



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
CAMPUS V



**Almacenamiento de carbono en biomasa arbórea y suelo
de prácticas silvopastoriles en la Reserva de la Biosfera
La Sepultura, Chiapas**

TESIS

Que para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCION
AGROPECUARIA TROPICAL**

**Por
ALEJANDRA LARA NUCAMENDI**

Director de tesis

DR. DEB RAJ ARYAL

Villaflores, Chiapas

Febrero 2019



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
CAMPUS V



**Almacenamiento de carbono en biomasa arbórea y suelo
de prácticas silvopastoriles en la Reserva de la Biosfera
La Sepultura, Chiapas**

TESIS

Que para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCION
AGROPECUARIA TROPICAL**

Por

Alejandra Lara Nucamendi

Director de tesis

Dr. Deb Raj Aryal

Asesores

Dr. René Pinto Ruiz

**M.Sc. José Antonio Jiménez
Trujillo**

Villaflores, Chiapas,

Febrero 2019



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
CAMPUS V
DIRECCIÓN



VILLAFLORES, CHIAPAS
20 DE FEBRERO DE 2019
OFICIO N° D/095/19

ING. ALEJANDRA LARA NUCAMENDI
PASANTE DE LA MCPAT
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
P R E S E N T E.

En atención a que usted ha presentado los votos aprobatorios del Honorable Jurado, designado para su evaluación de grado, de la tesis titulada: **“Almacenamiento de carbono en biomasa arbórea y suelo de prácticas silvopastoriles en la Reserva de la Biosfera La Sepultura, Chiapas”**, por este conducto le comunico que se le autoriza la impresión del documento, de acuerdo a los lineamientos vigentes de la Universidad.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”

M. C. ROBERTO REIMUNDO COUTIÑO RUIZ
DIRECTOR



C. c. p. Archivo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

Facultad de Ciencias Agrónomicas



Campus V

Esta tesis titulada **“ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN BIOMASA ARBÓREA Y SUELO DE PRÁCTICAS SILVOPASTORILES EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA LA SEPULTURA, CHIAPAS”**, fue realizada por la ING. ALEJANDRA LARA NUCAMENDI, bajo la dirección y asesoría del Comité Tutorial indicado, como requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL.

COMITÉ TUTORIAL

Director de tesis

Dr. Deb Raj Aryal

Asesores

Dr. René Pinto Ruiz

MSc. José Antonio Jiménez
Trujillo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

Facultad de Ciencias Agrónomicas



Campus V

Esta tesis titulada “**ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN BIOMASA ARBÓREA Y SUELO DE PRÁCTICAS SILVOPASTORILES EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA LA SEPULTURA, CHIAPAS**”, fue realizada por la ING. ALEJANDRA LARA NUCAMENDI, ha sido aprobada por la Comisión Revisora indicada, como requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL.

COMISIÓN REVISORA

Director de tesis

Dr. Deb Raj Aryal

Asesores

Dr. René Pinto Ruiz

MSc. José Antonio Jiménez Trujillo

Dedicatorias

A mi madre

Eva Nucamendi Estudillo, por ser la mujer que me ha brindado apoyo incondicional, y darme sus brazos para refugiarme siempre, a ti madre gracias por creer en mí y ser parte de mi experiencias, tus consejos, amor y paciencia se ven reflejado en mis logros.

A mi familia

Alexander y Alexa Natalia, por ser mis compañeros de vida, por compartir todos los días, mis logros y fracasos, a ustedes por ser la base de mi felicidad, y sobre todo por ser un equipo que día a con día se fortalece y motiva a seguir caminando juntos de la mano.

A mama Lolita

Por ser segunda madre para mí, nunca despegarte de mis experiencias de vida y por entregarme tu amor incondicional.

A mis suegros

Elizabeth y Rubinoy

Por confiar en esté proyecto de vida y entregarme el apoyo total para que este proceso sea más fácil, por sus consejos y amor ofrecido durante el tiempo de conocernos.

A mis abuelos

Por educarnos con las bases llenas de amor, enseñar los valores que hoy en día forman parte de mi persona.

A mis hermanos

Javier, Viridiana, Daniel y Luis Alberto, ustedes por ser compañeros de vida, y entregarme amor sincero, además por el apoyo en cada etapa de mi vida. Cada acción de ustedes siempre es para sumar.

A mi cuñado

Rubinoy, a ti por ser un hermano más para mí, y apoyarme en cada proyecto de vida, pero sobre todo por su cariño incondicional.

A mis amigas

Yuli, Gabi, Eli, Susi, Gise , ustedes chicas, hermanas por elección que han formado parte de las etapas más importantes en mi vida, son lo máximo, sin duda una amistad que no se rompe y se fortalece con cada historia más que se escribe.

Agradecimientos

A Dios

Por permitirme vivir cada día, darme salud, paz y sobre todo rodearme de personas que me aman.

Agradezco al Dr. Heriberto Gómez Castro por ser la persona que en primera instancia confió y me apoyo para desarrollar éste proyecto profesional. Al Dr. René Pinto Ruiz por entregarme su apoyo incondicional en esta etapa de mi vida, guiando con buenos consejos, pero sobre todo por brindarme una amistad sincera, ¡Gracias! Al Dr. Deb Raj Aryal, a usted por su paciencia, tiempo y dedicación que fueron claves para culminar con satisfacción el trabajo de tesis. Al Dr. Francisco Guevara Hernández, por sus consejos pero sobre todo por aportar buena vibra en el trayecto de este largo recorrido. Al M.Sc. José Antonio Jiménez Trujillo por brindarme la oportunidad trabajar el proyecto de tesis en el marco del proyecto BiopaSOS, por sus sabias observaciones y su grata amistad.

Agradecer a M.C. Alonso, M.C. Carlos y ING.Roldán por el apoyo brindado en las etapas de esta investigación y principalmente en campo, por los consejos para mejorar el trabajo, pero más importante por su valiosa amistad, de corazón ¡Gracias chicos!

A José Antonio, Héctor, Juan, Natalia, Carlos, Tania y Amando por pasar por momentos agradables, por el apoyo en el trabajo de campo, y la bonita una amistad que se forjó durante el tiempo de convivencia.

A mis compañeros de la generación con quienes compartí momentos agradables dentro y fuera de las aulas...

Agradezco a la MCPAT y UNACH facultad de ciencias agronómicas por los recursos otorgados para mi formación dentro de la Maestría en Ciencias en Producción Agropecuario Tropical.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por otorgar la beca para realizar mis estudios de posgrado.

Al Cuerpo Académico de Agroforestería Pecuaria por brindarme apoyo incondicional en mi proceso de formación académica.

Al IKI del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BUM) de Alemania.

Al proyecto: Promoviendo la conservación de la biodiversidad a través de prácticas agrosilvopastoriles climáticamente inteligentes en paisajes dominados por la ganadería en México, por financiar mis estudios de Maestría.

INDICE

Dedicatorias	vi
Agradecimientos.....	vii
INDICE	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE CUADROS	xi
RESUMEN	xii
1. Introducción	1
1.1. Objetivo general.....	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
2. Revisión de literatura.....	3
2.1. Cambio climático.....	3
2.2. La ganadería como fuente emisor de GEI	3
2.5. Sistemas silvopastoriles.....	6
2.5.1. Tipos de sistemas agroforestales	7
3. Materiales y métodos	11
3.1. Área de estudio.....	11
3.2. Diseño de investigación	12
3.3. Caracterización de unidades de producción ganadera	12
3.4. Identificación y descripción de las Prácticas Silvopastoriles	13
5.1. <i>pH y conductividad eléctrica del suelo</i>	18
5.2. <i>Coficiente de similitud</i>	19
6. Resultados.....	21
6.1. Caracterización de las unidades de producción ganadera.....	21
6.2. Identificación de las prácticas silvopastoriles.....	26
6.2.1. Diversidad de especies.....	28
6.2.2. <i>Coficiente de similitud</i>	31
6.2.3. Área basal de árboles presentes en prácticas silvopastoriles.....	31
6.3. Almacenamiento de carbono	31
6.3.1. Relación carga animal y almacenamiento de carbono en prácticas silvopastoriles	32

6.3.2.	Carbono almacenado en raíces	35
7.	Carbono orgánico del suelo	36
7.1.1.	Nitrógeno en suelo.....	37
	38	
7.1.2.	Fósforo en suelo	38
7.1.3.	Relación Carbono-Nitrógeno en suelo	39
7.1.4.	Relación Carbono-Fósforo.....	40
7.1.5.	Relación Nitrógeno-Fósforo	41
8.	pH	42
8.1.1.	Conductividad eléctrica	43
9.	Discusiones	46
9.1.	Caracterización de unidades de producción ganadera	46
9.2.	Identificación de prácticas.....	48
9.3.	Carbono en biomasa arbórea	49
9.4.	Carbono en biomasa de raíces	54
9.5.	Carbono orgánico en el suelo	55
	9.5.1. <i>La relación carbono/nitrógeno y carbono/fósforo del suelo.....</i>	56
10.	Conclusiones	58
11.	Literatura citada.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio	12
Figura 2. Establecimiento del transecto y parcelas para colecta de variables en unidades ganaderas de comunidades de la “Reserva de la Biosfera La Sepultura” según Chavarría, 2010.....	14
Figura 3. Representación visual de la medición de altura para árboles incluidos en prácticas silvopastoriles.....	15
Figura 4. Medición del ancho y largo de copa de árboles incluidos en prácticas silvopastoriles.....	16
Figura 5. Diseño del muestreo de suelo en diferentes prácticas silvopastoriles de unidades de producción ganadera de la REBISE	19
Figura 6. Dendograma del agrupamiento de 30 productores de comunidades de la REBISE tomando en cuenta variables productivas, extensión ganadera e intensificación.....	21
Figura 7. Intensidad del uso de suelo ganadero de los grupos identificados con base en superficie dedicada a la ganadería (áreas de pastoreo) y carga animal aparente.	25
Figura 8. Representación gráfica de las características físico-productivas del hato ganadero con respecto a los tres grupos	26
Figura 9. Análisis de correlación para comparar confiabilidad de los datos con dos métodos diferentes para estimar almacén de carbono en biomasa arbórea.....	32
Figura 10. Análisis de correlación entre dos variables (carga animal y C en biomasa aérea)	33
Figura 11. Prueba de medias entre almacenamiento de carbono en biomasa aérea y grupos Clúster	33
Figura 12. Representación gráfica del almacenamiento de carbono en biomasa	34
Figura 13. Almacenamiento de carbono orgánico del suelo en dos zonas.....	37
Figura 14. Nitrógeno del suelo en prácticas silvopastoriles.....	38
Figura 15. Relación carbono-Nitrógeno en prácticas silvopastoriles de dos zonas de estudio.....	40
Figura 16. Relación Carbono-Fósforo de prácticas silvopastoriles en dos zonas de estudio.....	41
Figura 17. Interacción de pH con respecto a zona de estudio y prácticas silvopastoriles.....	43
Figura 18. Conductividad eléctrica en las dos zonas de estudio	45

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Área de muestreo según la superficie dedicada a la actividad ganadera (Adaptado de Chavarría Oseguera, 2010)	14
Cuadro 2. Ecuaciones alométricas de mejor ajuste para estimar biomasa aérea en función del dap, altura total y densidad aparente, en prácticas silvopastoriles	17
Cuadro 3. Características de los grupos de productores ganaderos de la Reserva de La Biosfera La Sepultura, en base a 30 entrevistas semi-estructuradas.....	23
Cuadro 4. Uso de las prácticas silvopastoriles identificadas en las unidades de producción ganadera.....	27
Cuadro 5. Características de la densidad de árboles identificados en prácticas silvopastoriles del área de estudio	28
Cuadro 6. Presencia de diferentes especies encontradas en árboles dispersos en potreros en dos zonas de estudio	29
Cuadro 7. Presencia de diferentes especies encontradas en cercas vivas en dos zonas de estudio	30
Cuadro 8. Comparación de medias del área basal en árboles de prácticas silvopastoriles presentes en unidades de producción ganadera	31
Cuadro 9. Almacenamiento de carbono en árboles de prácticas silvopastoriles..	34
Cuadro 10. Medias encontradas en la estimación del almacenamiento de carbono en raíces de prácticas silvopastoriles	35
Cuadro 11. Contenido de carbono orgánico en suelo (COS) de prácticas silvopastoriles identificadas en unidades de producción ganadera	36
Cuadro 12. Contenido de nitrógeno en suelo de unidades de producción ganadera	38
Cuadro 13. Fósforo (promedio) en suelo entre prácticas silvopastoriles (mg kg^{-1})	39
Cuadro 14. Relación carbono-nitrógeno en prácticas silvopastoriles	39
Cuadro 15. Relación Nitrógeno/ Fósforo de prácticas silvopastoriles	42
Cuadro 16. Conductividad eléctrica (dS m^{-1}) correspondiente al suelo de unidades ganaderas	44

RESUMEN

El cambio climático es hoy en día uno de los principales problemas que se enfrenta a nivel mundial, ya que los efectos repercuten directamente cambiando los patrones de temperatura y precipitación en el planeta, situación que resulta perjudicial para cualquier forma de vida. En la actualidad las actividades antropogénicas son las principales fuentes de emisión que contribuye de manera directa a que al cambio climático se manifieste con mayor magnitud. En ese sentido la ganadería es una de las principales actividades antropogénicas que contribuye con la emisión de gases con efecto invernadero, esto debido a las malas prácticas realizadas en el manejo del sistema, falta de información al productor y apoyo al sector agropecuario.

Por otro lado, hay evidencias que existen alternativas, tecnologías y/o prácticas ganaderas que pueden contribuir a la reducción de la emisión de gases con efecto invernadero, tales como los Sistemas Silvopastoriles, sistema de producción que promueve la inclusión del componente árbol en áreas de pastoreo, lo anterior con la intención de obtener beneficios como; forraje, sombra para el ganado, corredores biológicos, leña, madera, regulación hídrica y otros servicios ecosistémicos; como la captura de carbono por medio de los árboles, estrategia que permite la mitigación y adaptación frente al cambio climático.

Por lo anterior mencionado, el objetivo de este trabajo de investigación fue cuantificar el almacenamiento de carbono en biomasa aérea y suelo de prácticas silvopastoriles, en unidades de producción ganadera en comunidades de la Reserva de la Biosfera La Sepultura, Chiapas, misma que comprende dos zonas diferentes; Frailesca y Costa. Para alcanzarlo se realizaron talleres participativos, información que sirvió para conocer las características generales del productor, así como las condiciones biofísicas de las áreas dedicadas a la ganadería, asimismo, se realizaron recorridos de campo con la finalidad de la conocer el sistema de producción completo, los diferentes usos de suelo en los ranchos. Durante los recorridos se identificaron especies de árboles presentes para luego realizar las mediciones dasométricas de los árboles y finalmente extracción de muestras de suelo.

Para el análisis de los resultados, se utilizó el paquete estadístico SAS, 2000, ANOVA de una vía y factorial STATISTICA 8.0 y datos que no cumplieran con los supuestos de ANOVA, un análisis de Kurskal-Wallis y luego de Mann-Whitney. Como resultado de la caracterización de las unidades de producción ganadera se obtuvo tres grupos cluster; Semi-intensivo, Intensivo y Extensivos, dentro de

las variables evaluadas la superficie ganadera, Carga animal y Producción de carne mostraron diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0.05$).

Se identificaron tres prácticas silvopastoriles presentes en las unidades de producción; árboles dispersos en potrero fue la que representó al 100%, seguido de cercas vivas con 40% y solo el 23% bancos forrajeros, y el uso va desde forraje para el ganado, sombra, leña, madera. Dentro de las especies con más árboles por hectárea más se encontraron; *Q. peduncularis*, *S. jambos*, *L. pulverulenta*, *Pinus*, *F. occidentalis*, *M. tenuiflora*, *P. dulce*, en árboles dispersos en potrero. Para cercas vivas; *Q. peduncularis*, *G. sepium*, *F. occidentalis*, *A. squamosa*, *P. dulce*, *G. ulmifolia*. Finalmente para bancos forrajeros; *L. leucocephala*, *G. ulmifolia*, *G. sepium* y *P. dulce*. El carbono almacenado en biomasa arbórea fue mayor en árboles dispersos en potrero (6.8 Mg ha^{-1}), con respecto a las cercas vivas (Mg ha^{-1}), se tuvieron dos zonas distintas en el área de estudio por lo cual entre zonas no hubo diferencias estadísticas significativas ($p=0.05$). Por su parte el carbono almacenado en suelo no fue significativo en las tres prácticas y la zona, ya que los rangos fueron de 2.2 a 2.7 Mg ha^{-1} , sin embargo el nitrógeno fue significativo únicamente cuando se compara la zona (0.22% y 0.15%), mismo caso para el fósforo ya que presentó diferencias entre zonas ($z= 4.18$ y $p= 0.05$). Finalmente la relación Carbono/Nitrógeno indica que el proceso de descomposición de la materia orgánica es eficiente debido a que los rangos encontrados están dentro de parámetros óptimos (14.9 a 23.9) en ambas zonas.

1. Introducción

El cambio climático constituye en uno de los más serios desafíos para la humanidad, debido a las consecuencias como el aumento de la temperatura media del planeta, crecimiento del nivel del mar, deshielo de los casquetes polares y los glaciares, los cambios en las corrientes oceánicas y en los patrones del clima (Hartmann *et al.*, 2013). La producción animal es fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en todo el mundo. La alimentación del ganado en el trópico es principalmente a base de forrajes con bajos contenidos de proteína cruda, carbohidratos solubles y alta concentración de fibra. Como consecuencia, el consumo por los rumiantes genera pérdida de energía, lo cual aumenta la producción de calor e incrementa gas metano (CH₄), mismo que contribuye al calentamiento global. La contribución del ganado a las emisiones mundiales de los GEI antropogénico representan entre el 7 Gt de CO₂-eq/año o el 18 % de las emisiones totales (FAO, 2013). En otro sentido la conversión de tierras forestales a pastizales para establecer la pastura es otra fuente importante de emisiones de CO₂ en el sector ganadero, especialmente por la pérdida de biomasa arbórea y carbono orgánico del suelo (COS). En México, la conversión de tierras forestales a pastizales representa una pérdida de 31 a 52% de COS dependiendo el clima y tipo de vegetación nativa (Aryal *et al.*, 2018).

En este contexto los sistemas silvopastoriles (SSP), representan una alternativa de adaptación y mitigación al cambio climático, ya que se logra el almacenamiento de carbono en biomasa aérea y suelo y es un sistema que promueve la diversidad de especies en un mismo espacio, situación que combina simultáneamente la alimentación de los rumiantes aumentando la digestibilidad ruminal y de esta manera se reduce la emisiones de CH₄ entérico (Nair, 2012). El almacenamiento de carbono en ecosistemas naturales, así como en los sistemas agroforestales, se da mediante el proceso de fotosíntesis. Durante este proceso, el CO₂ se transfiere de la atmósfera al tejido vegetal y luego con senescencia hacia el suelo (Chapin *et al.*, 2006). Si el tiempo medio de residencia del carbono en tejido vegetal es largo (60 años o más), se habla de un proceso biológico de captura de carbono, el cual contribuye a mitigar los las emisiones de GEI (Schlesinger, 1997). Además que desempeñan un papel crucial en la reducción de los impactos negativos de la agricultura en la conservación de la biodiversidad, ya que retienen una parte sustancial de las especies presentes en los remanentes de vegetación original dentro de los sistemas silvopastoriles.

Sin embargo, se desconocen las características que poseen las unidades de producción ganadera, así también la capacidad de almacenamiento de carbono que los sistemas silvopastoriles generan en biomasa aérea y suelo en las comunidades de la Reserva de la Biosfera de la Sepultura en Chiapas. Es

importante conocer las diferencias entre sistemas ganaderos, porque de esta manera se logra percibir el estado actual de los mismos, es decir la eficiencia o deficiencia que se pueden presentar entre unidades de producción ganadera debido a factores como; superficie ganadera, carga animal, producción de leche y/o carne, nivel de infraestructura. Además es necesario entender el impacto que tiene la incorporación de los árboles (prácticas silvopastoriles) en estas unidades de producción, en ese sentido resultan favorables en el ambiente porque mejoran la fertilidad de los suelos. La influencia de los árboles manifiesta aumentos nutricionales en los componentes (árboles, pasto, animal) ya que los nutrientes que se forman por medio de la hojarasca de los árboles se trasladan desde el suelo hasta la superficie. Las investigaciones apuntan al incremento de carbono orgánico, nitrógeno, fósforo y potasio (entre otros) en el suelo de potreros con árboles ya que se mejora el reciclaje de los nutrientes.

Ante esta situación la presente investigación plantea el estudio de las prácticas silvopastoriles en comunidades de la Reserva de la Biosfera de la Sepultura, en Chiapas, por lo que se plantearon los siguientes objetivos;

1.1. Objetivo general

Cuantificar el almacenamiento de carbono en biomasa aérea y suelo de prácticas silvopastoriles, en unidades de producción ganadera en comunidades de la Reserva de la Biosfera La Sepultura, Chiapas.

1.1.2. Objetivos específicos

- a) Caracterizar las unidades de producción ganaderas en comunidades de la Reserva de la Biosfera de la Sepultura
- b) Caracterizar las prácticas silvopastoriles presentes en unidades de producción ganadera del área de estudio en función de composición y estructura
- c) Cuantificar el almacenamiento de carbono en biomasa de árboles utilizados en prácticas silvopastoriles
- d) Evaluar el efecto de las prácticas silvopastoriles sobre el contenido de carbono orgánico en el suelo.

2. Revisión de literatura

2.1. Cambio climático

Calentamiento global y cambio climático son conceptos estrechamente interrelacionados que en ocasiones son confundidos o utilizados como sinónimos. Son fenómenos provocados total o parcialmente por el aumento en la concentración de gases de invernadero en la atmósfera, principalmente el CO₂ relacionado directa o indirectamente con actividades humanas como el uso de combustibles fósiles y deforestación (Gonzales, 2003).

Las emisiones antropogénicas acumuladas de gases de efecto invernadero (GEI) desde la era preindustrial han experimentado grandes aumentos en las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Las emisiones antropogénicas totales de GEI han seguido aumentando entre 1970 y 2010 con mayores incrementos absolutos entre 2000 y 2010, a pesar del creciente número de políticas de mitigación del cambio climático. Las emisiones antropogénicas de GEI en 2010 alcanzaron la cifra de 49 ± 4.5 Gt CO₂-eq año⁻¹. Las emisiones de CO₂ proveniente de la combustión de combustibles fósiles y los procesos industriales contribuyeron en torno al 78% del aumento total de emisiones de GEI. A nivel mundial, el crecimiento económico y el crecimiento demográfico son los motores más importantes de los aumentos en las emisiones de CO₂ derivadas de la quema de combustibles fósiles. Ante esto la evidencia más sólida y completa de los impactos observados del cambio climático corresponde a los sistemas naturales (IPCC, 2014).

La emisión de los gases de efecto invernadero han determinado un incremento de la temperatura promedio de aproximadamente un grado centígrado en el último siglo, lo que ha generado un aumento de aproximadamente 17 centímetros en el nivel del mar. El calentamiento de los mares y océanos provoca la pérdida de la biodiversidad marina, reduce la captura de dióxido de carbono y hace retroceder la cobertura de hielo en los casquetes polares (Herrán, 2012).

2.2. La ganadería como fuente emisor de GEI¹

En América Latina (AL) se han observado importantes cambios en la precipitación y aumentos en la temperatura. Además, los cambios en el uso del suelo han intensificado la explotación de los recursos naturales y promovido los procesos de degradación de áreas agropecuarias (Schroth *et al.*, 2009).

En décadas recientes, la producción ganadera ha crecido con rapidez, particularmente en el mundo en desarrollo. De las 198 millones de hectáreas que componen el territorio mexicano, alrededor de 114 millones están dedicadas a la

¹ Gases de efecto invernadero

ganadería Esto equivalente al 58% del uso del suelo del territorio nacional (INEGI, 2012). Esta expansión del sector ganadero está ejerciendo una presión cada vez mayor sobre los recursos naturales mundiales: los pastizales se ven amenazados por el deterioro; se están destruyendo bosques para plantar piensos, los recursos hídricos se están volviendo escasos; la contaminación del aire, el suelo y el agua están aumentando y se están perdiendo los recursos zoogenéticos adaptados a cada lugar. Alrededor de un 20 % de los pastos del mundo y un más de un 70 % de los que se encuentran en zonas secas se han deteriorado en cierta medida, casi siempre por pastoreo excesivo, compactación y erosión generados por la cría de ganado.

La actividad agrícola en el sureste de México, en especial la ganadería bovina, representa una importante actividad social y productiva en familias rurales y campesinas; esto explica que la actividad agropecuaria en el sureste de México contribuya con un alto porcentaje del total de las emisiones de GEI en esta región (Jiménez *et al.*, 2010).

Respecto a la población bovina en Chiapas, es la tercera más grande en el país, superada por los estados de Veracruz y Tabasco. Chiapas reportó en el 2013 que existían alrededor de cerca de 2700 000 cabezas de bovinos (SIAP, 2015).

La producción animal es una fuente importante de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) en todo el mundo. Dependiendo del enfoque utilizado para la cuantificación y del tipo de emisiones estudiadas, diferentes instituciones (IPCC, FAO, EPA y otras) han calculado que la contribución del ganado a las emisiones mundiales de los GEI antropogénico representan entre el 7 y el 18 por ciento de las emisiones totales.

El sector pecuario representa una fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en todo el mundo, al generar dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) a lo largo del proceso productivo. El ganado contribuye con el cambio climático al emitir GEI, bien sea directamente (P. ej., a través de la fermentación entérica o el estiércol) o indirectamente (P. ej., por las actividades desarrolladas durante la producción de piensos y la conversión de bosques en pastizales). Se ha calculado, con base en el análisis del ciclo de vida (ACV), que el sector emite aproximadamente 7.1 Gt de CO₂-eq/año, o cerca del 18 por ciento del total de las emisiones de los GEI antropogénicas (Steinfeld *et al.*, 2009).

Las emisiones de metano entérico representan el 30% de las emisiones mundiales de metano. Debido a que el metano es un contaminante climático de vida corta, la reducción de las emisiones de metano entérico puede ayudar a mitigar el cambio climático dentro de nuestro actual tiempo de vida (FAO, 2018).

De acuerdo al PCCCH (2011), en el año 2005 Chiapas emitió 27,776.15 Gg de CO₂.eq. El principal sector emisor fue el cambio de uso de suelo y silvicultura (USCUSS) con 57%, que fueron emitidas principalmente por la deforestación y degradación forestal para la transformación en áreas de agricultura para granos básicos, cultivos comerciales y pastizales para ganadería bovina. El segundo sector en el rango de emisiones fue el agrícola (incluyendo al ganadero), emitiendo 19%. Es importante destacar que de este sector, la ganadería bovina contribuyó con más de 80% de las emisiones de GEI, la cuales fueron debido a las emisiones de metano provenientes de la fermentación entérica del ganado.

2.3. Intensificación de la ganadería

En algunas áreas forestales protegidas del mundo, la actividad ganadera se le puede responsabilizar parcialmente de la deforestación, erosión y extinción de especies (Dewalt, 1983, Bushbacher, 1986, Fleischner, 1994).

La ganadería extensiva de bovinos es un sistema de producción muy utilizado en México, este sistema consiste en un bajo manejo, sin una intensificación de la producción e incluye el libre forrajeo del ganado dentro de los bosques subtropicales de montaña. El crecimiento de esta actividad se debe a que requiere de pocos insumos para su manutención y es una alternativa productiva viable para campesinos-ganaderos en donde la agricultura ya no es redituable (Lazos, 1996).

La intensificación de las fincas ganaderas se define como la utilización de insumos externos de alta calidad alimenticia, fertilización para el manejo de potreros, recursos genéticos más productivos, mejores medidas sanitarias y prácticas de manejo más eficientes para aumentar la productividad (Brookfield 1993, Serrao y Toledo 1993, Shriar 2000). Según algunos investigadores, las prácticas de intensificación en América Latina reducirán la presión sobre los bosques, resultando en una mayor protección de estas áreas (Serrao y Toledo 1993).

2.4. Alternativas al cambio climático por efectos de ganadería

La intensificación ganadera con generación de servicios ambientales debe emplear principios agroecológicos. Se busca elevar al máximo la eficiencia de varios procesos biofísicos esenciales como son la fotosíntesis en tres o cuatro estratos de vegetación; la fijación de nitrógeno y el reciclado de nutrientes con la finalidad de aumentar la producción de biomasa e incrementar el contenido de materia orgánica del suelo. Los insumos o entradas de los sistemas silvopastoriles proceden en forma principal de procesos biológicos y no de combustibles fósiles o compuestos sintéticos (Murgueitio *et al.*, 2011).

El incremento en la productividad primaria del agroecosistema ganadero al tener más árboles, arbustos forrajeros, arvenses y pastos contribuye a mitigar el cambio climático a través de varios mecanismos (Murgueitio *et al.*, 2013).

Existen alternativas como los sistemas silvopastoriles, los cuales son sistemas complejos y, según el diseño y manejo, tienen potencial para la adaptación al cambio climático debido a que estos sistemas ofrecen múltiples beneficios en la productividad de la finca y en la generación de servicios ambientales. En el período seco, las leñosas forrajeras tienen la capacidad de producir forraje en calidad y cantidad para cubrir los requerimientos nutricionales del ganado para mantenerse y producir leche y/o carne de manera satisfactoria o al menos evitar que se mueran; todo dependerá de la cantidad y calidad de la dieta basal a base de pasturas (Sepúlveda, *et al.*, 2009).

El uso de árboles en sistemas de producción tropical tiene un efecto positivo en la reducción del estrés calórico al generar microclimas en las áreas de pastoreo, los cuales permiten a los animales mantenerse en ambientes con temperaturas dentro o cerca de zona de termo-neutralidad. Bajo la copa de los árboles se ha encontrado reducciones de temperatura entre 2 a 9° C con relación a la encontrada en áreas abiertas (Wilson y Ludlow, 1991; Reynolds, 1995).

Los sistemas silvopastoriles, a través de la producción de sombra, reducen el estrés calórico, Pezo e Ibrahim (1998) mencionan tienen efectos positivos sobre el consumo voluntario, la producción de carne y/o leche, la reproducción en el hato y la sobrevivencia de los animales.

Betancourt *et al.* (2003) reportaron incrementos en el tiempo de pastoreo de 4.7% en áreas de alta cobertura arbórea en comparación con áreas de baja cobertura esto coincide con Restrepo (2001) quien observó en la época seca mayores ganancias de peso (2 a 5%) en animales que pastoreaban potreros con alta densidad de árboles.

2.5. Sistemas silvopastoriles

En América Latina, existen sistemas de producción que demuestran la importancia de tener sistemas ganaderos tropicales compatibles con los conceptos del desarrollo sostenible (Ibrahim *et al.*, 2006), que sean amigables con el manejo de la diversidad biológica.

El sistema silvopastoril es una combinación natural o una asociación deliberada de uno o de varios componentes leñosos (arbustivos y/o arbóreos) dentro de una pastura de especies de gramíneas y de leguminosas herbáceas nativas o cultivadas y su utilización con rumiantes y herbívoros en pastoreo (Combe y Budowski, 1979; Nair, 1985).

Los sistemas silvopastoriles si bien no son de uso generalizado cada día se están difundiendo más por los beneficios probados que representan para el productor. Los agricultores y ganaderos se han interesado en el manejo de árboles en pasturas debido a su valor para proveer alimento de alto valor nutritivo especialmente durante la época seca, y por su valor económico como madera y fuente de servicios ambientales por ejemplo sumidero de carbono y conservación de la biodiversidad (Harvey y Haber, 1999; Souza *et al.* 2000).

El manejo silvopastoril sustentable podría mitigar el aumento de la emisión del CO₂ a la atmósfera ya que este gas es utilizado por las plantas para realizar la fotosíntesis y por lo tanto el C es capturado, almacenado o secuestrado para mantener las estructuras leñosas de los organismos vegetales (Brown y Schroeder, 2000). La conversión de pasturas a sistemas silvopastoriles (por ejemplo plantaciones con pastoreo, bancos para la producción de forraje, regeneración natural de especies forestales sobre pasturas) puede reducir las pérdidas de carbono del suelo.

El potencial de los SSP² (suelos y biomasa) para almacenar carbono puede variar entre 20 y 204 t ha⁻¹, estando la mayoría de este carbono almacenado en los suelos, pudiendo incluso tener incrementos de C anual que pueden variar entre 1.8 y 5.2 t ha⁻¹ (Ibrahim *et al.*, 2005).

2.5.1. Tipos de sistemas agroforestales

Cercas vivas

Las cercas vivas son comunes en América Central, ya que sirven para donde delimitan los campos agrícolas, las pasturas y los límites de ranchos, y son parte de redes de cobertura arbórea a lo largo de los paisajes.

La presencia de cercas vivas no solo se da en áreas biofísicamente diversas, con diferentes elevaciones, zonas ecológicas y tipos de suelo, sino también en aquellas con distintas culturas, historias de uso del suelo y producción agrícola, principalmente plantaciones de café, pasturas y jardines (Sauer 1979, Budowski 1987).

El rol ecológico de las cercas vivas como potenciales hábitats, recursos y corredores para la vida silvestre han sido particularmente descuidados, con la excepción de unos pocos estudios llevados a cabo en México (Estrada *et al.*, 1993)

Aunque su composición y estructura varían de un sitio a otro, la mayoría de las cercas vivas consisten de una o dos especies perennes leñosas (aunque en

² Sistemas silvopastoriles

algunas ocasiones se incluyen especies herbáceas) que se plantan a intervalos regulares, en línea recta, adyacentes a los potreros de cultivo o a lo largo de los límites de la finca (Sauer, 1979).

Las cercas vivas se definen como elementos lineales divisorios arbolados que separan áreas de pasturas, áreas de cultivos y algunos parches de bosques (Harvey *et al.*, 2005).

Constituyen una práctica agroforestal de lindero que utiliza arboles / arbustos que pueden ser podados a intervalos para suplir material como postes, forraje, abonos verde, leña (Otárola, 1995).

Barreras vivas

Consisten en líneas de plantas, árboles, arbustos o pastos perennes que se plantan en dirección perpendicular a la pendiente de una ladera para evitar o reducir la erosión hídrica, retener e infiltrar agua en el suelo o mejorar la fertilidad del suelo. La selección de una u otra especie depende de varios factores, incluyendo el cultivo y la intensidad del manejo (Sepúlveda, 2009).

Cultivo en callejones

Constituyen una práctica de gran potencial dentro de este grupo; ese tipo de sistema agroforestal simultáneo fue desarrollado en Nigeria. Consiste en la asociación de árboles o arbustos (generalmente fijadores de nitrógeno) intercalados en franjas con cultivos anuales. Los árboles o los arbustos se podan periódicamente para evitar que se produzca sombra sobre los cultivos, y para utilizar los residuos de la poda como abono verde para mejorar la fertilidad del suelo, y como forraje de alta calidad. Un beneficio adicional es el control de malezas (Mendieta, 2007).

Banco forrajero

Los bancos forrajeros pueden ser utilizados bajo corte y acarreo, ramoneo y ramoneo más pastoreo (Cruz y Nieuwenhuyse, 2008). El consumo de materia seca en las diferentes modalidades puede llegar hasta el 0,5% del peso vivo de los animales (Mahecha *et al.* 2005).

Árboles dispersos en potrero

Los árboles o arbustos dispersos en potrero pueden jugar un papel muy importante como estrategia de adaptación al cambio climático en fincas ganaderas. En las diferentes zonas agroecológicas los productores mantienen entre 68 y 107 especies de leñosas (Villanueva *et al.* 2004, Ruiz *et al.* 2005). Las

pasturas con una cobertura arbórea entre 20% y 30% ofrecen beneficios a nivel económico y ecológico en comparación con aquellas pasturas degradadas. Sistemas silvopastoriles: una herramienta para la adaptación al cambio climático de las fincas ganaderas en América Central con pocos o sin árboles. Desde el punto de vista económico, el efecto de la sombra incrementa la producción de leche dentro de un rango de 10% a 22% en comparación a potreros sin árboles. Esto se atribuye a una menor temperatura ambiental bajo sombra de los árboles, que reduce el estrés calórico del ganado, lo cual está asociado con una baja tasa respiratoria; esto permite gastar menos energía y consumir más alimento (Souza, 2002; Betancourt *et al.*, 2003).

Estos árboles son retenidos en los potreros por los productores ya que cumplen diversas funciones para el productor y el ambiente, como sombra, leña, madera, forrajes. Además, favorecen hábitat de ciertas especies y mejoran las conectividades entre paisajes arbolados, pero empeoran la conectividad de los demás tipos de cobertura (Esquivel *et al.*, 2011; Harvey *et al.*, 2011).

2.6. Ventajas de los árboles dentro de sistemas ganaderos

Secuestro de carbono de los sistemas silvopastoriles

Los sistemas silvopastoriles juegan un papel importante en el secuestro de carbono en los suelos y en la biomasa leñosa (Beer *et al.*, 2003). Sistemas silvopastoriles bien manejados pueden mejorar la productividad (Bustamante *et al.*, 1998; Bolívar *et al.*, 1999), mientras secuestran carbono (López *et al.*, 1999; Andrade, 1999), además del beneficio económico que representa para los productores. El carbono total en los sistemas silvopastoriles varía entre 68 – 204 t ha⁻¹, mucho de este se encuentra almacenado en el suelo, mientras que los incrementos anuales varían entre 1.8 a 5.2 t ha⁻¹. La cantidad de C fijado en los sistemas silvopastoriles es afectada por el tipo de especies de gramíneas y leñosas, la densidad y la distribución espacial de las leñosas y de la tolerancia de las especies herbáceas a la sombra (Nyberg y Hogberg, 1995; Jackson y Ash, 1998).

Carbono en el suelo

La biomasa sobre el suelo en sistemas silvopastoriles se divide principalmente en biomasa leñosa y biomasa del estrato herbáceo: pastos, leguminosas, hierbas, estados juveniles y otros (Snowdon *et al.*, 2001). Los sistemas radiculares representan la biomasa bajo el suelo y constituyen otro sumidero de carbono. En proyectos de fijación de carbono este componente es importante, ya que corresponde a entre un 10 y un 40% de la biomasa total (MacDiken, 1997).

Lok (2006), menciona que los árboles en sistemas silvopastoriles cumplen funciones ecológicas de protección del suelo y disminuyen los efectos directos del sol, el agua y el viento. También pueden modificar su estructura (por la adición de hojarasca, raíces y tallos) e incrementar los valores de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de N, P y K (Betancourt *et al.* 2005). Otros estudios señalan mejor aprovechamiento de los nutrientes del suelo y mayor disponibilidad del pasto, cuando estos sistemas se encuentran asociados a especies arbóreas, debido a la mejora de la fertilidad del suelo y a las condiciones de sombra que se crean (Hernández y Sánchez, 2006). El efecto de los árboles en la fertilidad del suelo no solo se debe esperar en las capas superficiales, sino que puede ocurrir en las más profundas, a medida que aumenta el tiempo de explotación del sistema.

Adaptación al cambio climático

El incremento en la productividad primaria del agroecosistema ganadero al tener más árboles, arbustos forrajeros, arvenses y pastos vigorosos contribuye a mitigar el cambio climático a través de varios mecanismos, entre ellos Incremento de los depósitos de carbono en el suelo y la vegetación leñosa, menores pérdidas de nitrógeno hacia la atmósfera por rápido y eficiente reciclaje de excretas, reducción de emisiones de metano por mayor eficiencia en el rumen del ganado. (Murgueitio *et al.*, 2011).

3. Materiales y métodos

3.1. Área de estudio

La Reserva de la Biosfera La Sepultura se localiza en la región suroeste del estado de Chiapas, en la porción noroeste de la Sierra Madre (Fig. 1). Limita al norte y noreste con la Depresión Central de Chiapas, al este con cumbres de la Sierra Madre en su continuación hacia el Soconusco, al sur con la Planicie Costera del Pacífico de Chiapas y al oeste con las estribaciones de la misma Sierra Madre en su continuación hacia el estado de Oaxaca (Hernández, 1999).

Comprende parte de los municipios de Arriaga, Cintalapa, Jiquipilas, Tonalá, Villa Corzo y Villaflores, Chiapas; tiene una superficie total de 1,673,098,625 hectáreas, de las cuales 13,7592,125 corresponden a cinco zonas núcleos discontinuas (Cuenca del Arenal con 18,118,662.5 ha; San Cristóbal con 6,023,075 ha; La Palmita con 19,376,750 ha; Tres Picos con 72,672,312 ha; y La Bola con 21,401,325 ha); la zona de amortiguamiento comprende 1,535,506,500 ha (D.O.F., 6 de junio de 1995). Se localiza entre las coordenadas geográficas 16° 00' 18" y 16° 29' 01" de latitud norte y 93° 24' 34" y 94° 07' 35" de longitud oeste. Presenta rangos altitudinales que van desde los 60 m en localidades del municipio de Arriaga, en la vertiente del Pacífico, hasta los 2,550 msnm en el cerro Tres Picos, límite entre los municipios de Villaflores, Villa Corzo y Tonalá (SEMARNANP, 1999).

La superficie que comprende en cada uno de los municipios donde se ubica, se distribuye de la siguiente manera: Villaflores 25% (41,827 ha); Arriaga 21% (35,135 ha); Tonalá 15% (25,097 ha); Jiquipilas 14% (23,423 ha); Villa Corzo 13% (21,750 ha) y Cintalapa el 12% (20,077 ha). Las cabeceras municipales más cercanas son Arriaga y Tonalá, distantes 5 km en la porción sur y suroeste en la Planicie Costera del estado; ambas poblaciones aglutinan a poco más de 53,000 habitantes (INEGI, 1996).

Las comunidades que enmarcan esta investigación se encuentran en el área que comprenden la REBISE³, y a su vez distribuidas en dos regiones;

Frailasca: en esta región las comunidades en estudio son, Los Ángeles, California, Flores Magón, Josefa Ortiz de Domínguez, Tierra y Libertad y Villa hermosa.

Istmo-Costa: en la región costa el muestreo se realizó en seis comunidades dentro de las cuales se encuentran; Raymundo Flores, Ranchería Tiltepec, López Mateos, 05 de febrero y Tiltepec.

³ Reserva de la Biosfera La Sepultura

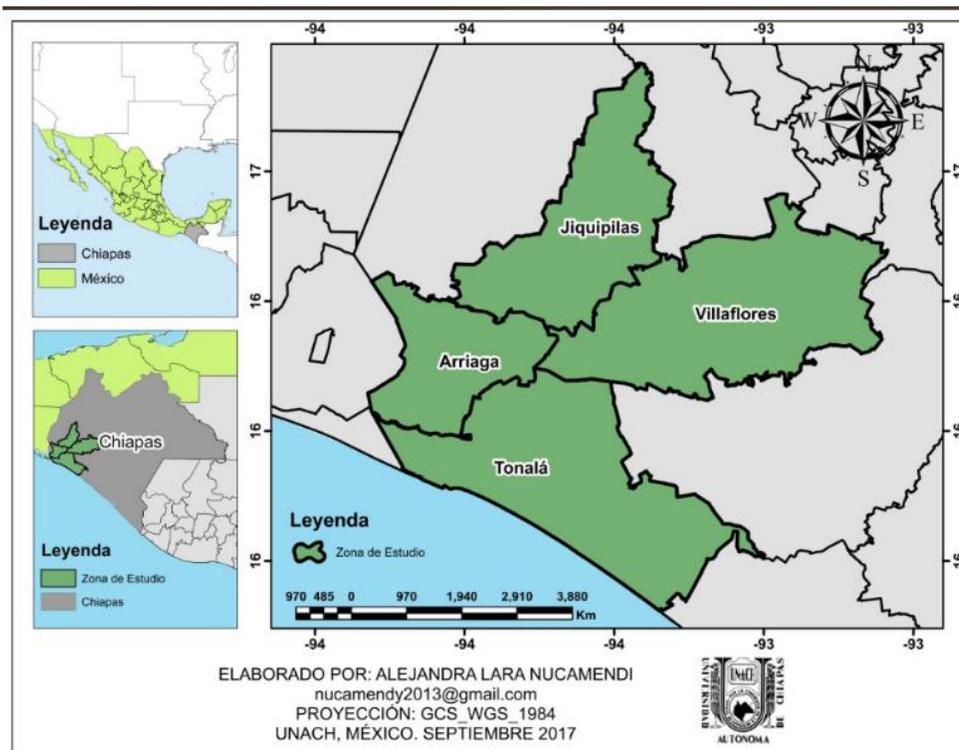


Figura 1. Área de estudio

3.2. Diseño de investigación

Se llevó a cabo una investigación de tipo mixto que incluye un análisis cuantitativo y cualitativo de la información. Para la parte cuantitativa se realizaron mediciones dasométricas sobre los árboles incluidos en las prácticas silvopastoriles, y también se complementó con análisis de muestras de suelo. Por otra parte, el enfoque cualitativo incluye la caracterización de las unidades de producción ganadera y la identificación de prácticas silvopastoriles, misma que fue ejecutada por medio de participación activa de los productores de las distintas comunidades.

3.3. Caracterización de unidades de producción ganadera

La caracterización de las unidades ganaderas se estructuró a través de las siguientes etapas.

A. Descripción de la población

El estudio se realizó con una muestra de 30 productores que estaban dentro del padrón del proyecto Biodiversidad y Paisajes Ganaderos Agrosilvopastoriles Sostenibles (BioPaSOS), mismos que se dedicaban a la actividad ganadera. Se verificó el área del rancho y entrevistó al propietario y/o administrador. Dentro del padrón; 18 productores se encontraban ubicados en la región frailesca y 12 en la zona Istmo-Costa. Cabe señalar, que los predios donde los productores practican ganadería pertenecen a comunidades que se localizan dentro del área que comprende la REBISE.

B. Integración base de datos

Se realizó entrevista semi-estructurada a los productores que incluyen los siguientes rubros; 1) Datos generales, 2) Extensión territorial, 3) Uso de suelo, 4) Sistema de producción, 5) Infraestructura, 6) Maquinaria y equipos y 7) Fuentes de energía. La información obtenida en este sondeo se utilizó para integrar la base de datos en el programa Excel *versión* 2010.

C. Selección de variables

Se seleccionaron variables que tenían coeficiente de variación superior al 50%, con la intención descartar variables de bajo poder discriminante en la construcción de grupos. Con respecto a lo anteriormente mencionado las variables seleccionadas fueron; a) superficie total, b) superficie dedicada a la ganadería, c) número de potreros, e) unidades animales, f) carga animal, g) número de prácticas, h) infraestructura y equipos, i) producción anual de leche, j) producción anual de carne.

D. Aplicación de la técnica

Se aplicó análisis Clúster por método de Ward de varianza mínima, con una línea semi-parcial calculada al 13% misma que clasificó los grupos de acuerdo a las variables seleccionadas. Para asegurar que la información que se obtuvo del análisis clúster estuviera correcta se aplicó un análisis de varianza (Duncan 5%).

3.4. Identificación y descripción de las Prácticas Silvopastoriles

Por medio de talleres participativos, entrevistas semi-estructuradas y recorridos de campo se identificaron prácticas silvopastoriles presentes en las unidades de producción ganadera de las comunidades en estudio.

- Talleres participativos

Se realizaron con representantes de los diferentes municipios, con la intención de identificar prácticas silvopastoriles presentes en los predios, especies que utilizan y usos que tienen estas especies. Para los talleres se usaron herramientas participativas con la intención de concretizar un enfoque participativo en el proceso de desarrollo (Geilfus, 2002).

- Entrevista semi-estructurada

Se utilizó entrevista semi-estructurada a cada productor con la finalidad de obtener información con respecto a características de las prácticas silvopastoriles (superficie, especies y usos).

- Recorridos de campo

Se realizaron con la finalidad de validar la información procedente de cada productor entrevistado es decir que las prácticas silvopastoriles tuvieran la superficie y especies en cada predio.

3.4.1. Selección de las parcelas de muestreo

3.4.1.1. Árboles dispersos en potreros

Se realizaron recorridos y sondeos de campo para identificar potreros con árboles dispersos. Con ayuda del propietario y/o administrador, se realizó un croquis del lugar para identificar la división de los potreros, luego se asignó aleatoriamente parcelas de una hectárea tal y como indica el cuadro 1.

Cuadro 1. Área de muestreo según la superficie dedicada a la actividad ganadera (Adaptado de Chavarría Oseguera, 2010)

Área del ssp (ha.)	Dap	No. De parcelas	Parcelas (m ²)
≤ a 2	> 10 cm	Censo	*
2.1 a 5	> 10 cm	1	10,000
5.1 a 10	> 10 cm	2	10,000
10.1 a 30	> 10 cm	3	10,000
> 30	> 10 cm	10% del área dedicada a la ganadería	10,000

*El censo incluye todos los árboles identificados en la parcelas menores a 2 hectáreas

3.4.1.2. Cercas vivas

Dentro de las prácticas importantes, se encontró a las cercas vivas, para este caso las unidades de muestreo fueron transectos de 100 metros lineales que a su vez se clasificaron en segmentos de 25 metros, midiendo solamente especies que presentaban DAP mayor a 10 cm (Figura 2). Cuando se identificaron cercas menores a la unidad de muestreo se realizó un censo de todos los árboles (es decir se realizó el muestreo en todos los árboles presentes en ese transecto menor a 100 m).

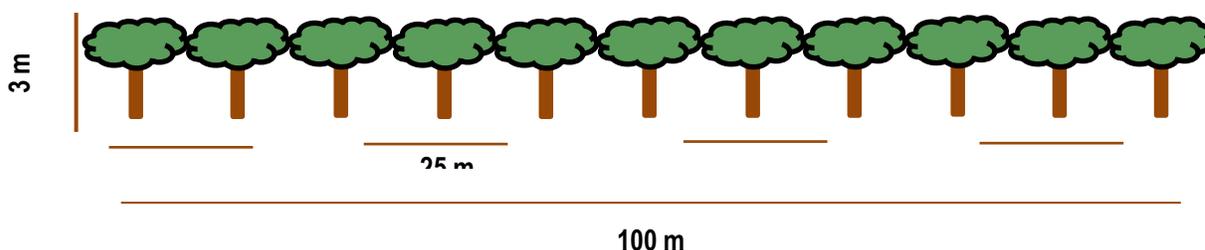


Figura 2. Establecimiento del transecto y parcelas para colecta de variables en unidades ganaderas de comunidades de la “Reserva de la Biosfera La Sepultura” según Chavarría, 2010

3.5. Variables medidas

3.5.1. Diámetro a la altura del pecho

Consiste en medir el DAP⁴ de todos los árboles que se encuentran en las parcelas de muestreo a una altura de 1.30 m, desde el suelo. Para este proceso se utilizó cinta diamétrica y luego se realizó la conversión al diámetro.

3.5.2. Altura del árbol

Para la medición de altura se tomó en cuenta; una distancia horizontal de 15 m, así como ángulo a la base y ángulo al ápice, ya que son parámetros que se requieren en la ecuación y calcular altura de los árboles. Los datos se obtuvieron por medio de un clinómetro y una cinta métrica (Figura 3). Para esto se utilizó la siguiente ecuación;

$$H = OC (\tan \alpha + \tan \beta)$$

Dónde:

H = Altura del árbol en metros (distancia AB)

OC = Distancia horizontal al árbol en metros

α = Ángulo del observador al ápice del árbol

β = Ángulo del observador a la base del árbol

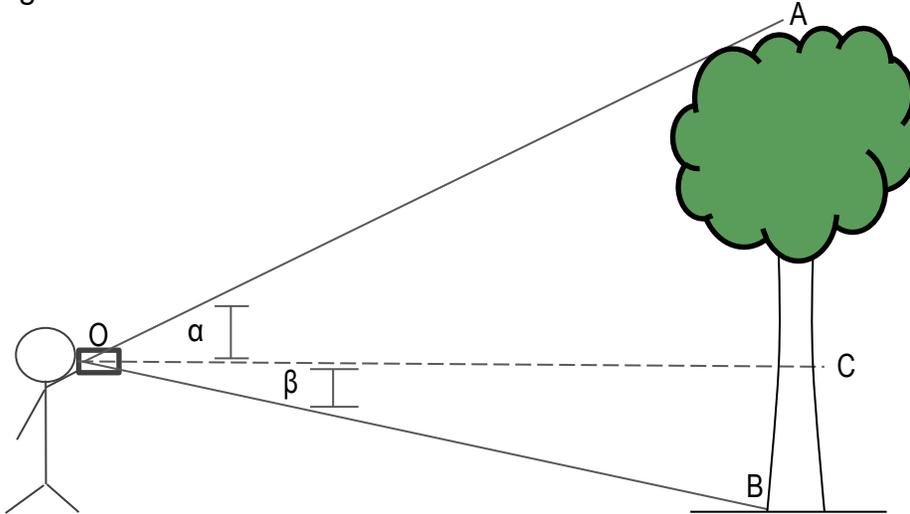


Figura 3. Representación visual de la medición de altura para árboles incluidos en prácticas silvopastoriles

⁴ Diámetro a la altura del pecho (1.30m)

3.5.3. Diámetro de copa

Para cada individuo se midió el ancho y largo de copa considerando dos direcciones Norte-Sur y Este-Oeste, donde se trazaron líneas (por medio de la observación) verticales para medir con una cinta métrica tomando en cuenta la proyección de la copa (Figura 4). Cuando la parcela de medición era densa se movía el tronco del individuo para tener una mejor proyección de la copa. Para el cálculo del diámetro de copa se utilizó el promedio de las longitudes de las dos direcciones (Norte-Sur y Este-Oeste).

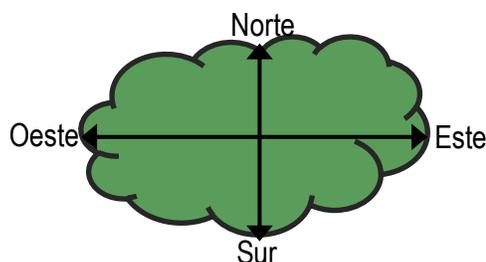


Figura 4. Medición del ancho y largo de copa de árboles incluidos en prácticas silvopastoriles

3.6. Área basal

El área basal es una variable importante que se utiliza para describir de alguna manera el estado de desarrollo de un árbol. Es claro que el AB no se mide de manera directa ya que esta variable se deriva de la medición del diámetro (DAP) o perímetro. En ese sentido el área basal se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$AB = \frac{\pi * DAP^2}{4}$$

4. Estimación de almacenamiento de carbono en biomasa arbórea

Se realizó el muestreo de árboles que están incluidas en prácticas silvopastoriles, cabe mencionar para que alguna especie sea considerada parte de un arbolado debe tener diámetro de altura de pecho (DAP) mayor a 7.5 además de estar incluida en una parcela de 400 m² (CONAFOR, 2011).

Se utilizó ecuaciones alométricas específicas a las familias taxonómicas para calcular biomasa aérea en árboles encontrados en prácticas silvopastoriles, además se usaron ecuaciones base de Chávez *et al.*, (2015), para generar una línea base y comparar los resultados de ambos métodos (uso de ecuaciones alométricas de acuerdo a cada especie/ ecuación propuesta de Chávez *et al.*, 2015) entre de la biomasa aérea en estos sistemas.

Cuadro 2. Ecuaciones alométricas de mejor ajuste para estimar biomasa aérea en función del dap, altura total y densidad aparente, en prácticas silvopastoriles

Ecuaciones alométricas *	Especie	Familia	Autores
$[\text{Exp}[-1.76]*[\text{DBH}^{\wedge 2.26}]]$	<i>Inga sp</i>	<i>Leguminosae</i>	Acosta <i>et al.</i> , 2002
$[0.0447]*[\text{DBH}^{\wedge 2}]*[\text{TH}]$	<i>Manilkara zapota</i>	<i>Sapotaceae</i>	Cairns <i>et al.</i> , 2003
$\text{AGB}_{\text{est}} = 0.0673X (\rho D^2 H)^{0.976}$	-	-	Chávez <i>et al.</i> , 2015
$\text{Exp}[-1.6200]*[\text{DBH}^{\wedge 2.1200}]]$	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Malvaceae</i>	Douterlungne <i>et al.</i> , 2013
$\text{BA} = 3,27e^{0.075(\text{DAP})}$	<i>Gliricidia sepium</i>	<i>Leguminosae</i>	Gómez-Castro <i>et al.</i> , 2010
$\text{LN}(\text{BA}) = -1,46 + 1,69\text{LN}(\text{DAP})$	<i>Leucaena leucocephala</i>	<i>Leguminosae</i>	Gómez-Castro <i>et al.</i> , 2010
$[0.5825]*[\text{DBH}^{\wedge 1.6178}]$	<i>Erythrina sp</i>	<i>Leguminosae</i>	Návar J. 2009
$[0.180272]*[\text{DBH}^{\wedge 2.27177}]$	<i>Liquidambar styraciflua</i>	<i>hamamelidáceas</i>	Rodríguez <i>et al.</i> , 2006
$0.01753d^{1.8261}h^{1.28397} + 0.02898d^{2.08978} + 0.00948d^{2.7493} + 0.04163d^{1.93601}$	<i>Pinus sp</i>	<i>Pinaceae</i>	Vargas-Larreta <i>et al.</i> , 2017
$0.01988 d^{2.28684}h^{0.52175} + 0.05621 d^{2.0764} + 0.11276 d^{1.52164}h^{0.53343} + 0.0377d^{1.42193}h^{0.70675}$	<i>Quercus peduncularis</i>	<i>Fagaceae</i>	Vargas-Larreta <i>et al.</i> , 2017

La biomasa aérea calculada con ecuaciones alométricas en el cuadro está representada en kilogramos. DAP= Diámetro a la altura del pecho (1.30m), d= Diámetro a la altura del pecho (1.30m), DHB= Diámetro a la altura del pecho (1.30m), T = Diámetro a la altura del pecho (1.30m), H= Altura total, p= Densidad de madera, D=Diámetro a la altura del pecho (1.30m), LN= Logaritmo natural, e= exponencial, h= altura total.

4.1. Biomasa en raíces

Se estimó carbono almacenado en raíces, para ello se consideró biomasa en la raíz por medio de la siguiente formula; (Cairns et al., 1997);

$$BR = exp -1.085 + 0.926 Ln BA$$

Dónde:

BR = Biomasa de raíces

BA = Biomasa aérea

5. Carbono orgánico del suelo

Para está variable se realizó un muestreo de campo donde se extrajeron muestras de suelo, lo anterior con un cilindro de 8 cm de diámetro por 10 cm de profundidad. El área de muestreo fue de 1000 m² para árboles dispersos, extrayendo una muestra por potrero (ya que de acuerdo a la superficie ganadera se calculaba el número de parcelas para muestreo). Para cercas vivas la unidad de muestreo fue de 100m lineales, la forma de muestreo fue de zigzag tomando en cuenta un ancho de 3 metros (es decir 3 metros dentro y fuera de la cerca, figura 5) como resultado se obtuvo tres muestras por cerca. Finalmente el muestreo en bancos forrajeros fue de 25 m², donde se extrajo una muestra al centro de cada banco (para ambos casos bancos de proteína y energía). Cabe señalar que las muestras de suelo se colectaron en cada una de las diferentes prácticas silvopastoriles identificadas en las unidades de muestreo.

Al término del periodo de extracción de las muestras, estas fueron desagregadas mediante la utilización de un martillo de madera, para su posterior tamizado en malla número 30, separando rocas, raíces, y cualquier partícula que no fuese suelo. El análisis de carbono orgánico del suelo (COS) y nitrógeno total se realizó en laboratorio del Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) a través de un analizador elemental Thermo Scientific flash 2000 C-N Soil Analyzer. El fósforo disponible se realizó a través del método de Bray y Kurtz (1945).

5.1. pH y conductividad eléctrica del suelo

Se estimó pH y conductividad eléctrica por medio de un potenciómetro regulado a temperatura ambiente de 25°C y calibrado con sustancias Buffer de pH 4 y 7. Para ello se pesaron 5 gr de muestra de suelo (previamente tamizadas), se mezcló con agua destilada en proporción de 2:1, luego se introdujo el electrodo del potenciómetro al recipiente que contenía la mezcla homogénea (agua destilada y suelo), finalmente se realizó lectura de pH y conductividad eléctrica para luego registrarla en una tabla.

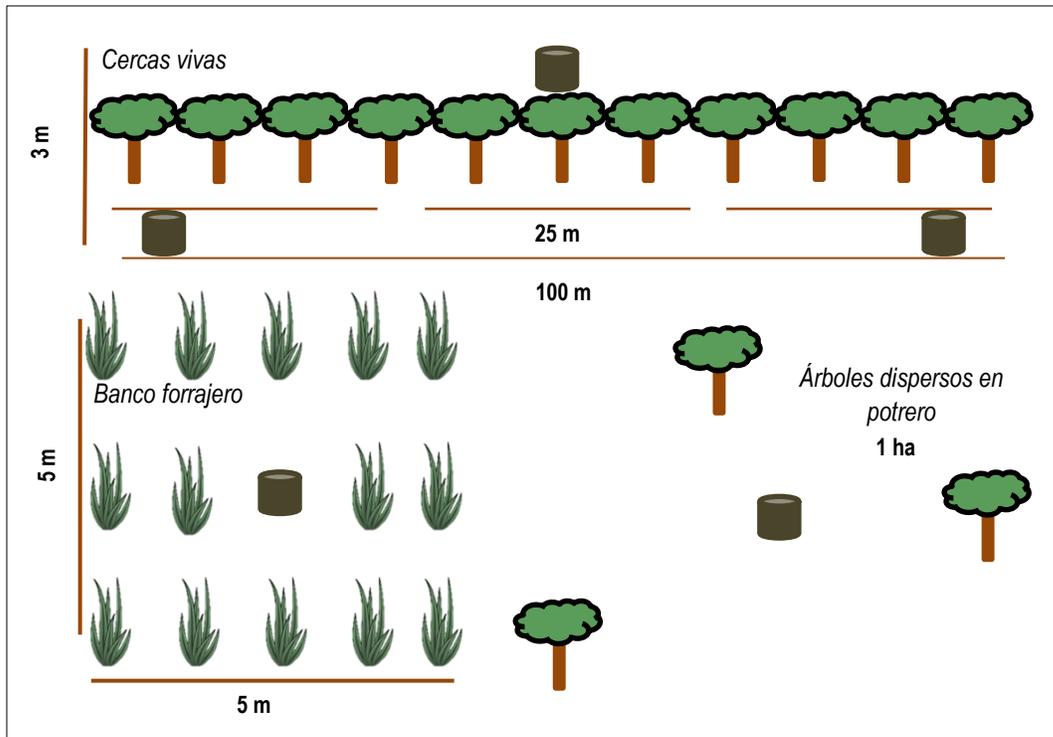


Figura 5. Diseño del muestreo de suelo en diferentes prácticas silvopastoriles de unidades de producción ganadera de la REBISE

5.2. Coeficiente de similitud

Los coeficiente de biodiversidad son utilizados para para describir lo diversos que es un lugar dependiendo el número de especies así como los individuos de cada especie. En específico el coeficiente de Sorensen permite comparar dos comunidades (en este caso dos zonas), por medio de la ausencia / presencia de las especies en las comunidades. Para lo cual se utilizó la siguiente formula;

$$cc = \frac{2C}{S1 + S2} * 100$$

Donde;

CC= Coeficiente de similitud

C= número total de especies en común

S= total de especies en una parcela

Análisis de la información

Se utilizó análisis multivariados (análisis clúster con método de Ward y línea semi-parcial al 13%) utilizando el paquete estadístico SAS, 2000. Además de ANOVA de una vía (para hacer las comparaciones de C en biomasa arbórea y suelo de prácticas silvopastoriles) y factorial (para comparar C entre prácticas y zonas de estudio, donde la variable dependiente fue carbono y las independientes fueron;

Prácticas silvopastoriles, y región) con el paquete estadístico de STATISTICA 8.0. Para los datos que no cumplían con los supuestos de ANOVA, se realizó un análisis de Kurskal-Wallis y luego de Mann-Whitney.

6. Resultados

6.1. Caracterización de las unidades de producción ganadera

En la figura 2, se presenta el dendrograma del análisis clúster, en el cual se identificaron tres diferentes grupos de unidades ganaderas, mismos que están constituidos por; 7, 8 y 15 unidades ganaderas respectivamente. Para este análisis se consideraron variables como; superficie total del rancho, superficie dedicada a la ganadería, número de potreros, tamaño del hato, producción anual de leche y carne y otras relacionadas con el nivel de intensificación (carga animal, unidades animales, prácticas silvopastoriles e infraestructura).

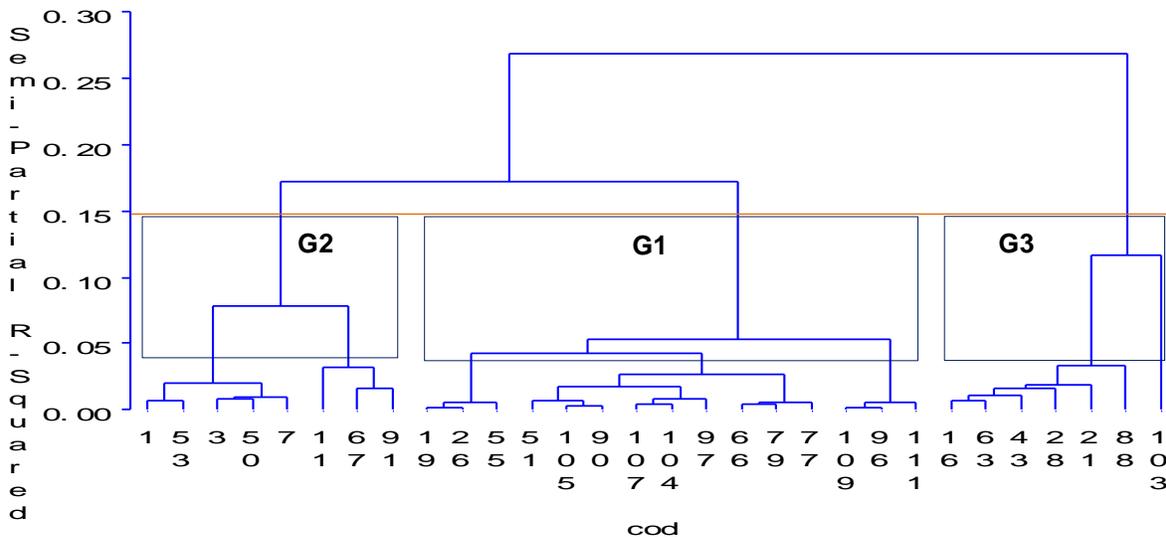


Figura 6. Dendrograma del agrupamiento de 30 productores de comunidades de la REBISE tomando en cuenta variables productivas, extensión ganadera e intensificación

En el cuadro 1, se presentan los resultados del análisis de varianza y comparación de medias de las nueve variables incluidas en el análisis clúster de las unidades de producción ganadera, mismo que permitió diferenciar a tres grupos con características definidas en cuanto a la intensificación del uso de suelo.

A continuación se describen los grupos que se encuentran divididos en tres niveles debidos que presentan características diferentes en cuanto a la explotación ganadera y en ese caso la intensificación que presenta el suelo a causa de esta actividad.

El primer grupo se denominó **semi-extensivo** y está conformado por 15 unidades de producción ganadera mismas que en promedio tienen una superficie total de

33.1 ha, de las cuales 20.9 ha son exclusivamente para llevar a cabo la actividad ganadera. El grupo maneja 16.64 unidades animales pastoreando en los potreros, de acuerdo a esta información la carga animal es de 0.93 unidades animales ha⁻¹. En cuanto a características productivas, este grupo (G1), cuenta en promedio con 8.33 equipos y maquinas que se requieren para el trabajo en campo. Con la superficie que los productores del G1 dedicada a la ganadería, además del manejo y otros factores, se tiene como producto final 8110 litros de leche en promedio y 742.7 kg de carne al año.

En cuanto el grupo dos (G2), se nombró **Intensivo**, tiene un total de ocho unidades de producción ganadera, es un grupo con características ya que de la superficie total (19.43 ha) se dedican 7.62 ha para actividad ganadera, misma que soporta 20.81 unidades animales en pastoreo, haciendo de esta una relación entre cantidad de animales y superficie ganadera de 2.93 UA ha⁻¹, este grupo cuenta con los recursos de infraestructura que ayudan (7.37) al desarrollo de la actividad ganadera. Por otro lado la producción es de 9989.3 litros de leche anual y 972.5 kg de carne en promedio por unidad de producción.

Finalmente, el grupo tres (G3), se ha caracterizado por ser un grupo **Extensivo**, tiene siete unidades ganaderas, y el nombre se le otorgo debido que los productores tienen un total de 65.85 ha en el predio, de ello 46.14 ha son exclusivas para la ganadería, en este contexto manejan en los potreros 42.26 unidades animales, con esto se alcanza 1.11 de carga animal. Cabe mencionar que este grupo refleja mayores recursos económicos ya que en este caso es el que cuenta con un mayor número de maquinaria y equipo (11.42) útiles en campo. Por último la producción de leche alcanza los 18281 litros año⁻¹ mientras que la carne alcanza 3662.9 kg año⁻¹.

Cuadro 3. Características de los grupos de productores ganaderos de la Reserva de La Biosfera La Sepultura, en base a 30 entrevistas semi-estructuradas

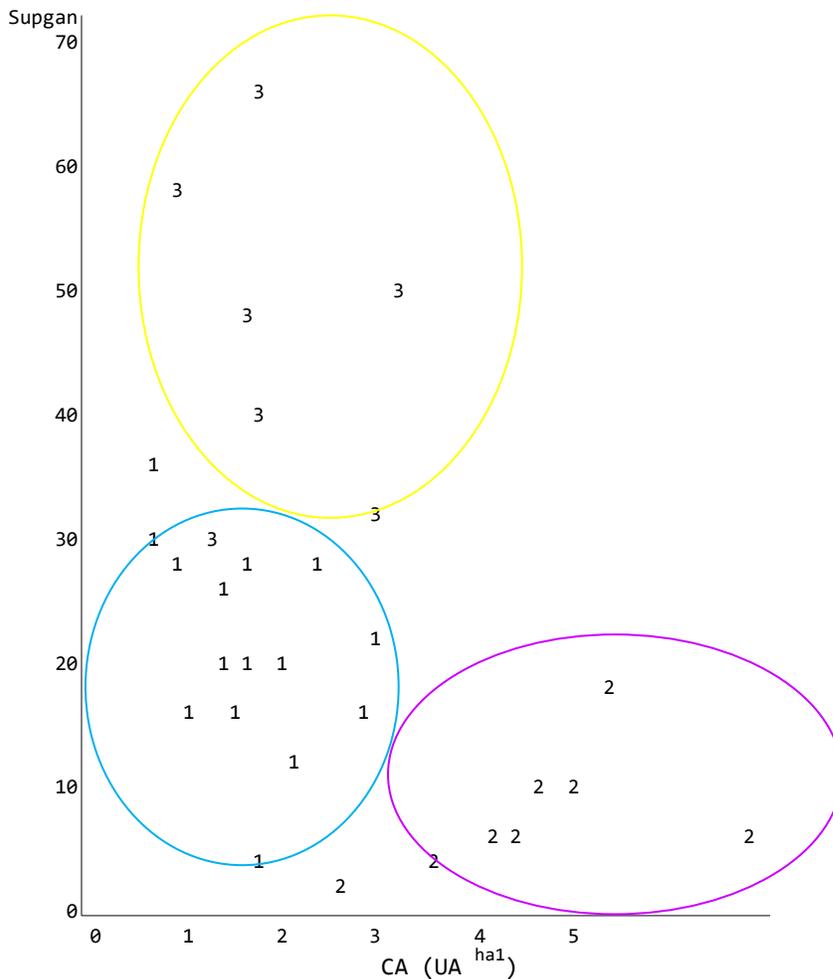
Variables	Grupos					
	(G1,n=15) Semi-intensivo		(G2,n=8) Intensivo		(G3,n=7) Extensivo	
	\bar{X}	\pm	\bar{X}	\pm	\bar{X}	\pm
Sup total (ha)	33.1 ^b	18.1	19.3 ^b	19.4	65.85 ^a	21.2
Sup gan (ha)	20.9 ^b	8.1	7.6 ^c	4.4	46.14 ^a	12.9
Potrerros (ha)	4.1 ^a	1.6	4.3 ^a	2.5	4.28 ^a	1.7
Unidades animales (UA)	16.6 ^b	8.6	20.8 ^b	14.3	42.26 ^a	21.3
Carga animal (UA ha-1)	0.9 ^b	0.4	2.9 ^a	0.8	1.11 ^b	0.5
Prácticas silvopastoriles	1.6 ^a	0.6	1.6 ^a	0.5	1.85 ^a	0.8
Infraestructura	8.3 ^b	3.1	7.3 ^b	2.1	11.42 ^a	2.9
Leche (L)	8110 ^a	6516	9989.3 ^a	9094	18281 ^a	20217.9
Carne (kg)	742.7 ^b	559.7	972.5 ^b	694.5	3662.9 ^a	2077.5

*Sup total=Tamaño del rancho, Sup gan=Superficie dedicada a la ganadería, Infraestructura=Materiales y equipos. * Letras distintas en columna son diferentes significativamente (P≤ 0.05, Duncan). Media ± error estándar.*

De acuerdo a la información anteriormente explicada (características de los grupos) se generó la figura 3, esto con la intención de dar más detalles de la relación entre los grupos. Así pues, apreciamos que los grupos están divididos en **Semi extensivo**, **Intensivo** y **Extensivo**, ya que cuentan con diferentes características de extensión, producción y manejo. Ante esta situación encontramos que el G1 es un grupo que mantiene equilibrio entre las superficie ganadera y las unidades animales, lo cual permite menor presión del ganado hacia el pastoreo comparado con los otros dos, para ello se destaca que este grupo tiene 27% de la superficie dedicada a la ganadería con respecto a los otros dos grupos (10.2% y 61.8%), otro factor muy importante entre los tres grupos es la cantidad de unidades animales que se encuentra en el predio, para ello el grupo extensivo es el que tiene el mayor porcentaje en cuanto a esta variable (53.01%), comparada con el G2-Intensivo que representa el 26.1%. Tomando en cuenta estas dos variables tenemos la relación de número de animales por unidad de

superficie (ha), misma que como se espera el G2-Intensivo es el que tiene la mayor presión del ganado sobre el suelo ocupando más del 50% para esta variable. En cuanto a variables productivas es el G3-Extensivo el que presenta los valores más alto cuanto a producción (50% para leche y 68% producción de carne) comparado con G1 y G2 ya que la producción de leche ronda entre los 22 y 27 % y la de carne entre 13% y 18%, siendo el G3 quien presenta mayores valores de producción, destacando que son productores con grandes extensiones de terrenos y más cantidad de unidades animales en pastoreo.

La figura 3 representa gráficamente el análisis clúster que diferencia el grado de intensificación de la actividad ganadera en la zona de estudio, la cual muestra resultado con base en la superficie ganadera y la carga animal aparente (número de unidades animales sometidas a un pastoreo directo que se puede mantener por un día). Se observa que el G2 (intensivo), se separa de los otros grupos por presentar más cantidad de animales y menor extensión de terrenos condición que genera un mayor nivel de intensificación, contrario con el grupo 3 (extensivo), ya que mantiene equilibrio entre carga animal (ya tienen un margen de pastoreo de 1.09 animales por hectárea), y superficie ganadera, esta situación indica que al menos se tiene una hectárea de pastoreo por unidad animal.



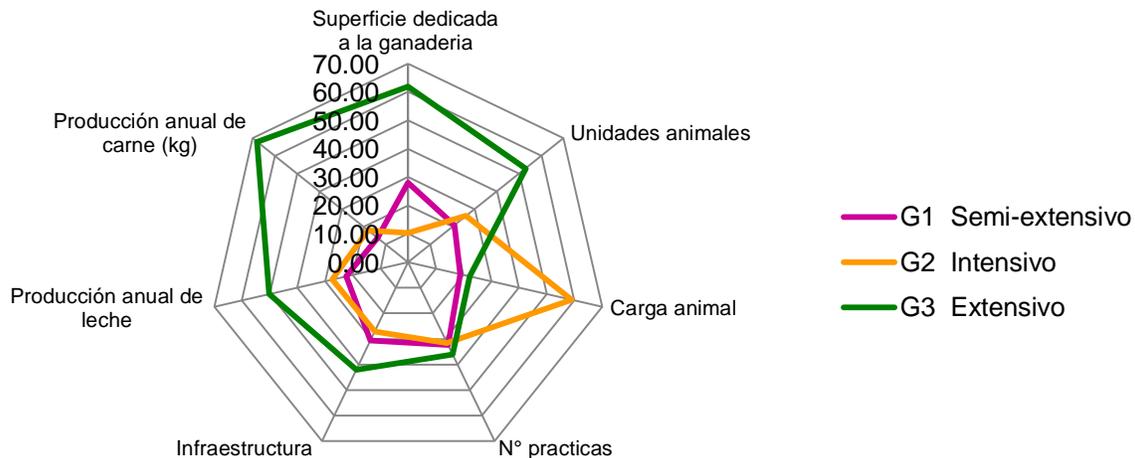


Figura 8. Representación gráfica de las características físico-productivas del hato ganadero con respecto a los tres grupos

6.2. Identificación de las prácticas silvopastoriles

Mediante talleres participativos que se llevaron a cabo en las dos zonas de estudio (Frailesca y Costa) se obtuvo que las prácticas silvopastoriles presentes en las unidades de producción ganadera son en su mayoría árboles dispersos en potrero ya que el 100% de los productores maneja árboles en las áreas de pastoreo (cuadro 4). Siguiendo con cercas vivas, 40% de los productores tiene presencia en sus potreros, mayormente son usadas con el fin de separar potreros, en este sentido también se han sembrado algunos árboles con fines multipropósitos (madera, fruta, forraje, sombra), finalmente los bancos forrajeros de proteína ocupan el 23% de los productores, este porcentaje es bajo comparado con las otras prácticas, debido a que las circunstancias de establecimiento y cuidados post-siembra requieren de mayor mano de obra y más importante el tiempo de espera al pastoreo es prolongado, situación que contribuye a la baja adopción de esta práctica. Las especies forrajeras más usadas son *Guazuma ulmifolia*, *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Pithecellobium dulce*, *Acacia cornígera* entre otras (cuadro 6). Caso contrario sucede con los bancos forrajeros energéticos debido a que 40% de los productores tiene esta práctica establecida, siendo *Pennisetum sp* la especie dominante debido a la particularidad en el “crecimiento rápido” del pasto. Estos son utilizados principalmente en temporadas de seca (que comprende los meses de noviembre- mayo) ya que es cuando más se necesita. Esta información fue corroborada en campo a través de las visitas a cada predio.

Cuadro 4. Uso de las prácticas silvopastoriles identificadas en las unidades de producción ganadera

Práctica Silvopastoril	Productores que utilizan la práctica	Usos	Establecimiento
Cerca viva	40%	Construcción, leña, postes, forraje, madera	Natural
Árboles dispersos	100%	Sombra, leña, alimento	Natural
Banco forrajero	23.33%	Corte, acarreo y ramoneo	Cultivado

En el cuadro 5, se representa numéricamente la información obtenida con referencia a la superficie que ocupan los árboles en el potrero, en ese sentido para árboles dispersos se tiene una cobertura de 237 m² que está cubierto por 47 árboles en promedio. Para cercas vivas el panorama es diferente debido a que en 100 metros lineales se tienen 53.62 m² con 2.4 árboles por cada metro lineal de cerca viva que se encuentra mayormente para separar potreros. Para el caso de bancos forrajeros de proteína se tiene una cobertura arbórea de 3.7 árboles en una superficie menor a la hectárea.

En el cuadro 5, se puede apreciar el promedio de dos variables importantes en cuanto a crecimiento de los árboles, en este caso los presentes en potrero alcanzan en promedio 8 metros de altura y 28 centímetros de DAP, los valores para cerca vivas no son tan lejanos ya que fluctúan en 7 metros de altura por 25 cm de DAP. En cuanto a los bancos forrajeros es notable que por la edad que tienen (no superan los 3 años) los árboles son menores a un metro de altura y con 1 cm de dap (fue medido a la altura de la base del tallo) cabe mencionar que para este ultimo las especies que utilizan son; *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia*, *Gliricidia sepium* y *Pithecellobium dulce*.

Cuadro 5. Características de la densidad de árboles identificados en prácticas silvopastoriles del área de estudio

	Árboles dispersos	Cobertura arbórea	
		Cercas vivas	Banco proteínico
No de ranchos (%)	100	43.33	23.3
No. de árboles	47.63 ha ⁻¹	2.4 m ⁻¹	3.75 ha ⁻¹
Área /cobertura (m ²)	237.6 m ² ha ⁻¹	53.62 m ² /100m	0.188 m ² ha ⁻¹
Altura media (m) ^a	8.82	7.69	0.24
DAP (cm) ^a	28.01	25.71	1.13 ^b

^a Altura y DAP promedio de las especies identificadas; ^b Diámetro a la altura de la base del tallo

6.2.1. Diversidad de especies

Los árboles que conforman las áreas de pastoreo son de vital importancia para el desarrollo de las actividades en un sistema ganadero ya que proveen forraje, leña, sombra, madera, sin dejar atrás el impacto positivo sobre el medio ambiente debido a que se promueve la captura de carbono, y la conservación del agua y aire (José, 2009). Las condiciones climáticas en sistemas sin árboles disminuyen la eficiencia en la productividad ya que las altas temperaturas aumentan el estrés calórico en animales, situación que tiene efecto negativo sobre la producción de carne y/o leche. En cuadro 6, se presentan la composición florística encontrada en unidades ganaderas estudiadas, de estas se distinguen 20 especies. El mayor número de especies por hectáreas está compuesta del genero *Quercus* (34 /ha), seguido de *Pinus* (14.9) y *Faramea* (8) correspondiente a la zona Frailesca. En la zona Costa, las especies más frecuentes son del género *Syzygium* (31 sp /ha.) seguido de *Leucaena* (15 /ha) y *Faramea* (8.9 /ha). Se observa que la zona Frailesca está orientada a conservar especies de tipo forestal, esto puede estar relacionado a actividades cotidianas (cocción de alimentos con fogones, venta de leña, construcción de casas y/o corrales, pagos por servicios ambientales).

Cuadro 6. Presencia de diferentes especies encontradas en árboles dispersos en potreros en dos zonas de estudio

FRAILESCA		COSTA	
Especies	*Árboles ha ⁻¹	Especies	Árboles ha ⁻¹
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	1.8	<i>Senna spectabilis</i>	4
<i>Byrsonima crassifolia</i>	2	<i>Byrsonima crassifolia</i>	4.1
<i>Erythrina sp</i>	2.6	<i>Parmentiera aculeata</i>	4.1
<i>Ficus insípida</i>	2.6	<i>Cecropia insignis</i>	4.1
<i>Tabebuia rosea</i>	2.7	<i>Anacardium occidentale</i>	4.2
<i>Diphysa americana</i>	3.4	<i>Platymiscium dimorphandrum</i>	4.2
<i>Guazuma ulmifolia</i>	3.7	<i>Gliricidia sepium</i>	4.7
<i>Cordia alliodora</i>	3.8	<i>Guazuma ulmifolia</i>	4.9
<i>Bursera simaruba</i>	4.1	<i>Citrus aurantiifolia</i>	5
<i>Protium copal</i>	4.2	<i>Swietenia macrophylla</i>	5.5
<i>Jatropha curcas</i>	4.3	<i>Tabernaemontana donnell-smithii</i>	5.6
<i>Liquidambar styraciflua</i>	4.3	<i>Ficus insípida</i>	6.4
<i>Eysenhardtia adenostylis</i>	4.5	<i>Muntingia calabura</i>	7
<i>Inga</i>	4.5	<i>Pithecellobium dulce</i>	8.4
<i>Cecropia insignis</i>	5	<i>Pinus</i>	8.5
<i>Tecoma stans</i>	5.3	<i>Coccoloba uvifera</i>	8.6
<i>Cedrela odorata</i>	6.3	<i>Mimosa tenuiflora</i>	8.6
<i>Faramea occidentalis</i>	8	<i>Faramea occidentalis</i>	8.9
<i>Pinus</i>	14.9	<i>Leucaena pulverulenta</i>	15
<i>Quercus peduncularis</i>	34.4	<i>Syzygium jambos</i>	31

*Número de individuos por especie ha⁻¹ encontrados en 30 unidades de producción ganadera (especies sin identificar no están reflejadas en esta tabla)

Las especies que conforman las cercas vivas son de gran importancia en paisajes ganaderos, principalmente sirven al productor para delimitar sus potreros, corredores biológicos, producción de madera, leña, forraje, sombra y muy

importante fijan carbono y nitrógeno (para el caso de especies forrajeras) principalmente. Es por ello que las especies que conformar este sistema son de vital importancia. En ese sentido el siguiente cuadro (7) presenta las especies frecuentes en las dos zonas de estudio en donde claramente se observa que la Costa es donde existe mayor número de especies (18) y lo más interesante hay mayor uso de especies forrajeras siendo *G. ulmifolia* una de las más abundantes (20.8 individuos ha⁻¹) comparada con la Frailesca donde la misma especie se encuentra por poco (2.6 individuos ha⁻¹). En Frailesca solo se identificaron 13 especies donde la mayor parte de individuos por hectárea corresponde a la especie *Q. peduncularis*, situación que puede estar relacionada con el pago de los servicios ambientales que los productores mencionaban.

Cuadro 7. Presencia de diferentes especies encontradas en cercas vivas en dos zonas de estudio

FRAILESCA		COSTA	
Especies	Árboles ha ⁻¹	Especies	Árboles ha ⁻¹
<i>Daphnopsis americana</i>	2	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	2
<i>Diphysa americana</i>	2	<i>Lantana camara</i>	2
<i>Roseodendron donnell-smithii</i>	2.2	<i>Ficus maxima</i>	2.6
<i>Ficus insípida</i>	2.6	<i>Cedrela odorata</i>	4.5
<i>Guazuma ulmifolia</i>	2.6	<i>Byrsonima crassifolia</i>	4.6
<i>Licania arbórea</i>	4.4	<i>Swietenia macrophylla</i>	4.6
<i>Erythrina sp</i>	4.8	<i>Muntingia calabura</i>	5.3
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	5.3	<i>Spondias</i>	5.3
<i>Pinus</i>	6	<i>Andira inermis</i>	8.1
<i>Cedrela odorata</i>	8	<i>Croton guatemalensis</i>	9.3
<i>Faramea occidentalis</i>	8	<i>Bursera simaruba</i>	10.6
<i>Gliricidia sepium</i>	85	<i>Erythrina sp</i>	14
<i>Quercus peduncularis</i>	93.6	<i>Coccoloba uvifera</i>	16
		<i>Gliricidia sepium</i>	16
		<i>Guazuma ulmifolia</i>	17.4
		<i>Pithecellobium dulce</i>	20
		<i>Annona squamosa</i>	20.8
		<i>Faramea occidentalis</i>	38.8

*Número de individuos por especie ha⁻¹ encontrados en 30 unidades de producción ganadera

6.2.2. Coeficiente de similitud

El coeficiente Sorensen (1948), indicó que la zona frailesca y zona costa, son similares en cuanto a la composición de especies, dentro de la práctica árboles dispersos (coeficiente de Sorensen = 0.67). Por otro lado, para las cercas vivas la situación es diferente debido a que el coeficiente de similitud indica que las especies presentes en cercas vivas no son semejantes (coeficiente de Sorensen = 0.32). Esto significa que la mayoría de las especies en AD se duplican entre dos zonas de estudio pero en cercas vivas no.

6.2.3. Área basal de árboles presentes en prácticas silvopastoriles

Con información procedente de mediciones del diámetro a la altura del pecho (1.30 m) se estimó área basal de los árboles identificados en el área de estudio, en este sentido la relación que existe entre el área basal del rodal (árboles incluidos en prácticas silvopastoriles) y el volumen de madera del tronco es determinada por la altura del mismo. Se encontró diferencias significativas ($p=0.002$) cuando se compara entre prácticas, en el cuadro 9 se observa que árboles dispersos en potreros destacan con $3.9 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$ caso contrario a cercas vivas que muestra $0.9 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$.

Cuadro 8. Comparación de medias del área basal en árboles de prácticas silvopastoriles presentes en unidades de producción ganadera

Prácticas silvopastoriles	Área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)	Intervalo de confianza	Intervalo de confianza	N
	\bar{X}	-95%	+95%	
Árboles dispersos en potrero	3.9 ^a	3.0	4.7	87
Cercas vivas	0.9 ^b	0.6	1.1	18

6.3. Almacenamiento de carbono

El componente arbóreo cumple un papel muy importante dentro de las unidades de producción ganadera debido que fijan y almacenan carbono mediante el proceso de fotosíntesis. Es por eso que es fundamental incrementar la cantidad de carbono que se almacena en estos sistemas. En esta sección, se presentan una serie de análisis relacionados al almacenamiento de carbono que se estimó mediante ecuaciones alométricas en biomasa aérea y raíces de árboles incluidos en prácticas silvopastoriles. Así también se realizó una comparación del área basal de

los árboles con la intención de conocer el volumen de madera que existe actualmente en estos sistemas.

En la figura 9, se presenta un análisis de correlación mismo que sirvió para comparar dos métodos de estimación del carbono; el primero consistió en utilizar ecuaciones alométricas que correspondían a cada especie, y la segunda usando ecuación base propuesta por Chávez et al. (2015). Los valores de biomasa entre dos métodos de estimación se encuentran positivamente relacionada con un bondad de ajuste alto ($R^2 = 0.98$). La distribución de datos y curva de tendencia se demuestra en la figura 9.

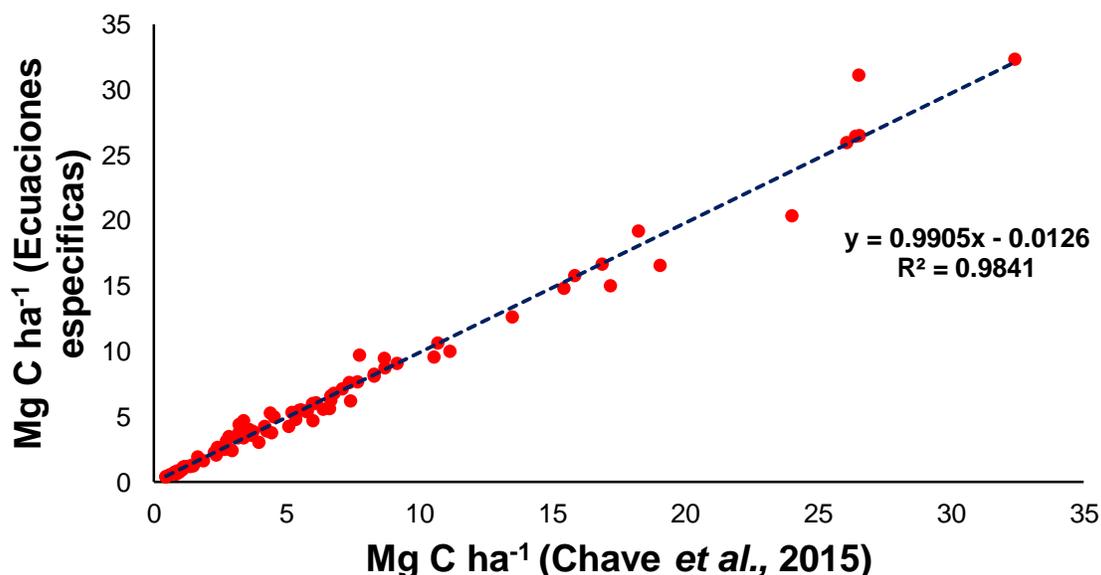


Figura 9. Análisis de correlación para comparar confiabilidad de los datos con dos métodos diferentes para estimar almacén de carbono en biomasa arbórea

6.3.1. Relación carga animal y almacenamiento de carbono en prácticas silvopastoriles

Se realizó correlación entre carga animal y carbono almacenado en prácticas silvopastoriles, esto con la intención de observar si en estas variables existía relación, debido a que mayor presión del ganado en el potrero se espera degradación de suelos, situación que puede intervenir en el cumulo de carbono en biomasa arbórea. Sin embargo para este estudio las variables no están relacionadas es decir; la carga animal no afecta la acumulación de biomasa en los árboles y por ende el almacenamiento de carbono tal y como lo muestra la figura 10.

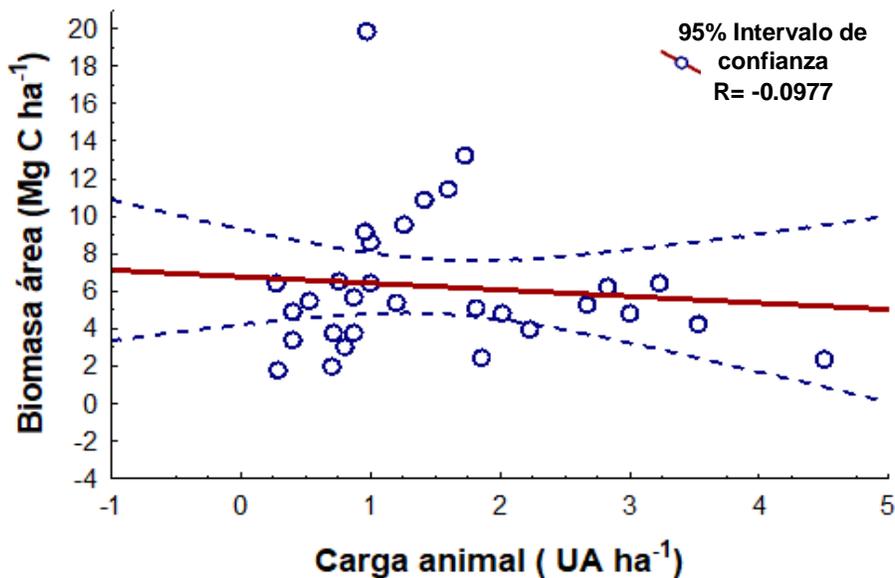


Figura 10. Análisis de correlación entre dos variables (carga animal y C en biomasa aérea)

En una prueba de medias aplicada a los tres diferentes grupos que se generaron a partir de un análisis clúster (Figura 11), se puede observar que no existe diferencias estadísticas significativas ($p= 0.298$) en almacenamiento de carbono por grupo. Es decir, el almacenamiento de carbono en biomasa aérea por hectárea es estadísticamente igual entre los grupos intensivo, semi-intensivo y extensivo, aunque numéricamente el grupo extensivo tiende a almacenar mayor cantidad de carbono por hectárea.

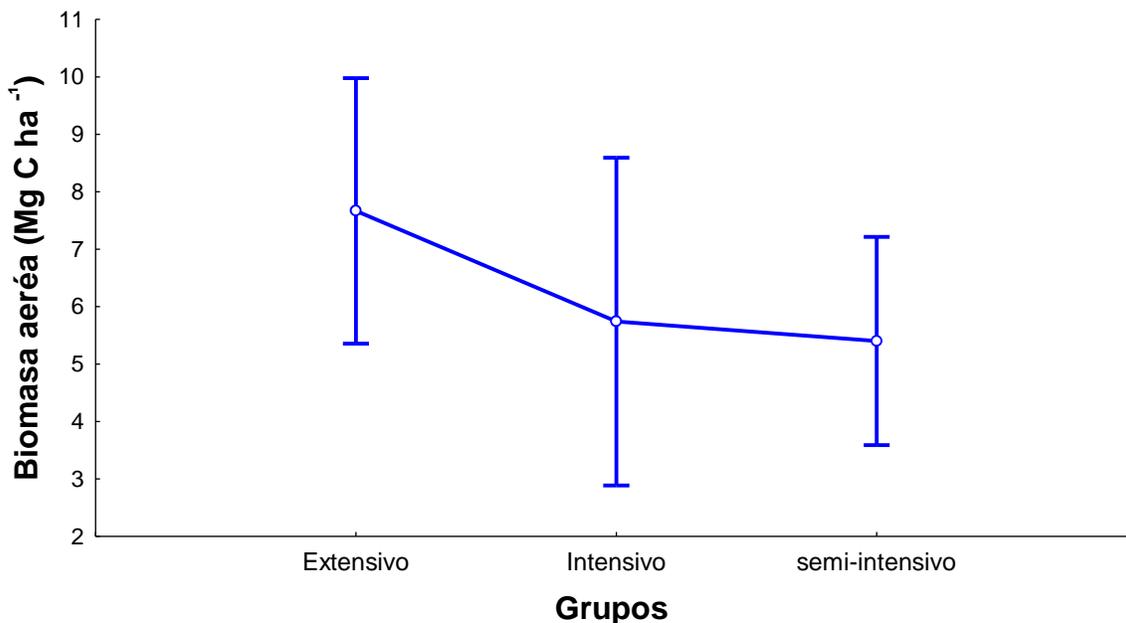


Figura 11. Prueba de medias entre almacenamiento de carbono en biomasa aérea y grupos Clúster

En el cuadro 7, se observa el almacenamiento de carbono que se estimó en árboles dispersos y cercas vivas, misma donde podemos observar que existe mayor acumulamiento de carbono en árboles dispersos llegando a 6.8 Mg C ha^{-1} , en el caso de cercas vivas se encontró 3 Mg C ha^{-1} . En este sentido la primera practica (árboles dispersos) presenta mayor acumulamiento, lo cual puede estar ligado a muchos factores dentro de estos; más espacio de crecimiento (menos competencia por luz y agua con otras especies), la densidad de árboles existentes por ha, o incluso menos ramoneo por parte del ganado debido a la altura de los árboles.

Cuadro 9. Almacenamiento de carbono en árboles de prácticas silvopastoriles

Prácticas silvopastoriles	Medias (Mg C ha^{-1})	Intervalo de confianza	Intervalo de confianza	N
	\bar{X}	-95%	+95.00%	
Árboles dispersos en potreros*	6.8 ^a	5.3	8.2	87
Cercas vivas*	3.0 ^b	1.7	4.2	18

. * Letras distintas en columna son diferentes significativamente ($P \leq 0.05$, Tukey).

Se realizó una comparación de medias para observar la diferencia existente en cuanto acumulación de carbono en las dos zonas de estudio (Frailesca y Costa). Ante esto se logra ver en una representación gráfica (figura 12) que los árboles dispersos en potrero son los que expresan valores más altos (6.7 a 6.9 Mg C ha^{-1}) en comparación a las cercas vivas (3.8 a 2.1 Mg C ha^{-1}), sin embargo, no se observan diferencias estadísticas significativas cuando se comparan las zonas de estudio, situación que indica que el almacenamiento de carbono es igual.

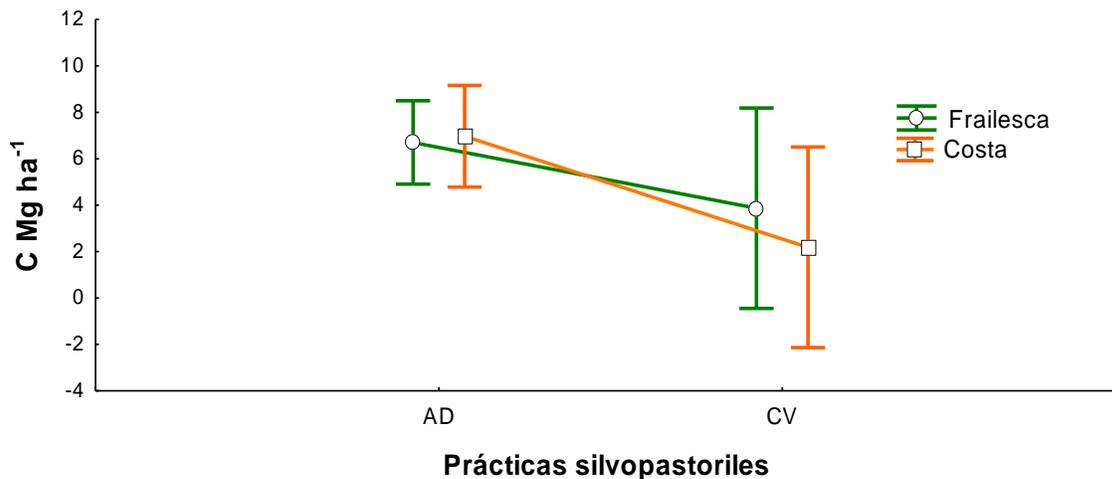


Figura 12. Representación gráfica del almacenamiento de carbono en biomasa

6.3.2. Carbono almacenado en raíces

Las raíces cumplen funciones esenciales para un árbol debido que es de las primeras partes que se forma durante la germinación en las plantas. De ella dependen funciones básicas principalmente porque sirve como anclaje del árbol no solo eso también se da la absorción de agua y nutrientes primordiales para el desarrollo de las plantas, ayuda a la formación de partículas de suelo, entre muchas más funciones etc. En otro sentido la captura de carbono a través de árboles forrajeros de rápido crecimiento es una alternativa para mitigar el incremento de bióxido de carbono atmosférico. Parte importante se almacena en las raíces el mantillo y el suelo de las plantaciones. Debido a muchos beneficios que poseen se estimó la cantidad de carbono almacenado en raíces de prácticas silvopastoriles, se encontró mayor almacén de este elemento en árboles dispersos (4.9 Mg C ha^{-1}) en comparación a las cercas vivas (1.1 Mg C ha^{-1}) tal y como lo muestra el cuadro 8.

Cuadro 10. Medias encontradas en la estimación del almacenamiento de carbono en raíces de prácticas silvopastoriles.

Prácticas silvopastoriles	Media (Mg C ha⁻¹)	Intervalo de confianza	Intervalo de confianza	N
	\bar{X}	-95%	+95%	
Árboles dispersos en potreros	4.9 ^a	3.9	5.9	87
Cercas vivas	1.1 ^b	0.6	1.5	18

7. Carbono orgánico del suelo

La intensificación ganadera ha contribuido al desarrollo económico y social, sin embargo, el manejo inadecuado de las praderas y de los animales ha llevado que el sector agropecuario tenga impacto negativo sobre el medio ambiente. Ante esto las prácticas silvopastoriles han jugado un papel clave para contribuir en la recuperación de los suelos degradados en regiones tropicales, además de ser una alternativa de producción se promueve mitigar los efectos sobre el medio ambiente. La materia orgánica que se encuentra en los suelos es fuente de energía para los microorganismos que al ser humificada trabaja como amortiguador sobre los efectos negativos que se generan, de esto el carbono es el principal elemento que conforma la materia orgánica, equivalente a más del 50% de la misma. El cuadro 11 explica los resultados obtenidos del contenido de carbono orgánico en el suelo de prácticas silvopastoriles identificada en el área de estudio. Se observa que no existe diferencias estadísticas significativas ($p=0.45$), ya que las cercas vivas y bancos forrajeros alcanzaron 2.2% y árboles dispersos 2.7% de COS, situación que indica que las prácticas no tienen influencia sobre el almacenamiento de carbono orgánico del suelo para este estudio.

Cuadro 11. Contenido de carbono orgánico en suelo (COS) de prácticas silvopastoriles identificadas en unidades de producción ganadera

Prácticas silvopastoriles	Carbono Medias (%)	Intervalo de confianza -95.00%	Intervalo de confianza +95.00%	N
Árboles dispersos	2.7 ^a	2.3	3.1	43
Cercas vivas	2.2 ^a	1.6	2.8	20
Bancos forrajeros	2.2 ^a	1.8	2.6	28

En otro sentido en la figura 13, se puede observar la interacción que existe entre el almacenamiento de carbono y la zona de estudio, donde no se encuentran estadísticas significativas ($p=0.68$), esto debido a que la superficie estudiada de ambas zonas se encuentra dentro de los límites de la Sierra Madre, además que comparten presencias de algunas especies y la ganadería es más extensiva en los dos casos.

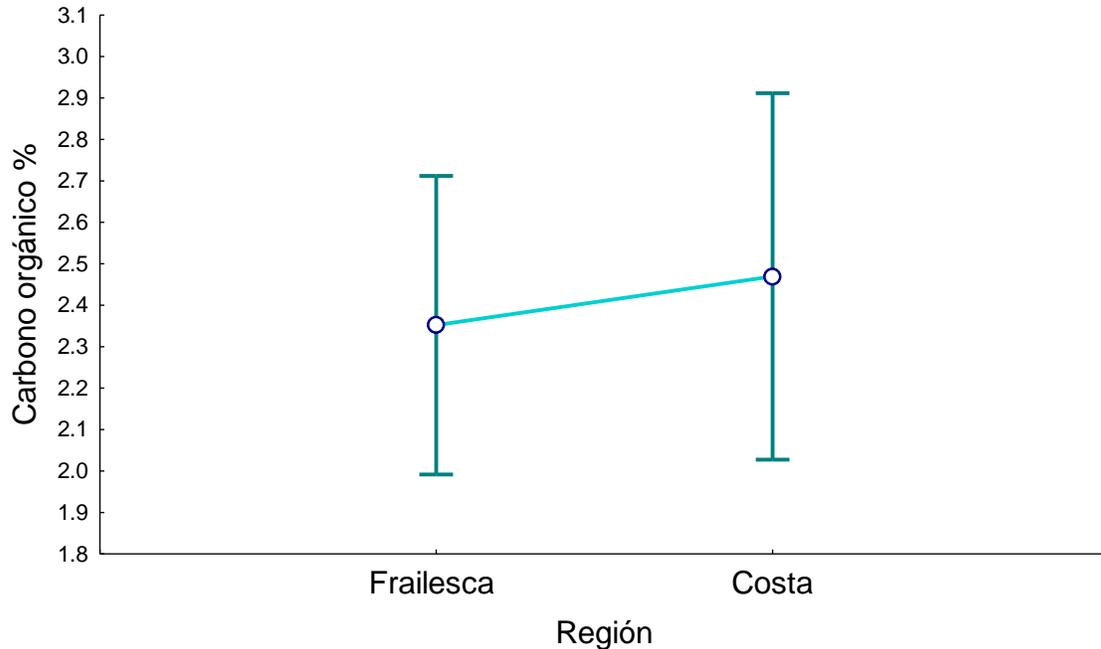


Figura 13. Almacenamiento de carbono orgánico del suelo en dos zonas

7.1.1. Nitrógeno en suelo

El nitrógeno se encuentra en el suelo de manera orgánica e inorgánica, es un elemento muy importante para las plantas y el suelo debido a que los procesos microbiológicos que están ligados al reciclaje de los residuos son la mineralización, inmovilización y nitrificación. En cuanto a la fertilidad del suelo, NH_4^+ , NO_2^- , y NO_3^- son los más importantes ya que se producen a partir de la descomposición de la materia orgánica del suelo o por los fertilizantes nitrogenados. Estas tres formas representan entre 2 y 5% del nitrógeno total del suelo (Engels y Marschner 1995). Con estas referencias el nitrógeno encontrado en las prácticas silvopastoriles estudiadas refleja diferencias estadísticas significativas ($p=0.022$), en este caso la región frailesca muestra valor más bajos de nitrógeno (0.15%) en comparación a la zona costa (0.22%), de acuerdo a la clasificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 la primer región presenta niveles muy bajos de nitrógeno y la Costa niveles bajos.

Cuadro 12. Contenido de nitrógeno en suelo de unidades de producción ganadera

Región	Nitrógeno %	Intervalo de confianza		N
	Medias (\bar{X})	-95.00%	+95.00%	
Frailasca	0.15 ^a	0.13	0.18	59
Costa	0.22 ^b	0.16	0.29	32

Sin embargo, la figura 14 indica que; cuando se compara el nitrógeno entre las prácticas silvopastoriles no se encuentra diferencias significativas ($p=0.85$), por lo cual no existe relación entre el contenido de nitrógeno en el suelo y las diferentes prácticas que están incluidas en la actividad ganadera de las comunidades de estudio.

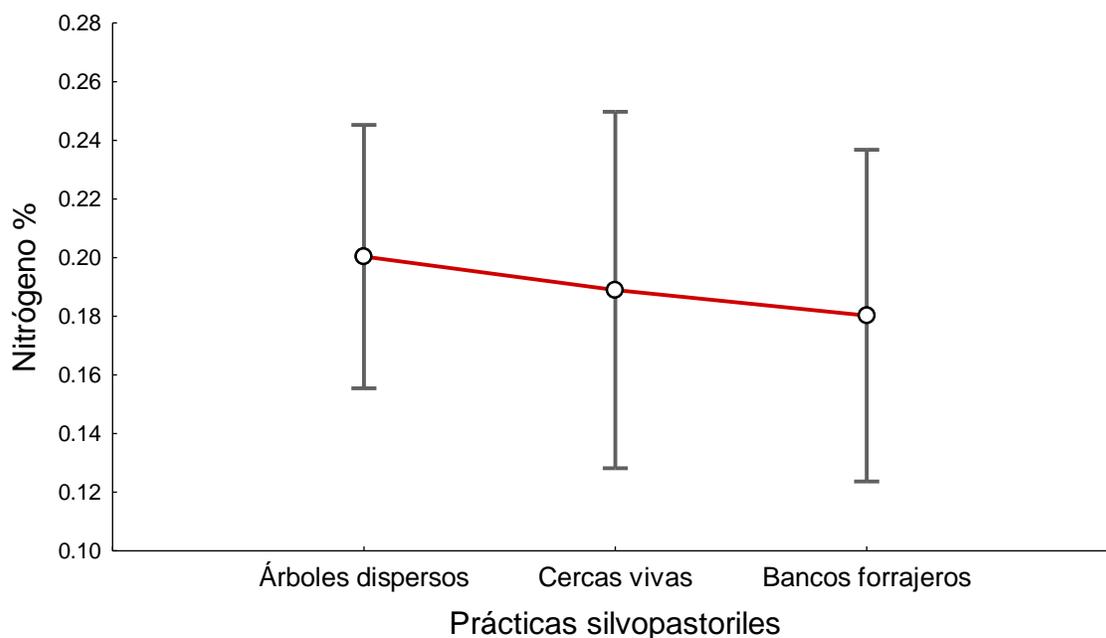


Figura 14. Nitrógeno del suelo en prácticas silvopastoriles

7.1.2. Fósforo en suelo

Este elemento forma parte de los nutrientes esenciales para el desarrollo de la planta, es importante mencionar que sus funciones no se pueden sustituir por otro elemento, es poco móvil, está presente en los procesos donde la planta necesita energía, aun así es deficiente su concentración en suelos agrícolas y agropecuarios. En el siguiente cuadro se puede observar las medianas con respecto a la presencia de este elemento en las prácticas silvopastoriles estudiadas. Mismo que presentó H (2, N=91) cuando se le aplicó Kruskal-Wallis (p

=0.3351), el análisis de Mann-Whitney indico diferencias estadísticas entre zonas ($z= 4.18$ y $p= 0.05$) demostrando mayor actividad de fósforo en la frailesca con respecto a la costa. Según la NORMA-021, el contenido de fósforo en suelo se encuentra en un nivel medio ($5.5 - 11 \text{ mg kg}^{-1}$).

Cuadro 13. Fósforo (promedio) en suelo entre prácticas silvopastoriles (mg kg^{-1})

	Prácticas silvopastoriles			Promedio Total
	Árboles dispersos	Cercas vivas	Bancos forrajeros	
Frailesca	8.5	11.0	9.8	9.3
Costa	7.7	2.8	6.5	5.7
Promedio Total	8.3	6.5	8.9	8.1

7.1.3. Relación Carbono-Nitrógeno en suelo

Esté factor influye directamente en la calidad del sustrato orgánico del suelo indica el proceso de descomposición que realizan los microorganismos del suelo y cuanto eficiente hacen a la absorción de planta. En ese sentido la relación C/N en esté trabajo de investigación resulto ser interesante ya que las prácticas silvopastoriles en su respectiva zona se encuentran dentro de los parámetros óptimos para la actividad microbiana del suelo tal y como indica el cuadro (14).

Cuadro 14. Relación carbono-nitrógeno en prácticas silvopastoriles

Prácticas silvopastoriles	Zona Frailesca		Zona Costa	
Árboles dispersos	23.9	± 39.7	13.2	± 3.2
Cercas vivas	15.7	± 1.7	12.8	± 5.1
Bancos forrajeros	14.9	± 4.6	13.3	± 2.6

± Desviación estándar

La figura 15 representa de manera grafica la relación Carbono-Nitrogeno en donde se puede apreciar resultados significativos ($p=0.05$), mostrando un coeficiente de variación de 0.84, situación inidca que se favorece la proliferación de los microorganismos que descomponen la materia orgánica, lo cual es muy importante para el desarrollo de las plantas y fertilidad de los suelos.

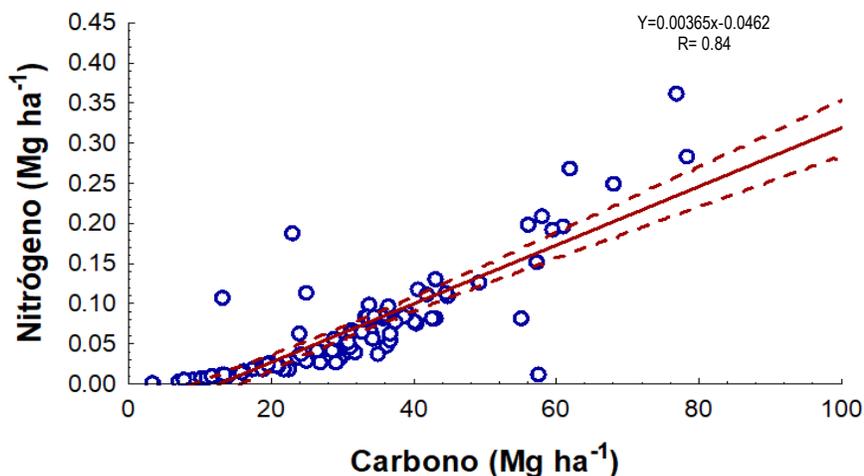


Figura 15. Relación carbono-Nitrógeno en prácticas silvopastoriles de dos zonas de estudio

7.1.4. Relación Carbono-Fósforo

Con el fin de valorar la relación de estos dos elementos el cuadro muestra los resultados correspondientes a las medias, mismos que indica valores altos en la costa sobre todo en cercas vivas (1157), seguido de árboles dispersos (1098), con respecto a la Frailesca donde la relación carbono-fósforo fue mayor en árboles dispersos (789) seguido de bancos forrajeros (768).

Prácticas silvopastoriles/Zona	Frailesca		Costa	
Árboles dispersos	789.2	± 955.9	1098.4	± 1132
Cercas vivas	448.7	± 520.4	1157	± 574.2
Bancos forrajeros	768.2	± 1211.4	813	± 525.4

±Desviación estándar

En la siguiente figura 16, se representa la relación entre Carbono y Fósforo mismo que indica que no existe diferencias estadísticas ($p=0.05$) importante entre estos elementos para las prácticas silvopastoriles ya que se alcanzó una coeficiente de variación del 0.27, se puede observar visualmente que los puntos se encuentran dispersos y no siguen la línea de tendencia.

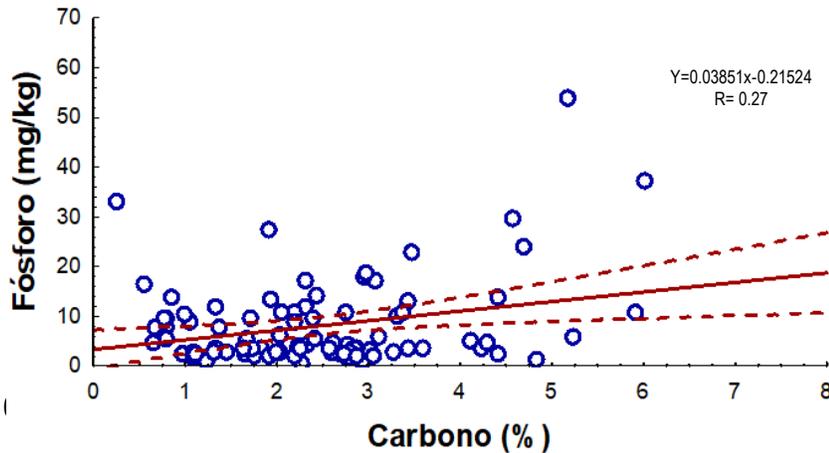


Figura 11 dos zonas de estudio

7.1.5. Relación Nitrógeno-Fósforo

Ambos elementos son esenciales para el desarrollo de las plantas pero es importante saber que la relación entre estos N: P es de vital debido a que parte de la mineralización de la materia orgánica no depende solamente del nitrógeno, también del fósforo ya que es parte de procesos de transformación de energía y que la falta de este repercute en la biomasa aérea de las plantas. A continuación, el cuadro 15 muestra la relación Nitrógeno: Fósforo, donde los árboles dispersos y cercas vivas son similares con respecto a bancos forrajeros y el rango varía entre 2.8 a 9.8. Es importante saber que los compuestos de nitrógeno y fósforo son nutrientes críticos ya que los organismos que dependen directamente del suelo, y estos nutrientes son determinantes para que la vegetación por arriba del suelo sea productiva. No se encontró una correlación significativa entre concentración de N y P en el suelo, ni entre la concentración de carbono orgánico y fósforo. De esto podemos rescatar que el fósforo encontrado en el suelo no proviene de materia orgánica, lo cual indica puede estar relacionado al uso de fertilizantes fosfatados sobre todo en bancos forrajeros.

Cuadro 15. Relación Nitrógeno/ Fósforo de prácticas silvopastoriles

Prácticas silvopastoriles/Zona	Frailesca			Costa		
Árboles dispersos	8.5	±	6.5	7.7	±	14.5
Cercas vivas	11	±	10.7	12.8	±	1.6
Bancos forrajeros	9.8	±	8.5	2.8	±	7.30

± Desviación estándar

8. pH

El pH de los suelos es una de las propiedades químicas más relevantes ya que controla la movilidad de iones, la disolución de minerales, las reacciones redox, el intercambio iónico, la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes. La remoción de bases (calcio, magnesio y potasio), sin reposición de las mismas, conlleva a una disminución en la saturación del complejo intercambio y acidificación de los suelos (Vázquez, 2005).

El pH es un indicador importante dentro de la fertilidad de los suelos, ya que depende de los niveles en que se encuentre para que se lleven a cabo funciones importantes. En este caso las practicas silvopastoriles juegan roles diferentes, es decir; para los árboles que se encuentran en los potreros de manera dispersa se encontró que el pH está en 5.2, de igual manera para las cercas vivas (5.3), mientras que en bancos forrajeros (5.7), con estos resultados obtenidos se considera que el pH de los suelos analizados se encuentran moderadamente ácidos tal como indica la NOM-021 situación que indica suelos ligeramente ácidos. El pH de suelo varía entre las dos zonas de estudio. Encontrándose que los suelos de la zona Frailesca son más ácidos comparado con los suelos de la Costa.

Prácticas silvopastoriles	pH \bar{X}	Intervalo de confianza -95.00%	Intervalo de confianza +95.00%	N
Bancos forrajeros	5.7a	5.4	6.0	28
Árboles dispersos en potrero	5.2 a	5.0	5.4	43
Cercas vivas	5.3 a	5.0	5.6	21

La siguiente figura muestra resultados obtenidos acerca de la interacción que existe entre la zona de estudio y las prácticas con respecto al pH, misma donde no

se encuentran diferencias estadísticas significativas ($p=0.80$), por los que estos factores no influyen en esta propiedad del suelo.

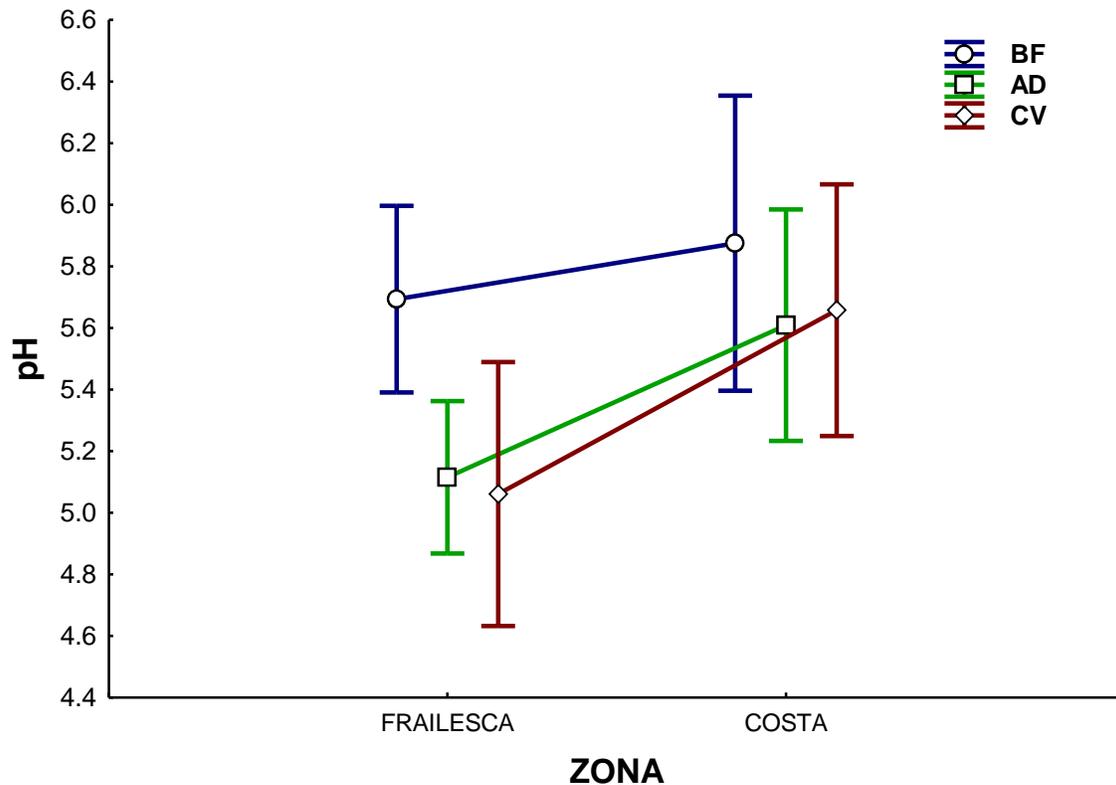


Figura 17. Interacción de pH con respecto a zona de estudio y prácticas silvopastoriles

8.1. Conductividad eléctrica

Es la concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato y está mide la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica (INTA, 2014). En este sentido se encontró diferencias estadísticas significativas ($p=0.04$). Los bancos forrajeros son los que presentan valores más bajos con respecto a las cercas vivas y árboles dispersos, esto indica que existe menor concentración de sales en la primera práctica mencionada, puede estar relacionado al manejo que el productor realiza, ya que los bancos forrajeros son principalmente de corte y acarreo, a diferencia de las otras prácticas donde existe pastoreo directo.

Cuadro 16. Conductividad eléctrica (dS m⁻¹) correspondiente al suelo de unidades ganaderas

Prácticas silvopastoriles	Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	Intervalo de confianza	Intervalo de confianza	N
	\bar{X}	-95.00%	+95.00%	
Bancos forrajeros	0.9 ^a	0.8	1.1	28
Árboles dispersos en potrero	1.3 ^b	1.1	1.5	43
Cercas vivas	1.1 ^b	0.9	1.3	21

La conductividad eléctrica juega un papel importante en los suelos agropecuarios, a partir de esta variable se puede entender el manejo de las pasturas y árboles en potreros, ya que con estos resultados se ve expuesta la concentración de sales en el suelo. En éste caso las zonas de estudio presentaron diferencias estadísticas significativas ($p=0.008$), siendo la Costa la que presentó efectos no apreciables de salinidad alcanzando 0.96 dS m⁻¹ a 25°C y la Frailesca con 1.28 dS m⁻¹ a 25°C por lo cual el suelo se encuentra ligeramente salino (parámetros de salinidad de acuerdo a la NOM-021), situación que indica menos concentración de salinidad en la primer zona con respecto a la otra.

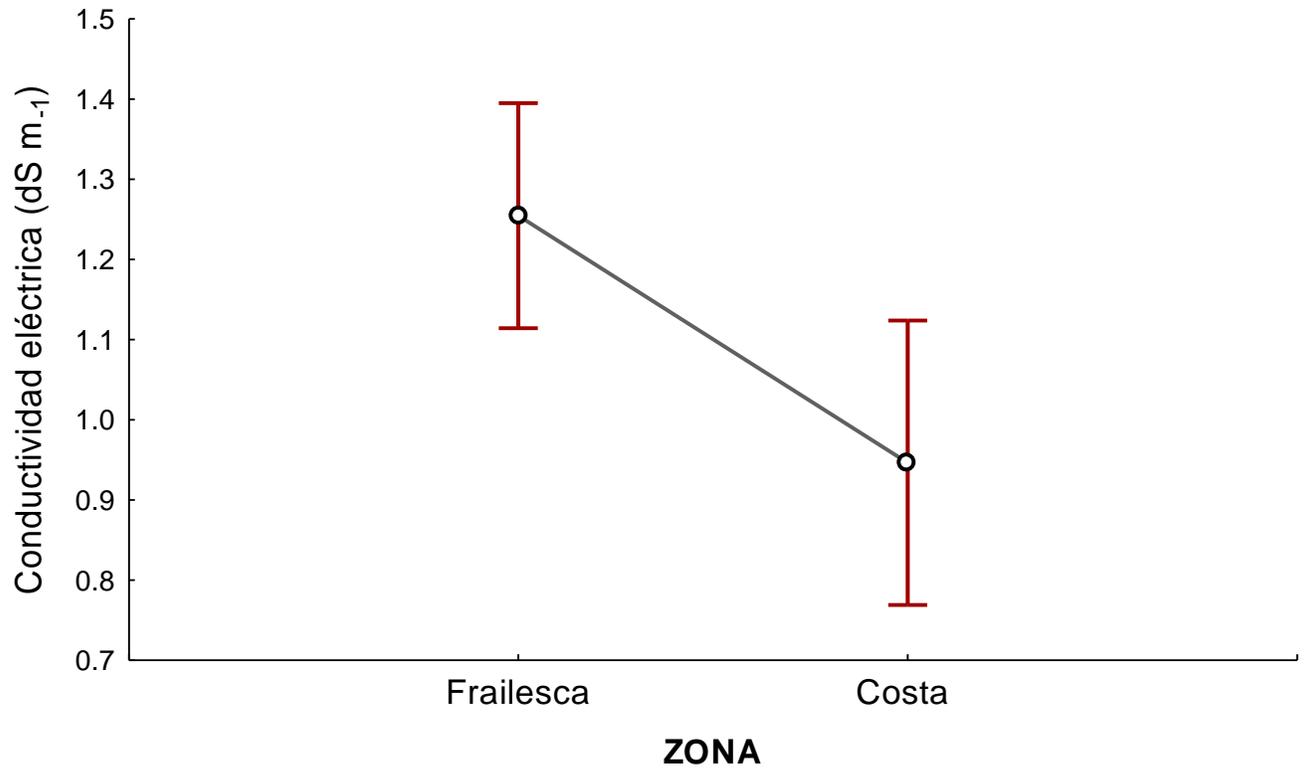


Figura 18. Conductividad eléctrica en las dos zonas de estudio

9. Discusiones

9.1. Caracterización de unidades de producción ganadera

En lo que respecta a la caracterización y productividad de los sistemas silvopastoriles, Casasola *et al.* (2001), realizaron un estudio de en Nicaragua, en el cual clasificaron las superficies de las fincas de acuerdo al tamaño donde; fincas pequeñas tenían superficies de 0-100 ha, medianas de 100-200ha y grandes >200. Además reportan que en promedio la carga animal fue de $0.5 \text{ UA}^4 \text{ ha}^{-1}$, estos resultados difieren con el trabajo de investigación, el cual reporta que la carga animal es de 1.65 UA ha^{-1} . Cabe señalar que los autores realizaron dicha clasificación debido que las fincas de estudio eran superficies de 143 ha en promedio, situación que explica los rangos de clasificación. Caso contrario sucede en el presente estudio debido a que las unidades de producción con mayores promedios (46.14 ha) se encontraban en el grupo extensivo, por lo que la ganadería se lleva a cabo en menor superficie en comparación de los estudiados en Nicaragua.

Orantes *et al.*, 2014 realizaron una caracterización de la ganadería doble propósito en Chiapas y reportaron que con 50 (1.8 de carga animal) y 26.6 ha^{-1} de potrero los productores alcanzan hasta 19345 L de leche al año (53 L diarios), en este trabajo de investigación el grupo extensivo es similar en cuanto a animales en potrero (46 UA ha^{-1}), con carga animal de 1.1 y alcanzando una producción de leche por 18281 litros de leche anuales, pero diferente en cuanto a la superficie de pastoreo (46 ha^{-1}).

En otro caso, Villanueva *et al.* (2003), hicieron tipologías de fincas con ganadería bovina en el trópico seco de Costa Rica, y obtuvieron que el tamaño de las fincas con doble propósito era de 8.5 ha, con una carga animal de 2.0, este resultado difería con los otros modelos de fincas estudiadas (carne y mixtos). La información reportada por estos autores es inferior los datos generados a partir de tres grupos estudiados en esta investigación en cuanto a la ganadería de doble propósito ya que con el grupo semi-intensivo que se generó en esta investigación se tiene en promedio 20.9 ha para ganadería con una carga animal de 0.93 UA ha^{-1} . Sin embargo, la información que reporta el autor es superior al grupo denominado "intensivo" que se encontró en el presente trabajo, ya que se tiene pastoreo en 7.62 ha y con carga animal superior (2.94 UA ha^{-1}).

Gómez-Castro *et al.* (2002), diferenciaron tres grupos con características productivas definidas mismo que resultaron tres; semi-extensivo llamado así por las características que presenta como son; 49 ha dedicadas a potreros, teniendo un total de 91.8 cabezas animales, carga animal de 2.25 UA ha^{-1} . Extensivo con

38.8 ha para pastoreo y 101 cabezas en potreros, la diferencia radica en que la carga animal en este grupo baja a 2.1, y por último el grupo semi-intensivo tiene 14.4 ha en promedio para potreros, la carga animal es alta con 3.41 y la producción de leche es de 1832.3 kg año⁻¹. De los tres grupos identificados en el presente trabajo de investigación el extensivo (G3) es el que mayor similitud tiene debido que los productores manejan 46.14 ha para pastoreo con 42 unidades animales, sin embargo difieren en cuanto a la carga animal debido que se identificó 1.1 UA ha⁻¹, situación que indica menor intensificación del componente suelo.

En un estudio con 327 fincas en Costa Rica, se encontró que 74 hectáreas fueron utilizadas para potreros de los cuales se tiene una producción anual de leche de 1569 kg ha⁻¹ (Souza de Abreu *et al.*, 2000), situación que es alta comparada con los resultados reportados en esta investigación.

Por otra parte, estudios de Martínez-Encino *et al.*, (2013) y Gómez *et al.*, *s/f* coinciden al reportar estudios similares debido a que al estudiar fincas ganaderas obtuvieron promedios de 17.75 y 19.1 ha donde la carga animal fluctúa entre ambos autores de 1.5 a 1.7 UA ha⁻¹, estos resultados son similares a los reportados en esta investigación ya que el grupo semi-intensivo maneja 20.9 hectáreas en promedio para ganadería y la carga animal es de 0.93 UA ha⁻¹.

Es muy importante realizar trabajos de investigación donde se tomen en cuenta las características de las unidades de producción debido que se conocen los factores principales de la misma, en ese sentido Carrasco *et al.* (2017), realizaron tipologías en fincas ganaderas; generaron cuatro grupos diferentes (84 fincas estudiadas), dentro de las características evaluadas fueron producción de leche, cantidad de vacas, área de pastoreo y porcentaje de productores que requieren capacitación. Los autores proponen grupos intensivos ya que en poco espacio (2 a 8 hectáreas) alcanzan alta producción de leche (4555.1 -10,354.3 L año⁻¹), lo anterior puede estar ligado a las razas que se manejan en esa zona, así como también la fuente de forrajes y suplementos utilizados. Caso contrario sucede con la ganadería en estudio debido a que la mayor parte de la ganadería tiende a ser semi-intensiva (15 productores) y con poca variedad de pastos (algunos del genero *Cynodon* como base y *Pennisetum* como suplementos), además que el pastoreo frecuentemente está dada en áreas boscosas donde el ganado se alimenta principalmente de hojas y frutos de los árboles forrajeros, aunado a esto las horas largas de pastoreo hacen que los animales empleen mayor energía al momento de buscar alimentos.

9.2. Identificación de prácticas

Un estudio realizado por Ramírez-Marcial *et al.* (2012), donde caracterizaron los sistemas ganaderos en la Depresión Central de Chiapas, reportaron que árboles en potreros ocupan el 62% de la superficie ganadera seguido de cultivos (27%) y finalmente acahuales (10%). En ese sentido, se encontraron 28 especies diferentes en potreros, las más comunes y que coinciden con el presente trabajo son; *Acacia pennatula*, *Gliricidia sepium*, *Byrsonima crassifolia*, *Leucaena leucocephala*, *Diphysa robinoides*, *Bursera simaruba*, *Quercus oleoides*, *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Sideroxylon* sp, *Jatropha curcas*, *Protium copal*, *Guazuma ulmifolia*. Los autores mencionan que en algunos casos se mantiene mínima presencia de árboles en sus potreros y esto depende de la condición del sitio para el crecimiento del pasto y de la disponibilidad de mano de obra para el chapeo frecuente, lo cual difiere con este trabajo de investigación donde la actividad ganadera también se lleva a cabo en una reserva estimula que los productores conserven y promuevan el uso de los árboles.

Para el caso de las cercas vivas, en fincas ganaderas en Costa Rica y Nicaragua, Harvey *et al.* (2003), reportaron que en promedio las cercas vivas miden 164.2 m, y cuenta con un total de 116 especies encontradas de las cuales cinco eran más representativas; *Bursera simaruba*, *Erythrina costarricense*, *Parchira quinata*, *Guazuma ulmifolia*, *Gliricidia sepium*, especies que también se encuentran en este trabajo de investigación siendo las últimas las más representativas (*G. sepium* 85 individuos por hectárea y *G. ulmifolia* 17.4) en las dos zonas de estudio. Los autores mencionan que identificaron cercas más largas en áreas con bosques en comparación a las otras que tenían pastoreo extensivo ya que utilizaban pasturas con mayor tamaño y menos divisiones. Otro caso similar se reporta para Nicaragua en donde los potreros principalmente provienen de regeneración natural (70%), una minoría de árboles son sembrados (4%) y el resto por dispersión de la fauna, se identificó principalmente especies como *Cedrela odorata*, *Swietenia humilis*, *Guazuma ulmifolia* y *Gliricidia sepium*. Por otro lado, el 39% de la población estudiada cuenta con cercas vivas con 28 especies presentes, sin embargo, dos son las predominantes; *Cordia dentata*, *Gliricidia sepium* (Gómez *et al.*, 2002).

Caso contrario sucede en Tabasco donde el número de especies reportado es de 69 que es igual con el número de especies identificados en este trabajo para árboles dispersos en potreros, en este caso las forrajeras son las menos frecuentes en la lista (*G. ulmifolia*, *G. sepium*) seguidas de *D. robinoides* y *B. simaruba*. Cabe señalar que existe un rango de 48 a 93 de individuos por hectárea en los dos sitios estudiados (Martínez-Encino *et al.*, 2013), mismo que es más alto al reportado en este trabajo de investigación (48 individuos por ha⁻¹). Estos datos

son inferiores a los de Esquivel et al. (2003), debido que encontraron 39 familias pertenecientes a 99 especies en árboles disperso, las más abundantes y frecuentes son; *Tabebuia rosea*, *Guazuma ulmifolia*, *Cordia alliodora*, *Acrocomia vinifera*, *Byrsonima crassifolia* y *Tabebuia ochracea*, ya que conforman cerca del 60% del total de individuos. Situación similar se reporta en Colombia donde se encontraron 96 especies en las pasturas siendo *Tabebuia rosea* y *Albizia caribea*, es importante señalar que de igual manera en cercas vivas dos especies fueron frecuentes; *Gliricidia sepium* y *Spondias sp* (Cajas-Jiron y Sincalir, 2001).

La ganadería que está influenciada bajo el manejo de los árboles presenta gran diversidad de beneficios para el productor, los animales y sobre todo para el medio ambiente, ya que los árboles promueven que los valores de materia orgánica en el suelo sean abundantes, situación que favorece a la micro y macro fauna, está demostrado que los sistemas silvopastoriles ofrecen alternativas amigables con el medio ambiente, y que con el manejo adecuado logran la estabilidad fisiológica de los animales en pastoreo. Estos sistemas ofrecen mayor diversidad de especies, que funcionan también como corredores biológicos y son un recurso local que el productor puede cosechar (leña, madera, forraje). En Cuba se realizó un trabajo que evaluó la meso fauna edáfica en tres usos de suelo (pastizales abiertos, sistemas silvopastoriles y bosques secundarios), siendo los sistemas silvopastoriles donde se encontró más especies arbóreas (10) que también destacó por tener mayor abundancia de acaraos, mismo que son frecuentes en ecosistemas altos en materia orgánica (Socarrás-Rivero, 2018).

9.3. Carbono en biomasa arbórea

El Silvopastoreo es un tipo de agroforestería, considerada como una opción de producción pecuaria en donde las leñosas perennes (árboles y/o arbustos) interactúan con los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas y animales) bajo un sistema de manejo integral (Pezo y Ibrahim, 1998). En ese sentido, el pastoreo en sistemas silvopastoriles permite a los animales obtener beneficios directos de la diversidad de árboles, lo cual aumenta la calidad nutritiva. Sin embargo, se debe tener los principios de manejo del pastoreo para que la interacción planta-animal funcione correctamente, es decir, los animales obtengan beneficios de las plantas con un manejo adecuado (para evitar sobrepastoreo) y las plantas puedan tener un ciclo de crecimiento constante debido a la poda natural que ejercen los animales, siempre y cuando la presencia de alguno no afecte al otro. Sin embargo, en la realidad son pocos productores los que ven este potencial que los sistemas silvopastoriles ofrecen aparte de ser precursores del secuestro de carbono, y repetidas veces prefieren convertir esos sistemas a grandes pastizales abiertos, talando los árboles.

Hughes *et al.*, (2000), realizaron un estudio con respecto a almacenamiento de carbono en bosque, pastizal y maizal, en los Los Tuxtlas Veracruz. Reportan que para biomasa aérea, los bosque secuestran $195.1 \text{ Mg Cha}^{-1}$, 11.3 Mg Cha^{-1} para pastizales mismos que difieren a esté trabajo donde las prácticas juntas alcanzan 9.8 Mg ha^{-1} y es inferior a lo reportado por los autores aún comparado con suelo de maizales (10.9 Mg Cha^{-1}), estos resultados demuestran la importancia que tienen los árboles dentro de un sistema, ya que a menor presencia de árboles disminuye el secuestro de carbono.

Los bosques son grandes sumideros de carbono ya que tienen distintos reservorios; ramas, hojas, semillas, flores, frutos, tronco y raíces. La alternativa de incluir árboles en paisajes ganaderos recabe en las ventajas que conlleva esta práctica, comparada con sistemas de monocultivo. De Jong (2001), reporta de 120 a 189 tCha^{-1} en bosques de encino-pino el carbono en los Altos de Chiapas, resultado que difiere por mucho a panoramas como agricultura (6 tC ha^{-1}) y pastizales (18.1 tC ha^{-1}).

En ese sentido Jaramillo *et al.* (2003), hicieron estudios en bosques tropicales de llanura, seco y pastizales de Chamela, Jalisco, donde evaluaron el contenido de carbono en un bosque tropical y los cambios con la sucesión secundaria y conversión del bosque a pastos. Reportan para bosque tropical de llanura $178.18 \text{ Mg Cha}^{-1}$ siendo este el más alto, seguido de bosque seco tropical con $57.75 \text{ Mg Cha}^{-1}$ y finalmente las pasturas (antes bosque tropical) con $12.50 \text{ Mg Cha}^{-1}$, estos resultados reflejan claramente que no aprovechar el potencial de los bosques afecta directamente el potencial del secuestro de carbono en los árboles.

Callo-Concha *et al.* (2004), estimaron la acumulación de carbono en biomasa área de diferentes usos de tierras. Los sistemas evaluados fueron: a) cítricos asociados con plátano; b) cítricos asociados con café; c) cítricos asociados con café y plátano; d) cítricos con pastoreo de borregos; e) cítricos asociados con cultivos de cobertura y f) pastura en monocultivo. De estos sistemas agroforestales fue donde pastorean ovejas el que alcanzó 61.8 tC ha^{-1} diferenciándose con respecto a un monocultivo de pasto (1.4 tC ha^{-1}), esto puede estar relacionado al comportamiento de pastoreo de la oveja, ya que la presión del corte cercano al suelo hace a las ovejas eficientes a la hora del talaje al pasto. Ante ello, los autores mencionan que las pasturas son volubles y efímeras por lo tanto se pierde carbono almacenado rápidamente por ciclos de pastoreo. De acuerdo a esa investigación podemos recatar que ha mayor diversidad de especies aumenta el secuestro de carbono por la mayor densidad de árboles que se maneja en el sistema y la sinergia entre las especies, en comparación a un sistema donde solo existe pasto. Estudios como este demuestran la importancia de que la actividad ganadera sea ejecutada en espacios diversos, donde el ganado tenga la

oportunidad de obtener los nutrientes necesarios a partir de varias especies, sea frutales, herbáceas, forrajeras etc., ya que la eficiencia en la nutrición animal depende de la calidad y cantidad de los alimentos que tenga disponibles, no dejando atrás diversos factores como estado fisiológico y/o categoría animal.

Un estudio realizado por Giraldo et al. (2008) en zona de las Andinas Colombianas demostró que tener sistemas silvopastoriles con altas densidades de árboles (más de 1000 individuos ha^{-1}), no siempre resulta ser lo ideal debido a que se encontró menos contenido de carbono en sistemas densos (79.89 tC ha^{-1}) en comparación a zonas poco densas (82.23 tC ha^{-1}). El manejo que reciben los diferentes arreglos silvopastoriles puede estar relacionado con el almacenamiento de carbono, ya que mucho del carbono en un sistema denso puede estar almacenado por encima del suelo en forma de hojarasca.

El potencial de almacenamiento de carbono en arreglos silvopastoriles es dependiente del área geográfica, el tipo de especies, la edad de los árboles, el clima, y muy importante el manejo de la actividad ganadera. Ante esto, Nair *et al.*, (2009) reportan una recopilación de varios estudios con respecto al potencial de secuestro de carbono en sistemas con árboles en regiones diferentes del mundo. En ese sentido, algunos de los sistemas reportados son; 1) Bancos forrajeros y cercas vivas en África ($0.29 - 0.59 \text{ Mg C ha}^{-1}$), 2) Silvopastoriles en la India ($6.55 \text{ Mg C ha}^{-1}$), 3) Sistemas agroforestales con cacao en Costa Rica ($11.08 \text{ Mg C ha}^{-1}$), 4) Sistemas agroforestales en Puerto Rico ($12.04 \text{ Mg C ha}^{-1}$). Recopilación donde podemos observar que el área geográfica y clima tiene influencia en la captura de carbono siendo los países tropicales donde existe mayor concentración de este elemento.

Es claro que hoy en día existe abundante información con respecto a los diferentes arreglos silvopastoriles, lo cual facilita a los productores conozcan beneficios que implica la conversión de monocultivo con pastizales a sistemas complejos donde los árboles juegan papeles importantes, no obstante dichos arreglos deben ser planificados con la intención de ser eficientes en todo los aspectos ya que se deben conocer las algunas combinaciones pueden no llenar las expectativas del productor, animales o peor aún el medio ambiente. En ese sentido Casanova *et al.*, 2010 realizaron una investigación con respecto al cumulo de carbono que existe en biomasa de especies forrajeras (*Guazuma ulmifolia* y *Leucaena leucocephala*) en monocultivo y asociadas, en condiciones tropicales. En donde los resultados fueron favorables para *G. ulmifolia* (14.7 t Cha^{-1}) comparado con *L. leucocephala* (10.4 t Cha^{-1}) y en condiciones asociadas fue de 9.0 tC ha^{-1} respectivamente. Por lo cual la asociación de estas leñosas no aumentó la acumulación de carbono.

El cambio en el uso de la tierra de barbecho tradicional a maíz causa una pérdida total de carbono en la biomasa viva del 94%, sin embargo, al pasar de barbecho tradicional a prototipos mejorados de barbecho, taungya o café mantiene el carbono en la biomasa viva (50 Mg C ha⁻¹ en promedio). Por otro lado el cambio de pastizales sin árboles (3.6 Mg C ha⁻¹) a pastos con cercas vivas (70.1 Mg C ha⁻¹) o árboles dispersos (74.1 Mg C ha⁻¹) aumenta el carbono de la biomasa viva en 20 veces (Soto-Pinto *et al.*, 2010). Estos resultados mencionados anteriormente tienen una tendencia alta de almacén de carbono debido a que los sistemas estudiados incluían cercas vivas de *Gliricidia sepium* y para pasturas con árboles de diversidad de especies. Además fueron establecidos hace 15 años, ya que los árboles más jóvenes absorben con más rapidez el dióxido de carbono a medida que crecen, pero cuando un árbol envejece, se alcanza una etapa de equilibrio en el que la cantidad de carbono que es absorbida por medio de la fotosíntesis es equivalente a la que se pierde en el proceso de respiración y la descomposición.

Las raíces muertas de los árboles son importantes para el reciclaje de nutrientes, además que al descomponerse permiten una mejor infiltración del agua lo cual reduce el suelo compactado, sin embargo varios de estos efectos positivos no ocurren en pastizales sin árboles. Por ello, Torres-Rivera *et al.*, 2011 reportan el carbono presente en tres sistemas diferentes en el sureste de México. Ellos reportan 1.78 ton ha⁻¹ para pastizales con *Cynodon plectostachyus* Pilger más variedades nativas donde hay 3 árboles por hectárea generalmente forrajeras y con vacas lecheras; 1.46 ton ha⁻¹ de carbono en sistema silvopastoril con arbórea (*Erythrina americana* Mill) pastoreado por vacas lecheras y 265.8 ton ha⁻¹ bosque caducifolio excluido totalmente de actividades humanas. La zona de estudio presentaba clima templada lo cual explica la baja cantidad de carbono encontrada en áreas de potrero comparado al bosque, cabe mencionar que el bosque caducifolio contiene gran porcentaje de materia orgánica debido a la abundante biomasa muerta de los árboles sobre el suelo; situación que mantiene un reciclaje de nutriente constante y por ende almacenamiento de carbono, caso contrario con los potreros donde además de una baja tasa fotosintética hay intervención del ser humano por parte de la actividad ganadera.

Los árboles forrajeros son de gran importancia en los sistemas ganaderos, esto por su alto valor nutritivo, ya que aportan más del 15% de proteína en la dieta diaria de los rumiantes, cabe destacar que los animales aprovechan semillas, hojas y tallos en el pastoreo. Anguiano (2013) realizó un trabajo de investigación evaluando almacenamiento de carbono en un sistema agrosilvopastoril con *Leucaena leucocephala* (40, 60, 80 mil plantas ha⁻¹), comparado con pasto y *Cocos nucifera*. El autor reporta que el mayor aporte de carbono fue por parte del

cocotero que aportó del 60 al 80% del total del SASP⁵ y existió una relación inversa de secuestro de carbono de la gramínea al incrementar la densidad de la leguminosa. Lo anterior puede estar relacionado con el pastoreo de los animales, ya que la forrajera es manipulada por el ganado situación que hace la relación carbono- planta se encuentre constantemente variable. En comparación de la palma cocotera que al no ser ramoneada almacena mayor parte del carbono en sus componentes. En ese sentido, para el tratamiento con densidad de 80 mil plantas ha⁻¹ de *Leucaena* almacenó 35.7 tC ha⁻¹ en comparación a la palma (90.21 tC ha⁻¹). Por otro lado el pasto abierto (*Pennisetum*) fue el que menor secuestro de carbono presentó (2.63 tC ha⁻¹), sin embargo estos resultados son superiores a los presentados en este trabajo de investigación, los cual debe ser porque en el área de estudio existe menos densidad de árboles por hectárea y mayor presión a los suelos por parte del ganado.

Los climas tropicales son ambientes favorables para lograr la eficiencia de los ecosistemas, por ende muchas actividades antropogénicas se ven favorecidas con estas características, en ese sentido el sureste de México cuenta con grandes extensiones de pastizales dedicadas a la ganadería, por lo cual es interesante el estudio de los múltiples arreglos de pastoreo, ya que desde el punto de vista ambiental las pasturas como monocultivo tienden a ser poco eficiente cuando se trata de almacenamiento de carbono (13.1 Mg ha⁻¹), comparados con un sistema de pastizales con árboles dispersos (23.4 Mg ha⁻¹) en potrero o combinados con bancos forrajeros que obtuvo 27.1 Mg ha⁻¹ (Nahed-Toral *et al.*, 2013).

Villanueva-López *et al.*, 2015 realizaron un estudio en diferentes reservorios carbono en biomasa de práctica silvopastoril y potrero con monocultivo de pasto, en ese caso las cercas vivas almacenan 6.5 Mg C ha⁻¹ y la captura de carbono anual de la misma se eleva por 19.8 Mg C ha⁻¹, en cuanto a la biomasa aérea de los árboles. Sin embargo, cuando se trata del suelo el pasto almacena más por diferencia mínima (119 Mg C ha⁻¹ para pasto vs 113.3 Mg C ha⁻¹ cerca vivas). Estos resultados en cuanto a carbono en biomasa aérea difieren mucho del presente trabajo de investigación donde para cercas vivas se obtuvo 3 Mg C ha⁻¹ aunque se debe tener cuenta que los productores practican ganadería en zonas de amortiguamiento de una reserva en los límites de la Sierra madre de Chiapas.

Aryal *et al.* (2018a) realizaron un estudio con respecto a reservas de carbono en árboles dispersos en una zona que está limitada por la depresión central de Chiapas, trabajo en el que reportan de 10.75 a 12.72 Mg C ha⁻¹ en biomasa arbórea de un sistema silvopastoril donde también fue evaluado el pasto. El carbono total encontrado en los diferentes reservorios evaluados (hojas, raíces,

⁵ Se refiere a un sistema Agrosilvopastoril

vegetación herbácea y suelo) el silvopastoreo fue más alto (valores que fluctúan de 104.82 a 67.9 Mg C ha⁻¹) comparado a los pastizales (66.72 a 58.63 Mg C ha⁻¹), un estudio que nos refleja la importancia que ocupan los árboles en la ganadería Chiapaneca, debido a que son precursores en la mitigación del cambio climático, situación que cada vez convence a los productores para hacer cambios en el manejo pecuario.

La vegetación forestal y los suelos contienen aproximadamente la mitad del carbono terrestre del planeta y los ecosistemas terrestres tienen el potencial para retener más CO₂ que en la actualidad. Los bosques jóvenes vigorosos pueden retener una gran cantidad de carbono a medida que crecen. Por el contrario, la vegetación y los suelos de los rodales maduros suelen almacenar grandes cantidades de carbono, pero se suman a estas existencias, en todo caso, sólo lentamente (FAO, 2013). En ese contexto, las tasas medias anuales de acumulación de carbono en bosques secundarios del Sur de México mostraron tendencias altas (2.9 a 3.0 Mg C ha⁻¹) en vegetación joven y tasa bajas (1.1 a 1.6 Mg C ha⁻¹) en bosques maduros de 35 años (Aryal *et al.*, 2014).

Un estudio de caso realizado en Chiapas, por Aryal *et al.* (2018b), demostraron que áreas forestales tienen mayor potencial de almacenamiento de carbono en biomasa aérea (46.71 Mg C ha⁻¹) comparado con áreas de pastoreo donde también hay presencia de árboles (0.30 Mg C ha⁻¹). Cabe mencionar los autores estiman en caso de deforestación del área forestal (corresponde al 40% de la unidad de producción) se liberan 6,353 Mg de CO₂.

Los sistemas silvopastoriles ubicados en el sureste de Ecuador presentaron reservas de carbono en biomasa viva arriba del suelo que va de 5.2 Mg C ha⁻¹ a 26.9 Mg C ha⁻¹ (McGroddy *et al.*, 2015), estos resultados difieren con este estudio donde se tiene un rango de 3.0 a 6.8 Mg C ha⁻¹ en prácticas silvopastoriles (cercas vivas y árboles dispersos). La edad en que se cortan árboles que están dentro de sistemas silvopastoriles es un factor importante para el almacenamiento de carbono, en ese sentido, un estudio realizado en comunidades de Chiapas, México reveló que dentro de un margen de 25 a 30 años los árboles alcanzan un diámetro de 40 a 50 cm y almacenan de 24.3 a 38.7 Mg C ha⁻¹ (De Jong *et al.*, 1995).

9.4. Carbono en biomasa de raíces

Las raíces cumplen funciones importantes para el desarrollo de las plantas, ya que son transportadoras de los nutrientes esenciales en el crecimiento, por otra parte ayudan a mantener firme las plantas sobre el suelo y perforar cada capa de tierra en busca de estos elementos incluyendo agua. El secuestro de carbono a través

de las plantas funcionan como una alternativa para mitigar el incremento de dióxido de carbono en la atmósfera, una parte de este elemento se almacena en mantillo, suelo y raíces, en este último el carbono es más estable que en otros componentes de los árboles (Heath *et al.* 2005).

Ante esto, Aguilar-Argüello (2007), evaluó almacenamiento de carbono raíces en sistemas de pasturas en monocultivo y silvopastoriles. Reporto que las cercas vivas almacenaron hasta $1.88 \text{ Mg C ha}^{-1}$, seguido de árboles dispersos $1.12 \text{ Mg C ha}^{-1}$, y finalmente monocultivo (totalmente pasturas) $0.66 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Los resultados muestran claramente que un suelo desnudo (solo cubierto de pastura) tiende a tener menor secuestro de carbono, comparado a los sistemas que incluyen árboles. Estos resultados difieren de los encontrados en este trabajo de investigación cuando se compara los árboles dispersos ya que se estimó 4 Mg C ha^{-1} , pero en el caso de cercas vivas se reportan resultados similares ($1.10 \text{ Mg C ha}^{-1}$), cabe señalar que el área de muestreo no fue determinante en cuanto al secuestro de carbono en los dos trabajos de investigación (ya que el autor tuvo un margen de 1000 m^2 , con especies que tenían de 2 a 4 años de establecimiento).

9.5. Carbono orgánico en el suelo

Covalada *et al.* (2012), mencionan que los potreros estudiados en Chiapas almacenan hasta 84 Mg C ha^{-1} , aunque resulto ser bajo comparado a un bosque ($179.4 \text{ Mg C ha}^{-1}$) fue también más alto que terrenos dedicados totalmente a la agricultura ($45.2 - 75.20 \text{ Mg C ha}^{-1}$). Ante esto, la ganadería puede tener resultados más sustentables con respecto a otras actividades antropogénicas, siempre y cuando el manejo de los árboles y suelo sea primordial para el productor. Estos resultados son mayores a los encontrados en este trabajo de investigación donde los potreros alcanzaron $36.15 \text{ Mg C ha}^{-1}$, a pesar de que los dos estudios se realizaron en el mismo estado, las especies de árboles y pasto, edad, tipo de ganadería, suelo entre otros son factores para el almacenamiento de carbono en los potreros. Sin embargo, nuestro trabajo es superior a los datos reportados por Lok *et al.* (2013), quienes encontraron 25.9 t ha^{-1} de carbono orgánico a una profundidad de 0-15 cm del suelo en un sistema silvopastoril de *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit con 8 años de establecimiento, situación similar al estudio de Miranda *et al.*, 2007 quienes demuestran que los sistemas silvopastoriles almacenan 24 t ha^{-1} lo cual es superior a lo encontrado en los pastizales abiertos (19.5 t ha^{-1}).

Gamarra *et al.*, 2017, reporta de 34.08 a 44.35 t ha^{-1} de carbono orgánico y 2.03 t ha^{-1} de nitrógeno total en sistema silvopastoril bajo y fuera de influencia de la copa de los árboles presente en los potreros, este trabajo de investigación se encuentra dentro de ese rango (32.9 Mg ha^{-1}) pero inferior al reportado por Aryal *et al.*

(2018a), ya que en sistemas silvopastoriles del Valle Central de Chiapas encontraron 69.09 Mg ha^{-1} comparado con el pasto abierto 56.24 Mg ha^{-1} , esta estrecha variación está relacionada a la diversidad de especies, ya que en el primer trabajo solo existe manejo silvopastoril bajo una sola especie (*Prosopis* spp) y en el segundo hubo un rango de 9 - 21 especies identificadas. Sin embargo, Hoosbeek *et al.* (2018) realizaron un estudio sobre el carbono orgánico del suelo en Nicaragua y encontraron 70 Mg ha^{-1} en un sistema silvopastoril (con dos especies; *Guazuma ulmifolia* y *Crescentia*) con respecto a pastizales sin árboles (45 Mg ha^{-1}), esto a una profundidad de 0 - 20 cm del suelo.

Un trabajo realizado por Aryal *et al.* (2018a), demostró que el sistema de silvopastoril almacena más carbono en suelo (48.46 a 89.72 Mg ha^{-1}) comparado con un sistema de pasto (50.95 a 61.52 Mg ha^{-1}), estos valores son altos comparados con los encontrados en este trabajo de investigación (32.90 Mg ha^{-1}), si bien se identificaron más especies el pH en este estudio es moderadamente ácido con respecto al trabajo de los autores quienes reportan un rango de 5.5 -7.6 con una tendencia neutra, Esta propiedad es importante ya que el pH afecta directamente la disponibilidad de los nutrientes del suelo, por lo que suelos ácidos aumenta la posibilidad de toxicidad en las plantas, esto podría estar relacionado con el cumulo de carbono y otros nutrientes en el suelo.

9.5.1. La relación carbono/nitrógeno y carbono/fósforo del suelo

Esta relación es de importancia debido a que indica la cantidad disponible de nitrógeno para las plantas, si los valores son muy altos implica que la descomposición de la materia orgánica es relativamente lenta ya que el nitrógeno es inmovilizado por los microorganismos de lo contrario una relación óptima entre 12 y 24 indica la mineralización y ruptura de tejidos ya que se activa la actividad microbiana y se estimulan la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Gamarra *et al.*, 2017 realizaron un estudio donde la relación carbono/nitrógeno en sistemas silvopastoriles fluctuó entre 11.6-12, rangos inferiores a los encontrados en este trabajo donde se obtuvo de 12.8 a 23.99, lo cual indica que la materia orgánica en el suelo es estable y se favorece la proliferación de organismos ya que tienen suficiente carbono para usarlo como energía y el nitrógeno óptimo para sintetizar las proteínas y tener menos producción de N amoniacal lo cual genera inmovilización del nitrógeno, a lo que por consecuencia se vuelve no disponible para las plantas. Los resultados este estudio mostraron que no hay una correlación entre la concentración de carbono orgánico y fósforo disponible del suelo pero si hubo una correlación positiva entre carbono orgánico y nitrógeno total del suelo. Esto refleja que el origen principal de nitrógeno es de materia

orgánica pero el fósforo puede haber provenído de fuente inorgánica como meteorización de rocas.

10. Conclusiones

- De los tres sistemas ganaderos de doble propósito que existen actualmente en el comunidades de la Reserva de la Biosfera de la Sepultura, el manejo semi-intensivo es el predominante y el menos recurre es el sistema extensivo. El sistema extensivo es poco frecuente en la región; sin embargo, tiene una mayor productividad.
- Existe mayor número de especies arbóreas nativas identificadas en árboles dispersos, con respecto a cercas vivas y bancos forrajeros, donde la mayoría de estas especies proviene de la regeneración natural
- En término de almacenamiento de carbono, la cantidad en la biomasa aérea varía entre prácticas silvopastoriles, siendo el uso árboles dispersos el que almacena más carbono comparado con las cercas vivas.
- En el suelo el carbono no varió entre las prácticas silvopastoriles. Sin embargo, comparando con algunos estudios anteriores el carbono orgánico de suelo fue más alto en sistemas silvopastoriles que pasto en monocultivo.
- Se demostró que algunas propiedades de suelo como pH, conductividad eléctrica, contenido de nitrógeno y fósforo fueron diferentes entre dos zonas de estudio (Frailesca y Costa).

- Es de importancia integrar prácticas silvopastoriles en las unidades de producción ganadera, ya que además de captura de carbono, por medio de los árboles se obtienen múltiples beneficios nutricionales a los animales, ambientales, y generación de recursos económicos al productor.

- Es necesario aumentar la adopción de sistemas sustentables en la producción ganadero, integrando las prácticas silvopastoriles, ya que los sistemas convencionales son manejados de manera ineficiente alterando el ciclo natural de los elementos y funcionamiento ecosistémicos. La integración de los árboles en sistemas de producción ganadera resulta importante ya que por medio de la captura de carbono se contribuye a la mitigación del cambio climático y provisión otros servicios ambientales.

- Finalmente debido a que la ganadería es una de las actividades que más emisiones aporta al cambio climático se buscan alternativas para amortiguar este impacto, en ese sentido las prácticas sostenibles como los sistemas silvopastoriles ayudan a reducir los GEI, y es importante que los sistemas pecuarios de México sean integrados a los Planes de las Acciones de Mitigación Nacional Apropiada (NAMA) ya que se pueden adoptar medidas y compromisos nacionales e internacionales para contribuir a esta

reducción de gases, que en consecuencia aumenta las probabilidades de que un sistema pecuario sobreviva con respecto a un manejo tradicional.

11. Literatura citada

- Aguilar-Argüello V.H. 2007 Almacenamiento de carbono en sistemas de pasturas en monocultivo y silvopastoriles, en dos comunidades de la Selva Lacandona, Chiapas, México. Tesis de Maestro en Ciencias en Agroforestería para el desarrollo sostenible. 84.
- Amezquita, 2008. Foro ciencia, tecnología y biocombustibles: balances de carbono, usos del suelo y esquemas de certificación. Foro nacional ambiental, en Bogotá dc, universidad de los andes.
- Anguiano J, Aguirre M, y Palma, J. M. Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de Cocos nucifera, *Leucaena leucocephala* Var. Cunningham y *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(1): 149-160.
- Aryal DR, De Jong BH, Ochoa-Gaona S, Esparza-Olguin L, Mendoza-Vega J. 2014. Carbon stocks and changes in tropical secondary forests of southern Mexico. *Agric Ecosyst Environ* 195:220–230.
- Aryal DR, Gómez-Castro H, Del Carmen-García N, José-Ruíz O, Molina-Paniagua L, Jiménez-Trujillo J, Pinto-Ruiz R, Ley de Coss A, Guevara-Hernández F, 2018b. Carbon storage potential in forest areas within a livestock system. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9 (48): 150-180
- Aryal DR, Rogelio, R. Gómez-González. Rodrigo, Hernandez-Nuriasmù. Danilo E, Morales-Ruiz. 2018a. Carbon stocks and tree diversity in scattered tree silvopastoral systems in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*
- Aryal, D.R. D.E. Morales, C.N Tondopó-Marroquín, R. Pinto Ruiz, F. Guevara-Hernández, J.A. Venegas-Venegas, A. Ponce-Mendoza, G. Villanueva-López, F. Casanova Lugo, L.A. Rodríguez Larramendi, A. Ley de Coss, A. Hernández-López, F.J. Medina-Jonapá, C.A. Velázquez-Sanabria, A. Alcuía-Aguilar y I. Euán Chi. 2018b. Soil Organic Carbon Depletion from Forests to Grasslands Conversion in México. *A Review. Agriculture*, 8: 181.
- Beer, J.; Harvey, C.; Ibrahim, M.; Harmand, J.M.; Somarraba, E. y Jiménez F. 2003. Servicios Ambientales de los Sistemas Agroforestales. CATIE, Turrialba, Costa Rica. *Agroforestería de las Américas*, 10(37-38): 80-87.
- Betancourt, K.; Ibrahim, M.; Harvey, C. y Vargas, B. 2013“Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua”. *Agroforestería de las Américas* 10(39):39 -40.

- Betancourt, P., González, J., Figueroa, B. y González, F. 2005. Organic Matter and soil characterization during restoration processes with cover crop on temperate areas of México.
- brahim, M., Villanueva, C., Casasola., F Rojas, J. 2006. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y restauración de la integridad ecológica de paisajes ganaderos .Pastos y Forrajes, 29 (4): 114-121.
- Bray, R. H. y Kurtz, L. T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci. 59: 39-45.
- Brookfield, HC. 1993. Notes on the theory of land management. PLEC News and Views 1: 28-32.
- Budowski, G. 1987. Living fences in tropical America, a widespread agroforestry practice. In Agroforestry: realities, possibilities and potentials. Gholz HL (ed). Martinus Nijhoff Publishers: 169–178
- Bushbacher, R. 1986. Tropical deforestation and pasture development. Bioscience 36(1): 22-28.
- Bustamanate J., M. Ibrahim and J. Beer, 1998. Evaluación agronómica de ocho gramíneas mejoradas en un sistema silvopastoril con poró (*Erythrina poeppigiana*) en el trópico húmedo de Turrialba. Agroforestería en las Américas 5(19): 11-16.
- Cajas-Giron Y. S. y Sinclair F. L. 2001. Characterization of multistrata silvopastoral systems on seasonally dry pastures in the Caribbean Region of Colombia. Agroforestry Systems 53: 215–225
- Callo-Concha D, Rajagopal B y Krishnamurthy C. 2004. Secuestro de carbono por sistemas agroforestales en veracruz, Ciencia UANL, 2(2): 60-65.
- Carrasco R.U, Calvo R, Rodríguez L y Moposita D.A. 2017. .Caracterización de fincas ganaderas vacunas para el trabajo de extensión rural en Ecuador. II. Clasificación. Revista Producción Animal, 29(2): 6-13
- Casasola F, Ibrahim M, Harvey C y Kleinn C. 2001. Caracterización y productividad de sistemas silvopastoriles tradicionales en Moropotente, Estel., Nicaragua. Agroforestería de las Américas, 8(30): 17-20.
- Chapin F. S., G. M. Woodwell, J. T. Randerson, E. B. Rastetter, G. M. Lovett, D. D. Baldocchi, D. A. Clark, M. E. Harmon, D. S. Schimel, R. Valentini, C. Wirth, J. D. Aber, J. J. Cole, M. L. Goulden, J. W. Harden, M. Heimann, R. W. Howarth, P. A. Matson, A. D. McGuire, J. M. Melillo, H. A. Mooney, J. C.

- Neff, R. A. Houghton, M. L. Pace, M. G. Ryan, S. W. Running, O. E. Sala, W. H. Schlesinger, y E.-D. Schulze. 2006. Reconciling Carbon-cycle Concepts, Terminology, and Methods. *Ecosystems* 9:1041–1050.
- Chavarría Oseguera, 2010. Incidencia de la legislación forestal en el recurso maderable de fincas agroforestales con énfasis en sistemas silvopastoriles de Copán, Honduras, Tesis Magister Scientiae, 175.
- CHAVE J, Réjou-Mechain M, Búrquez A, Chidumayo E, Colgan M, Welington B.C, Duque Alvarado, Eid T, Fearnside P.M, Goodman R.C, Henry M, Martínez-Yrizar A, Mugasha W.A, Muller-Landau H.C, Mencuccini M, Nelson B.W, Ngodmania A, Nogueira E.M, Ortíz-Malavassi E, Pélissier R, Ploton P, Ryan C.M, Saldarriaga J.G y Vieilledent G. 2015. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20: 3177-3190.
- Combe, J. and G. Budowsky. 1979. Classification of agroforestry techniques: a literature review. In: G. de las Salas (ed.). *Workshop Agrofor. Systems Latin America*, Turrialba, Costa Rica: 17-47.
- Covalada, S., F. Paz y B. de Jong. 2012. Modelo genérico de estados y transiciones para los cambios en los almacenes de carbono en ecosistemas templados de Chiapas. *Terra Latinoamericana*. 356-363.
- Cruz, J; Nieuwenhuys, A. 2008. El establecimiento y manejo de leguminosas arbustivas en bancos de proteína y sistemas en callejones. Turrialba, Costa Rica, CATIE: 152.
- De Jong BH, 2001. Cambio de uso de suelo y flujos de carbono en los altos de Chiapas, México. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, 1-11.
- De Jong BH, Montoya-Gómez G, Nelson K, Soto-Pinto L, Taylor J, Tipper R, 1995. Community forest management and carbon sequestration: a feasibility study from Chiapas, México. *Interciencia* 20(6): 409-416.
- Dewalt, B. 1983. The cattle are eating the forest. *Bulletin of Atomic Scientists*. 39(1): 8-23.
- Engels, C.; Marschner, H. 1995. Plant uptake and utilization of nitrogen. In: Bacon, P. ed. *Nitrogen fertilization in the environment*. Marcel Dekker, 41-81.
- Esquivel H, Ibrahim M, Harvey C, Villanueva C, Benjamín T, Sinclair F. 2003. Árboles dispersos en potreros de fincas ganaderas de un ecosistema seco de Costa Rica. *Agroforestería de las Américas* 10 (40): 24-29

- Estrada,A.; Coates-Estrada, R; Meritt Jr, D; Montiel, S; Curiel, D. 1993. Patterns of frugivore species richness and abundance in forest islands and in agricultural habitats at LosTuxtlas.
- FAO 2013. Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera – Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO2.Producción y Sanidad Animal Documento No. 177. Roma, Italia.
- FAO, 2013. Directrices sobre el cambio climático para los gestores forestales. Estudio FAO Montes N ° 172. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO, 2018. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Soluciones ganadera para el cambio climático. Folleto técnico.
- Fleischner, L. T. 1994. Ecological cost of livestock grazing in Western North America. *Conservation Biology* 8(3): 629-644.
- Gamarra C, Lezcano M.I, Ortíz M, Galeano M y Cardús A. 2017 Relación carbono nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9 (46): 5-26.
- Geilfus, F. 2009. 80 Herramientas participativas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo y evaluación.San José, Costa Rica.: IICA, 2002, Octava reimpresión
- Giraldo C, Murgueitio E y Zuluaga AF. 2011. Ganadería Colombiana Sostenible. Fundación CIPAV: Cali, *Revista Colombiana Ciencias Pecuarias*, 158.
- Gómez Castro H, Tewolde A.M. y Nahed –Toral J. 2002. Análisis de los sistemas ganaderos de doble propósito en el centro de Chiapas, México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 10(3): 175-183.
- Gómez R, López M, Harvey C.A y Villanueva Cristóbal. S/f. Caracterización de las fincas ganaderas y sus relaciones con la cobertura arbóreas en los potreros en el municipio de Belén, Rivas, Nicaragua.
- Gómez R, López M, Harvey C, Villanueva C. 2002. Caracterización de las fincas ganaderas y sus relaciones con la cobertura arbórea en los potreros en el municipio de Belén, Rivas, Nicaragua. 99-112
- González, M. 2003. Cambio climático mundial: origen y consecuencias. *Ciencia UANL*, 6(3):2-09.
- Hartmann, D.L., A.M.G. Klein Tank, M. Rusticucci, L.V. Alexander, S. Brönnimann, Y. Charabi, F.J. Dentener, E.J. Dlugokencky, D.R. Easterling,

- A. Kaplan, B.J. Soden, P.W. Thorne, M. Wild and P.M. Zhai, 2013: Observations: Atmosphere and Surface. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Harvey C, Villanueva C, Villacis J, Chacón J, Muñoz M, López M, Ibrahim M, Gomez R, Taylor R, Martínez J, Navas A, Sáenz J, Sánchez D, Medina A, Vilchez S, Hernández B, Pérez A, Ruiz F, López F, Lang I, Kunth S, Sinclair F. 2003. Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central. *Agroforestería en las Americas* 10 (39): 30-39
- Harvey, C and Haber, W. 1999. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry Systems* 44: 37 - 68.
- Harvey, CA; Villanueva, C; Villacis, J; Chacón, M; Muñoz, D; López, M; Ibrahim, M; Gómez, R; Taylor, R; Martínez, M; Navas, A; Sáenz, J; Sánchez, D; Medina, A; Vilchez, S; Hernández, B; Pérez, A; Ruiz, F; López, F; Lang, I; Sinclair, FL. 2004. Contribución de cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de paisajes agropecuarios en Centroamérica. *Agroforestería en las Américas* 10 (39-40): 30-39.
- Harvey, CA; Villanueva, C; Villancis, J; Chacón, M; Muñoz, D; López, M; Ibrahim, M; Gómez, R; Taylor, R; Martínez, J; Navas, A; Sáenz, J; Sánchez, D; Medina, A; Vilchez, S; Hernández, B; Pérez, A; Ruiz, F; López, F; Lang, I; Kunth, S; Sinclair, F. 2005. Contribution of Live Fences to the Ecological Integrity of Agricultural Landscapes. *Agriculture Ecosystems & Environment* 111:200–230
- Heath J, Ayres E, Possell M, Bardgett RD, Black H, Grant H, Ineson P, Kerstiens G. (2005). Rising Atmospheric CO₂ Reduces sequestration of root-derived soil carbon. *Science*, 309: 1711-1713.
- Hernández Y. A., 1995. Propuesta para establecer el área natural protegida (Reserva de la Biosfera) La Sepultura, en la porción oeste de la Sierra Madre de Chiapas, México. Tesis de licenciatura, Universidad Veracruzana. Facultad de Biología. Xalapa, Veracruz
- Hernández, M. y Sánchez, S. 2006. Evolución de la composición química y la macrofauna edáfica en sistemas silvopastoriles. IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible. Centro de Convenciones de Plaza América, Varadero, Cuba.

- Herrán, C. 2012. El cambio climático y sus consecuencias para América Latina. Proyecto Energía y Clima de la Fundación Friedrich Ebert – FES. 4-15.
- Hoosbeek R.M, Remme R y Rusch G. 2018. Trees enhance soil carbon sequestration and nutrient cycling in a silvopastoral system in south-western Nicaragua. *Agroforest Syst*, 92: 263-273.
- Hughes F.R, Kauffman J y Jaramillo J.V. 2000 Ecosystem-Scale Impacts of Deforestation and Land use in a Humid Tropical Region of Mexico . *Ecological Society of America*, 10 (2): 515-527.
- INEGI, 1996. Chiapas, Censo de Población y Vivienda 1995, Tomo II. Resultados definitivos, Tabulados básicos. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1083.
- INEGI, 2012. Resultados de la ejecución del programa anual de información estadística y geográfica. Informe técnico
- INTA, 2014. Catálogo de la importancia del pH y la conductividad eléctrica en los sustratos para las plantas. Ministerios de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2-11.
- IPCC, 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 11-14.
- Jaramillo J.V, Kauffman B.J, Rentería-Rodríguez L, Cummings D.L y Lisa J. Ellingson. 2003 Biomass, Carbon, and Nitrogen Pools in Mexican Tropical Dry Forest Landscapes, *Ecosystems*, 6: 609-629.
- Jiménez, G. et al., 2010, “Sector Agricultura del Inventario Estatal de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Chiapas”, Informe técnico, Anexo B. PCCCH.
- José, S. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry System* 76: 1–10.
- Lazos C., E. 1996. El encuentro de subjetividades en la ganadería campesina. *Ciencias* 44:36-45.
- Lok S, Fraga S, Noda A, García M, 2013. Almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 47 (1): 75-82
- Lok, S. 2006. Estudio y selección de indicadores de estabilidad del sistema suelo-planta en pastizales en explotación. Tesis Doctoral en Ciencias Agrícolas. ICA, La Habana, Cuba. 120

- MacDiken, K. 1997. A Guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA, US, Winrock International. 87.
- Mahecha, 2002. El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Revista Colombiana Ciencias Pecuarias*, 15 (2): 226-231
- Martínez- Encino C, Villanueva-López G, Casanova-Lugo F. 2013. Densidad y composición de árboles dispersos en potreros en la Sierra de Tabasco, México. *Agrociencia* 47:483-496
- McGroddy E, Lerner A, Burbano D, Schneider L, Rudel T, 2015. Carbon Stocks in Silvopastoral Systems: A Study from Four Communities in Southeastern Ecuador. *Biotropica* 47(4): 407-415.
- Mendieta M y Rocha R.L. 2007. Clasificación de los Sistemas agroforestales. Managua Nicaragua. Universidad Nacional Agraria: 12-104.
- Miranda T, Machado R, Machado H, Duquesne P, 2007. Carbono secuestrado en ecosistemas agropecuarios cubanos y su valoración económica. Estudio de caso. *Pastos y Forrajes*, 30 (4): 483-491.
- Murgueitio E, Chara J, Solarte A, Uribe F, Zapata C, Rivera J. 2013. Agroforestería Pecuaria y Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 26: 313-316.
- Nahed-Toral J, Valdivieso-Pérez A, Aguilar-Jiménez R, Cámara-Cordova R y Grande-Cano D. 2013. Silvopastoral systems with traditional management in southeastern Mexico: a prototype of livestock agroforestry for cleaner production. *Journal of Cleaner Production* 57: 266-279.
- Nair, P.K.R., Kumar, B.M. y Nair, V.D. 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *J Plant Nutr Soil Sci* 172: 10–23.
- Nair, PKR; Kang, BT; Kass, DCL. 1985. Nutrient cycling and soil erosion control in agroforestry systems. In Juo, ASR ed. *Agriculture and environment: bridging food production and environmental protection in developing countries*: 117-138.
- Nair. P. K. R. 2012. Carbon sequestration studies in agroforestry systems: a reality-check. *Agroforestry Systems* 86:243–253.
- NOM-021-RECNAT-2000. Norma Oficial Mexicana de especificaciones de fertilidad, salinidad, y clasificación de suelos, estudio, muestreo y analisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: 1-85.

- Nyberg G. and P. Hogberg, 1995. Effects of young agroforestry trees on soils in on-farm situations in western Kenya. *Agroforestry Systems* 32: 45-52.
- Orantes-Zebadúa M, Platas-Rosado D, Córdova-Avalos V, De los Santos-Lara M.C, Córdova-Avalos A. 2014. Caracterización de la ganadería de doble propósito en una región de Chiapas, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 1(1): 49-58
- Otárola, A. 1995. Cercas de Madero Negro: Práctica agroforestal para sitios con estación seca marcada. *Agroforestería en las Américas*. Año 2 N°5: 24 – 30 p. Mexico. *Vegetation*: 245–257.
- P. K. Ramachandran Nair, B. Mohan Kumar y Vimala D. Nair. 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Revista Plant Nutrition and Soil Science*, 172:10-23.
- PCCCH, 2011, Plan de acción ante el cambio climático en Chiapas, Gob. De Chiapas, CI/ECOSUR/CP/INE/Semarnat, Gobierno del Estado de Chiapas.
- Pezo D, Ibrahim M. Sistemas silvopastoriles. 1998. Colección de Modelos de Enseñanza Agroforestal No. 2. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE.
- Ramirez-Marcial N, Rueda-Peréz, M.L, Ferguson B.G, Jimenez-Ferrer, G. 2012. Caracterización del sistema agrosilvopastoril en la Depresión Central de Chiapas. *Avances en Investigación Agropecuaria* 16(2): 7-22
- Reynolds, SG. 1995. Pasture–cattle–coconut systems. Bangkok, Thailand. FAO, Regional Office for Asia and the Pacific.
- Sauer, JD. 1979. Living fences in Costa Rican agriculture. *Turrialba* 29(4): 225–261.
- Schlesinger, W.H. 1997. *Biogeochemistry: an Analysis of Global Change*. Academic Press, San Diego, CA. USA. 588.
- Schroth G, Laderach P, Dempewolf J, Philpott S, Hagggar J, Eakin H, Castillejos T, Garcia- Moreno R, Soto-Pinto L, Hernandez R, Eitzinger A, Ramirez-Villega J. 2009. Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico, 14(7): 605-625.
- SEMARNANP, 1999. Programa de manejo “Reserva de la Biosfera La Sepultura” México. Instituto Nacional de ecología, 5-248.
- SEMARNAP, 1996. Programa de áreas naturales protegidas de México 1995-2000. México

- Sepúlveda C, Ibrahim M. 2009. Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas como una medida de adaptación al cambio climático en América Central. Informe técnico 377. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)
- Serrao, EA; Toledo, JM. 1993. The search for sustainability in Amazonian pastures. Anderson, AB. ed. Alternatives to deforestation Steps toward sustainable use of the Amazon Rain Forest. Nueva York, U, Columbia University Press, 195-214.
- Shriar, AJ. 2000. Agricultural intensity and its measurement in frontier regions. *Agroforestry Systems* 49: 301–318.
- Snowdon, P; Raison, J; Keith, H; Montagu, K; Bi, K; Ritson, P; Grierson, P; Adams, M; Burrows, W; Eamus, D. 2001. Protocol for sampling tree and stand biomass. Australia, Australian Greenhouse Office: 114.
- Socarrás-Rivero A.A. 2018. Diversity of the edaphic mesofauna in three soil uses in the Mayabeque province, Cuba. *Pastos y forrajes* 41 (2): 113-120
- Soto-Pinto, L., Anzueto, M., Mendoza, J., Jiménez-Ferrer, G., de Jong, B. 2010. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*, 78(1): 39-51
- Souza de Abreu M.H, Ibrahim M, Harvey C, Jiménez F. 2000. Caracterización del componente arbóreo en los sistemas ganaderos de La Fortuna de San Carlos, Costa Rica. *Agroforestería de las Américas*, 7(26): 53-56.
- Steinfeld, H. Gerber P. Wassenaar, T, Castel, V., Rosales, M. y de Haan, C. 2009. La larga sombra del ganado problemas ambientales y opciones. Roma, Italia, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Torres-Rivera J., W. Espinoza-Domínguez, L. Reddiar, A. Vázquez-Alarcón. 2011. Secuestro de carbono en potreros arbolados, potreros sin árboles y bosque caducifolio de Huatusco Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13: 543-549.
- Vallejo E, Roldán F, Arbeli Z, Terán W, Lorenz N y Dick R.P. (2012). Effect of land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in silvopastoral systems of Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 150, 139-148
- Vallejo E, Roldán F, Arbeli Z, Terán W, Lorenz N y Dick R.P. (2012). Effect of land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in silvopastoral systems of Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 150: 139-148.

- Vásquez, 2005. Calcio y Magnesio, acidez y alcalinidad de suelos. Fertilidad de suelos y fertilización de Cultivos. Buenos Aires, Argentina, 161-188.
- Villanueva C;Ibrahim M, Harvey C, Esquivel H.2003.Tipologías de fincas con ganadería bovina y cobertura arbórea en pasturas en el trópico seco de Costa Rica. Agroforesteria en las Americas. 10 (39-40): 9-16.
- Villanueva, C., M. Ibrahim, and C. A. Harvey. 2004. Tree resources on pastureland in cattle production system in the dry pacific region of Costa Rica and Nicaragua Universidad Autónoma Yucatán, Mérida, México: 183-188.
- Villanueva-López G, Martínez-Zurimendi P, Casanova-Lugo, Ramírez-Avilés y Montañez-Escalante P.E. 2015 Carbon storage in livestock systems with and without live fences of *Gliricidia sepium* in the humid tropics of Mexico, Agroforest Syst 89:1083–1096
- Wilson, JR. y Ludlow, MM.1991. The environment and potential growth of herbage under plantations. Forages for plantation crops. Camberra.