiento postrado (estoloníferas o rizomatosas) se tomó a una profundidad de muestreo de 15-20 cm, para tal fin se usaron palas, barretones y barrenos muestreadores; el barreno facilitó la toma de la muestra en terrenos húmedos; Otros materiales que se utilizaron para el muestreo de suelos fueron: balde plástico para recolectar y mezclar, bolsas plásticas para empaqueo, marcadores de tinta permanente o marbetes para identificación de las muestras La figura muestra el proceso de muestreo de suelos, para dicha labor, se removió la vegetación y residuos frescos de materia orgánica de la superficie y se cavó un hueco en forma de “V” a la profundidad de muestreo enunciada anteriormente según el tipo de planta; luego se cortó una tajada de 2-3 cm de grueso en una de las paredes del hueco y se dejó una faja de 3 cm de ancho en el centro de la tajada, descartando los extremos, luego se mezclaron en forma cuidadosa, hasta obtener más o menos 1kg de suelo por cada sistema, finalmente se depositó el material en bolsa plástica negra, la cual se selló y rotuló con datos de origen y luego se transportó al laboratorio de suelos de la Universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá, para el respectivo análisis fisicoquímico.

Figura 9

Muestreo de suelos en los sistemas seleccionados(días 1 y 28)



Fuente. Elaboración propia (2019)

5.4 Variables Evaluadas

5.4.1 En pastos y Forrajes

Tabla 6

Variables del análisis químico proximal, evaluadas en Pennisetum purpureum, Brachiaria y Cynodon nlemfluensis

Número	Variable evaluada	Símbolo/ Unidad	Método
1	Materia Seca	MS (%)	Secado en estufa a 105°C
2	Cenizas	CZ (%) ⁷	Calcinación en horno a 600°C
3	Materia Orgánica	MO (%)	Ecuación Matemática
4	Proteína Cruda	PC (%)	Equipo Kjeldhal Buchi
5	Fibra Detergente Neutra	FDN (%)	Extractor de Fibra Velp Scientific

Fuente: Autor (2019)

5.4.2 En suelos

Tabla 7 .

Indicadores del análisis fisicoquímico de suelos evaluados en cada sistema al inicio y finalización del experimento

Número	Variable evaluada	Símbol / Unidad	Método
1	pH	Unidades Potenciométricas	Medición multiparamétrica HandyLab 780
2	Carbono Orgánico	CO (%)	Espectrofotometría Walkey-Black
3	Materia Orgánica	MO (%)	$\%MO = \%CO \times 1,724$
4	Nitrógeno Total	NT (%)	Kjeldhal, equipo Buchi
5	Acidez Intercambiable	Ai (%meq)	Extracción KCl, Titulación NaOH

Número	Variable evaluada	Simbol / Unidad	Método
6	Aluminio Intercambiable	Al ³⁺ (cmol /Kg)	Titulación ácido-base
7	Conductividad eléctrica	CE (dS /m)	Conductivímetro Hanna
8	Densidad Aparente	Da (mg.m ⁻³)	Cilindro de volumen conocido.,MacDicken (1997)

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 8

Variables fisicoquímicas evaluadas en sumideros de los cuatro sistemas estudiados

Número	Variable Evaluada	Unidad	Método
1	Concentración de CO ₂ en suelo	ppm (mg.kg ⁻¹)	Multiparamétrico Amprobe CO ₂ -100
2	Concentración de CO ₂ en pasturas	ppm (mg.kg ⁻¹)	Multiparamétrico Amprobe CO ₂ -100
3	Concentración de CO ₂ en hojarasca	ppm (mg.kg ⁻¹)	Multiparamétrico Amprobe CO ₂ -100
4	Concentración de CO ₂ en árboles	ppm (mg.kg ⁻¹)	Multiparamétrico Amprobe CO ₂ -100
5	Concentración de CO ₂ en aire	ppm (mg.kg ⁻¹)	Multiparamétrico Amprobe CO ₂ -100
6	Temperatura en sumideros de los 4 sistemas	°C	Multiparamétrico Amprobe CO ₂ -100
7	Humedad relativa en los cuatro sistemas	%	Multiparamétrico Amprobe CO ₂ -100

Fuente: elaboración propia (2020)

5.4.3 Depósitos de Carbono Evaluados

Se definieron como depósitos de carbono para la cuantificación del almacenamiento de carbono los siguientes estratos:

- **Biomasa arriba del suelo:** Corresponde al carbono fijado por árboles y pasturas de cada sistema, comprende árboles en pie, como: *Guazuma ulmifolia*, *Gliricidia sepium*, *Alnus acuminata*, *Cajanus cajan*, *Psidium guajava*, *Mangifera indica*, *Citrus limón*, *Citrus reticulata* y pastos, entre otros: *Pennisetum purpureum*, *Brachiaria* y *Cynodon nlemfluensis*; para la determinación de la biomasa arriba del suelo del componente forestal se utilizaron modelos y ecuaciones alométricas seleccionados teniendo en cuenta la zona climática (Tabla 8), basándose en las medidas tomadas en las parcela permanentes y diámetro a la altura de pecho (DAP) y altura total
- **Biomasa del suelo:** Corresponde al carbono Depositado en el suelo por cada sistema; se cuantifico el contenido de carbono en los primeros 30 cm de profundidad del suelo; utilizando una muestra obtenida a 15cm--20cm de profundidad para determinar la densidad aparente por el método del “cilindro de volumen conocido” descrito en MacDicken (1997) y otra de aproximadamente 200 g obtenida a 30 cm de profundidad, para determinar el porcentaje de carbono orgánico en laboratorio por el método Walkley-Black, en el cual el suelo se oxida con una solución de Dicromato de potasio estandarizada,
- **Biomasa Total Analizada:** Se calculó sumando las dos anteriores para cada sistema obteniendo toneladas de carbono almacenado por cada hectárea del sistema($t C.ha^{-1}$)

5.4.4 Ecuaciones Alométricas para calcular los depósitos de carbono

Con base en los valores encontrados de Diámetro a la altura de Pecho (DAP) de los árboles, carbono orgánico en el suelo, densidad Aparente y la Materia seca de los Forrajes, se utilizaron las ecuaciones indicadas en la tabla 8

Tabla 8.

Ecuaciones Alométricas para calcular Biomasa ó depósitos de Carbono

INDICADOR DEPÓSITO	ECUACIÓN ALOMÉTRICA	FUENTE
Carbono en Árboles	$COA (Kg) = \text{Exp} \{-1,996 + 2,32 \cdot \ln(DAP)\}$	Brown, <i>et al</i> (1989)
Carbono en Forrajes	$COF (tC /ha) = 0,5Y / 10^2 \cdot A$	Terreros, <i>et al</i> (2011)

Carbono en suelos	$COS (t C/ha) = Ps * CO * D_a$	Andrade & Ibrahim (2003)
--------------------------	--------------------------------	-----------------------------

Donde: COA: Carbono almacenado en árboles; DAP: Diámetro a la altura de pecho; COF: Carbono almacenado en forrajes; tC: Toneladas de Carbono; ha: Hectárea; A=área del sistema, Y: Biomasa en gramos, obtenida por materia seca; COS = C almacenado en suelos; P = Profundidad de muestreo (cm); DA = Densidad aparente del suelo (g/cm^3), y CO = Contenido de carbono (%)

5.5 Procedimientos

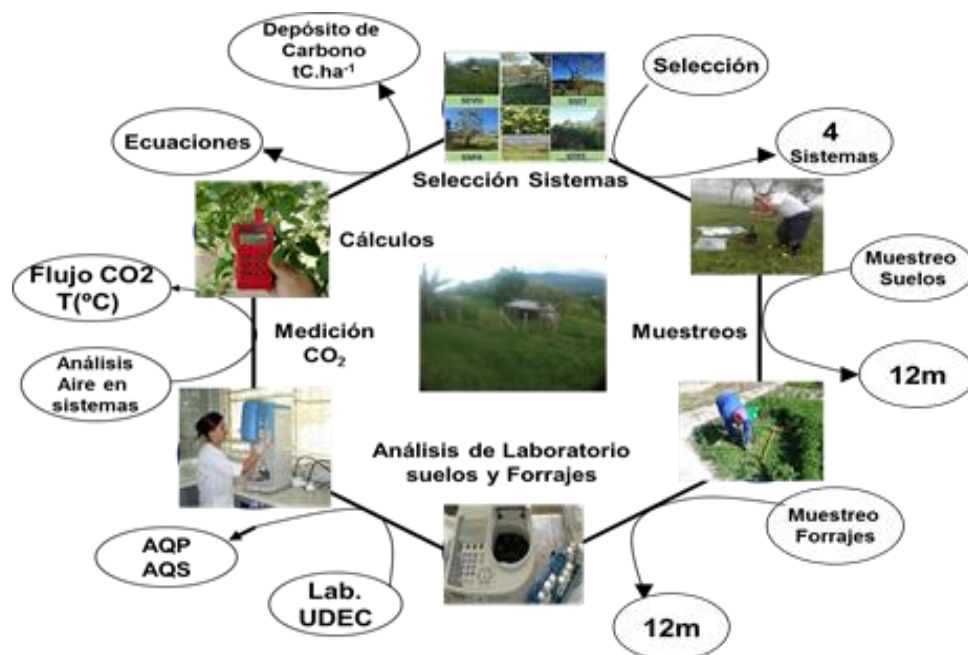
El trabajo se desarrolló mediante la siguiente secuencia metodológica

1. Selección de los cuatro sistemas agropecuarios, acorde al inventario de cada lote, mostrado en las tablas 4 y 5
2. Muestreo de suelos en cada sistema (tres muestras por cada lote, para un total de 12 muestras), al inicio y finalización del experimento
3. Muestreo de pasturas en cada lote (tres muestras por cada lote, para un total de 12 muestras)
4. Análisis fisicoquímico de suelos (AQS) en el laboratorio de suelos de la Universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá, al inicio (día 01) y finalización del experimento (día 28)
5. Análisis químico proximal (AQP) de pasturas en el laboratorio de nutrición de la Universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá
6. Determinación de diámetros altura de pecho (DAP) y altura de árboles en cada sistema
7. Medición de CO₂ (ppm) con el analizador multiparamétrico Amprobe, en los respectivos sumideros de cada sistema estudiado
8. Cálculo de los depósitos de carbono para biomasa aérea, biomasa del suelo y biomasa total, en cada sistema, mediante la aplicación de ecuaciones alométricas

La figura 10, resume las etapas fundamentales de la investigación

Figura 10

Secuencia metodológica de la investigación



Fuente: elaboración propia (2020)

5.6 Diseño Experimental

Los resultados bromatológicos e indicadores fisicoquímicos de suelos obtenidos, lo mismo que los valores de depósitos de carbono en árboles, suelos, forrajes y Totales, se analizaron bajo un diseño Completamente al azar (DCA), donde el factor independiente correspondió al tipo de Sistema; El análisis de cada variable se realizó por triplicado; El modelo matemático aplicado a dicho análisis es como sigue:

$$Y_{ij} = \mu + \theta_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} son las variables respuesta (indicadores bromatológicos y fisicoquímicos de las de las muestras)

μ Es la media poblacional

θ_i Corresponde al tipo de sistema evaluado

ϵ_{ij} Es el error experimental, relacionado con las réplicas

5.7.1 Análisis Estadístico

Con base en los resultados obtenidos para cada depósito evaluado, se calcularon estadígrafos de tendencia central y de dispersión para cada variable evaluada; Así mismo, los datos se sometieron al análisis de varianza simple (ANAVA) con el fin de determinar diferencias estadísticas entre sistemas evaluados; cuando se presentaron diferencias entre promedios, se aplicó comparación múltiple de medias posthoc, mediante Test de Tukey a fin de explorar el comportamiento de los valores promedios de variables entre los respectivos sistemas estudiados; También se utilizó la técnica de regresión lineal en el ajuste de la curva de calibración del carbono orgánico con el estándar de glucosa, a fin de encontrar la ecuación de Lambert-Beer; Finalmente, los resultados se evaluaron mediante los paquetes estadísticos INFOSTAT (2017) y STATGRAPHICS Centurión (2015)

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Análisis fisicoquímico de suelos al inicio del experimento (día 01)

La Tabla 9, indica que los valores promedios de los análisis fisicoquímico de suelo presentaron diferencias estadísticas ($P < 0,050$) en relación con los indicadores: Conductividad eléctrica y densidad aparente, En contraste, los valores de pH, acidez intercambiable, aluminio intercambiable y los relacionados con materia orgánica, No mostraron diferencias estadísticas ($P > 0,050$) entre las muestras de suelo obtenidas de los cuatro sistemas; Así mismo, por el Test de Tukey, se obtuvo que conductividad y densidad aparente fue similar en los sistemas intensivo y semiintensivo, mientras que los suelos provenientes de los sistemas SSP y STEC, mostraron diferencias estadísticas superiores con respecto a los anteriores; como la conductividad eléctrica deduce es diferente en los cuatro sistemas estudiados, esto se puede atribuir posiblemente a una desigual concentración salina en cada potrero, en virtud de su manejo

Tabla 9

Resultados análisis de varianza para indicadores fisicoquímico de suelos al inicio del experimento

INDICADOR	SEVO	SSIT	SSPA	STEC	EEM	P > FC	SIGN
pH	3,91a	4,25a	4,54a	4,03 ^a	0,1386	0,1504	NS
CE (dS / m)	0,149a	0,145b	0,157c	0,155c	2,5495	0,0378	*
Ai (meq /100g)	0,117a	0,104a	0,116a	0,121a	0,0175	0,1268	NS
Al ³⁺ (Cmol /Kg)	0,012a	0,012a	0,019a	0,013a	0,0175	0,1268	NS
%CO	2,81a	2,93a	2,82a	2,79a	0,0205	0,2894	NS
%MO	4,84a	5,05a	4,86a	4,81a	0,0205	0,2896	NS
%NT	0,24a	0,25a	0,24a	0,24a	0,0196	0,1455	NS
Da (mg.m ⁻³)	0,95a	0,99a	1,15b	1,13b	0,0875	0,0405	*

SEVO: Sistema Extensivo; Sistema semiintensivo; SSPA: sistema silvopastoril; STEC: Sistema Tecnificado; CE: Conductividad Eléctrica; dS: decisiemens; Ai: Acidez intercambiable; meq: miliequivalentes; Al³⁺:Aluminio Intercambiable; Cmol: Centimol; EEM: Error estándar de la media; P> Fc: Probabilidad estadística como resultado del ANAVA simple; Sign: Significancia estadística; ** ($P < 0,010$); * ($P < 0,050$); NS($P > 0,050$); Valores promedios con letras diferentes, presentan diferencias estadísticas por la prueba Tukey (**Fuente:** Autor, 2019)

Cuando se comparan los resultados de esta investigación, con el trabajo reportado por Daza, M, *et al* (2013) donde estudiaron efectos del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el páramo de Sumapaz, se encuentra que los valores de pH son inferiores a lo hallado para cuatro tipos de suelo, cuyo rango corresponde a 4,25 hasta 4,75, mientras que densidad aparente se comporta de manera similar al rango reportado ($0,875 \text{ g.cm}^{-3}$ - $1,050 \text{ g.cm}^{-3}$), así mismo, Carbono Orgánico y materia orgánica, presentaron valores inferiores al rango obtenido por estos investigadores: 3,57% hasta 8,84%

A fin de analizar a fondo los resultados mostrados en la tabla 9, dichos valores se compararon con Tabla IGAC (2016), obteniéndose la expuesto en la tabla 10, la cual incluye interpretación de resultados del análisis fisicoquímico de suelos al inicio del experimento.

Tabla 10

Interpretación de los resultados en el análisis fisicoquímico de suelos al inicio del experimento

Indicadores	SEVO	Interpretación	SSIT	Interpretación	SSPA	Interpretación	STEC	Interpretación
pH	3,91a	Extremadamente ácido	4,25a	Medianamente ácido	4,54a	Ligeramente ácido	4,03	Extremadamente ácido
CE (dS / m)	0,149a	Suelo Normal, sin problemas para cultivos susceptibles	0,145b	Suelo Normal, sin problemas para cultivos susceptibles	0,157a	Suelo Normal, sin problemas para cultivos susceptibles	0,155	Suelo Normal, sin problemas para cultivos susceptibles
Al³⁺ (meq /100g)	0,117a	Baja concentración de Al ³⁺ , suelo normal	0,104a	Baja concentración de Al ³⁺ , suelo normal	0,116a	Baja concentración de Al ³⁺ , suelo normal	0,121	Baja concentración de Al ³⁺ , suelo normal
Al³⁺ (Cmol /Kg)	0,012a	Normal	0,012a	Normal	0,019a	Normal	0,013	Normal
%CO	2,81a	Mediana concentración	2,93a	Alta concentración	2,82a	Mediana concentración	2,79	Mediana concentración
%MO	4,84a	Mediana concentración	5,05a	Alta concentración	4,86a	Mediana concentración	4,81	Mediana concentración
%NT	0,24a	Medio	0,25a	Medio	0,24a	Medio	0,24	Medio

SEVO: Sistema Extensivo; Sistema semiintensivo; SSPA: sistema silvopastoril; STEC: Sistema Tecnificado; CE: Conductividad Eléctrica; dS: decisiemens; Ai: Acidez intercambiable; meq: miliequivalentes; Ali³⁺: Aluminio Intercambiable; Cmol: Centimol; Fuente: Autor,(2019)

De la tabla 10, se puede deducir que las muestras de suelos provenientes de los cuatro subsistemas de la finca el Encanto, presentaban condiciones normales para realizar cultivos susceptibles, tales como algunas hortalizas ó frutales, debido a su baja concentración de Aluminio Intercambiable y adecuado nivel de salinidad, lo mismo que a la acidez intercambiable normal, destacando valores de pH desde ligeramente ácidos, hasta el suelo del sistema extensivo que era extremadamente ácido; Así mismo, se analiza que tres sistemas contenían mediana concentración de carbono y materia orgánica, en contraste con la de SSIT, que presentaba alta cantidad de materia orgánica.

6.2 Análisis fisicoquímico de los suelos al finalizar el experimento (día 28)

A partir de lo indicado en la Tabla 11, se puede apreciar que los indicadores sobre los cuales presentó mayor efecto por el tipo de sistema implantado en cada potrero, correspondieron a los relacionados con carbono orgánico, materia orgánica y Nitrógeno total, de tal manera que se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0,010$) entre las cuatro sistemas estudiados, destacándose el incremento notable de estos en los sistemas silvopastoriles: SSPA y STEC.

Tabla 11

Resultados análisis Fisicoquímico de suelos al finalizar el experimento

Indicador	SEVO	SSIT	SSPA	STEC	EEM	P > Fc	Sign
pH	4,07a	4,55b	5,14c	4,76d	0,1386	0,1504	NS
CE (dS / m)	0,154a	0,159a	0,165b	0,169b	2,5495	0,0011	**
Ai (meq /100g)	0,115a	0,101b	0,102b	0,114c	0,0175	0,1268	NS
Ali ³⁺ (Cmol /Kg)	0,012a	0,011a	0,015b	0,010a	0,0175	0,1268	NS

%CO	3,05a	3,53b	4,32c	3,86d	0,0233	0,0021	**
%MO	5,26a	6,08b	7,45c	6,65d	0,0258	0,033	**
%NT	0,26a	0,30b	0,37c	0,33d	0,0204	0,012	**
Da (mg.m⁻³)	1,06a	1,09b	1,21c	1,18c	0,0421	0,0178	*

SEVO: Sistema Extensivo; Sistema semiintensivo; SSPA: sistema silvopastoril; STEC: Sistema Tecnificado; CE: Conductividad Eléctrica; dS: decisiemens; Ai: Acidez intercambiable; meq: miliequivalentes; Ali³⁺: Aluminio Intercambiable; Cmol: Centimol; (Fuente: Autor.,2019)

En la tabla 11, se aprecia que los indicadores sobre los cuales se presentó mayor efecto estadístico ($P < 0,010$) por el tipo de sistema implantado, correspondieron a Conductividad eléctrica, Carbono Orgánico, materia orgánica, Nitrógeno total, mientras que para densidad aparente, fué significativo ($P < 0,050$), así mismo, los valores más altos de CO, MO y NT y DA, se encontraron en sistema silvopastoril y CE en sistema tecnificado

Los valores encontrados en este análisis fisicoquímico de suelos de los cuatro sistemas, al final del experimento, coinciden con lo reportado por Daza, M, *et al* (2013), en lo referente a pH (4,25-4,75), no obstante, los promedios de carbono orgánico y materia orgánica mostraron el mismo comportamiento al inicio del trabajo, dado que fueron bastante inferiores a los rangos hallados en el páramo de Sumapaz (CO: 3,57% hasta 8,84% y MO: 6,15% hasta 15,25%), es importante señalar que los valores de densidad aparente son similares, puesto que en los sistemas de la finca el Encanto, se encontró un rango de: 1,06 mg.m⁻³ hasta 1,21 mg.m⁻³

Los valores de carbono orgánico encontrados en esta investigación actual (3,05% - 4,32%) son inferiores a lo reportado por Carvajal, C, *et al* (2009) cuyas concentraciones de carbono del suelo en diferentes usos del terreno en paisajes andinos colombianos, zonas altas desde 1450msnm-1600msnm, hallaron: CO de 7,72% (profundidad 10cm) y 6,48% (10cm-20cm), sin embargo, los promedios de CO de los sistemas estudiados son superiores a lo obtenido por Andrade, H, *et al* (2016) en bosques riparios de arrozales y pasturas en el Tolima, (1,50% - 2,00%) mientras que las densidades aparentes de 1,00 g cm⁻³ hasta 1,70 gcm⁻³, superan lo determinado en la finca el Encanto (1,06 g.cm⁻³ hasta 1,21 g.cm⁻³)

A fin de analizar a fondo los resultados mostrados en la tabla 11, dichos valores se compararon con Tabla IGAC (2016), obteniéndose la expuesto en la tabla 12, la cual incluye interpretación de resultados del análisis fisicoquímico de suelos al finalizar el experimento.

Tabla 12

Interpretación de los resultados en el análisis Fisicoquímico de suelos al finalizar el experimento

Indicadores	SEVO	Interpretación	SSIT	Interpretación	SSPA	Interpretación	STEC	Interpretación
pH	4,07	Extremadamente ácido	4,55	Muy Fuertemente ácido	5,14	Fuertemente ácido	4,76	Muy Fuertemente ácido
CE (dS / m)	0,154	Suelo Normal, sin problemas para cultivos susceptibles	0,159	Suelo Normal, sin problemas para cultivos susceptibles	0,165	Suelo Normal, sin problemas para cultivos susceptibles	0,169	Suelo Normal, sin problemas para cultivos susceptibles
Ai (meq /100g)	0,115	Baja concentración de Al ³⁺ , suelo normal	0,101	Baja concentración de Al ³⁺ , suelo normal	0,102	Baja concentración de Al ³⁺ , suelo normal	0,114	Baja concentración de Al ³⁺ , suelo normal
Ali³⁺ (Cmol /Kg)	0,012	Normal	0,011	Normal	0,015	Normal	0,010	Normal
%CO	3,05	Alta concentración	3,53	Alta concentración	4,32	Alta concentración	3,86	Alta concentración
%MO	5,26	Alta concentración	6,08	Alta concentración	7,45	Alta concentración	6,65	Alta concentración
%NT	0,26	Medio	0,30	Medio	0,37	Alto	0,33	Alto

SEVO: Sistema Extensivo; SSIT: Sistema semiintensivo; SSPA: sistema silvopastoril; STEC: Sistema Tecnificado
 CE: Conductividad Eléctrica; dS: decisiemens; Ai: Acidez intercambiable; meq: miliequivalentes; Ali³⁺: Aluminio Intercambiable; Cmol: Centimol (Fuente: Autor., 2019)

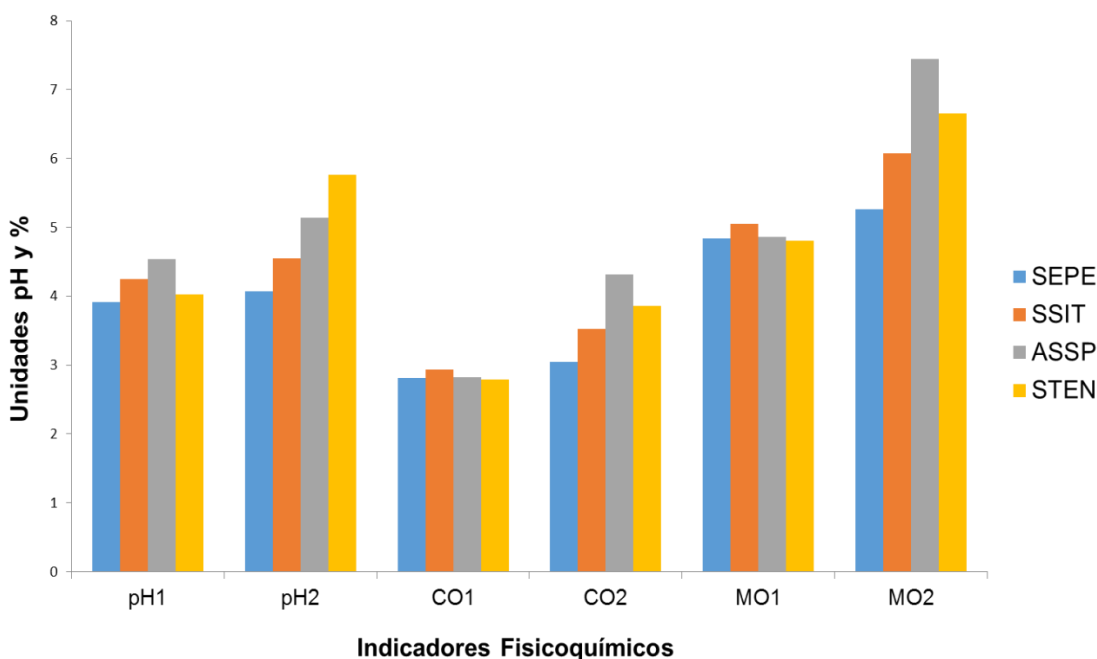
De la tabla 12, se puede deducir que las muestras provenientes de los cuatro sistemas de la finca el Encanto, corresponden a suelos en condiciones normales para realizar cultivos susceptibles (como por ejemplo hortalizas, aromáticas ó frutales), en razón de su baja concentración de Aluminio Intercambiable y adecuado nivel de salinidad, lo mismo que a una acidez intercambiable normal, se destaca el cambio significativo en los valores relacionados con

los indicadores de Materia Orgánica, puesto que CO y MO mostraron concentraciones altas en todos los sistemas, lo cual se puede explicar por el efecto positivo de la implementación de sistemas silvopastoriles, especialmente en los sistemas semiintensivo y tecnificado, no obstante, a pesar del incremento del nitrógeno total en todos los sistemas, los valores se clasificaron en el término medio.

Con el propósito de comparar el comportamiento de los indicadores fisicoquímicos de suelos al inicio y finalización de la investigación, se muestra la figura 11:

Figura 11

Comportamiento Indicadores fisicoquímicos de los suelos, inicio y finalización del experimento



SEVO: Sistema Extensivo; SSIT: Sistema semiintensivo; SSPA: sistema silvopastoril; STEC: Sistema Tecnificado
Fuente: Autor (2019)

Observando la Figura 11, se aprecia que los suelos provenientes de los sistemas silvopastoril y tecnificado, incrementaron significativamente los valores en los indicadores de pH, Carbono orgánico (CO) y materia Orgánica (MO), siendo más notable el aumento en el sistema silvopastoril SSPA, de tal manera que el suelo de este lote, aumentó 1,50% de CO y 2,59% de MO, con respecto a su estado inicial, antes de implementar el sistema de silvopastoreo.

Los resultados de La figura anterior, se relacionan directamente con el cambio positivo del pH, aumento de la conductividad eléctrica y DA, lo cual potencializó la disminución de la acidez y el mejoramiento de la calidad de los suelos Andinos de la finca el Encant

6.3 Análisis químico proximal de las muestras de forraje provenientes de los cuatro sistemas trabajados en la fina el encanto

Como se puede observar en la tabla 13, la materia seca promedio de los forrajes, mostraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0,010$), indicando el valor más alto en stec, es decir, seguido por SSPA y SSIT; de igual forma, los suelos del potrero 3, causaron efectos estadísticos altamente significativos ($p < 0,010$) sobre la concentración de proteína, es de notar que el contenido de materia orgánica presentó diferencias estadísticas entre las muestras ($p < 0,050$); por otra parte, se resalta que el porcentaje de cenizas, dado por contenido de minerales, indicó diferencias significativas ($p < 0,050$) entre las muestras evaluadas; posterior al análisis de varianza simple, se aplicó la prueba de rangos múltiples de medias de Tukey, realizando comparación entre los promedios de indicadores químicos proximales, a fin de detectar el mejor forraje en cuanto a sus componentes nutricionales; los resultados de esta prueba se muestran en la figura 12; se destaca que las barras identificadas con letras iguales, corresponden a tratamientos con efectos similares y aquellas que poseen letras diferentes, indican tratamientos con comportamiento estadístico diferente.

Tabla 13

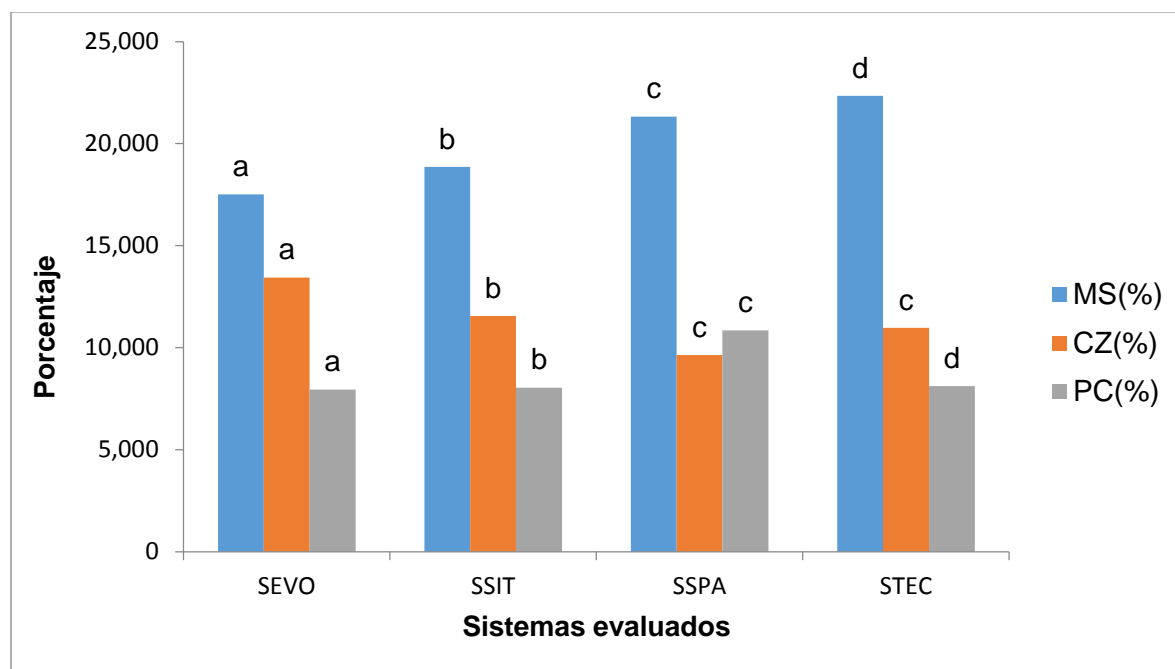
Composición Química de los Forrajes provenientes de cuatro sistemas, finca El Encanto

Variabes	SEVO	SSIT	SSPA	STEC	P > Fc	Sign
MS(%)	17,516a	18,855b	21,320c	22,345d	0,00326	**
CZ(%)	13,437a	11,547a	9,643b	10,976b	0,02029	*
MO(%)	86,563a	88,453b	90,357c	89,024c	0,02171	*
PC(%)	7,943a	8,045b	10,843c	8,123d	0,00003	**
FDN (%)	70,115a	68,345b	65,234c	61,231d	0,00012	**

SEVO: Sistema Extensivo; SSIT: Sistema semiintensivo; SSPA: sistema silvopastoril; STEC: Sistema Tecnificado
 MS: Materia Seca; CZ: Cenizas; MO: Materia Orgánica; PC: Proteína Cruda; P: Valor de Probabilidad estadística por ANAVA simple; Sign: Significancia Estadística; * (P<0,050); **(P< 0,010); NS (P>0,050)
Fuente: Autor.(2019)

Figura 12

Composición de MS, CZ y Proteína en los forrajes provenientes de los cuatro sistemas, finca el Encanto



SEVO: Sistema Extensivo; SSIT: Sistema semiintensivo; SSPA: sistema silvopastoril; STEC: Sistema Tecnificado;
Fuente: Autor (2020)

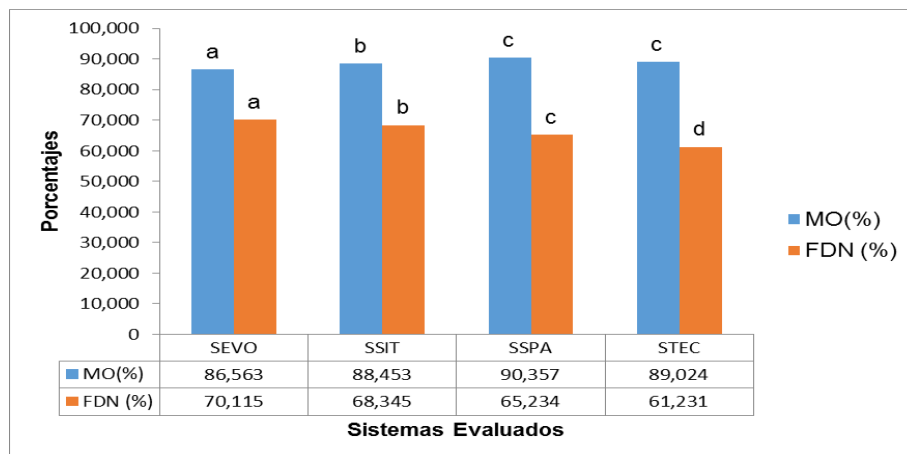
En la figura 12, se puede observar que el porcentaje de proteína cruda de los forrajes evaluados, presentaron diferencias estadística altamente significativas ($p < 0,010$), de tal forma que la pc del sistema silvopastoril superó a las demás sistemas comportándose así: $SEVO < SSIT < STEC < SSPA$, es decir, los forrajes provenientes del sistema extensivo presentaron el menor contenido proteico, lo cual se puede atribuir al posible efecto de los sistemas pastoriles mejorados en cada potrero de la finca el encanto; así mismo, la materia seca, constituida por la fracción orgánica e inorgánica de las muestras, fue afectada de forma significativa ($p < 0,010$) generando un crecimiento con tendencia aproximadamente lineal, por lo tanto, $STEC > SSPA > SSIT > SEVO$, de tal manera que el porcentaje de materia seca del sistema tecnificado, superó a SSPA, SSIT y SEVO en 1,025%, 3,49% y 4,829%, respectivamente, evidenciando una probable relación con la fijación de carbono mediante el ciclo de Calvin de la

fotosíntesis. Continuando con el análisis de valores bromatológicos de los forrajes evaluados en los cuatro sistemas de la finca el Encanto, se presenta la Figura 13, destacando porcentajes de materia orgánica y de fibra detergente neutra.

Como se puede observar en la Figura 13, los valores porcentuales de Materia Orgánica presentaron diferencias estadísticas ($P < 0,050$), de tal forma que su comportamiento fue así: $SSPA > STEC > SSIT > SEVO$; es decir, el sistema silvopastoril exhibió el mayor porcentaje de materia orgánica y el sistema extensivo obtuvo el valor más bajo; el test de comparación múltiple de medias de Tukey, determinó que los porcentajes de MO en los forrajes provenientes de los sistemas SSPA y STEC, son similares y superiores estadísticamente a los recolectados en SEVO y SSIT, es decir, la fracción orgánica de estas muestras, incrementó componentes tales como: Proteínas, carbohidratos, lípidos y bases nitrogenadas, generando valores diferentes a los forrajes recolectados en estos dos sistemas; respecto a FDN, este indicador se comportó como: $STEC < SSPA < SSIT < SEVO$, lo cual significa que, los forrajes presentes en los sistemas extensivo y semiintensivo, generaron mayor cantidad de Celulosa, hemicelulosa y lignina en su pared celular, lo cual puede afectar su digestibilidad, en contraste, los forrajes presentes en sistemas silvopastoril y tecnificado, redujeron los valores de FDA, resultando significativamente diferentes ($P < 0,050$) a los demás, tal comportamiento se puede explicar por el efecto positivo del sistema pastoril en estos lotes.

Figura 13

Concentración de Materia Orgánica y Fibra detergente Neutra en los forrajes provenientes de los cuatro sistemas, finca el Encanto



SEVO: Sistema Extensivo; SSIT: Sistema semiintensivo; SSPA: sistema silvopastoril; STEC: Sistema Tecnificado
Fuente: Autor (2020)

6.4 Biomasa arriba del suelo componente forestal

Teniendo en cuenta que la biomasa corresponde a toda materia orgánica aérea o subterránea, viva o muerta, entonces la biomasa arriba del suelo de la finca El Encanto, está conformada por: árboles en pie como: *Guazuma ulmifolia*, *Gliricidia sepium*, *Alnus acuminata*, *Cajanus cajan*, *Psidium guajava*, *Mangifera indica*, *Citrus limón*, *Citrus reticulata*. Para la determinación de la biomasa arriba del suelo del componente forestal se utilizó la ecuación alométrica indicada en la tabla 8, ubicada en metodología

Figura 14

Biomasa, en kilogramos por metro cuadrado, del componente forestal, finca el encanto

Sistema	Kg/m ²	SD	%CV	Sign
SEVO	0.81	0.16	19.69	a
SSIT	2.66	0.32	12.01	b
SSPA	11.39	3.23	28.37	c
STEC	1.04	0.28	26.84	a

t: Toneladas, ha: Hectárea, SEVO: Sistema extensivo; SSIT: Sistema semiintensivo; SSPA: Sistema Silvopastoril, STEC: Sistema técnicificado; SD: desviación estándar; %CV: Coeficiente de variación; Sign; Significancia estadística; Promedios con letras iguales son similares estadísticamente por la prueba Tukey

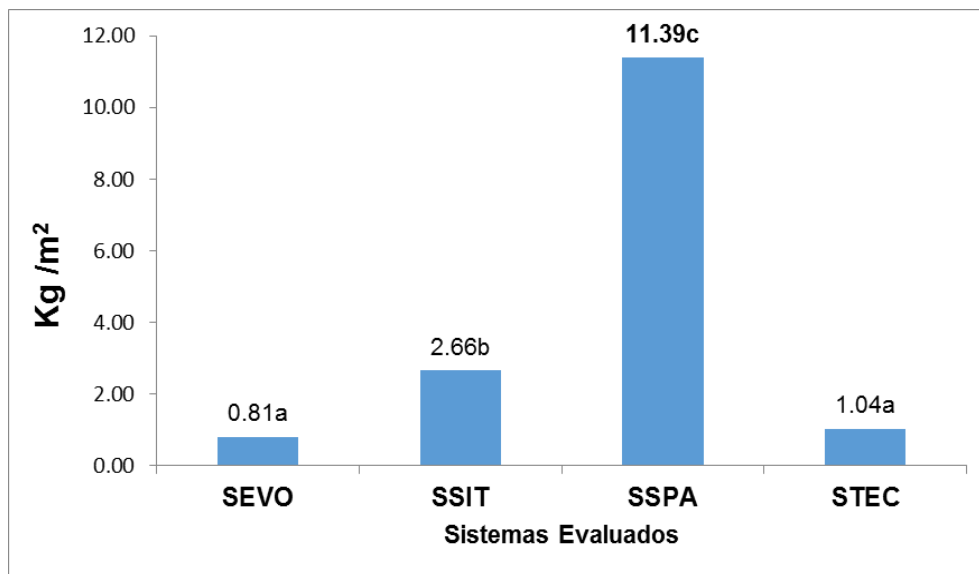
La Tabla 14, muestra la biomasa promedio presente en los 4 sistemas definidos en la finca el encanto; se puede apreciar que la mayor concentración de esta biomasa correspondió al potrero 3 del sistema silvopastoril, con 11,39kg/m² y la de menor valor resultó en el sistema 1 del sistema extensivo, indicando: 0,81kg/m², tales valores, se pueden explicar por el tipo y la cantidad de población arbórea existente en cada potrero, de tal forma que SSPA, estaba constituido por una población de 35 especies forestales, mientras que el SEVO, lo conformaban 24 árboles; lo anterior, permite comprender la variabilidad de biomasa en cada potrero, siendo mayor en STEC (28,84%), seguido por SSPA (28,37%), esta heterogeneidad está también relacionada con el diámetro basal, diámetro de pecho y altura de las especies evaluadas; opuesto a lo anterior, el potrero 2, formado por un sistema semiintensivo, exhibió la menor

variabilidad(12,01%) en dicha variable. En general, la Biomasa forestal mostró diferencias estadísticas altamente significativas ($P<0,010$) entre los sistemas estudiados,

Con el fin de detallar el análisis de esta variable, se realizó la Figura 14 en ella, se puede observar que la biomasa promedio del potrero 3 (SSPA), prevaleció significativamente ($P<0,010$) frente a los demás sistemas, de tal forma que superó en $10,58\text{kg/m}^2$, $8,53\text{ kg/m}^2$ y $10,35\text{kg/m}^2$ a los sistemas semiintensivo, y extensivo, extensivo, respectivamente; en general el comportamiento de esta variable se desarrolló así: $\text{SEVO} < \text{STEC} < \text{SSIT} < \text{SSPA}$, destacando que la Biomasa promedio de los sistemas SEVO y STEC, fueron similares estadísticamente por el test de posthoc de Tukey

Figura 15

Biomasa del componente forestal en finca el Encanto



SEVO: Sistema extensivo; SSIT: Sistema semiintensivo; SSPA: Sistema Silvopastoril, STEC: Sistema tecnificado;

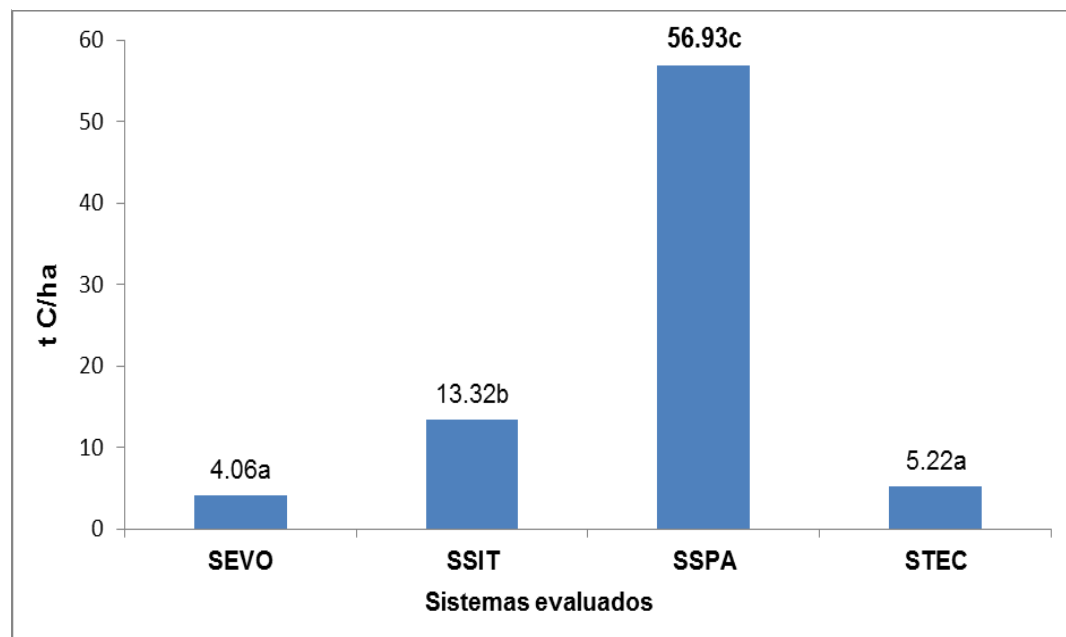
Fuente: elaboración propia (2019)

6.5 Carbono almacenado en la Biomasa Forestal

A partir de la Biomasa se calculó el carbono depositado en el componente forestal, en toneladas por hectárea, encontrándose lo mostrado en la Figura 15

Figura 16

Carbono almacenado en componente forestal



SEVO: Sistema extensivo; SSIT: Sistema semiintensivo; SSPA: Sistema Silvopastoril, STEC: Sistema tecnificado;

Fuente: elaboración propia (2019)

En la Figura 15, se puede apreciar que el sistema SSPA almacenó mayor cantidad de Carbono (56,93tC/ha), como es de esperarse, superando significativamente ($P < 0,010$) a los sistemas SEVO, SSIT, STEC, en 52,87 tC/ha, 43,61 tC/ha y 51,71 tC/ha, respectivamente; el Carbono almacenado se comportó similar a la biomasa, es decir: $SEVO < STEC < SSIT < SSPA$, teniendo en cuenta que el depósito de Carbono en los sistemas 1(SEVO) y 4(STEC) fueron similares estadísticamente ($P < 0,050$) por la prueba posthoc de Tukey; Tal como se explicó en el análisis de la Biomasa, el comportamiento de esta variable estuvo influenciada por tipo, tamaño y cantidad de especies forestales presentes en cada sistema, Así, SEVO contenía 24 especies forestales, SSIT, contaba con 17 árboles, SPA comprendía 35 árboles y STEC albergaba 24 especies forestales. Estos factores unidos a la capacidad y potencial fotosintética de cada especie, especialmente en el Ciclo de Calvin que fija el CO_2 , atmosférico, permite explicar los resultados obtenidos en SSPA

6.6 Carbono Almacenado en los Forrajes

Tomando como base la Materia seca de los forrajes muestreados en cada potrero, se calculó la Cantidad de Carbono almacenado en cada sistema por causa de los forrajes presentes allí, utilizando la siguiente ecuación matemática, derivada de la que se indicó en la Tabla 8 de metodología

$$CO \left(\frac{tC}{ha} \right) = \frac{(\%MS * 10000) * 0,1}{72000}$$

Fuente: Terreros, *et al.*, (2013)

El carbono depositado en las especies forrajeras se calculó en toneladas por hectárea, en los cuatro sistemas estudiados, los resultados se muestran en la figura 16: dicha figura indica que los promedios de carbono presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0,010$) entre los sistemas o potreros estudiados, con una tendencia de aumento desde el sistema 1 hasta el potrero 4. Así mismo, se advierte que el comportamiento fue: SEVO < SSIT < SSPA < STEC, por lo tanto, el sistema 4 (STEC) que incluía pasto de corte, superó estadísticamente ($p < 0,050$) a 1 (SEVO) y 2 (SSIT), resultando similar al depósito de carbono en 3 (SSPA); en general, STEC, incrementó la fijación de carbono en 0,01 tC/ha, 0,05 tC/ha y 0,07 tC/ha, respecto de SSPA, SSIT y SEVO, lo cual se puede atribuir a las características nutricionales de cada especie forrajera presente en los sistemas, teniendo en cuenta que materia seca contiene las fracciones orgánica e inorgánica del forraje, es decir, proteína cruda, fibra, carbohidratos, grasa cruda, bases nitrogenadas y minerales.

Por otra parte, es importante señalar que los sistemas silvopastoril y tecnificado, constituídos por Pasturas de *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria brizantha*, lo mismo que: *Cynodon nlemfuendis*, mostraron mayor efectividad en almacenamiento de carbono, dada su alta capacidad para fijar dióxido de carbono en los estromas de los cloroplastos, mediante el ciclo de Calvin de la fotosíntesis, tal como lo evidenció el contenido de materia seca (21,320%-22,345% y proteína cruda (8,123%- 10,843%) generados a través de este proceso bioquímico.

6.7 Carbono Total almacenado en la Biomasa Aérea

El carbono total depositado o fijado en la Biomasa Aérea de los potreros, se calculó sumando las fracciones almacenadas en los componentes forestal y forrajero, obteniéndose los resultados mostrados en tabla 15 y Figura 17:

Tabla 14

Carbono depositado en la biomasa aérea, finca el Encanto

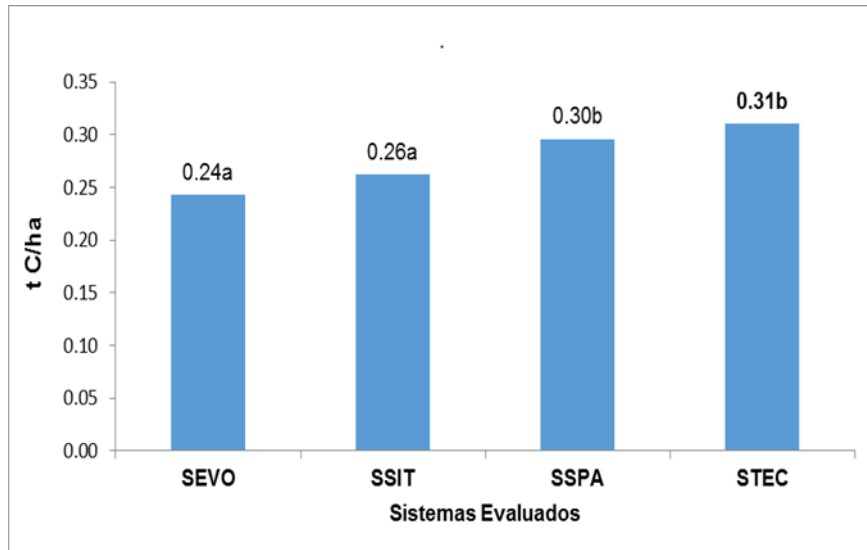
Sistema	tC/ha	SD	%CV	Sign
SEVO	4.30	0.42	9.77	a
SSIT	13.58	0.74	5.45	b
SSPA	57.23	8.48	14.82	c
STEC	5.53	0.82	14.83	a

t: Toneladas, ha: Hectárea, SEVO: Sistema extensivo; SSIT: Sistema semiintensivo; SSPA: Sistema Silvopastoril, STEC: Sistema técnico; SD: desviación estándar; %CV: Coeficiente de variación; Sign; Significancia estadística; Promedios con letras iguales son similares estadísticamente por la prueba Tukey. Fuente: Autor., 2018

En La tabla 15, se puede apreciar que la mayor concentración de carbono en la Biomasa Aérea correspondió al sistema SSPA con 57,23 tC/ha y la de menor valor resultó en el sistema 1 (SEVO) indicando: 4,30 tC/ ha, tales valores, se pueden explicar por el tipo y la cantidad de poblaciones arbórea y forrajera, existentes en cada potrero, de tal forma que el sistema de silvopastoreo estaba constituido por una población de 35 especies forestales, mientras que el sistema 1 ó extensivo lo conformaban 24 árboles; esto permite comprender la variabilidad de Biomasa en cada potrero, siendo mayor en STEC (14,83%), seguido por SSPA (14,82%), esta heterogeneidad está también relacionada con el diámetro basal, diámetro de pecho, altura de las especies evaluadas y capacidad fotosintética de los forrajes establecidos, se advierte que el potrero 2, formado por el sistema semiintensivo (SSIT), .exhibió la menor variabilidad(5,45%) en dicha variable. En general, el carbono depositado o fijado en la biomasa aérea de los cuatro sistemas, mostró diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0,010$) entre los lotes estudiados, Con el fin de profundizar el análisis de la variable, se realizó la Figura 17

Figura 17

Carbono almacenado en las pasturas de los sistemas estudiados



Fuente: elaboración propia (2019)

La gráfica anterior, muestra que el carbono promedio almacenado en la biomasa aérea del potrero 3 (SSPA), prevaleció significativamente ($P < 0,010$) frente a los demás sistemas, de tal forma que superó en 52,93 tC/ha, 43,65 tC/ha y 51,70tC/ha a los demás sistemas evaluados respectivamente; en general, se destaca que el Carbono presente en la Biomasa aérea de SEVO y STEC, fueron similares estadísticamente ($P < 0,050$) por la prueba de Tukey

Estos valores encontrados en el experimento, son inferiores a lo reportado por Espinoza, A (2011) quién realizó un estudio relacionado con la determinación de la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea y en el suelo en plantaciones de Teca (*tectona grandis l.f.*) en el cantón Quinindé, provincia de esmeraldas, obteniendo un rango de almacenamiento de: 119,80 tC.ha⁻¹ hasta 130,21 tC.ha⁻¹

6.8 Carbono Almacenado en los suelos (COS)

Este depósito se calculó tomando como base el porcentaje de carbono orgánico(%CO), la densidad aparente (DAP) de los suelos y la profundidad de muestreo (h), mediante ecuación indicada en la tabla 8, de metodología

La ecuación se aplicó al análisis de suelos al inicio y final del experimento, Los resultados obtenidos, se indican en la tabla 16:

Tabla 15

Carbono fijado o depositado (toneladas por hectárea) en los suelos al inicio y finalización de la investigación

SISTEMA	(t C/ha)1	(t C/ha)2	ΔCOS (tC/ha)	SD	%CV	SIGN
SEVO	40.05a	48.50a	8.45	1.35	15.97	a
SSIT	43.51a	57.72b	14.21	1.87	13.16	b
SSPA	48.65a	78.41c	29.76	3.46	11.63	c
STEC	47.29a	68.32d	21.03	2.89	13.74	d

SD: desviación estándar; %CV: Coeficiente de variación; Sign; Significancia estadística; 1: estado inicial; 2; estado final, Δ CO: Cambio de Carbono almacenado; Promedios con letras iguales son similares estadísticamente por la prueba Tukey. **Fuente:** Autor (2019)

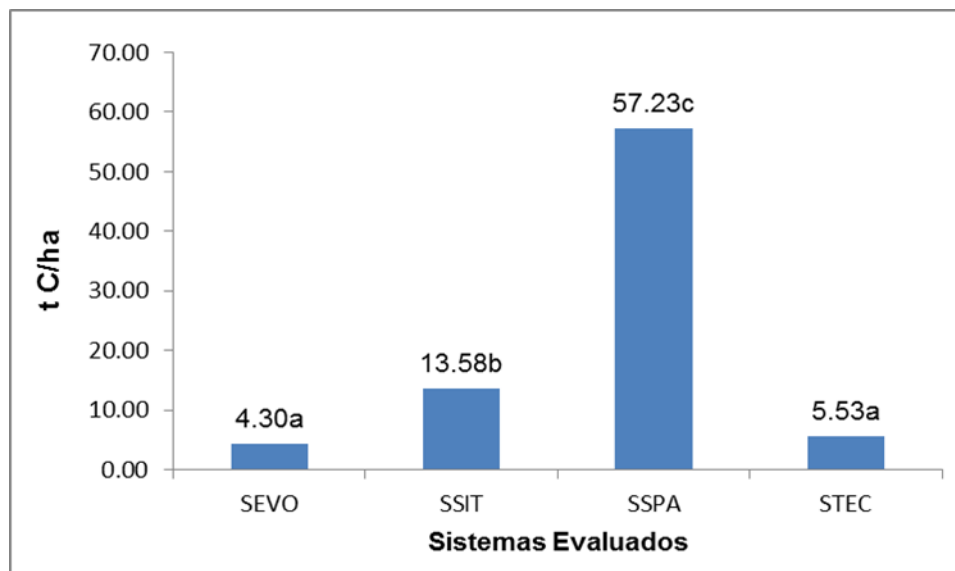
Analizando la tabla anterior, se puede observar que los valores de concentración de Carbono fijados al inicio de la investigación por cada sistema, eran similares y no presentaban diferencias estadísticas ($P > 0,050$). No obstante, cuando se realizaron los cálculos al final de la investigación, se aprecia que los valores promedio de carbono, presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0,010$) entre los cuatro lotes evaluados, de tal manera que el suelo proveniente del potrero 3, correspondiente al sistema silvopastoril, depósito la mayor cantidad de Carbono (78,41tC / ha), seguido del lote 4 (STEC) con 68,32 tC /ha, luego el potrero 2 (SSIT) con 57,72 tC /ha, resultando el depósito más bajo en el lote 1(SEVO) que indicó: 48,50 tC /ha; en concordancia con este comportamiento, se puede apreciar que el orden de cambio o incremento de este depósito de Carbono fue así: SSPA>STEC>SSIT>SEVO, por lo tanto, el aumento más significativo ($P < 0,050$) se presentó en el potrero 3 (29,76 tC / ha) o sistema silvopastoril y el menor cambio se produjo en el lote 1 (8,45 tC/ha), este comportamiento se puede atribuir al probable efecto positivo de los componentes forestal y forrajero en los lotes 2, 3 y 4, sobre la dinamización del ciclo de carbono entre la fotosíntesis de los organismos autótrofos y la respiración de los heterótrofos; En cuanto a la variabilidad del carbono promedio, se deduce

que SEVO mostró valores más heterogéneos (15,97%), mientras que SSPA generó resultados menos dispersos (11,63%) y por ende más confiables. En general, los promedios de carbono almacenado en los lotes fueron diferentes ($P < 0,050$), de acuerdo a los resultados hallados mediante test posthoc Tukey.

A fin de mostrar con mayor claridad estas diferencias se elaboró la Figura 18, en ella, se advierte que el comportamiento de la fijación de carbono en estos suelos, realizado al final del experimento fue así: $SSPA > STEC > SSIT > SEVO$, de tal forma que el depósito de Carbono en el potrero 3 (SSPA) superó en 29,91 tC /ha, 20,69 tC /ha y 10,09 tC /ha, a los potreros 1 (SEVO), 2 (SSIT) y 4 (STEC), respectivamente, demostrándose el almacenamiento significativo ($P < 0,010$) del carbono en el sistema Silvopastoril

Figura 18

Carbono Total almacenado en la biomasa aérea, finca el encanto

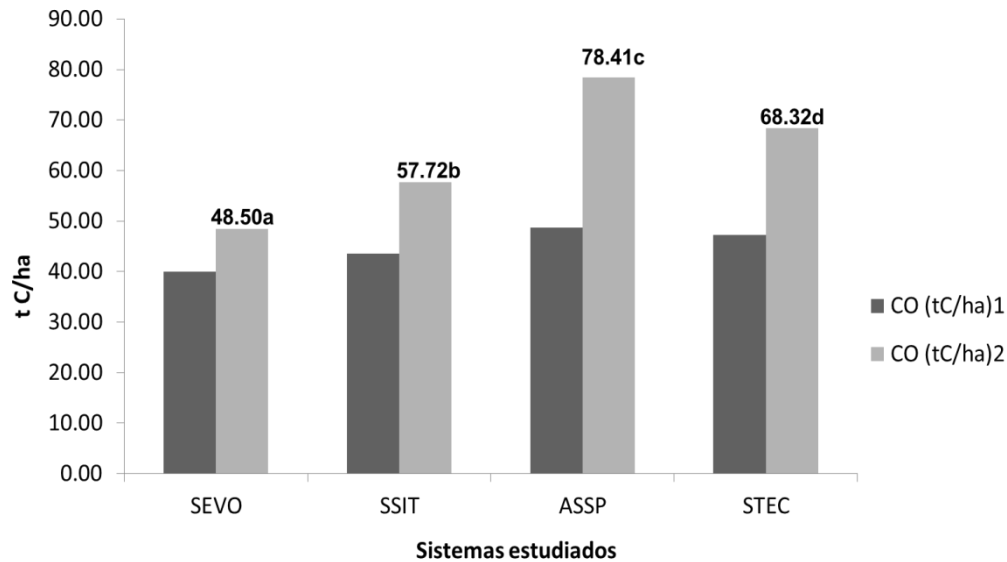


Los valores de COS evaluados al final de esta investigación, son similares a lo reportado por Andrade, H, *et al* (2016) en bosques riparios de arrozales y pasturas en el Tolima, cuyo rango determinado fue desde: $57 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1}$ hasta $65 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1}$, con promedio de $60,7 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1}$, sin embargo, resultados obtenidos por Carvajal, C, *et al* (2009) cuyos depósitos de carbono en suelos de

diferentes usos, en paisajes andinos colombianos, para zonas altas desde 1450msnm-1600msnm, estuvieron en el rango de: 118,01 tC.ha⁻¹ para pasturas, hasta 122,94 tC.ha⁻¹ en suelos agrícolas

Figura 19

Carbono almacenado en suelo al inicio y finalización del experimento



SEVO: Sistema extensivo; SSIT: Sistema semiintensivo; SSPA: Sistema Silvopastoril, STEC: Sistema tecnificado;

Fuente: elaboración propia (2019)

6.9 Carbono Total almacenado o depositado en los sistemas evaluados

El carbono total fijado en los potreros pertenecientes a la finca El Encanto, se calculó sumando los valores del carbono almacenado en la biomasa aérea (arriba del suelo) y el carbono depositado en el suelo de cada sistema; los resultados se muestran en la tabla 17.

Tabla 16

Carbono total almacenado (toneladas por hectárea) en los sistemas evaluados, finca el Encanto

Sistema	t C /ha	SD	%CV	Sign
SEVO	52.80	5.34	10.11	a
SSIT	71.30	7.02	9.85	b
SSPA	135.64	8.77	6.47	c
STEC	73.85	6.76	9.15	b

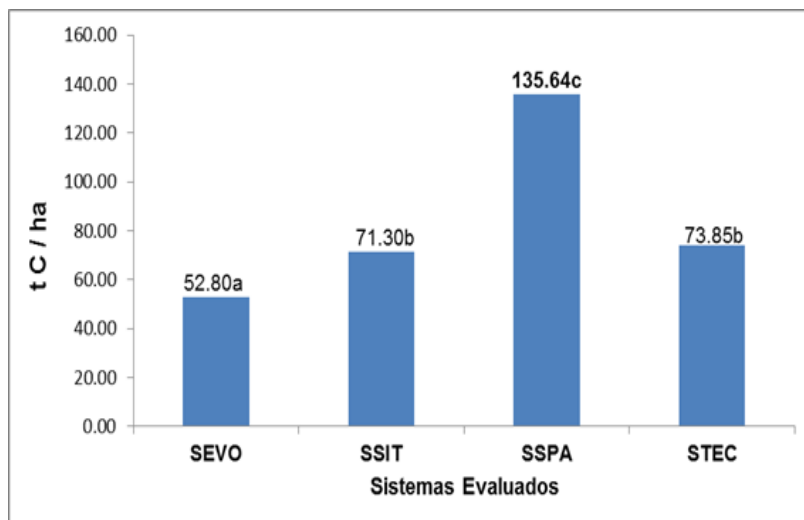
t: Toneladas, ha: Hectárea, SEVO: Sistema extensivo; SSIT: Sistema semiintensivo; SSPA: Sistema Silvopastoril, STEC: Sistema técnicificado; SD: desviación estándar; %CV: Coeficiente de variación; Sign; Significancia estadística; Promedios con letras iguales son similares estadísticamente por la prueba Tukey

Observando la tabla anterior, se puede analizar que el carbono total fijado, mostró diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0,010$) entre los sistemas evaluados, indicando el siguiente comportamiento: $SEVO < SSIT < STEC < SSPA$, es decir, el potrero 3, constituido por el sistema silvopastoril almacenó la mayor cantidad de carbono (135,64t C/ha), mientras que el sistema extensivo del potrero 1, depositó menor cantidad de carbono (52,80t C /ha), se destaca que entre los sistemas 2 (SSIT) y 4 (STEC), el carbono total fijado no presentó diferencias estadísticas ($P < 0,050$), acorde al test de comparación múltiple de medias de Tukey; Así mismo, se advierte que la variabilidad de los valores de carbono total depositado resultó así: $SSPA < STEC < SSIT < SEVO$, lo que confirma la baja heterogeneidad y alta confiabilidad de los datos en el lote 3(SSPA); No obstante, al revisar el coeficiente de variación de los otros sistemas se detectó buena confiabilidad del carbono total calculado en cada uno.

Con el fin de describir mejor los resultados del carbono total acumulado en los sistemas evaluados de la finca el encanto, se muestra la Figura 19

Figura 20

Carbono total almacenado en los sistemas analizados de la finca El Encanto



SEVO: Sistema extensivo; SSIT: Sistema semiintensivo; SSPA: Sistema Silvopastoril, STEC: Sistema técnicificado;

Fuente: elaboración propia (2019)

Analizando esta gráfica, se puede señalar que el depósito de Carbono en SSPA superó significativamente al Carbono almacenado en el potrero 1(SEVO), en 82,84%, al lote 2(SSIT), en 64,34%, al potrero 4(STEC), en 61,79%,: Así mismo, al realizarse la comparación múltiple, se detectó que SSIT, incrementó el CO fijado en 18,55% y 2,55% respecto de SEVO y STEC, No presentando diferencia estadística con este último ($P>0,050$), También se destacó que STEC superó significativamente ($P<0,050$) en 21,05% a SEVO, este comportamiento se puede explicar por los diferentes modelos establecidos en cada potrero, en función de los componentes arbóreo y forrajero.

6.10 Comportamiento del dióxido de carbono (CO_2) en los sistemas evaluados

Con el fin de estudiar más a fondo el ciclo de carbono en estos sistemas de la finca El Encanto, se realizaron cuatro mediciones periódicas (0 días, 7 días, 14 días y 21 días) de la concentración de CO_2 en partes por millón (ppm), cerca de cada sumidero. En la tabla 18, se puede observar que el CO_2 promedio circulante fue mayor en el potrero 2: SSIT (367,6 ppm), seguido de SEVO (potrero 1) (365,6ppm), luego STEC (364,3ppm) y el menor flujo se presentó en SSPA (359,4ppm), este comportamiento está relacionado con la fijación del Carbono en los procesos fotosintéticos de autótrofos y la respiración de los organismos heterótrofos presentes en estos sistemas; Se destacó la baja variabilidad de los datos en el potrero 3 (0,30%), lo cual indicó poca dispersión de las concentraciones de CO_2 , en este sistema SSPA, así mismo, los valores mostraron mayor heterogeneidad en el lotes 2 (2,98%); no obstante, estos coeficientes de variabilidad son relativamente bajos, determinando buena aceptabilidad de estos resultados.

Tabla 17

Concentración de CO_2 , para cada sumidero en los respectivos sistemas evaluados

Sumidero	Concentración CO_2 (ppm)			
	SEVO	SSIT	SSPA	STEC
SUELO	362.4	385.2	360.1	371.9
PASTOS	359.8	370.9	357.9	362.5
HOJARASCA	373.1	357.5	358.7	359.1
ARBOL	364.3	361.6	360.2	365.1

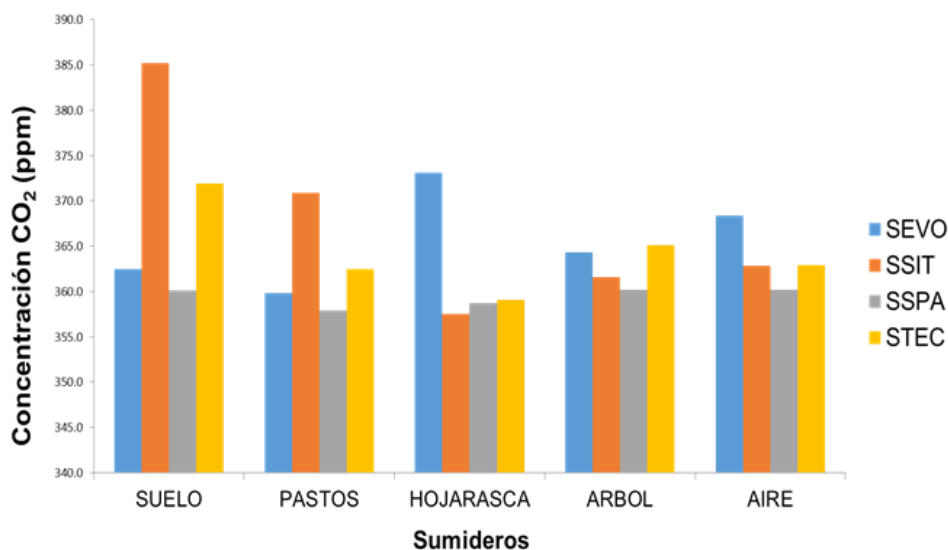
AIRE	368.4	362.8	360.2	362.9
Prom	365.6	367.6	359.4	364.3
SD	5.23	10.96	1.07	4.76
%CV	1.43	2.98	0.30	1.31

*Son promedios de tres réplicas en 4 momentos evaluados; ppm: partes por millón; SEVO: Sistema extensivo; SSIT: Sistema semiintensivo; SSPA; sistema silvopastoril, STEC; sistema tecnificado; SD: Desviación estándar; %CV: Coeficiente de variación. **Fuente:** Autor(2019)

La Figura 20, expone la concentración de gas carbónico de los sumideros en cada sistema estudiado, en ella se observa que en el potrero 2 (SSIT), se registró mayor circulación de CO₂ en suelo y pasto, mientras que en el potrero 1 (SEVO), hojarasca y aire mostraron mayor flujo de gas Carbónico a su alrededor

Figura 21

Concentración de CO₂ (ppm) en función de sumideros y sistemas



SEVO: Sistema extensivo; SSIT: Sistema semiintensivo; SSPA: Sistema Silvopastoril, STEC: Sistema tecnificado; **Fuente:** elaboración propia (2019)

En cuanto al lote 3 (SSPA), se observó menor concentración cerca a: suelo, pastos, árboles y aire, lo cual supone en estos sumideros, mayor fijación de carbono a través de las reacciones bioquímicas enzimáticas del Ciclo de Calvin de la Fotosíntesis; un comportamiento similar a 3, se registró en el potrero 4 (STEC), con hojarasca y aire; En general, la menor

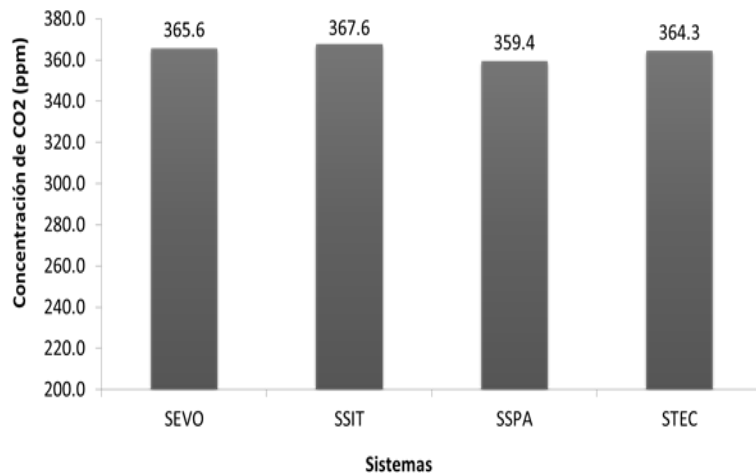
circulación de gas carbónico en los sumideros se comportó así: suelo (SSPA), Pastos (SSPA), Hojarasca (SSIT), árboles (SSPA) y aire (SSPA).

6.11 Concentración promedio de CO₂ (ppm) por cada sistema y sumideros evaluados

De la Figura 21, se puede analizar que la circulación del gas carbónico en los sistemas estudiados fue como sigue: SSPA<STEC<SEVO<SSIT, lo que significa que en el sistema silvopastoril, circuló mayor cantidad de gas carbónico, que en los demás sistemas, siendo el semiintensivo en el que fluyó en menor concentración

Figura 22

Concentración promedio de CO₂(ppm) en cada sistema evaluado



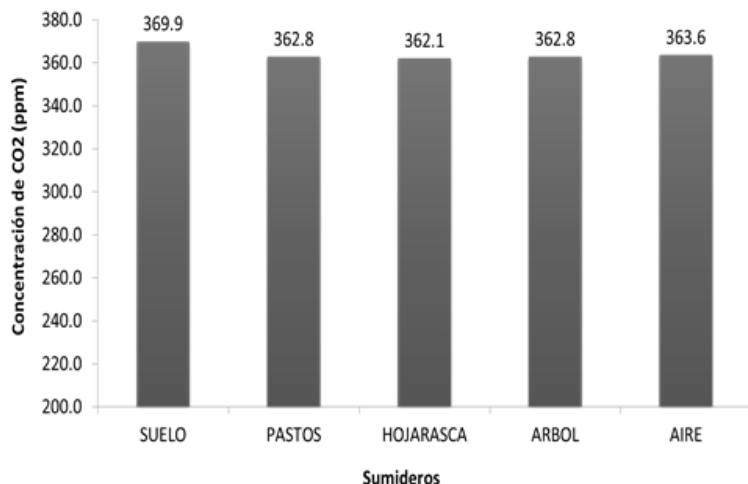
SEVO: Sistema extensivo; SSIT: Sistema semiintensivo; SSPA: Sistema Silvopastoril, STEC: Sistema tecnificado;
Fuente: elaboración propia (2019)

La concentración de CO₂ en el potrero 3 (SSPA), resultó inferior en 8,2 ppm al circulante en SSIT, lo mismo que en 6,2 ppm al del potrero 1(SEVO) y en 4,9 ppm al CO₂ presente en STEC; luego la alta concentración del dióxido de carbono en el lote 3 (SSPA), se puede explicar en términos del mayor potencial de fijación y almacenamiento de carbono que mostraron los sumideros en este lote.

Con relación al promedio de gas carbónico movilizadado en cercanías a cada sumidero, se obtuvo lo siguiente:

Figura 23

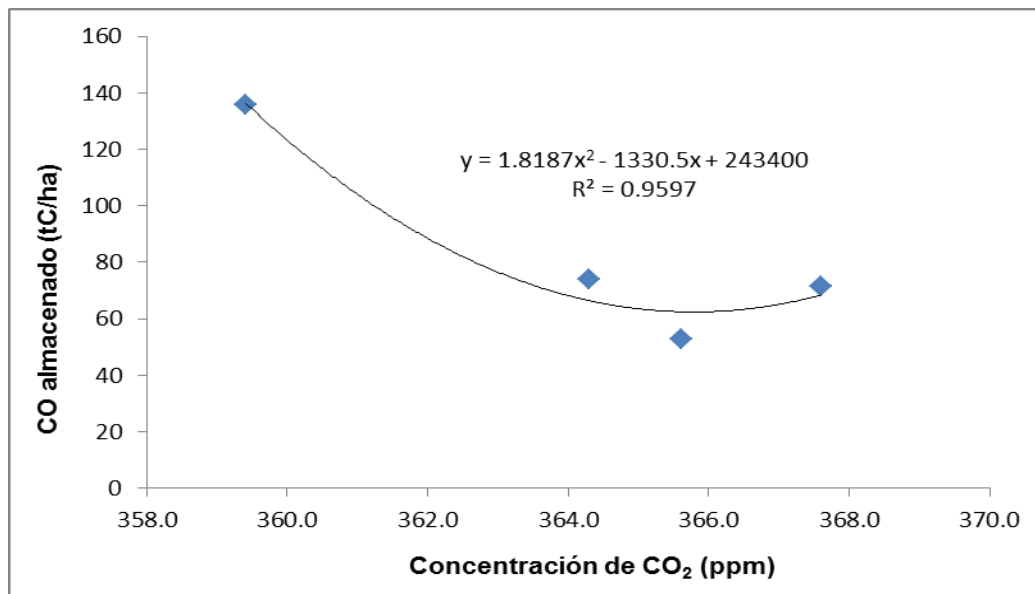
Circulación de CO₂ (ppm) en cada sumidero evaluado en los sistemas, finca el Encanto



Por lo tanto, de acuerdo a la Figura 22, el gas carbónico circulante en los sumideros presentó mayor valor en suelo y menor concentración en hojarasca, con diferencia de 7,8 ppm, No obstante, el análisis de varianza indicó que no se presentaron diferencias estadísticas ($P > 0,050$) entre los promedios de Concentración de CO₂ de los respectivos sumideros.

6.12 Relación entre CO₂ circulante y Carbono almacenado

Con el fin de establecer la relación entre concentración de CO₂ y carbono promedio depositado en cada sistema. La gráfica 24, muestra que el carbono fijado en los sistema de la finca El Encanto, se comportó de forma polinómica en segundo orden, es decir, como una curva parabólica cóncava hacia arriba, por lo tanto, la disminución del flujo de CO₂ en los sistemas ocurría porque se estaba presentando mayor fijación de Carbono en los organismos autótrofos que conformaban cada sistema, en contraste a este comportamiento, cuando se detectó mayor concentración de gas carbónico en los sumideros, los sistemas estaban emitiendo mayor cantidad de dióxido de carbono, en razón de los procesos de respiración celular de autótrofos y heterótrofos, presentes en cada sistema

Figura 24*Relación entre carbono almacenado y CO₂ circulante en los sistemas*

Fuente: elaboración propia (2019)

6.13 Evolución del CO₂ en los cuatro momentos de medición

Teniendo en cuenta que la concentración de gas carbónico se efectuó por triplicado, en 4 momentos del experimento y en los respectivos sumideros mencionados en párrafos anteriores, la tabla 19, muestra el comportamiento de la circulación de CO₂ por semana y tipo de sistema evaluado.

Tabla 18*Evolución de la concentración de gas carbónico (ppm) por semana y tipo de sistema estudiado*

Días	SEVO	SSIT	SSPA	STEC
7	364.9*	371.1*	366.1*	357.3*
14	367.4	377.3	358.5	369.0
21	367.7	354.4	355.0	353.8
28	366.4	352.7	348.3	352.1
Prom	366.6	363.9	357.0	358.0
SD	1.23	12.21	7.40	7.62

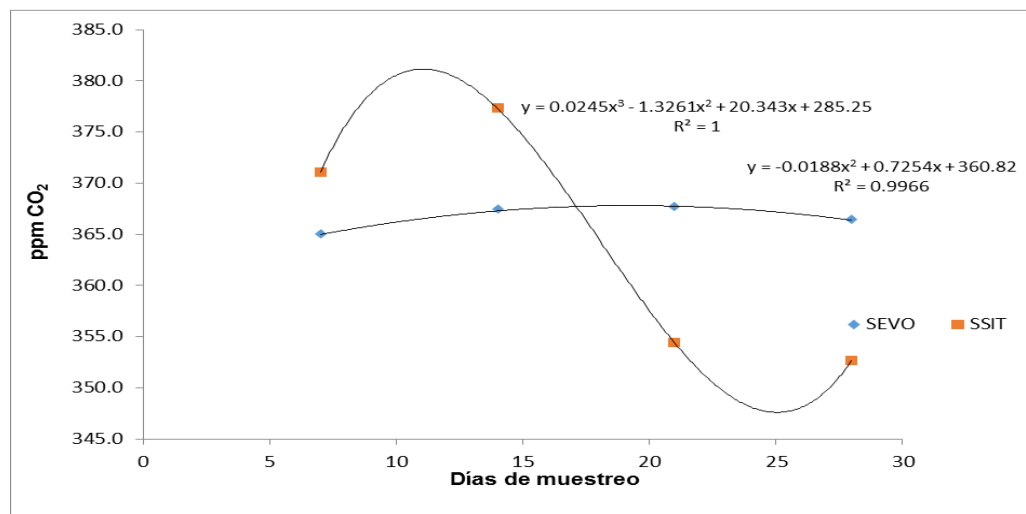
%CV	0.33	3.36	2.07	2.13
-----	------	------	------	------

*Son promedios de tres réplicas; ppm: partes por millón SEVO: Sistema extensivo; SSIT: Sistema semiintensivo; SSPA: Sistema Silvopastoril, STEC: Sistema técnico; SD: desviación estándar; %CV: Coeficiente de variación. Fuente: Autor (2019)

En la tabla anterior, se aprecia que el dióxido de carbono presentó relativa variabilidad en el tiempo, con fluctuaciones por encima y por debajo de la media, especialmente en los lotes SEVO y STEC, no obstante, los coeficientes de variación señalan valores bastante homogéneos en el potrero 1 (0,33%) y medianamente variables en el potrero 4 (2,13%), mientras que en SSPA, el comportamiento fué más sostenido con marcada tendencia al descenso y bajo coeficiente de variación (2,07%); se destaca que SSIT, mostró una tendencia similar con mayor variabilidad (3,36%), sin embargo, el promedio de CO₂ de este potrero (SSIT) (363,9ppm), superó a los determinados en SSPA (357,0ppm) y STEC (358,0ppm)

Figura 25

Comportamiento de la circulación de CO₂ en sistemas SEVO y SSIT



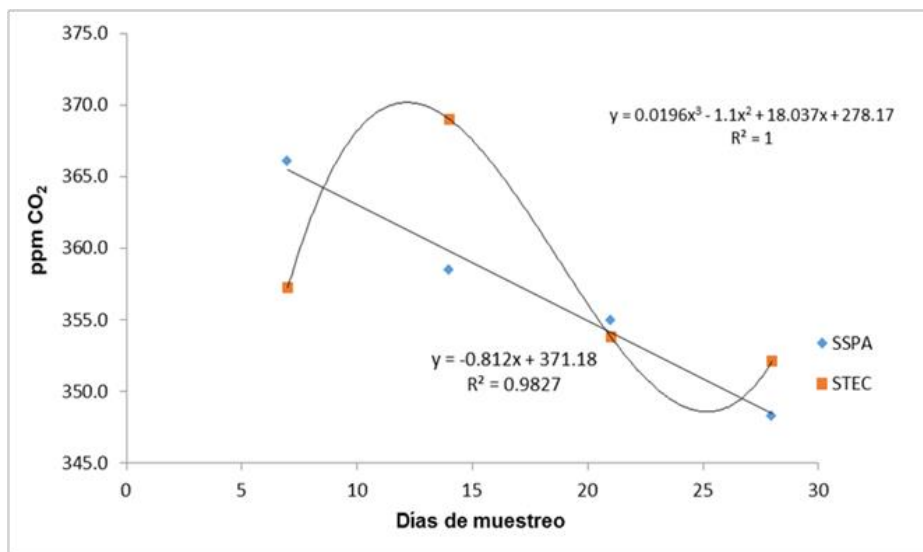
SEVO: Sistema extensivo; SSIT: Sistema semiintensivo; R²: Coeficiente de correlación cuadrática de Pearson (determinación); Fuente: autor (2019)

Con el fin de detallar las tendencias de estas fluctuaciones en cada sistema, se presentan las figuras 25 y 26, dichas figuras muestran que la circulación de gas carbónico en los sistemas SSIT y STEC, mostraron un comportamiento con tendencia polinómica, es decir, los días muestreados afectaron estadísticamente (P<0,010) el flujo de CO₂ en estos sistemas, con un modelo matemático de tercer orden, advirtiendo un descenso notable entre las semanas 2 y 3

($\Delta\text{CO}_2=22,7\text{ppm}$ y $\Delta\text{CO}_2=15,2\text{ppm}$) respectivamente, esto por causa del incremento de la fijación de carbono en los sumideros de los sistemas; respecto al flujo de CO_2 en SEVO, este varió en modelo polinómico($P<0,010$) de segundo orden, con tendencia parabólica sostenida y poca variabilidad entre las semanas de muestreo ($\Delta\text{CO}_2=1,50\text{ppm}$), lo que se Puede explicar por la cantidad y tipo de sumideros existente en este potrero. Por otra parte, el comportamiento de CO_2 en SSPTA, llama la atención por el marcado descenso de $0,812 \text{ ppm CO}_2/\text{semana}$ ($P<0,010$) con tendencia lineal ($r=0,9913$), lo cual demuestra la eficiencia de los sumideros presentes en este sistema para fijar Carbono, mediante las reacciones bioquímicas enzimáticas del Ciclo de Calvin en la Fotosíntesis

Figura 26

Comportamiento del gas carbónico en función de días muestreados para STEC y SSPA



SSPA: Sistema Silvopastoril, STEC: Sistema tecnificado; R^2 : Coeficiente de correlación cuadrático de Pearson (determinación); Fuente: autor (2019)

6.14 Comportamiento de temperatura y humedad en los sistemas evaluados

La temperatura promedio de los potreros en la finca el encanto fluctuó en un rango de $22,4^{\circ}\text{C}$ a $23,0^{\circ}\text{C}$, con $\Delta T= 0,6^{\circ}\text{C}$ y un comportamiento ascendente de $\text{SSPA}<\text{SEVO}<\text{STEC}<\text{SSIT}$. es decir, el sistema SSPA mostró una temperatura más baja, relacionada con el modelo forestal y de pasturas implantado en la finca, así mismo, T fue más alta en SSIT, sistema semiintensivo

Tabla 19*Valores de Temperatura (°C) por semana y sistemas evaluados*

DÍAS	SEVO	SSIT	SSPA	STEC	PROM
7	15.9	16.0	15.9	16.2	16.0
14	24.0	24.3	23.6	24.0	24.0
21	23.4	23.8	23.1	23.4	23.4
28	27.3	27.9	26.9	27.0	27.3
Prom	22.6	23.0	22.4	22.7	22.7

Fuente: Autor(2019)

la Tabla 21, describe el comportamiento de la humedad en los cuatro sistemas estudiados

Tabla 20*Valores de Humedad relativa en porcentaje (%) por semana y sistemas evaluados*

Días	SEVO	SSIT	SSPA	STEC	Prom
7	34.9	34.2	35.9	34.7	34.9
14	58.2	57	59.8	57.8	58.2
21	59.7	63.7	58.7	56.8	59.7
28	70.0	71.2	67.3	71.5	70.0
Prom	55.7	56.5	55.4	55.2	55.7

Fuente: Autor (2019)

La humedad promedio de los potreros en la finca El Encanto fluctuó en un rango de 55,2% a 56,5%, con $\Delta H=1,3\%$ y un comportamiento ascendente de $STEC < SSPA < SEVO < SSIT$, muy similar a la variación de T y relacionada con el tipo de sistema implantado.

El análisis de varianza de doble vía, determinó que temperatura y humedad presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0,010$) entre las semanas de medición, y los sistemas evaluados afectaron significativamente ($P < 0,050$) la temperatura de los potreros,

mientras que la humedad se comportó de forma similar ($P > 0,050$) entre los lotes, tal como se indica en la tabla 22

Tabla 21

Resultados ANOVA doble vía para temperatura y humedad

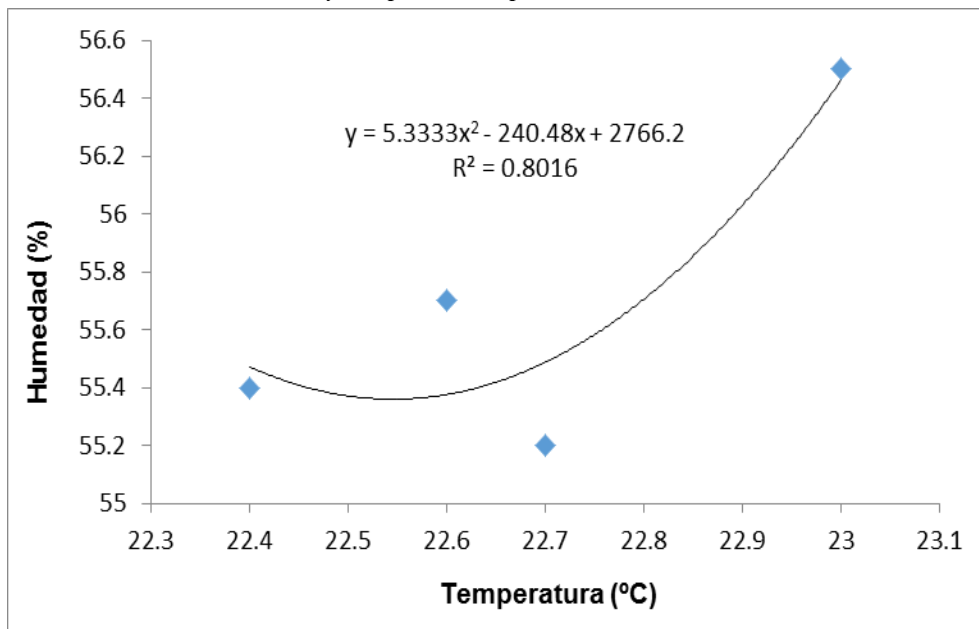
Fuente de Variación	Temperatura (°C)		Humedad (%)	
	CM	P > Fc	CM	P > Fc
Semanas	90.5096	$3,3 \cdot 10^{-13} **$	822.8264	$2,5 \cdot 10^{-15} **$
Sistemas	0.2628	0,0132 *	1.2568	0,7165 NS
EE	0.0413		2.3782	

Fuente: Autor (2019)

La relación entre los promedios de Humedad y Temperaturas, en los sistemas evaluados de la finca El Encanto, mostró el siguiente comportamiento (figura 27)

Figura 26

Relación entre humedad y temperaturas promedios en los sistemas evaluados



Fuente: elaboración propia (2020)

En la Figura 26, se aprecia que estas dos variables termodinámicas se comportaron en forma cuadrática con tendencia parabólica, es decir, el incremento de la temperatura causó un aumento polinomial de segundo grado en la humedad relativa de los sistemas, lo cual está acorde a la teoría cinético molecular de los gases; por lo tanto, estos dos indicadores se asociaron de forma significativa ($r= 0,89$) ($P<0,050$).

6.15 Correlación entre promedios de variables evaluadas en el experimento

A fin de estudiar con mayor detalle la asociación e interrelación entre las variables determinadas en la investigación, se decidió realizar un análisis de correlación múltiple fundamentado en el coeficiente de correlación de Pearson (r), encontrándose lo siguiente:

Tabla 22

Correlación múltiple mediante coeficientes de correlación de Pearson

	CO ₂ (ppm)	CO(tC.ha ⁻¹)	T(°C)	Humedad(%)
CO ₂ (ppm)	1			
CO (t C.ha ⁻¹)	-0.889*	1.000		
T (°C)	0.886*	-0.600	1.000	
Humedad (%)	0.686	-0.333	0.770	1

* $P<0,050$; Fuente: Autor (2019)

Los coeficientes de correlación incluidos en la tabla anterior, muestran que el flujo de gas carbónico fue influenciado significativamente ($P<0,050$) por los cambios de temperatura dados en los sistemas estudiados, en contraste a lo anterior, la disminución de la circulación del CO₂ ocurrió por causa del incremento Significativo ($P<0,050$) en la fijación de Carbono de los potreros, lo cual es coherente con los procesos fotosintéticos de los organismos autótrofos presentes en los sumideros de cada sistema.

7. CONCLUSIONES

1. Los indicadores fisicoquímicos de suelos sobre los cuales se presentó mayor efecto por el tipo de sistema implantado, correspondieron a los relacionados con Carbono Orgánico, materia orgánica y Nitrógeno total, siendo más significativo en Sistema silvopastoril y sistema tecnificado
2. Las pasturas provenientes de los Sistemas silvopastoril y tecnificado, presentaron mayor contenido de materia seca, fracción orgánica y proteíca, respecto a los otros sistemas, en contraste, su FDN fue más baja, tal comportamiento indica mejor calidad nutricional
3. El valor de carbono total almacenado en la Biomasa aérea del sistema silvopastoril (57,23 tC / ha) superó significativamente a los demás, siendo SEVO el de menor depósito (4,30 tC /ha)
4. Los sistemas silvopastoril y tecnificado mostraron el mejor comportamiento en el almacenamiento de Carbono orgánico en suelos, de tal forma que el incremento de COS, fue de 29,76 y 21,03 tC.ha-1 en SSPA y STEC, respectivamente
5. El Carbono total almacenado en toneladas por hectárea en los sistemas evaluados, finca el encanto presentó los valores más altos en sistemas silvopastoril (135,64) y Tecnificado (73,85) debido a su mayor contenido de biomasa aérea
6. La circulación de CO₂ en la finca el Encanto, presentó valores más bajos en los sumideros: suelo, pasturas, árboles y aire, del sistema silvopastoril, en razón de que allí se mostró mayor fijación de Carbono y en consecuencia mayor eficiencia fotosintética

8. RECOMENDACIONES

- 1.** Realizar más inventarios de Carbono en sistemas silvopastoriles y sistemas extensivos ganaderos de la provincia del Sumapaz, lo mismo que la cuantificación del CO₂ circundante en diferentes sumideros.
- 2.** Desarrollar investigaciones que valoren mediciones de dióxido de carbono, metano, temperatura y humedad relativa en áreas circundantes a producciones: avícolas, porcinas, cunicola y albergues caninos de la provincia del Sumapaz.
- 3.** Realizar inventarios de Carbono en producciones agropecuarias del Sumapaz que tengan en cuenta varias profundidades del suelo, excretas de animales, hojarasca, y biomasa debajo del suelo (raíces), a fin de relacionar depósito de Carbono con las respectivas densidades aparentes del suelo.
- 4.** Estudiar el comportamiento del almacenamiento de Carbono en producciones agropecuarias en función del tiempo, con el fin de establecer una tasa de fijación de Carbono por unidad de área y semanas ó meses y sirva como valor predictivo de los sistemas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abreu A, et al (2003).** Efecto del fruto, del pericarpio y del extracto semipurificado de saponinas de *Sapindus saponaria* sobre la fermentación ruminal y la metanogénesis in vitro en un sistema RUSITEC. *Rev Col Cienc Pec.* 2003; 16: 147-154.
- Anderson RC et al (1998).** Use of a novel nitrotoxinmetabolizing bacterium to reduce ruminal methane production. *Bioresource Technology.* 1998; 64: 89-95.
- Artaraz, M. (2002).** Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. *Ecosistemas 2002/2* (URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas/022/informe1.htm>)
- Badii, M.H, J. et al (2007).** Diseños experimentales e investigación científica (Experimental designs and scientific research). Villalpando UANL, San Nicolás, N.L. 66450, México.
- Bárbaro, N. et al. 2008.** First measurements of methane emitted by grazing cattle of the Argentinean beef system. *New Zealand. New Zealand J. Agric. Res.* 51(2):209-219.
- Beauchemin, et al (2008).** Nutritional management for enteric methane abatement: A review. *Aust. J. Exp. Agric.* 48:21–27.
- Benchaar C, et al (1998).** Rivest J, Pomar C, Chiquette J. Prediction of methane production from dairy cows using existing mechanistic models and regression equations. *J Anim Sci* 1998; 76: 617- 627.
- Beguet, H et al. (1995).** Cuaderno de actualización técnica N° 55- CREA - Cría Vacuna - Primera edición.
- Benaouda, et al (2017).** *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.8 Núm.4 16 de mayo - 29 de junio, 2017 p. 965-974 Estado de la investigación sobre emisiones de metano entérico

y estrategias de mitigación en América Latina* Status of research on enteric methane emissions and mitigation strategies in Latin America.

Bodas, R., et al (2012). Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Animal Feed Science and Technology*. 176:78– 93.

Boisier, S. (1997). Teorías y Metáforas Sobre Desarrollo Territorial.

Botero J.A. (1998). Exploración de opciones silvopastoriles para la sostenibilidad del sistema de doble propósito en el trópico húmedo. Tesis Magister Scientae. CATIE. Turrialba, Costa Rica, 103 p.

Bualo, R. et al (2014). Determinación y comparación de factores de emisión de metano entérico para vacas de cría en condiciones de pastoreo con dos dietas diferentes. In: proceeding of primera conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas agropecuarios de Latinoamérica. Alfaro, M. V.; González, S. M.; Hube, S. S.; Muñoz, C. M.; Pinares, P. C. y Ungerfeld, E. Núm. 54. INIA. Chile. 103-104 pp.

Blaxter, K. et al. (1965). Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British J. Nutr.* 19:511-522.

Bula J. I. (1994). John Rawls y La Teoría De La Modernización, Una Retrospectiva Analítica Profesor Asistente, Universidad Nacional de Colombia.

Cano, R. et al (2013). Almacenamiento de carbono en pastos naturales alto andinos. *Scientia Agropecuaria. Revista Científica de la Universidad Nacional de Trujillo.*

Canesin, C. et al (2014). Effects of supplementation frequency on the ruminal fermentation and enteric methane production of beef cattle grazing in tropical pastures. *Brazil. Rev. Bras. Zoot.* 43(11):590-600.

- Cárdenas, E. et al. (2012).** Productividad en materia seca y captura de carbono en un sistema silvopastoril y un sistema tradicional en cinco fincas ganaderas de piedemonte en el departamento de Casanare. *Revista de Medicina Veterinarian.*, 51-57.
- Carro, MD, Miller, EL. (1999).** Effect of supplementing a fibre basal diet with different nitrogen formus on ruminal fermentation and microbial growth in an in sacco semicontinuous culture system (RUSITEC). *British Journal of Nutrition*, 1999; 82: 149-157
- Cerri, C. et al (2009).** Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. *Brazil. Sci. Agric.* 66(6):831-843.
- Concha, R. et al (2010).** Los conceptos de validez en la investigación social y su abordaje pedagógico. *Revista Latinoamericana de Metodología de Las Ciencias Sociales*, 1(2),91-111. Consultado de <http://www.relmecs.fahce.unlp.edu.ar/article/view/v0>
- Chandramoni, SB. et al (2000).** Energy metabolism with Particular reference to methane production in Muzaffarnagari sheep fed rations in roughage to concentrate ratio. *Animal Feed Science and Technology*, 2000; 83: 287- 300
- CIPAV (2011)** Uribe F., Zuluaga A.F., Valencia L., Murgueitio E., Ochoa L. 2011. Buenas prácticas ganaderas. Manual 3, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGÁN, CIPAV, FONDO ACCION, TNC. Bogotá, Colombia. 82 p.
- Demarchi, J. et al (2012).** Methane emission and milk production of dairy cows grazing pastures rich in legumes or rich in grasses in Uruguay. *Animals*. 2(2):288-300.

- DeRamus, HA. (2003)** Clement TC, Giampola DD, Dickison PC. Methane emissions of beef cattle on forages: efficiency of grazing management systems. *Journal Environ Qual*, 2003; 32: 269-277.
- Dohme, F. et al (2000).** Machmüller A, Wasserfallen A, Kreuzer M. Comparative efficiency of various fats rich in medium-chain fatty acids to suppress ruminal methanogenesis as measured with RUSITEC. *Canadian Journal of Animal Science*, 2000; 80: 473-482.
- Escalona, R. et al (2007)** Intoxicación Por Urea En Rumiantes. Dpto. Sanidad Animal; Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Granada.
- Frighetto, R. et al (2003).** Daily methane emission at different seasons of the year by Nelore cattle in Brazil grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu preliminary results. In: world conference on animal production. Núm 9. Porto Alegre, Brazil. 19 p
- FORRAJES Y GRANOS JOURNAL. (1998).** Alternativas para la alimentación del ternero. Su integración a sistemas intensivos. Serie de Actividades Técnicas en Producción Ganadera. Tomo I, nº 10
- Garzón, E. (2013).** Ensayo comparativo: paradigma de la modernización y revolución contraneoclásica. Universidad Complutense de Madrid, España. 18p.
- González, F, et al (2010).** Proyecciones de las emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) Colombia 1998-2010. *Rev Acad Colomb Cienc*, 1999; 23 (89): 497-505.
- Guada, J.A. (1993).** Efectos del procesado sobre la degradabilidad ruminal de proteína y almidón. Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos Facultad de Veterinaria de Zaragoza, España. IX CURSO DE ESPECIALIZACION FEDNA.
- Herrera, D. et al (2014).** Efecto de la suplementación con concentrado sobre las emisiones de metano y desempeño productivo de vacas lecheras en lactancia tardía. In: proceeding of

primera conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas agropecuarios de Latinoamérica.

Hess, HD. et al (2002). In vitro evaluation of the effect of *Sapindus saponaria* on methane release and microbial populations (1.4.1). 2002. URL: http://www.ciat.cgiar.org/forrajes/pdf/output1_2002.pdf

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (1995). Climate change 1994: radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios. Cambridge: University Press, 339p. (Genebra, Suíça).

IPCC AR4 SYR (2016). Appendix Glossary» (PDF). Consultado el 14 de diciembre de 2016

INSTITUTO DE RECURSOS MUNDIALES (CAIT, 2011).
<http://www.wri.org/search/site/PRODUCCION%20MUNDIAL%20DE%20METANO>

Johnson, D. et al (1996) Estimates of animal methane emissions. Environmental Monitoring and Assessment, v.42, p.133-141

Johnson, K. et al. (1995). Methane emissions from cattle. Journal Animal Science.

Kajikawa, H. et al (2003). Hai J, Terada F, Suga T. 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.

Kamande G. (2006). Digestión Ruminal y Nutrición. Congreso de Forrajes. Producir XXI, Bs. As., 15(180):52-57. *Diamond V. Mills, Cedar Rapids, Iowa, USA. www.produccion-animal.com.ar

Kurihara, M. et al (1999). Methane production and energy partition of cattle in the tropics. British Journal of Nutrition, v.81, p.227-234.

- Kinsman R, et al. (1995).** Methane and carbon dioxide emissions from cows in full lactation monitored over a six-month period. *J Dairy Sci*, 1995; 78 (12): 2760-2766.
- Lascano, C. E., et al (2010).** Alternatives for methane emission mitigation in livestock systems. *Revista Brasileira de Zootecnia*.39:175-182
- Leiva, F. et al. (2017).** Territorio en vilo. Desarrollo rural para el posconflicto. Editorial Universidad Nacional de Colombia. Bogota. Colombia.pg.228
- López C. (2017).** Universidad de Cundinamarca Fusagasugá. Manuscrito de clases.
- Manriquez H. J.A (FAO 2009).** <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab482s/AB482S03.htm>
- Mattioli, A.(2003).** FISILOGIA DIGESTIVA Y METABOLICA DE LOS RUMIANTES
Relling, Cátedra de Fisiología Facultad de Ciencias Veterinarias U.N.L.P. Argentina.
- Mccaughey, W. et al. (1999)** Impact of pasture type on methane production by lacting beef cows. *Can J an Sc*, 1999; 79 (2): 221-226.
- Mccaughey, W. et al (1997).** Methane production by steers on pasture. *Can J An Sc*, 1997;
- Mies, M y Vandana, S. (1993).** Ecofeminismo Teoría, Crítica Y Perspectivas. Mujeres, Voces Y Propuestas Icaria Antrazyt.
- Verargo, M. (2010),** Carbohidratos estructurales en plantas. En línea, 01/03/2011 Libros _online/capitulo 7 reservas de carbohidratos.
- Moss AR, Givens DI. (2002).** The effect of supplementing grass silage with soya bean meal on digestibility, in sacco degradability, rumen fermentation and methane production in sheep. *Animal Feed Science and Technology*; 97: 127- 143
- Montenegro, J. et al (2.000).** Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En: Intensificación de la ganadería en

- Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. CATIE – FAO – SIDE. Ed Nuestra Tierra. 2000. 334 p.
- Naranjo Ramírez, JF.** (2019) En defensa del metano (de las vacas). Rev. CES Med. Zootec. Vol 14 (2): 80-86.
- Pichardo, G. B. (2006).** La Revolución Verde En México. A Revolução Verde No Mexico A Green Revolution In Mexico Geógrafa por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Phillips et al.** (2011). Estimación de las reservas actuales (2010) de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia Estratificación, alometría y métodos analíticos. Impreso en Colombia.p.70. IDEAM.
- Preston TR, Leng RA (1989).** Friendly development. Livestock Research for Rural Development, 1(1), November. URL: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd1/1/preston.htm>
- Primavesi, O. et al (2004).** Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 39(3):277-283.
- Quintana, E. (2007),** celulosa, en línea, 08/03/2011, Enciclopedia libre universal.
- Stewart et al. (2008).** Estimation of carbon dioxide production and energy. Canadian Journal of Animal Science, 651.
- Thornton, P. et al. (2009).** Potential for reduced methane and carbon dioxide emissions from livestock and pasture management in the tropics. National Academy of Sciences. Vol. 107, No. 46, 6.
- PrestonTR, Leng RA. (1989)** Friendly development. Livestock Research for Rural Development, 1(1), November 1989.
- URL: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd1/1/preston.htm>

Ramirez, J.F. et al (2014), Metanogénesis ruminal y estrategias para su mitigación Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia / Volumen 9 / Número 2 / julio – diciembre de 2014/ ISSN 1900-9607.Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Producción Agropecuaria, Universidad de Antioquia, AA 1226, Medellín, Colombia.

Rovira, J. (1987). Manejo de la invernada. Primera Edición.Prensa Veterinaria Argentina. 4.

Schiersmann,G. (1973). Destete precoz en la región pampeana semiárida, EEA INTA Anguil, Centro Regional La Pampa, San Luis.

Soest, P. (1965). Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. Journal of Animal Science, v.24, p.834-843,

Torroba, JP. (1993). Manejo del rodeo de cría. EEA Balcarce. Serie: Materiales Peligrosos.

Van Kessel JS, et al. (1996). The effect of pH on ruminal methanogenesis. FEMS Microbiology Ecology, 1996; 20: 205-210.

Yokoyama MT, et al (1993). Microbiología del rumen e intestino. En: Church DC. El rumiante: fisiología digestiva y nutrición. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España, 1993; 137-156.

Silva, A. et al. (2013). Evaluación de gases de efecto invernadero (GEI). Revista Colombiana de Ciencia Animal. Universidad del Tolima. Volumen 6., 38.

CIBERGRAFIA

<http://emedicine.medscape.com/article/946755-overview>.

www.sisbib.unmsm.edu.pe. Consultado el 13 de mayo de 2016

<https://www.greenfacts.org/es/glosario/mno/metano.htm> 2017