



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE SUELOS

Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible

Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible

**Almacenamiento de carbono en sistemas de pasturas en
monocultivo y silvopastoriles, en dos comunidades de la
Selva Lacandona, Chiapas, México.**

T E S I S

**COMO REQUISITO PARA
OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE**

PRESENTA:

VICTOR HUGO AGUILAR ARGÜELLO

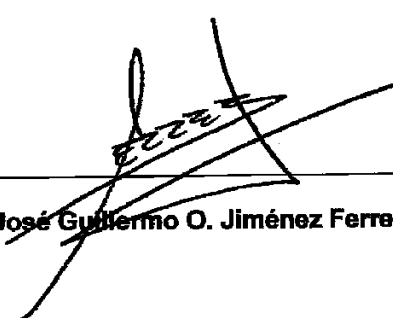
Chapingo, Estado de México, Noviembre 2007

**Almacenamiento de carbono en sistemas de pasturas en monocultivo y
silvopastoriles, en dos comunidades de la Selva Lacandona, Chiapas,
México.**

Tesis realizada por Víctor Hugo Aguilar Argüello, bajo la dirección del comité asesor indicado; aprobado por el mismo y aceptado como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE**

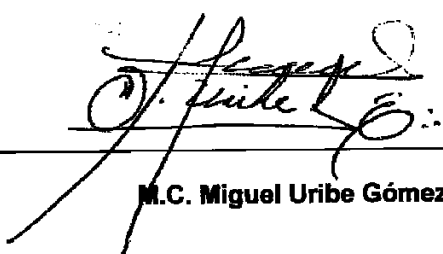
Director: _____


Dr. José Guillermo O. Jiménez Ferrer

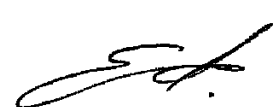
Asesor: _____


Dr. Ma. Lorena Soto Pinto

Asesor: _____


M.C. Miguel Uribe Gómez

Asesor: _____


M.C. Elsa Esquivel Bazán

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a quienes les debo lo que hasta hoy he logrado ser:

A MI PADRE

Sr. Víctor Hugo Aguilar Gordillo, quien me enseñó que cualquier profesión que eligiera requeriría de vocación y deseos de dar lo mejor que poseo para, mi y para mis semejantes. Me guió en mi camino para no perder los valores, mi libertad y el respeto, hacia mí y hacia los demás. Con todo eso reforzó mi deseo de ser lo que hasta hoy he logrado. Gracias padre.

A MI MADRE

Sra. Margarita Argüello Aguilar quien me enseñó que el ser humano puede lograr en cada etapa de su vida, alcanzar todo lo que se proponga y que en el instante que uno actúa con amor y convicción se inicia el fenómeno más maravilloso e increíble el cual es la entrega profesional, que gracias a ti madre lograré ser.

A MIS HERMANAS:

Rosario e Isabel por el cariño que nos une y el respeto que les he tenido, esperando les sirva de motivación para superarse pensando en un futuro mejor.

A MIS ABUELOS

Teresa, Amando, Catalina y Armando quienes ha sido el centro de la familia, y nos ha mantenido unidos. Y muy en especial a mi abuela catalina por la fe puesta en mí.

A MI TÍO

M.C. Arturo Argüello, el cual ha sido mi motivo de inspiración para continuar en mi superación tanto como ser humano y profesionalmente. Gracias tío.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría, en especial al M.C. Miguel Uribe Gómez y al Dr. Miguel Ángel Musalem (q.e.p.d.)

A la Sta. Dolores Coronel por su apoyo incondicional como amiga y a la ayuda brindada durante mi estancia en la maestría.

Al Colegio de la Frontera Sur "ECOSUR" por brindarme la oportunidad y el apoyo de realizar mi estancia de investigación en el estado de Chiapas; en especial Dr. Guillermo Jiménez Ferrer, Dr. Maria Lorena Soto Pinto y a la M.C. Elsa Esquivel Bazán, en razón que me dedicaron parte de su valioso tiempo para llegar a la culminación de mi tesis.

A mi amigo y compañero de estudio Carlos Mario Aguirre Dávila por su apoyo incondicional para la realización de mi trabajo de tesis.

A mis queridos e incondicionales amigos por su apoyo en las largas y pesadas jornadas de trabajo de campo: Ramón Velásquez, Pedro Fernando López, Lorenzo Hernández y Juan Méndez.

A la Cooperativa AMBIO por el apoyo logístico brindado.

Se agradece la beca y financiamiento para la realización de esta tesis al proyecto *“Desarrollo participativo de alternativas silvopastoriles para áreas de pasturas degradadas en la Selva Lacandona, Chiapas”*. Proyecto CHIS-2005-C03-006, del FOMIX-CONACYT de Chiapas México

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México "CONACYT" (Proyecto 46244 SEP – CONACYT), por proveer los fondos para mis estudios de maestría.

A las comunidades de La Corona y Reforma Agraria, por darme la oportunidad de realizar el mi trabajo de tesis, y muy en especial al Sr. Sebastián y al joven Audiel López, por su apoyo durante el trabajo de campo en dichas comunidades.

Al Tec. Manuel de Jesús Gutiérrez, QA. Miguel Ángel López y al Biol. Manuel Anzueto por el apoyo brindado en la realización de los estudios de laboratorio.

DATOS BIOGRÁFICOS

Hijo primogénito de tres hermanos y nacido dentro del seno de una familia católica en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; México, el 20 de septiembre de 1979. Mis padres: Luz Margarita Argüello Aguilar y Víctor Hugo Aguilar Gordillo, mi madre estilista y mi padre profesor del nivel de preparatoria.

Mis estudios de educación básica los realice en la ciudad de Villaflores Chiapas. En el CEBETA No. 42 de Villacorzo Chiapas efectué mis estudios de bachillerato con la especialidad de Ciencias Químico-Biológicas, posteriormente estudie la Licenciatura como Ingeniero Agrónomo en Producción Animal en la UNACH Facultad de Ciencias Agronómicas Campus V de Villaflores. En los años 2005 y 2006 realice mis estudios de maestría en Agroforestería Para el Desarrollo Sostenible en la Universidad Autónoma Chapingo.

En agosto de 2004 termine mi tesis profesional sobre “PREFERENCIAS Y CONSUMO POTENCIAL DE ESPECIES ARBÓREAS FORRAJERAS EN OVINOS”. Durante el período de marzo-septiembre de 2003, realice mi servicio social en el municipio de Trinitaria, Chiapas; dentro del programa “SERVICIO SOCIAL COMUNITARIO”. En los años 2003 y 2004 me dedico a la siembra de chile Jalapeño para hacer un estudio amplio sobre las diferentes plagas que atacan dicha planta y la forma de combatirlas con productos que no contaminen el medio ambiente, pensando siempre en proteger la salud de los consumidores de este producto.

Del 5 al 24 de septiembre de 2005, participe en la Universidad Autónoma de CHAPINGO en el “XIV CURSO INTERNACIONAL DE AGROFORESTERÍA PARA EL ECODESARROLLO”. 2006-2007 me incorpore a ECOSUR como tesista para la realización de este trabajo de investigación.

Almacenamiento de carbono en sistemas de pasturas en monocultivo y silvopastoriles, en dos comunidades de la Selva Lacandona, Chiapas, México.

Carbon storage in monocultural and silvopastoral pasture systems, in two communities of the Jungle Lacandona, Chiapas, Mexico.

Aguilar Argüello V. H; Jiménez Ferrer J. G.,

RESUMEN

La ganadería en áreas tropicales han sido señalada como causante directa del deterioro ambiental. Los cambios en el uso de la tierra y la deforestación, además de tener efectos locales, contribuye con alrededor del 20% de las emisiones de CO₂ y otros gases hacia la atmósfera, los cuales contribuyen al cambio climático un serio problema a nivel mundial.

El presente estudio se realizó en pasturas de productores ganaderos de las comunidades de La Corona y Reforma Agraria. Marques de Comillas, Chiapas México. Se evaluó el almacenamiento de carbono en sistemas de pasturas en monocultivo, con cercos vivos y con árboles en potrero. Asimismo, se caracterizó el sistema ganadero presente en ambas comunidades.

En el área de estudio, la actividad ganadera se caracteriza por ser extensiva, presenta muy poca o casi nula inversión tecnológica, y asistencia técnica. Los productores tienen un importante conocimiento empírico de las condiciones de sus pasturas. En lo que respecta al almacenamiento de C el promedio en las pasturas en sistema árboles en potrero y con cerco vivo es de 88.89 y 87.5 Mg C ha⁻¹ respectivamente. El promedio más bajo correspondió para pasturas en sistema de monocultivo con 60.62 Mg C ha⁻¹, la materia orgánica del suelo es el principal reservorio con más del 80%, mientras que Biomasa viva con un 15%, donde los árboles concentran un 8%, las herbáceas y raíces totales tienen 3% y 5% respectivamente. Los sistemas silvopastoriles pueden llegar a formar un papel importante en la captura de carbono. La extensión de estos sistemas en México, permitiría la implementación de proyectos que integren pagos por servicios ambientales.

Palabras clave: Agroforestería, captura de carbono, ganadería bovina

ABSTRAC

Livestock in tropical areas is well known as a source of environmental degradation. Land conversion and deforestation in the tropics contributes to the serious global problem of climate change by emitting 20% of global CO₂ emissions and other relevant gases, besides having local effects.

The present work was carried out in the pastures of cattle producers of the communities La Corona and Reforma Agraria, Marques de Comillas, Chiapas Mexico. The carbon storage was evaluated in monocultural pasture systems, those with living fences and with trees on the pasture land. The cattle ranching system in both communities was characterized.

In both communities the cattle activities is extensive and present almost no technological investment or technical assistance. The producers have an important local knowledge about the pasture systems. The livestock systems with living fences and trees on pasture store an average of 88.89 and 87.5 Mg C ha⁻¹ respectively. The lowest average 60.62 Mg C ha⁻¹ was found in monocultural systems. Organic soil matter was the main reservoir with more than 80%, while live biomass stores 15% of which trees concentrate 8%, herbaceous plants 3% and total roots 5% respectively. Silvopastoral systems can play an important role in carbon sequestration. These systems in Mexico could allow payments for environmental services.

Key words: Agroforestry, carbon storage, livestock

CONTENIDO

RESUMEN	VII
ABSTRAC	VII
INDICE DE CUADROS	XI
INDICE DE FIGURAS	XII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVO GENERAL	4
2.1 Objetivos específicos	4
3. MARCO TEORICO	5
3.1 Cambio climático	5
3.1.2 Efecto invernadero	6
3.1.3 Gases de efecto invernadero (GEI)	7
3.1.4 EL dióxido de carbono en la problemática del efecto invernadero	8
3.2 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto	9
3.2.1 Los mecanismos del protocolo de Kyoto	10
3.2.2 Mecanismos de desarrollo limpio (MDL)	11
3.3 La ganadería y el cambio climático	12
3.3.1 Características, problemas e impacto de la ganadería en el trópico	12
3.3.2 Ganadería y Emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI)	15
3.4 Agroforestería Pecuaria y su potencial para servicios ambientales	16
4. MATERIALES Y MÉTODOS	19
4.1 Área de estudio	19
4.1.1 Comunidad La Corona	20
4.1.2 Comunidad Reforma Agraria	21
4.1.3 Características generales de las comunidades estudiadas	22
4.2 Selección de parcelas y caracterización	24

4.3 Caracterización de las actividades ganaderas	26
4.3.1 Disponibilidad	27
4.4 Cuantificación de carbono en los diferentes Reservorios	27
4.4.1 Carbono orgánico en suelo (MO).....	30
4.4.2 Biomasa viva (BV)	32
4.4.2.1 <i>Carbono en Árboles</i>	32
4.4.2.2 <i>Hierbas (H)</i>	32
4.4.2.3 <i>Carbono en raíces gruesas y finas (R)</i>	33
4.5 Análisis estadístico	34
5. RESULTADOS.....	35
5.1 Caracterización de la actividad ganadera.....	35
5.1.1 Suelos.....	36
5.1.2 Componentes pasto-árbol-animal.....	39
5.1.3 Percepción de los productores de sus áreas de pastoreo.	40
5.1.4 Disponibilidad y calidad del forraje de pasto en época de lluvia.....	42
5.1.5 Manejo y características del ganado.....	46
5.1.6 Dinámica en el uso del suelo	47
5.2 Estimación de almacenamiento de carbono.....	47
5.2.1 Carbono en biomasa viva (BV) y en sus componentes	48
5.2.1.1 <i>Carbono en árboles</i>	48
5.2.1.2 <i>Carbono en el componente herbáceo</i>	49
5.2.1.3 <i>Carbono en raíces totales</i>	49
5.2.2 Materia orgánica del suelo (MOS)	50
5.2.3 Carbono total (Ct)	51
6. DISCUSIÓN	52
6.1 Ganadería Y uso del suelo en la selva lacandona.....	52
6.2 Ganadería bovina y recursos naturales	54
6.3 Almacenamiento de carbono	56
6.3.1 Carbono en árboles	56
6.3.2 Carbono en el componente herbáceo.....	57
6.3.3 Carbono en biomasa viva (BV)	58
6.3.4 Materia orgánica del suelo (MOS)	59
6.3.5 Carbono total (Ct)	60

6.4 Perspectivas de los servicios ambientales (captura de carbono) y sistemas silvopastoriles.....	62
7. CONCLUSIONES	64
8. RECOMENDACIONES	66
9. BIBLIOGRAFIA	68
10. ANEXOS	82

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Carateristicas generales de las comunidades estudiadas.	23
Cuadro 2.	Caracteristicas de las parcelas seleccionadas.	25
Cuadro 3.	Características físicas de los suelos.....	37
Cuadro 4.	Textura a tres profundidades de suelo, en los tres sistemas.	38
Cuadro 5.	Evaluación de las áreas de pastoreo desde la perspectiva de los productores en las comunidades La Corona y Reforma Agraria.....	41
Cuadro 6.	Disponibilidad de forrajes en un corte en los sistemas de pasturas, SM, SCV y SAP, en las comunidades (MS t ha ⁻¹).	43
Cuadro 7.	Composición química (% MS) de pastos en la comunidad de Reforma Agraria.....	45
Cuadro 8.	Composición química de pastos en la comunidad La Corona. Información expresada en porcentaje.....	45
Cuadro 9.	Carbono almacenado en los reservorios Biomasa Viva, Materia Organica del Suelo y Carbono total (Mg C ha ⁻¹), para pasturas en Sistemas de monocultivo, con cercas vivas y árboles en potrero.	48
Cuadro 10.	Carbono almacenado en Biomasa viva y en sus componentes para las diferentes pasturas en sistemas de monocultivo, con cercos vivos y árboles en potrero.	49
Cuadro 11.	Carbono almacenado en suelo en los diferentes sistemas de pasturas y profundidades.	51
Cuadro 12.	Carbono total almacenado en las pasturas en sistemas monocultivo, con cercos vivos y árboles en potrero.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio, subregión Marques de Comillas, Chiapas, México.	19
Figura 2. Mapa perteneciente, a la comunidad en estudio de La Corona municipio de Marques que Comillas, Chiapas.	20
Figura 3. Mapa perteneciente, a la comunidad en estudio de Reforma Agraria municipio de Marques que Comillas, Chiapas.....	21
Figura 4. Sistemas evaluados A. Pasturas en Monocultivo B. Pastura con cerco vivo C. Pastura con árboles en potrero.	24
Figura 5. Parcela de Investigación para cuantificación de carbono en sistemas de pasturas con árboles dispersos.	28
Figura 6. Parcela de Investigación para cuantificación de carbono en sistemas de pasturas con cercos vivos.....	29
Figura 7. Parcela de Investigación para cuantificación de carbono en sistemas de pasturas en monocultivo.	30
Figura 8. Modelo conceptual cualitativo de la estructura y funciones del sistema ganadero de la comunidad La Corona, municipio de Marqués de Comillas, Chiapas.	35
Figura 9. Modelo conceptual cualitativo de la estructura y funciones del sistema ganadero de la comunidad Reforma Agraria, municipio de Marqués de Comillas, Chiapas.	36
Figura 10. Porcentaje de carbono en los diferentes reservorios que conforman la biomasa viva de los diferentes sistemas.	50

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de “ganaderización” en las áreas tropicales ha sido ampliamente señalado como causa directa del deterioro ambiental. Sin embargo la situación es más compleja si se tiene en cuenta que son múltiples las fuerzas que inducen la deforestación (e.g. modelos de desarrollo, políticas publicas, políticas de colonización, etc.) en cuyo contexto la ganaderización constituye una consecuencia y no la causa (Villafuerte, 1997). Por otra parte la rentabilidad de la ganadería ha sido cuestionada por los bajos márgenes de utilidad por unidad de tierra en pastoreo, lo cual se ve agravado por la alta susceptibilidad a la degradación de los monocultivos de gramíneas. Sin embargo, en el sureste de México, ésta actividad tiene un alto dinamismo y en Chiapas permite la subsistencia de un amplio sector de la sociedad rural, especialmente de campesinos, mucho de ellos indígenas.

En los últimos 50 años, México ha perdido mas de 40 millones de hectáreas de bosques y selvas debido al cambio de uso del suelo (Moncada, 2002). Además de tener el 64 por ciento de los suelos agropecuarios en estado de degradación (Luiselli, 2002).

La degradación de los pastizales es un problema grave en todo el trópico latinoamericano (Szott *et al.*, 2000; Villafuerte, 1997), sin embargo en el sureste de México, no existen datos que permitan cuantificar con precisión su magnitud. Las causas mas comunes de la degradación de pastizales es el sobrepastoreo y la quema frecuente. Estas prácticas resultan en la compactación y erosión de los suelos, la perdida de nutrientes y materia orgánica, transporte y disminución de retención de agua y la invasión por malezas, de tal forma que después de pocos años las pasturas son incapaces de sostener la producción (Steinfel, 2002; Ibrahim y Mora, 2001; Szott *et al.*, 2000).

Los cambios en el uso de la tierra (principalmente la deforestación en las áreas tropicales) además de tener los efectos locales mencionados, también contribuyen con alrededor del 20% de las emisiones de dióxido de carbono y

otros gases hacia la atmósfera (Brown y Neil-Adger, 1994). Este proceso causa cambios climáticos globales, contribuyendo a la pérdida de la biodiversidad en los bosques naturales y al desequilibrio de otros ecosistemas terrestres.

El cambio climático es un problema con características únicas, ya que es de naturaleza global, sus impactos mayores serán en el largo plazo e involucra interacciones complejas entre procesos naturales (fenómenos ecológicos y climáticos) y procesos sociales, económicos y políticos a escala mundial (Veldkamp, 1993).

Hay evidencia de que las actividades humanas son causantes de cambios medibles en la composición de la atmósfera. Aunque las consecuencias de dichos cambios son sujeto de mucha polémica, existe un calentamiento del clima global debido al llamado efecto invernadero. De mediados del siglo XIX a la fecha, la actividad humana ha resultado en aumentos globales de la temperatura del orden de $0.6^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ (IPCC, 2001).

El CO_2 es el gas de mayor importancia desde el punto de vista del calentamiento global debido al volumen producido todos los años, con un aumento en su concentración atmosférica y por el tiempo de residencia del gas en la atmósfera. Este gas es responsable del 50 por ciento del calentamiento global a través de la absorción de la radiación térmica emitida por la superficie de la tierra (Veldkamp, 1993). Su concentración aumentó en $31 \pm 4\%$, desde el periodo 1000-1750 hasta el año 2000 (IPCC, 2001) como consecuencia de la utilización de combustibles fósiles, la fabricación de cemento y la deforestación mundial (FAO, 2001).

El total de carbono emitido en el siglo pasado a partir de la quema de combustibles fósiles fue de 261,233 millones de toneladas, en las que 19 países contribuyeron con 82.8% de las emisiones, y el resto del mundo contribuyó con el 17.2%. México emitió 2,627 millones de toneladas de carbono que corresponden al 1% de las emisiones totales durante el período considerado (1900-2000), ubicándose en la posición número 15 (Arvizu, 2004).

Goudraan (1990) y Minani *et al.* (1993) indican que bosques y pastos son los más importantes almacenadores de carbono. Es de suponer que combinaciones de plantas C_3 y C_4 tendrán mayor capacidad de incorporar CO_2 que cualquier otro sistema agroforestal, e incluso que los sistemas forestales artificiales.

La meta prioritaria en el ámbito ambiental, es reducir el CO_2 de la atmósfera. Por lo tanto, los sistemas de producción agropecuaria que trasladen CO_2 ocioso de la atmósfera a un ciclo biótico y lo retengan por más tiempo dentro del agroecosistema o en productos durables serán más sostenibles y convenientes.

En este contexto, el presente estudio pretende aportar información sobre la contribución y el potencial de almacenamiento de carbono en sistemas ganaderos con manejo de pasturas mejoradas en monocultivo y sistemas silvopastoriles, en la Región de la Selva Lacandona, en las comunidades La Corona y Reforma Agraria municipio de Marques de Comillas, Chiapas, México. Información que puede ser útil para la implementación de pago por servicios ambientales y generar referencias útiles para el cambio de uso del suelo de pasturas degradadas a sistemas más sostenibles.

2. OBJETIVO GENERAL

- 1.** Cuantificar el carbono almacenado en sistemas de pasturas de monocultivo y silvopastoril, en dos comunidades de la Selva Lacandona, Chiapas, México.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir las características principales de los sistemas ganaderos bovinos en dos comunidades con actividad ganadera
2. Analizar las características de los sistemas: pasturas en monocultivo, pasturas con cercas vivas y árboles dispersos en áreas de pastoreo
3. Estimar la cantidad de carbono presente en biomasa arbórea, herbácea, biomasa de raíces gruesas, finas y suelo mineral en los sistemas de pasturas en monocultivo, con cercas vivas y árboles dispersos.
4. Discutir la perspectiva de la agroforestería y venta de servicios ambientales en los sistemas ganaderos.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 CAMBIO CLIMÁTICO

La causa del cambio climático global surge a partir de las actividades humanas que desde la revolución industrial intensificaron el uso de combustibles fósiles, el cambio de uso de suelo y la destrucción de muchos sistemas ecológicos que contribuyen al equilibrio ecológico dinámico de los gases en la atmósfera.

Dicho cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras (IPCC, 2001). Se debe tener en cuenta que la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), en su Artículo 1, define ‘cambio climático’ como: ‘un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables’.

El clima depende de un gran número de factores que interactúan de manera compleja. A diferencia del concepto tradicional de clima, como el promedio de alguna variable, hoy en día se piensa en éste como un estado cambiante de la atmósfera, mediante sus interacciones con el mar y el continente, en diversas escalas de tiempo y espacio. Cuando un parámetro meteorológico como la precipitación o la temperatura sale de su valor medio de muchos años, se habla de una anomalía climática ocasionada por forzamientos internos, como inestabilidades en la atmósfera y/o el océano; o por forzamientos externos, como puede ser algún cambio en la intensidad de la radiación solar recibida o incluso cambios en las características del planeta (concentración de gases de efecto invernadero, cambios en el uso de suelo, etc.) resultado de la actividad humana (Magaña, 2004).

A la década de 1980 se le conoce como la “década del invernadero”, debido a las altas temperaturas globales promedio registradas y a la serie de condiciones climáticas inusuales presentadas en varias partes del mundo, como sequías,

inundaciones, ciclones, huracanes y tifones (Figueres y Gowan, 2002). De acuerdo a las predicciones del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2001) para el nuevo siglo se considera que si no se produce ningún cambio en las políticas ambientales mundiales habrá : A) un aumento en la temperatura global media, B) una disminución aún más en la superficie emergida del hemisferio Norte y aumentará la capa de hielo del Océano Antártico; C) que el nivel del mar aumente; D) un aumento de las precipitaciones así como de sus variaciones anuales, sobre todo en medias y altas latitudes del hemisferio Norte y en el invierno antártico.

3.1.2 Efecto invernadero

A largo plazo la Tierra debe liberar al espacio la misma cantidad de energía que absorbe del sol. La energía solar llega en forma de radiación de onda corta, parte de la cual es reflejada por la superficie terrestre y la atmósfera. Sin embargo, la mayor parte pasa directamente a través de la atmósfera para calentar la superficie de la Tierra. Ésta se desprende de dicha energía enviándola nuevamente al espacio en forma de radiación infrarroja, de onda larga.

El vapor de agua, el dióxido de carbono y los otros "gases de efecto invernadero" que existen en forma natural en la atmósfera absorben gran parte de la radiación infrarroja ascendente que emite la Tierra, impidiendo que la energía pase directamente de la superficie terrestre al espacio. A su vez, procesos de acción recíproca (como la radiación, las corrientes de aire, la evaporación, la formación de nubes y las lluvias) transportan dicha energía a altas esferas de la atmósfera y de ahí se libera al espacio. Afortunadamente existe este proceso más lento e indirecto, ya que si la superficie de la Tierra pudiera irradiar libremente la energía, nuestro planeta sería un lugar frío y sin vida (PNUMA, 1999).

Al aumentar la capacidad de la atmósfera para absorber la radiación infrarroja, nuestras emisiones de gases de efecto invernadero alteran la forma en que el clima mantiene el equilibrio entre la energía incidente y la irradiada. El problema estriba en que las actividades humanas, están aumentando de forma sustancial las concentraciones de algunos de los gases que tienen capacidad para absorber la radiación infrarroja, rompiendo el equilibrio entre la energía incidente y la irradiada al espacio.

3.1.3 Gases de efecto invernadero (GEI)

Estos gases son aquellos integrantes de la atmósfera, de origen natural y antropogénico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de ondas del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera, y las nubes. Esta propiedad causa el efecto invernadero (IPCC, 2002).

El vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4), y ozono (O_3) son los principales gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre. Diferentes autores (Schneider, 1989; Houghton y Woodwell, 1989; Goudie, 1990; Dixon *et al.*, 1994; Masera, 1995) afirman que el bióxido de carbono (CO_2) es el principal gas de efecto invernadero.

Además existe en la atmósfera una serie de gases de efecto invernadero totalmente producidos por el hombre, como los halocarbonos y otras sustancias que contienen cloro y bromuro, de las que se ocupa el Protocolo de Montreal. Además del CO_2 , N_2O , y CH_4 , el Protocolo de Kyoto aborda otros gases de efecto invernadero, como el hexafluoruro de azufre (SF_6), los hidrofluorocarbonos (HFC), y los perfluorocarbonos (PFC).

Las actividades por la que el hombre añade gases GEI al ambiente, han sido por ejemplo, al quemar carbón, petróleo y gas natural. Éstos procesos liberan grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2) al aire, al igual que al destruir los bosques escapa a la atmósfera el carbono almacenado en los árboles. Otras actividades esenciales, como la cría de ganado y el cultivo de arroz, también

emiten "gases de efecto invernadero", como dióxido de carbono, metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O). La rosa-tumba-quema es muy importante por cuanto a la emisión de (CO_2).

3.1.4 EL dióxido de carbono en la problemática del efecto invernadero

El aumento de la concentración de CO_2 a partir de la industrialización es espectacular comparado con las concentraciones relativamente estables de CO_2 (280 ± 10 ppm) de los milenios precedentes. El ritmo medio de aumento desde 1980 es de 0.4% anual. La mayoría de las emisiones durante los últimos 20 años se deben a la quema de combustibles de origen fósil; el resto (de 10 a 30%) proviene predominantemente de los cambios en el uso de la tierra, especialmente por la deforestación.

El CO_2 es el gas de mayor importancia desde el punto de vista del calentamiento global debido al volumen producido todos los años, con un aumento en su concentración atmosférica y por el tiempo de residencia del gas en la atmósfera. El CO_2 es responsable del 50 por ciento del calentamiento global a través de la absorción de la radiación térmica emitida por la superficie de la tierra (Veldkamp, 1993). Lo anterior ha traído como consecuencia una preocupación a nivel mundial por los incrementos de dicho gas.

A pesar de éste problema a escala mundial, los países desarrollados (principalmente Estados Unidos y Rusia), no están dispuestos a cambiar sus modelos de desarrollo y por tanto, las emisiones de gases a la atmósfera y países como los Estados Unidos siguen incrementado las emisiones netas de gases invernadero.

El desarrollo industrial ha ubicado históricamente a Estados Unidos como el principal país emisor de CO_2 , al contribuir con 30.3% de las emisiones históricas y con 24.19% de las emisiones en el año 2000. Existen 15 países que contribuyen con 71.4% de las emisiones de CO_2 mundiales por quema de combustibles fósiles; entre ellos se encuentra México en la posición 12, con 98 millones de toneladas de carbono, que representa 1.54%. Al considerar a

México en el contexto de América Latina y El Caribe, nuestro país contribuye con 27.3% de las emisiones, con un índice de 1.1 toneladas de carbono por habitante por año (Marlan *et al.*, 2003).

3.2 CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL PROTOCOLO DE KYOTO

En 1992 se efectuó la llamada reunión Cumbre de la Tierra, efectuada en Río de Janeiro, Brasil. En dicha convención se planteó el inicio de lucha contra el cambio climático producido por las emisiones antropogénicas de los GEI, para esto se propuso estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida la alteración del sistema climático.

Para tratar esta problemática mundial fue necesario crear la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) la cual tiene como objetivo lograr, la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible (ONU, 1992).

Los países industrializados que son parte de la Convención, son llamados Países Anexo 1, a estos se les considera como los mayores responsables del calentamiento de la Tierra los cuales son: Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Bulgaria, Canadá, Comunidad Económica Europea, Checoslovaquia, Dinamarca, España, Estados Unidos de América, Estonia, Federación de Rusia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Japón, Letonia, Luxemburgo, Noruega, Nueva Zelanda, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido de Gran Bretaña, Irlanda del Norte, Rumania, Suecia, Suiza, Turquía y Ucrania. Estos son los únicos países que asumen compromisos cuantitativos de reducción y estabilización de emisiones a los niveles presentes en 1990

(CMNUCC, 1997). EL anexo II, lo conforman un subconjunto de países donadores miembros de la OCDE, los cuales tienen el compromiso de facilitar recursos a los países en vías de desarrollo.

Complementariamente se creó un mecanismo jurídico vinculado entre las Partes llamado Protocolo de Kyoto. Los gobiernos acordaron en 1997 el Protocolo de Kyoto del Convenio Marco sobre Cambio Climático de la ONU (UNFCCC). El acuerdo ha entrado en vigor el pasado 16 de febrero de 2005, sólo después de que 55 naciones que suman el 55% de las emisiones de gases de efecto invernadero lo han ratificado. En la actualidad 166 países, lo han ratificado.

El objetivo del Protocolo de Kyoto es conseguir reducir un 5,2% las emisiones de gases de efecto invernadero globales sobre los niveles de 1990 para el periodo 2008-2012. Este es el único mecanismo internacional para empezar a hacer frente al cambio climático y minimizar sus impactos. Para ello contiene objetivos legalmente obligatorios para que los países industrializados reduzcan las emisiones de los 6 gases de efecto invernadero de origen humano.

3.2.1 Los mecanismos del protocolo de Kyoto

El Protocolo de Kyoto incluye tres mecanismos (artículos 6, 12 y 17) diseñados para incrementar el costo-efectividad de la mitigación del cambio climático, al crear opciones para que las Partes Anexo I puedan reducir sus emisiones, o aumentar sus sumideros de carbono de manera más económica afuera de su país que adentro. Aunque el costo de limitar emisiones o expandir la captura varía mucho entre las regiones, el efecto en la atmósfera es el mismo, sin importar donde se lleven a cabo las acciones (UNFCCC, 2003).

El artículo 17 establece el comercio de emisiones, mediante el cual las partes del Anexo B podrán participar en actividades de comercio de los derechos de emisión. También menciona que toda operación de este tipo será suplementaria a las medidas nacionales que se adopten para cumplir los compromisos cuantitativos de limitación y reducción de emisiones.

El Artículo 6. Instrumentación conjunta, señala que todas las Partes Anexo I podrán transferir a cualquier otra Parte incluida en el mismo Anexo, o adquirir de ella, las Unidades de Reducción de Emisiones (ERUs, por sus siglas en Inglés) resultantes de proyectos encaminados a reducir las emisiones antropogénicas de GEIs por las fuentes ó incrementar la absorción antropogénica por los sumideros. Las ERUs podrán ser utilizadas por las Partes que inviertan en dichos proyectos para cumplir sus metas de reducción.

El Artículo 12, Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), funciona de manera similar al de Instrumentación Conjunta, a diferencia que Partes no Anexo I serán los huéspedes de proyectos de mitigación. La estructura institucional del MDL es más compleja ya que incluye un Consejo Ejecutivo, que guiará y supervisará los arreglos prácticos del MDL. El Consejo opera bajo la autoridad de la Conferencia de las Partes (Guzmán *et al.*, 2004).

3.2.2 Mecanismos de desarrollo limpio (MDL)

El MDL, contenido en el Artículo 12 del Protocolo de Kyoto, permite a los gobiernos o entidades privadas de países industrializados implementar proyectos de reducción de emisiones en países en desarrollo, y recibir créditos en la forma de "reducciones certificadas de las emisiones", las cuáles pueden ser contabilizadas dentro de sus objetivos nacionales de reducción. El MDL procura la promoción del desarrollo sostenible de los países en desarrollo, y a la vez permite a los países desarrollados contribuir con el objetivo de reducir las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero (PNUMA, 2004).

Los países del Anexo I. Tienen el compromiso de implementar proyectos que reduzcan emisiones de gases de efecto invernadero, sujeto a ciertas restricciones, que remuevan gases de efecto invernadero mediante el secuestro de carbono, generalmente son países en desarrollo y menos desarrollados. Las reducciones certificadas de emisiones que se generen, conocidas como RCE, pueden ser usadas por la Parte Anexo I para ayudar a alcanzar sus metas de

reducción de emisiones. Los proyectos MDL deben ser aprobados por todas las partes involucradas, deben conducir a un desarrollo sostenible en los países anfitriones, y deben resultar en beneficios reales, mensurables y a largo plazo en cuanto a la mitigación al cambio climático (Auckland *et al.*, 2002).

A fin de participar en el MDL, existen ciertos criterios de elegibilidad que los países deben cumplir. Todas las Partes deben cumplir tres requerimientos básicos: participación voluntaria en el MDL, el establecimiento de una Autoridad Nacional para el MDL, y la ratificación del Protocolo de Kyoto. Adicionalmente, los países industrializados deben cumplir algunas estipulaciones adicionales: el establecimiento del "monto asignado" bajo el Artículo 3 del Protocolo, de un sistema nacional para la estimación de los gases de Efecto Invernadero, de un registro nacional, de un inventario anual y de un sistema de contabilidad para la compra y venta de reducciones de emisiones (PNUMA, 2004).

3.3 LA GANADERÍA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

3.3.1 Características, problemas e impacto de la ganadería en el trópico

En el trópico de México y en los países Latinoamericanos, se han dado cambios notables en el uso del suelo y de los recursos naturales. La ganadería bovina., a pesar de ser una de las actividades económicas más dinámicas, ha dejado una profunda marca en el paisaje, en la biodiversidad, en la fertilidad del suelo y en la hidrología, así como en el desarrollo rural en las zonas tropicales de América Latina (Sánchez, 1998). Se considera que la destrucción de grandes extensiones de selvas y bosques, para dar paso a praderas, ha sido uno de los mayores cambios del uso del suelo en las últimas décadas, contribuyendo a la degradación de áreas de pastoreo, contaminación de aguas y suelos, disminución de la biodiversidad e impacto en la capa de ozono). El daño ambiental que resulta de la producción ganadera actual es preocupante.

En México, la mayor producción ganadera se localiza en el norte árido y semiárido. Sin embargo, en términos de crecimiento de número de cabezas y

aumento de la superficie de pastoreo, el sureste de México, supera a las demás regiones del país, Calculando la media para los coeficientes de agostadero en México, se requiere al menos 12.3 hectáreas de terreno por unidad animal para tener una ganadería sostenible (SEMARNAT, 2003).

Tomando en consideración que de acuerdo con las estimaciones de existencias de ganado, en donde se menciona que actualmente el país tiene alrededor de 31.3 millones de unidades animales, esto indicaría que nos encontramos en un 96% por arriba de la capacidad de carga que tiene el territorio nacional (Velázquez *et al.*, 2002). Aunque se ha observado una disminución en el número de cabezas en la última década, la superficie destinada a la ganadería creció casi 4 millones de hectáreas entre 1993 y 2000.

Los efectos del ganado son enormes si consideramos que sólo 16% del territorio mexicano son pastizales y que aproximadamente el 40% de la superficie ganadera se presenta en ambientes naturales, en donde muchas de las especies silvestres conforman su dieta. Las alteraciones producto de la ganadería, perturban el ciclo hidrológico, el suelo y la vegetación que a su vez generan erosión, pérdida de diversidad e incendios. En el trópico húmedo la densidad del ganado es de una cabeza por 1.14 a 4 ha de pastizal. Actualmente, la ganadería ocupa al menos 19% del área que antes ocupaban las selvas húmedas. Esto se debe, en gran medida a las políticas del Estado que estimularon la expansión de la ganadería en las regiones tropicales, especialmente en el sureste de México. En el trópico húmedo (zonas bajas) también hay un fuerte impacto de la ganadería, 20% de esta zona ecológica se destinó a la ganadería. Asimismo, más del 22% de los bosques de niebla se convirtieron en pastizales permanentes y 21% de los bosques de pino y encino han sido convertidos por esta actividad (Challenger, 1998). Actualmente, la ganadería se practica en 56% del territorio del país. Solamente el 26% del país contiene vegetación natural libre del efecto de la ganadería.

En el sureste de México, es común observar grandes extensiones de potreros con pasturas degradadas, sin árboles, suelos compactados y erosionados, y animales con baja condición corporal Bustamante y Botero (1998) mencionan que actualmente la ganadería enfrenta serios cuestionamientos debido al modelo imperante de producción, caracterizado por grandes extensiones de gramíneas, baja o nula diversidad de especies, alto grado de transformación de los ecosistemas naturales, escasos niveles de integración con el sector agrícola y con otras especies agropecuarias, bajos niveles de eficiencia y rentabilidad, deterioro del medio ambiente y poca participación efectiva en la solución de necesidades socioeconómicas de la población.

El principal problema relacionado con la alimentación de los animales, es la marcada estacionalidad en la disponibilidad de forraje, dado por las condiciones climatológicas, edáficas y de manejo (Minson, 1990; Giraldo *et al.*, 2000). Latinoamérica dependen, en gran medida, de los recursos forrajeros, dado que, en la mayoría de ellos, una gran proporción de los nutrientes requeridos por los animales son derivados de las pasturas. La baja productividad podría ser atribuida a la degradación de las pasturas y la consecuente reducción en el potencial productivo de las mismas (Blanco, 1991).

A lo anterior se suma el hecho de que la producción y calidad de los pastos en el trópico es afectada enormemente por factores climáticos (Minson, 1990; Giraldo *et al.*, 2000). Además, la producción de forrajes en el trópico se encuentra limitada, por la baja fertilidad natural de los suelos; limitaciones derivadas de la acidez, altos niveles de saturación de aluminio y bajos contenidos de fósforo y nitrógeno para suplir las necesidades de las gramíneas (Ramírez, 1998). Todas las causas limitantes para la producción bovina en pastoreo están interrelacionadas: factores ambientales (fertilidad del suelo, malezas, etc.); tecnológicos (mal manejo de pasturas, ausencia de leguminosas, etc.) y socioeconómicos (políticas inadecuadas, falta de transferencias tecnológicas, etc.) (Pezo *et al.*, 1992).

Los niveles de producción animal en el trópico son bajos en comparación a los derivados de pasturas templadas, tanto en pastizales naturales o incluso de especies mejoradas, debido a su bajo valor nutritivo. Aunque, en los últimos años se han seleccionado especies mejoradas de gramíneas y de leguminosas tropicales las cuales están adaptadas a diferentes ecosistemas y han dado mejoras sustanciales en la producción animal (Pezo *et al.*, 1992; Hernández y Benavides, 1995).

3.3.2 Ganadería y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

La ganadería contribuye directamente a la emisión de gases de efecto invernadero a través de una serie de procesos. Al desmontar el bosque y pasar a pasturas, se pierde considerable cantidad de carbono edáfico, siendo mayor la pérdida en las pasturas degradadas. Por otra parte, prácticas tradicionales como las quemas anuales en sabanas tropicales reducen las adiciones de materia orgánica al suelo (Fearnside *et al.*, 1998). Las pérdidas de carbono están relacionadas a la remoción de la vegetación y a las pérdidas de materia orgánica.

La ganadería también contribuye a la emisión de metano, por la fermentación entérica y las excreciones de los animales. Estas últimas también son fuente de óxido nitroso, de la misma manera que las forrajeras fijadoras de nitrógeno, en particular la alfalfa. Cuando estas pasturas son enterradas, debido a la periódica renovación de los cultivos, también se provocan procesos que llevan a la emisión de óxido nitroso

El metano (CH₄) es liberado por el ganado como producto secundario de la digestión. La transformación de los carbohidratos en el tracto digestivo de herbívoros (incluyendo insectos y humanos) da como resultado la producción de metano. El volumen de metano producido mediante este proceso es conocido como "fermentación entérica" y es más grande en los animales rumiantes, tales como ganado vacuno, búfalos, ovejas, cabras y camellos. El potencial del metano para el calentamiento global es más o menos 24 veces

más alto que el de CO₂ (LEAD, 2001). Las emisiones de metano de animales rumiantes domésticos pueden ser reducidas hasta cierto punto, en la medida en que los productores usen razas de ganado eficientes en la conversión alimenticia y sistemas de pastoreo con forraje mejorado de alta calidad (Montenegro y Abarca, 2000), toda vez que los animales que pastan en praderas de pobre calidad producen más metano por unidad de alimento consumido.

3.4 AGROFORESTERÍA PECUARIA Y SU POTENCIAL PARA SERVICIOS AMBIENTALES

Uno de los desafíos que los sistemas de producción tienen en la actualidad es integrar el uso y la conservación de los recursos naturales con la necesidad de producción de la población, lo que puede lograrse con el rescate del conocimiento de los productores y con la investigación sobre el uso y manejo de recursos promisorios. En éste contexto, se hace necesario la implementación de alternativas que permitan revertir los procesos de deterioro de los recursos naturales, sin menoscabo de las actividades productivas en el medio rural. En los últimos años, múltiples trabajos se han desarrollados para superar la contradicción " producción-conservación" e integrar la producción en un contexto sustentable. La Agroforestería como actividad que combina la agricultura y el recurso forestal en un determinado espacio y/o tiempo es una de ellas, y en donde los sistemas silvopastoriles o agrosilvopastoriles ofrecen una opción viable para la producción animal (Jiménez, 2001).

En diversos foros se ha señalado los importantes beneficios que puede proporcionar la agroforestería pecuaria así, esta alternativa puede propiciar niveles altos de sostenibilidad agronómica (reducción del riesgo debido a plagas y enfermedades; mayor utilización y mejoramiento del ciclaje de nutrientes), sostenibilidad económica (diversas fuentes de ingreso), sostenibilidad social (abastecimiento de diversos productos agropecuarios, mayores oportunidades de trabajo) y sostenibilidad ecológica (mayor acumulación de biomasa; mejoramiento del ciclo hidrológico; mayor protección del suelo; mejoramiento de

la fauna y la flora y diversos servicios ambientales, como la reducción de emisiones de carbono).

Sin embargo, a pesar de haberse encontrado múltiples bondades mediante la Agroforestería, ésta opción no se ha valorado, debido principalmente a la falta de una política más agresiva que genere investigación y diversas acciones de adopción de ésta estrategia.

Los sistemas silvopastoriles (SS) involucran la presencia en una combinación natural o una asociación deliberada de árboles (Maderables, frutales o árboles multipropósito) y herbáceas nativas o cultivadas y su utilización por rumiantes todo ello en un sistema de manejo integral, cuyo objetivo principal sea incrementar el beneficio neto por hectárea a largo plazo (Pezo e Ibrahim, 1997; Sánchez, 1998). Los SS incluyen diversas modalidades y prácticas agrícolas y agroforestales como: cercos vivos, bancos forrajeros, árboles en potrero, mejoramiento de árboles en acahuals, cortinas etc.

La introducción de tecnologías silvopastoriles, como la siembra de árboles en los potreros, el uso de cercas vivas, cortinas rompevientos ó bancos forrajeros, al tiempo que mejoran la calidad de la dieta permiten beneficios adicionales al sistema, también ayudan a liberar áreas degradadas para permitir en ellas la regeneración natural, constituirse como sumideros de carbono y hábitat de diversos organismos o corredores que permiten la conectividad entre ecosistemas mas estables (Ibrahim y Mora, 2001).

Los sistemas silvopastoriles si bien no son de uso generalizado, cada día se están difundiendo mas 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 (sumidero de carbono y conservación de la biodiversidad) (Harvey y Haber, 1999; Souza *et al.*, 2000).

En la última década, mucho de los países de las regiones tropicales han incorporado el desarrollo sostenible, la liberalización de los mercados y la

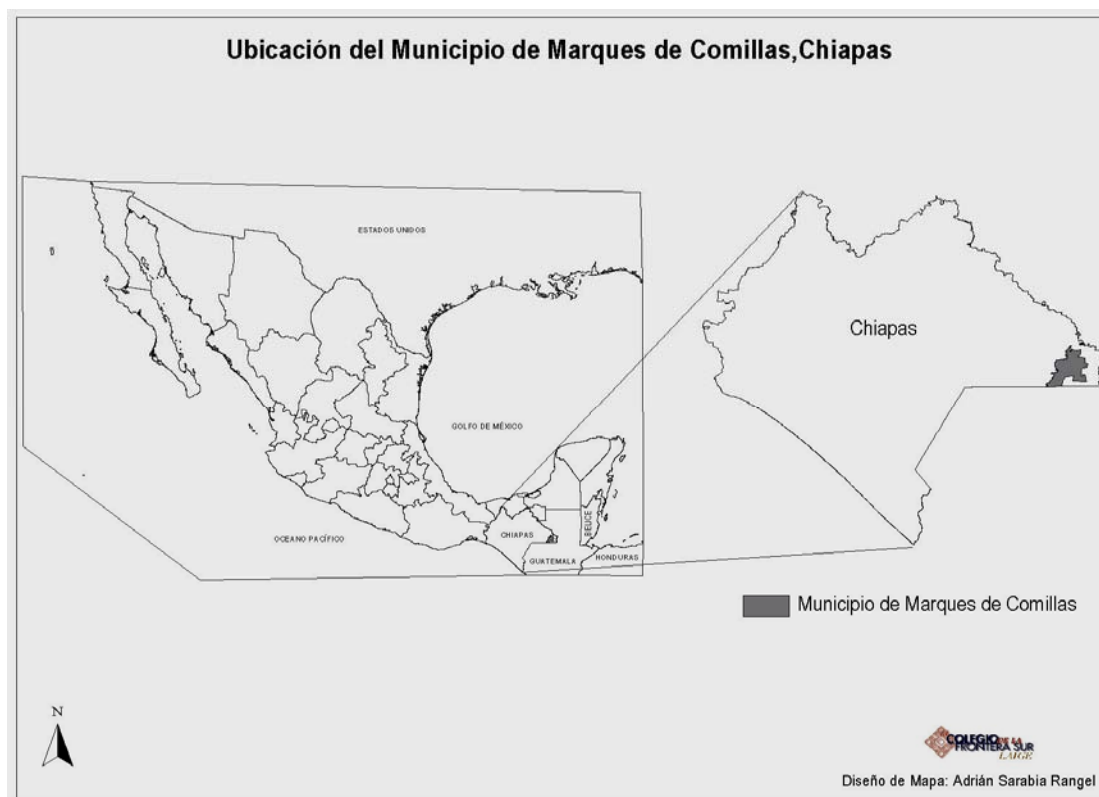
reducción o eliminación de los subsidios como elementos fundamentales en sus políticas agrarias. Esto crea un nuevo marco para los sistemas de producción animal, pues éstos no solo deberán incrementar su productividad, sino que tendrán que ser cada vez más compatibles con el uso racional de la base de recursos naturales. Deberán también mejorar su eficiencia en términos reales, para hacerlos más competitivos bajo las condiciones de apertura de mercados (FAO, 2001). Por lo consiguiente, la incorporación de árboles y arbustos en los sistemas de producción ganadera es una estrategia que responde a los propósitos planteados anteriormente. Además de su contribución potencial a contrarrestar los impactos ambientales negativos característicos de los sistemas tradicionales (FAO, 2002). Constituye un mecanismo para diversificar las empresas pecuarias, generar nuevos productos e ingresos adicionales, reducir la dependencia de insumos externos e intensificar el uso del recurso suelo, sin menoscabo de su potencial productivo a largo plazo (Bauner, 1992).

Los sistemas silvopastoriles simulan las características de un bosque natural, donde la exposición en estratos utiliza diferentes niveles de energía y ofrecen una alternativa sostenible para aumentar la biodiversidad animal y vegetal, y los niveles de producción animal, con reducida dependencia de los insumos externos, ya que se aprovechan las ventajas de los diversos estratos de la vegetación, así también, mejoran la dieta animal como respuesta a la diversidad de alimentos, ya que permite a éste variar su dieta y aumentar su nivel de producción (Somarriba, 1988).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se realizó en la Selva Lacandona, Chiapas, México. Se eligió a la subregión Marques de Comillas, ubicada en la porción suroeste de la selva, delimitada físicamente al norte, este y oeste por el río Lacantún y al sur con la frontera internacional de la Republica de Guatemala (SEMARNAP, 1997). Geográficamente se ubica entre los paralelos $90^{\circ} 26'$ y $90^{\circ} 57'$ longitud oeste y $16^{\circ} 04'$ y $16^{\circ} 30'$ latitud norte (Mariaca, 2002). Dicha subregión cubre una superficie 92,018 hectáreas (Arreola, 1999). Pertenece al municipio del mismo nombre y tiene como cabecera a Zamora Pico de Oro. Incluye a 24 localidades, de las cuales se seleccionaron dos comunidades donde se practica la actividad ganadera. Las comunidades seleccionadas fueron: La Corona y Reforma Agraria, situadas en la porción Este de la subregión Marques de Comillas.



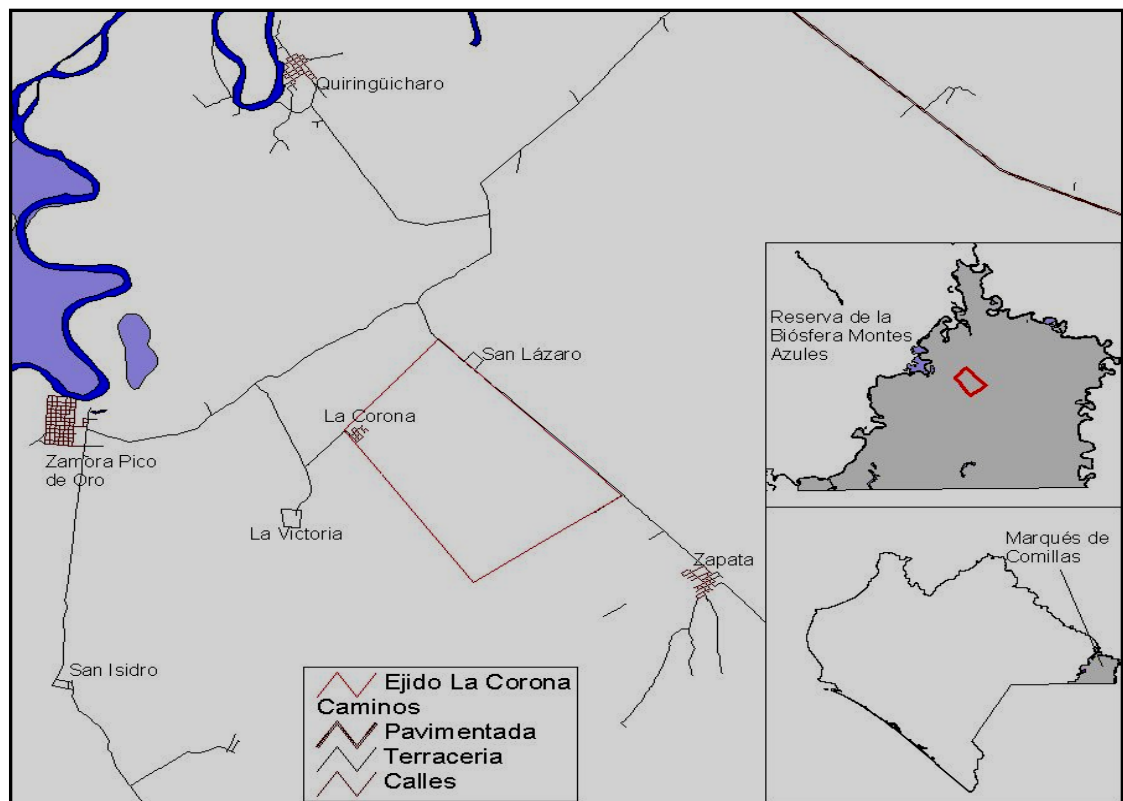
Fuente: AMBIO 2005.

Figura 1. Área de estudio, subregión Marques de Comillas, Chiapas, México.

4.1.1 Comunidad La Corona

En 1986, se asientan dos grupos de población en el ejido de la Corona. El primer grupo proveniente de Amatenango del Valle, de origen tseltal, y el segundo grupo venían de las comunidades Lázaro Cárdenas del Río, Samuel León Brindis, La Campesina, del municipio de Socoltenango, Villa de las Rosas, y Tzimol, de origen mestizo. El nombre del ejido proviene del apellido de su gestor y fundador, Arnulfo Corona (Hernández *et al.*, 2006).

Dicha comunidad se localiza en latitud 16° 19' 50" y longitud 90° 41' 51", con una altura que oscila entre los 100 a 200 msnm. Colinda al Norte con el ejido San Lázaro, hacia el sureste con la cabecera municipal de Zamora Pico de Oro (INEGI, 2006). Cuenta con un clima de tipo Am w" (i') g, con precipitación pluvial de 60 mm en el mes de máxima sequía y una precipitación media anual de 2, 500 mm (Hernández *et al.*, 2006).



Fuente: AMBIO 2005.

Figura 2. Mapa perteneciente, a la comunidad en estudio de La Corona municipio de Marqués de Comillas, Chiapas.

4.1.2 Comunidad Reforma Agraria

Los fundadores del nuevo centro de población ejidal Reforma Agraria, son las familias Hernández Dávila y Hernández Lara, originarios del Estado de Oaxaca en el año de 1976 (Mariaca, 1997). La población que actualmente habita tiene un origen diverso, Veracruz, Tabasco, Puebla, Edo. de México, Guerrero, Campeche, Guatemala y del propio estado, como son Comitán y Palenque. Aunque culturalmente ellos manifiestan ser de la etnia chinanteca originarios de Oaxaca (Mariaca, 1997).

El ejido se encuentra situado en la porción este de la subregión de Marqués de Comillas, con una superficie de 2, 465.5 hectáreas. Limitada al norte con el ejido Zamora Pico de Oro, al sur y sureste con el ejido José López Portillo y Adolfo López Mateos, al oeste con el Río Lacantún, y al este con el ejido Nuevo San Isidro. Geográficamente se encuentra ubicado en latitud 16° 15' 24" y longitud 90° 51' 34" (INEGI, 2006). A una altitud de 180 msnm. De acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificada por García (1981) el clima correspondiente a Reforma Agraria es un Am w" (i') g, teniendo un clima calido, con temperatura media del mes más frío superior a 18°C, con una precipitación anual superior a 2500 mm.

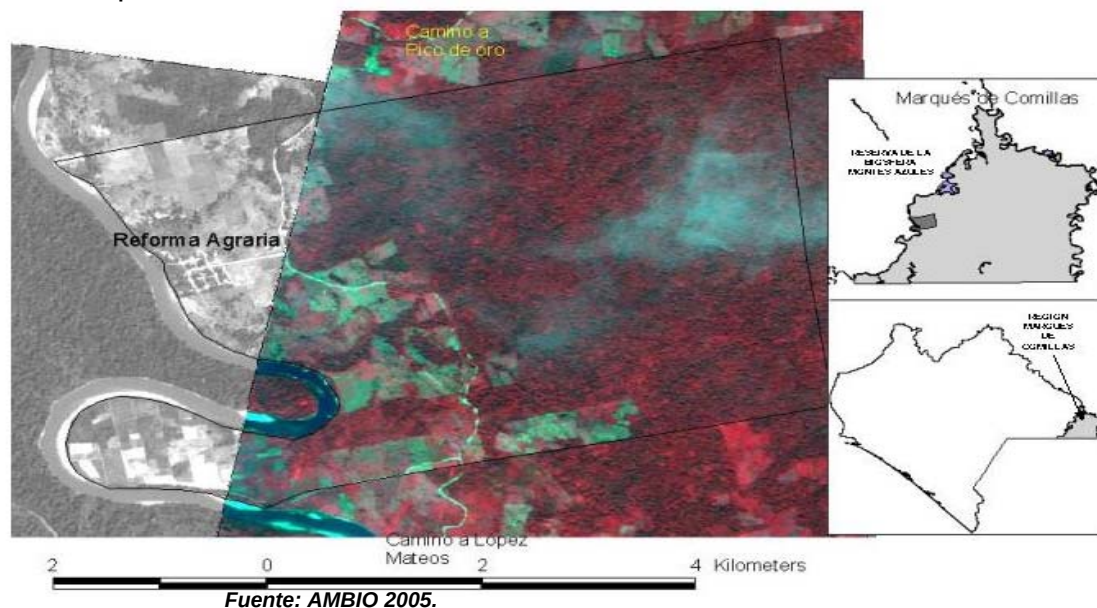


Figura 3. Mapa perteneciente, a la comunidad en estudio de Reforma Agraria municipio de Marques que Comillas, Chiapas.

4.1.3 Características generales de las comunidades estudiadas

El Cuadro 1. Muestra una síntesis de las principales características de las comunidades de La Corona y Reforma Agraria. El ejido La Corona, cuenta con una densidad demográfica de 7.5 habitantes por Kilómetro cuadrado, teniendo una población total de 226 habitantes de los cuales 146 son hombres y 120 mujeres. Existe un precario cubrimiento en servicios básicos como agua potable, baterías sanitarias y drenajes. Los materiales de la vivienda, son en su mayoría de techo de lámina con paredes de madera y piso de tierra. Por otro lado, el ejido de Reforma Agraria cuenta con una estructura poblacional actual de 188 habitantes, donde el 49.5 % de la población son hombres y el 50.5% son mujeres. Reforma Agraria cuenta con una extensión territorio de 2, 465.5 ha hectáreas con la cual tiene una densidad poblacional de 10 habitantes por kilómetro cuadrado. Los materiales constructivos de las viviendas son de techos de lamina, guano y un porcentaje muy pequeño echas de concreto, las paredes están echas de madera, block y carrizo, mientras que los pisos están elaborados de cemento y tierra.

El clima para ambas comunidades es calido, con una temperatura media del mes más frío superior a los a 18 °C. Con una precipitación pluvial de 60 mm en el mes de máxima sequía y con una precipitación media anual de 2,500 mm, otra característica es su poca oscilación anual de temperatura media mensual que va de 5 a 7 grados centígrados. Este tipo de clima permite el desarrollo de una gran diversidad de cultivos sobre todo los considerados de clima tropical, lo que ha llevado a diferentes dependencias gubernamentales impulsar el cultivo de plantaciones de palma africana, para la extracción de aceites comestibles, así como las de marañon, rambután, entre otros frutos que tienen gran demanda en el mercado nacional, destinados a una mayor para explotación.

Se identifican principalmente suelos arcillosos, en áreas destinadas a las actividades productivas; además se identifican áreas de suelos arenosos en las zonas de reserva. Los suelos en ambas comunidades presentan un pH de 5.6 hasta 6.8 y temperaturas de suelo de los 25 a 28 °C.

Cuadro 1. Características generales de las comunidades estudiadas.

Características	La Corona	Reforma Agraria
Latitud	16° 19' 50"	16° 15' 24"
Longitud	90° 41' 51"	90° 51' 34"
Altitud (msnm)	100 a 200	180
Temperatura promedio	18 °C	18 °C
Precipitación promedio	2, 500 mm	2500 mm
Clima	Calido	Calido
Propiedad del suelo	Ejidal	Ejidal
Extensión	2,252.80	2, 465.5
Ha. Tierra uso ganadero	375.2	447
Ha. Tierra uso agrícola	126.5	122.41
No. de productores	52	33
ha. tierra por productor	25.12	22.61
No. de habitantes	266	188
Infraestructura	Nula	Nula
Asistencia técnica	Nula	Nula
Cultivos	Maíz, frijol, chihua, chile y piña	Maíz, frijol, huertos familiares y chile
Manejo del ganado	Pastoreo tradicional	Pastoreo tradicional
Sistema de pasturas	Monocultivo y silvopastoril	Monocultivo y silvopastoril
Tipo de ganado	Cebú y suizo	Cebú y suizo
No. Total de cabezas	446	797
Becerras	45	73
Sementales	6	5
Animales grandes	415	719

4.2 SELECCIÓN DE PARCELAS Y CARACTERIZACIÓN

La investigación se llevó a cabo en parcelas de productores ganaderos de las comunidades mencionadas; el trabajo de campo, se efectuó en dos periodos. El primero se llevó a cabo en los meses de marzo a julio del 2006, con la finalidad de identificar los diferentes sistemas ganaderos a través de entrevistas con productores, y la realización de talleres participativos. Se realizaron en cada comunidad transectos en las áreas de pastoreo para identificar las variantes o tipos de sistemas de pasturas. (IIED, 1994; GEA, 1993). En el Cuadro 2. Se presenta las características de las parcelas de estudio.

El segundó periodo de campo estuvo comprendido en los meses de septiembre a noviembre en el cual se evaluaron pasturas en: A) monocultivo, B) con cercos vivos y C) árboles en potrero Figura 4. Tomando el sistema de monocultivo como línea base para la acumulación de captura de carbono (C) y el estado de degradación de pasturas.

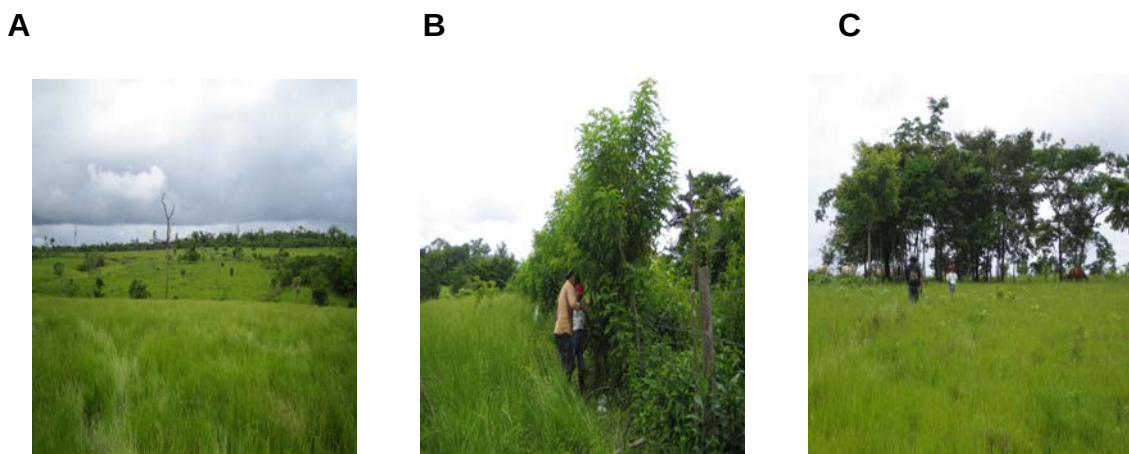


Figura 4. Sistemas evaluados A. Pasturas en Monocultivo B. Pastura con cerco vivo C. Pastura con árboles en potrero.

Cuadro 2. Características de las parcelas seleccionadas.

Numero	Ubicación Geográfica	Altitud asnm	Comunidad	Sistema	Uso Actual
1	18° 06' 131"	164	La Corona	SM	Ganadería bovina
2	18° 06' 118"	163	La Corona	SM	Ganadería bovina
3	18° 05' 442"	178	La Corona	SM	Ganadería bovina
4	17° 97' 480"	146	Reforma A.	SM	Ganadería bovina
5	17° 97' 550"	144	Reforma A.	SM	Ganadería bovina
6	17° 97' 904"	185	Reforma A.	SM	Ganadería bovina
7	18° 06' 826"	156	La Corona	SCV	Ganadería bovina
8	18° 06' 921"	173	La Corona	SCV	Ganadería bovina
9	18° 07' 234"	174	La Corona	SCV	Ganadería bovina
10	17° 97' 317"	158	Reforma A.	SCV	Ganadería bovina
11	17° 97' 915"	155	Reforma A.	SCV	Ganadería bovina
12	17° 97' 425"	172	Reforma A.	SCV	Ganadería bovina
13	18° 07' 234"	180	La Corona	SAP	Ganadería bovina
14	19° 10' 110"	175	La Corona.	SAP	Ganadería bovina
15	18° 07' 227"	169	La Corona.	SAP	Ganadería bovina
16	17° 87' 280"	165	Reforma A.	SAP	Ganadería bovina
17	17° 97' 827"	160	Reforma A.	SAP	Ganadería bovina
18	17° 98' 131"	161	Reforma A.	SAP	Ganadería bovina

SM. Sistema de monocultivo, **SCV.** Sistema de cercos vivos, **SAP.** Sistema de árboles en potrero.

Por cada comunidad se seleccionaron 9 parcelas al azar haciendo un total de 18 parcelas en investigación; distribuidas en 6 parcelas de monocultivo, 6 con cercos vivos y 6 con árboles en potrero.

Cada parcela fue caracterizada tomando en cuenta las siguientes características: temperatura ambiental, pendiente, forma del terreno, altitud y pedregosidad. Para el caso de las parcelas de pasto mejorado con cerco vivo se evaluaron, cercos establecidos de 3 años en adelante con la finalidad de que los resultados obtenidos fueran representativos en cuanto a los resultados de carbono.

En las parcelas de cercos vivos y árboles en potreros se efectuó un inventario forestal con la finalidad de conocer la estructura y la diversidad de la vegetación. Se finalizó con la aplicación de entrevistas y encuestas, con la finalidad de obtener información representativa sobre los cambios y usos que han presentado las parcelas a través de los años, como también el manejo y la valoración de las pasturas desde un punto de vista del productor.

4.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES GANADERAS

Para poder obtener la información necesaria para el estudio del sistema ganadero en ambas comunidades, se utilizó un enfoque de sistemas, para el análisis integral de la ganadería; y el método de evaluación rural participativa (GEA, 1993).

Se realizó dos talleres participativos en ambas comunidades en las cuales se consideró las variables socioeconómicas, técnicas del sistema ganadero y la valoración de los pastizales desde la perspectiva del productor. Por lo cual fue necesaria la aplicación de encuestas, entrevistas con productores y recorridos de campo.

Después de los talleres y los recorridos de campo se seleccionó a 9 productores por comunidad haciendo un total de 18 productores, para efectuar una entrevista semi-estructurada (Anexo 1), en la cual se procedió a recopilar la información necesaria para realizar la tipificación del sistema ganadero:

a) características del ganadero, b) usos de suelo, c) sistemas de pasturas presentes en potreros, d) manejo de las pasturas, e) evolución de las pasturas por el productor, f) manejo y producción ganadera.

4.3.1 Disponibilidad de follaje disponible de pastos

Para determinar disponibilidad de forraje de pastos, se utilizó el método del cuadrante. Esta técnica utiliza un marco de acero de 0.5 x 0.5 m. Dicho cuadrante fue lanzado al azar en 6 ocasiones en cada parcela. Se cortó todo el material herbáceo a ras de suelo para su posterior pesado, se mezcló el contenido de las submuestras para formar una muestra compuesta de aproximadamente 200 g. Las muestras fueron secadas en la estufa a 70 °C hasta peso constante.

Con base al muestreo en pasturas, se obtuvo el % de materia seca (MS) en laboratorio y con los pesos frescos de campo se efectuó la estimación de la disponibilidad de pastos por hectárea.

4.4 CUANTIFICACIÓN DE CARBONO EN LOS DIFERENTES RESERVORIOS

La cuantificación de los reservorios de Carbono se realizó mediante el establecimiento de tres tipos de parcelas para monitoreo, esto debido a la forma espacial del componente arbóreo dentro de los sistemas silvopastoriles.

Las metodologías empleadas para el establecimiento de las diferentes parcelas fue tomada de diferentes autores (Ruiz, 2002; Andrade e Ibrahim, 2003; Delgadillo y Quechulpa, 2006). En cada parcela se estimó la cantidad de C presente en los diferentes reservorios establecidos por la IPCC (2003):

- a). Biomasa viva: árboles, hierbas, raíces (gruesas y finas) y
- b) Materia orgánica del suelo.

Para el caso del sistema de pasto con árboles en potrero se establecieron parcelas de forma circular de 1,000 m² (Figura 5). Para la formación de esta pacerla se establece un punto central dentro de ella en el cual se radiaron 4 líneas en sentido horizontal de 5.65 y 17.85 m cada una, las cuales constituyeron parcelas de 100 y 1,000 m² respectivamente. La parcela 100 m² se marcó con la finalidad de realizar la medición e identificación de especies arbustivas dentro del sistema.

En este caso no se efectuó corrección en el factor de compensación de pendiente ya que las parcelas se encuentran ubicadas en lugares sin pendiente. En la parte central se determinó la posición geográfica de la parcela, con el sistema de posicionamiento satelital GPS.

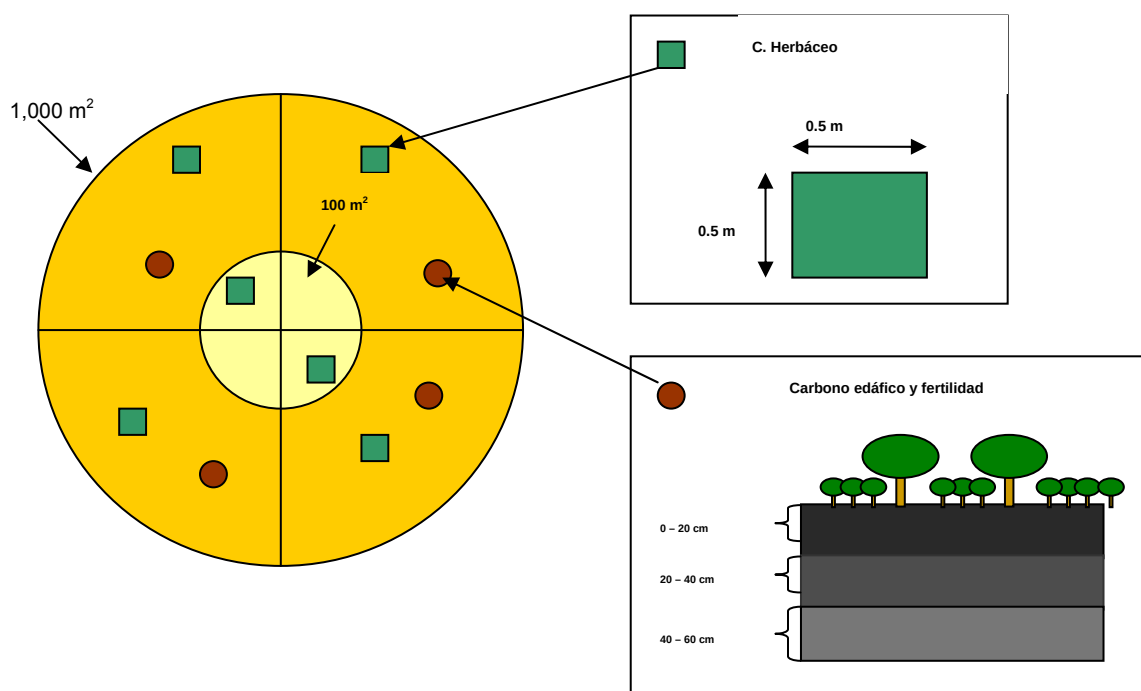


Figura 5. Parcela de Investigación para cuantificación de carbono en sistemas de pasturas con árboles dispersos.

Para el sistema de pasto con cerco vivo se establecieron parcelas de forma rectangular de 1,000 m² Figura 6. El ancho de la parcela fue de 10 m y de un largo de 100 m, para el establecimiento de dicha parcela se necesitaron cercos con densidades de especie arbóreas similares y de edad 2 o 4 años de establecimiento con el fin de homogenizar características del sistema, para evitar sesgos en la estimación de carbono en el sistema.

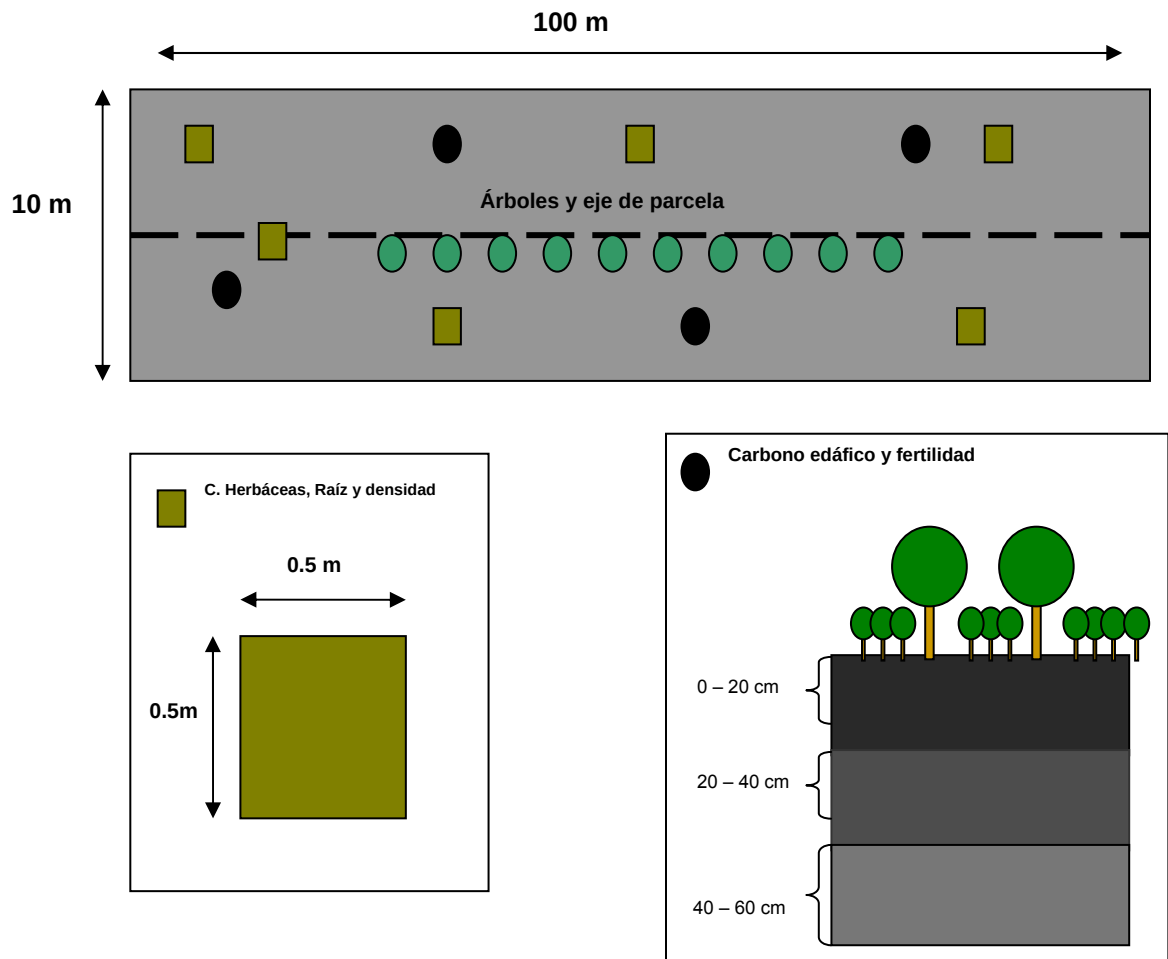


Figura 6. Parcela de Investigación para cuantificación de carbono en sistemas de pasturas con cercos vivos.

Finalmente para el caso de pastos en monocultivo se establecieron parcelas cuadradas de $.25 \text{ m}^2$ Figura 7. Partiendo de un punto seleccionado al azar se definió un transecto de 60 m de longitud a lo largo de una línea en zigzag. Las muestras se tomaran a cada 10 m.

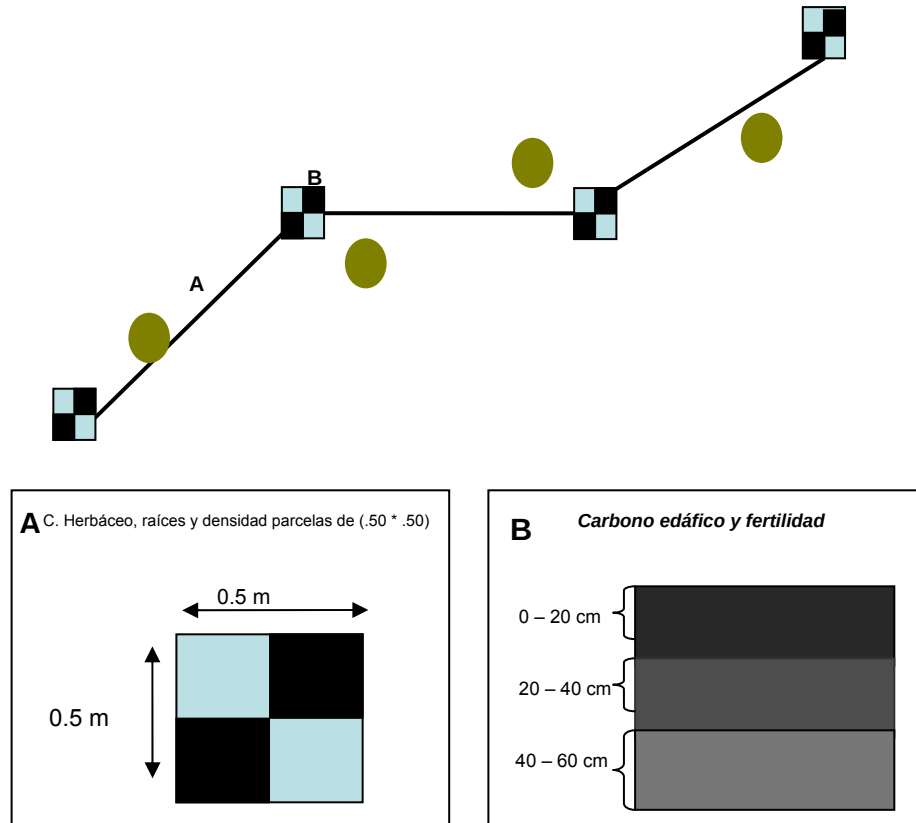


Figura 7. Parcela de Investigación para cuantificación de carbono en sistemas de pasturas en monocultivo.

4.4.1 Carbono orgánico en suelo (MO)

Para la toma de muestras de suelo se empleó un aro de 20 cm de diámetro y barreno tipo Hoffer. El aro se lanzó al azar cuatro veces tomando como referencia los cuatro ejes cardinales de la parcela. En cada sitio, se midió la temperatura del suelo y pH. Con el barreno se extrajo las muestras de suelo y se formaron muestras compuestas de los siguientes horizontes: 0 – 20 cm, 20 –

40 y 40 – 60 cm. Cada una de las muestras fue secada durante 7 a 10 días a temperatura ambiente.

Al término de este periodo las muestras fueron desagregadas mediante la utilización de un martillo de madera, para su posterior tamizado en malla número 40. El análisis de laboratorio de materia orgánica (M.O) se hizo mediante el método de combustión húmeda descrita por (Walkley y Black 1934). Se aplicó un factor de corrección de 1.724 utilizado por (Mora, 2001). Del contenido de carbono en la materia orgánica, esto con la finalidad de encontrar el porcentaje real de carbono presente en los diferentes horizontes del suelo

Para la estimación de carbono almacenado en suelo, fue necesario medir la densidad aparente (DA) del suelo en g L^{-1} (Forsythe, 1972). Mediante el método de probeta. En el cual se conoce un volumen conocido en dicho caso fue de 10 ml, las muestras recolectadas en campo fueron secadas a temperatura ambiente para luego ser desagregadas y posteriormente tamizadas en malla numero 10. Se extrajo una pequeña submuestra la cual fue introducida en la probeta de 10 ml hasta completar su volumen. Para obtener la cantidad de carbono orgánico localizado en cada horizonte en 1 ha se aplicó la fórmula descrita por (Ruiz, 2002):

$$\text{CA: CS} \times \text{DA} \times \text{P} \times 100$$

Donde:

CA: carbono almacenado, tons ha^{-1}

CS: contenido de carbono en el suelo, %

DA: densidad aparente, en (t m^{-3})

P: profundidad del suelo, m

Se multiplicó por 100 para convertir a toneladas ha^{-1}

Para obtener el porcentaje de carbono en suelo se aplico la siguiente formula:

$$\% \text{CS: } \% \text{MO suelo} / 1.724$$

4.4.2 Biomasa viva (BV)

4.4.2.1 Carbono en Árboles

Para la estimación de carbono presente en biomasa arbórea, se midió diámetro a altura de pecho (DAP) a 1.3 m desde la base del suelo, para los árboles de diámetro normal $\geq$ a 10 cm, dentro de las parcelas de 1,000 m²; al mismo tiempo se efectuó la medición de la altura total de cada árbol, para el caso de la parcela circular no fue necesario realizar mediciones en la parcela de 100 m² por lo antes descrito en el apartado 4.3; finalmente se realizó un inventario de las especies existentes, las cuales fueron identificadas a familia, género y especie.

Para el cálculo de densidad de carbono total presente en la biomasa arbórea se asumió por convención, el valor de 0.5 como factor de carbono (IPCC, 2003). Y para la estimación de biomasa arbórea, fue calculada mediante la utilización del modelo alométrico desarrollado por Chave *et al.*, (2005) el cual es la siguiente:

$$Y = \exp[-2.977 + \ln(\rho D^2 H)]$$

Donde,

Y: Biomasa en kg (árbol)⁻¹.

ρ : Densidad de la madera.

D: Diámetro normal en cm a 1.3 m.

H: Altura total en m.

Ln: Logaritmo natural.

Exp: Elevado a....

4.4.2.2 Hierbas (H)

Para la estimación de biomasa herbácea, se utilizó un marco de 0.5 x 0.5 m formando este subparcelas de 0.25 m², el cual fue lanzado al azar en 6 ocasiones en cada parcela. Se cortó todo el material herbáceo a ras de suelo

para su posterior pesado, se mezcló el contenido de las submuestras para formar una muestra compuesta de aproximadamente 200 g. Las muestras fueron secadas en la estufa a 70 °C hasta peso constante. Después de retirada las muestras de la estufa se procedieron al molido en un molino Willey. La muestra fue tamizada en malla 10 para su análisis de contenido de carbono y en malla 40 para su estudio bromatológico. Los análisis de carbono de material herbáceo y de raíces finas se realizó en Leco CHN 1,000 ®.

Para el caso de los estudios bromatológicos del follaje de pastos se determinaron los contenidos de proteína cruda (PC), materia seca (MS), cenizas (Ce) y materia orgánica (MO) según los métodos propuestos por la A.O.A.C (1980); fracciones de fibra (Fibra Detergente Neutro y Fibra Detergente Ácida), según la técnica de (Van Soest y Robertson, 1985).

4.4.2.3 Carbono en raíces gruesas y finas (R)

Se estimó la cantidad de biomasa de raíces gruesas presente en cada parcela, mediante la siguiente ecuación alométrica desarrollada por Cairns *et al.*, (1997) la cual se presenta a continuación:

$$Y = \exp[-1.0587 + 0.8836 \ln(ABD)]$$

Donde,

Y : Biomasa de raíces gruesas en Mg ha⁻¹ de materia seca.

ABD : Biomasa arbórea y arbustiva en Mg ha⁻¹ de materia seca.

Se asumió por convención, el valor de 0.5 como factor de carbono para el cálculo de carbono total presente (IPCC, 2003). Para el caso del sistema de monocultivo, se cuantificaron tomando 4 muestras de suelo con un cilindro de 4 cm de diámetro hasta una profundidad de 60 cm. En el laboratorio, las raíces fueron seleccionadas manualmente, secadas al horno a 70 °C hasta peso constante y pesadas (Castellanos *et al.*, 1990). Se conformó una muestra compuesta por sistema y localidad, la cual fue molida en un molino Thomas para su posterior análisis de carbono.

4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un ANOVA para BCA (bloques completamente al azar) en las cuales los tres sistemas de pasturas fueron los tratamientos y los bloques fueron las comunidades. A la par se realizaron comparaciones de medias a través de la prueba de Tukey por comparación múltiple de medias (Steel y Torrie, 1998). Se utilizó el paquete estadístico SAS (SAS, 2001). El modelo empleado se ajusta a:

$$Y_{ij} = \mu + P_i + A_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = j – ésima repetición del i – ésimo tratamiento

μ = media

P_i = i – ésimo tratamiento

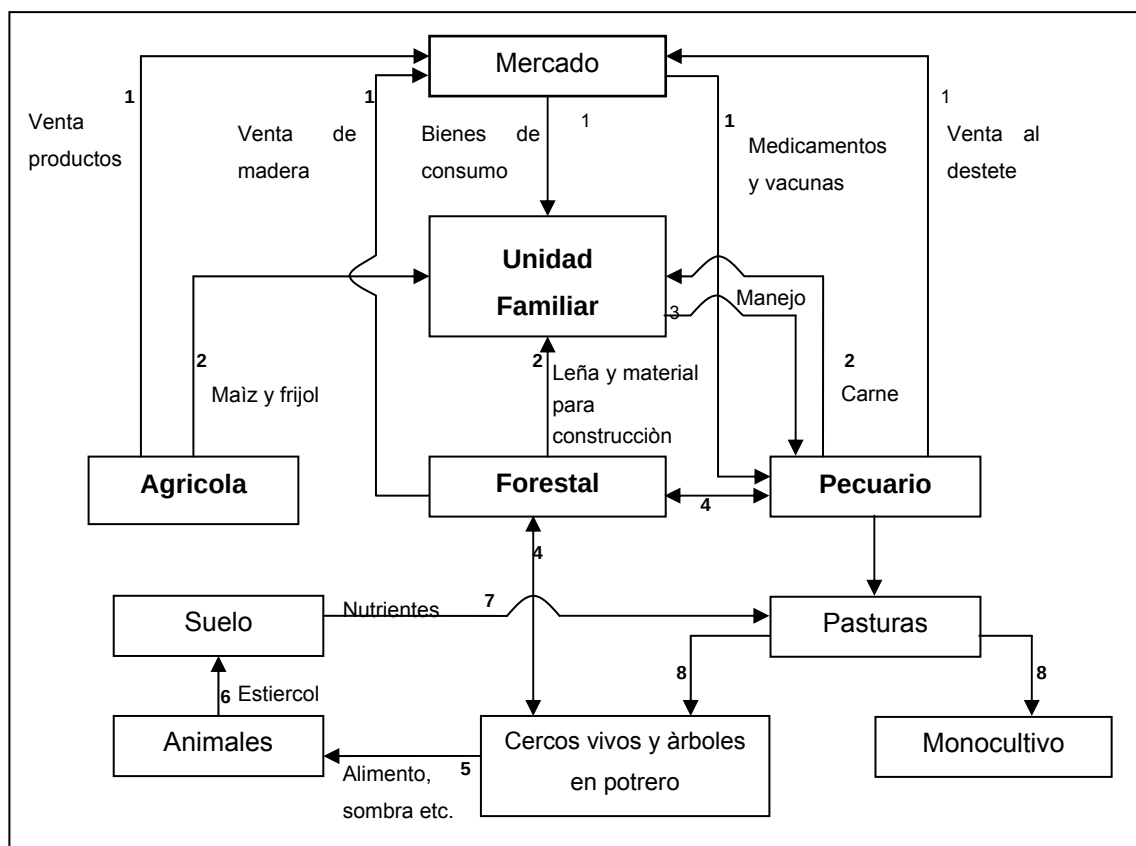
A_j = j – ésima repetición

E_{ij} = error experimental de la j – ésima repetición del i – ésimo tratamiento

5. RESULTADOS

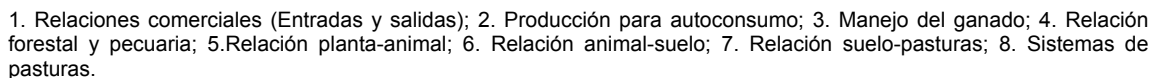
5.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD GANADERA

En general, la ganadería bovina se caracteriza por ser extensiva, presenta muy poca o casi nula inversión tecnológica, poca asistencia técnica y carece de apoyos crediticios. En la comunidad de la Corona, la totalidad de los productores con actividad ganadera, se dedican a la cría de ganado bovino para vender los animales cuando son destetados. Reforma Agraria tiene una producción ganadera diversificada con cuatro finalidades, 1) para el pie de cría y venta al destete, 2) pie de cría, 3) pie de cría y engorda y 4) finalmente solo para la engorda. En las figuras 8 y 9 se muestran los modelos conceptuales cualitativos para los sistemas de producción animal en ambas comunidades.



1. Relaciones comerciales (Entradas y salidas); 2. Producción para autoconsumo; 3. Manejo del ganado; 4. Relación forestal y pecuaria; 5. Relación planta-animal; 6. Relación animal-suelo; 7. Relación suelo-pasturas; 8. Sistemas de pasturas.

Figura 8. Modelo conceptual cualitativo de la estructura y funciones del sistema ganadero de la comunidad La Corona, municipio de Marqués de Comillas, Chiapas.



5.1.1 Suelos

36

Cuadro 3. Características físicas de los suelos.

Sistema	Comu- nidad	Color	pH	T° suelo	Erosión	Drenaje	Forma terreno
SM	La Corona	Negro	6.8	25	Moderado	Bueno	Plano
SM	La Corona	Café	6.3	26	Nada	Bueno	Plano
SM	La Corona	Café	6.4	26	Moderado	Bueno	Plano
SM	Reforma A.	Café	6.5	28	Leve	Malo	Plano
SM	Reforma A.	Café	6.4	26	Leve	Malo	Plano
SM	Reforma A.	Café	6.6	27	Leve	Regular	Plano
SCV	La Corona	Negro	6.3	26	Leve	Bueno	Plano
SCV	La Corona	Negro	6.4	26	Leve	Bueno	Plano
SCV	La Corona	Café	6.5	25	Leve	Bueno	Plano
SCV	Reforma A.	Gris	6.4	25	Moderado	Malo	Plano
SCV	Reforma A.	Café	6.5	25	Nada	Malo	Plano
SCV	Reforma A.	Café	6.4	25	Leve	Malo	Plano
SAP	La Corona	Negro	6.2	24	Leve	Bueno	Plano
SAP	La Corona	Negro	6.4	24	Moderado	Regular	Plano
SAP	La Corona	Negro	6.6	25	Leve	Bueno	Plano
SAP	Reforma A.	Gris	6.4	24	Moderado	Malo	Plano
SAP	Reforma A.	Negro	6.4	26	Leve	Bueno	Plano
SAP	Reforma A.	Gris	6.4	26	Leve	Regular	Plano

El tipo de erosión se determinó de manera visual, por el tipo de indicadores presentes (deslizamiento superficial, riachuelos o cárcavas en el suelo). Para la descripción de relieve (forma del terreno). Drenaje en el tiempo que tarda el suelo en filtrar una cantidad de agua.

Cuadro 4. Textura a tres profundidades de suelo, en los tres sistemas.

Sistema	Comunidad	Nombre Textural Prof. 0-20	Nombre Textural Prof. 20-40	Nombre Textural Prof. 40-60
SM	La Corona	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
SM	La Corona	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
SM	La Corona	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
SM	Reforma A.	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
SM	Reforma A.	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
SM	Reforma A.	Arcilloso	Franco Arcilloso	Arcilloso
SCV	La Corona	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
SCV	La Corona	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
SCV	La Corona	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
SCV	Reforma A.	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
SCV	Reforma A.	Franco Limoso Arcilloso	Franco Limoso Arcilloso	Franco Limoso
SCV	Reforma A.	Arcilloso	Franco	Franco Arcilloso Limoso
SAP	La Corona	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
SAP	La Corona	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
SAP	La Corona	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
SAP	Reforma A.	Arcilloso	Franco Arcilloso Arenoso	Arcilloso
SAP	Reforma A.	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
SAP	Reforma A.	Arcilloso	Arcilloso Franco Arcilloso Limoso	Arcilloso

5.1.2 Componentes pasto-árbol-animal

En función de la presencia de árboles en las áreas de pastoreo se identificaron los siguientes sistemas:

Pasturas en monocultivo (SM). En este sistema no hay la presencia del componente arbóreo. Este tipo de áreas son las que mas predominan en el sistema de ganadería bovina en ambas comunidades y en general en la región de Marques de Comillas. El establecimiento de pasturas, es un “continuum” después de haber derribado la selva y sembrado maíz. Existe la tradición de derribar todos los árboles en las áreas de pastura, sin embargo esta práctica esta siendo abandonada, ya que no trae beneficios adicionales al productor. La delimitación de estas áreas es mediante cercos muertos. El tipo de pastura predominante es el de pastos introducidos, y en muy poca proporción los zacates nativos.

Pasturas con presencia de árboles (SAP). Un sistema que es practicado por algunos productores, es el de árboles en potrero. Aunque no hay una tendencia generalizada de este sistema, en la zona de Marqués de Comillas hay indicios de que esta práctica es atractiva para algunos ganaderos. Especialmente, cuando dejan varios árboles de uso múltiple, o con un fin adicional como la sombra o para uso de madera. Cuando dejan árboles en mayor cantidad, los árboles se encuentran ubicados en un arreglo espacial mixto de manera sistemática en pequeños bosquetes dentro del potrero. Estos bosquetes están conformados con diferentes densidades de árboles. En las comunidades estudiadas encontramos un rango de 14 a 26 árboles por ha. En ocasiones, la presencia de árboles son remanentes de selva que deliberadamente el productor deja después de la roza-tumba-quema, para desempeñar la principal función de sombra a los animales, y en otras ocasiones son árboles maderables como la *Swietenia macrophylla* sembrados por el productor para su posterior aprovechamiento. Se identificaron 9 especies de árboles predominantes en bosquetes: *Blepharidum guatemalensis*, *Sabal mauritiformis*, *Vatairea lundellii*,

Guarea glabra, *Albizia adinocephala*, *Bursera simaruba*, *Spondias mombin*, *Swietenia macrophylla*.

Pasturas con cercos vivos (SCV). La práctica de sembrar cercos vivos es ampliamente conocida entre los productores ganaderos. Sin embargo, existe una tendencia a no sembrarlos por problemas económicos y por la escasez de árboles para obtener material vegetativo. Este aspecto es de suma importancia, por ejemplo, en ambas comunidades es difícil conseguir varetas de Cocoite (*Gliricidia sepium*) o de *Eryhrina* sp. Sin embargo, los productores que llevan a cabo este sistema siembran los árboles de *Gliricidia sepium* por estaca, en un arreglo espacial lineal a distancias de 2.5 m. La función principal del cerco vivo es dar soporte al alambre de púas para la delimitación de potrero y también obtener forraje y otro uso como leña o madera.

5.1.3 Percepción de los productores de sus áreas de pastoreo.

El Cuadro 5. Muestra la evaluación de las áreas de pastoreo desde la perspectiva del productor. El 50% de los productores mencionaron que en sus áreas de pastos presentan ligeramente partes con suelo desnudo, mientras que un 33.3 y 16.6% presentan moderado y nada respectivamente. El 50 % de ellos indica que no hay compactación en los suelos, sin embargo el resto contestó que si hay problemas de compactación en niveles de ligero y moderado. En el caso de la producción de pastos, el 61% contestó que no han observado disminución de la producción de pasto y un 39% consideran que hay una ligera disminución. El 38.8% dijeron que no han observado a través de los años alguna disminución en el vigor de los pastos, y un 55.5% si la ha tenido pero ligeramente y otros moderadamente con un 5.5%. La totalidad de los productores comentaron que no tienen áreas de pastos muertos. La mayor problemática en ambas comunidades estudiadas es la presencia de plagas donde el 100% contestó extremo. Un 77.7% comentó que las malezas no son un problema para la producción animal y un 22.2% considera que es un problema leve. La totalidad de los productores consideran que sus pasturas y

áreas de pastoreo están en buen estado, sin embargo reconocen que hay áreas con problemas de exceso de humedad y mala calidad de los suelos.

Cuadro 5. Evaluación de las áreas de pastoreo desde la perspectiva de los productores en las comunidades La Corona y Reforma Agraria.

Comunidad	Productor (n)	Suelo desnudo	Compactación del suelo	Disminución en la producción	Disminución de vigor del pasto	Presencia de plagas	Presencia de malezas
La Corona	1	Ligero	Moderado	Nada	Nada	Extremo	Nada
	2	Nada	Nada	Nada	Ligero	Extremo	Ligero
	3	Ligero	Nada	Nada	Ligero	Extremo	Ligero
	4	Nada	Nada	Nada	Moderado	Extremo	Ligero
	5	Moderado	Ligero	Nada	Ligero	Extremo	Nada
	6	Ligero	Ligero	Ligero	Ligero	Extremo	Nada
	7	Ligero	Nada	Ligero	Nada	Moderado	Ligero
	8	Nada	Nada	Nada	Nada	Moderado	Ligero
	9	Moderado	Ligero	Moderado	Ligero	Extremo	Ligero
Reforma Agraria	1	Moderado	Nada	Nada	Nada	Extremo	Ligero
	2	Ligero	Ligero	Ligero	Nada	Moderado	Ligero
	3	Ligero	Ligero	Nada	Nada	Moderado	Nada
	4	Moderado	Nada	Ligero	Ligero	Extremo	Ligero
	5	Ligero	Ligero	Nada	Ligero	Extremo	Ligero
	6	Moderado	Ligero	Ligero	Nada	Moderado	Ligero
	7	Moderado	Moderado	Nada	Ligero	Extremo	Ligero
	8	Ligero	Nada	Ligero	Ligero	Moderado	Ligero
	9	Ligero	Nada	Nada	Ligero	Extremo	Ligero

Grados designados para evaluar los atributos de las praderas (Extremo, moderado, ligero y nada)

Los pastos más comunes que se encuentran cultivados en ambas comunidades son: *Brachiaria decumbens* (Chontalpo o Señal), *Brachiaria humidicola*, Santo Domingo o estrella, *Brachiaria brizantha* (Brizantha o Insurgentes). Cabe mencionar que en la comunidad de la Corona, la mayoría de los potreros en zona altas están sembrados de *Brachiaria brizantha* y en las partes bajas han sembrado *Brachiaria humidicola*. Hay una proporción importante de pasto estrella. Por otro lado, en la comunidad de Reforma Agraria, los productores de ganado bovino tienen inclinación a sembrar diferentes tipos de pastos, por lo que en sus áreas de pasturas hay una alta diversidad de variedades introducidas de pastos. En general, las áreas de pastoreo tienen pocas divisiones, no hay mucha experiencia en el manejo rotacional de potreros y las ocupaciones de áreas de aparcadero están entre 10 a 20 días promedio. El mantenimiento de estas praderas se realiza mediante el chapeo con machete de malezas. Esta práctica se realiza de 2 a 3 veces por año, según las condiciones del terreno.

5.1.4 Disponibilidad y calidad del forraje de pasto en época de lluvia

La disponibilidad de forraje en un corte en los sistemas de pasturas, SM, SCV y SAP, en las comunidades de La Corona y Reforma Agraria se muestra en el Cuadro 6. El SM en ambas comunidades presenta la mayor disponibilidad de forraje con 3.89 La Corona y 2.37 t ha⁻¹ de materia seca en Reforma, Seguido por el SCV con una disponibilidad de 2.13 para Reforma y 2.11 t ha⁻¹ de materia seca en La Corona y por último el SAP en La Corona con 1.56 y 1.48 t ha⁻¹ de materia seca para Reforma. Se observó que en los SM y SAP la mayor disponibilidad de forraje se encontró en los potreros de la comunidad de Reforma Agraria. La producción de biomasa de pastos en SCV, fue mayor en los potreros de La Corona.

Cuadro 6. Disponibilidad de forrajes en un corte en los sistemas de pasturas, SM, SCV y SAP, en las comunidades (MS t ha⁻¹).

Sistema y pasto	Reforma Agraria Disponibilidad (MS t ha⁻¹)	La Corona Disponibilidad(MS t ha⁻¹)
SM		
Chontalpo	1.88	6.33
Chontalpo	3.49	2.26
Santo Domingo	1.75	3.07
Promedio	2.37	3.89
SCV		
Insurgente y Santo Domingo	2.26	2.71
Santo Domingo	1.97	1.01
Humidicola y Santo Domingo	2.15	2.6
Promedio	2.13	2.11
SAP		
Insurgente y Santo Domingo	1.59	1.49
Santo Domingo	1.05	1.12
Humidicola y Santo Domingo	1.79	2.06
Promedio	1.48	1.56

SM. Sistema de monocultivo, SCV. Sistema de cercos vivos, SAP. Sistema de árboles en potrero.

En los Cuadros 7 y 8. Se muestra la composición química del follaje de los pastos en las comunidades de La Corona y Reforma Agraria. En ambas comunidades se observó la presencia de diferentes mezclas de pastos como es el caso de los SCV y SAP. En dichas mezclas se encontraron pastos Insurgentes y Santo Domingo, Humidicola con Chontalpo, como también la presencia de una sola especie de pasto Santo Domingo. Para el caso del SM. solamente existe la presencia de una sola especie de pasto en el potrero los cuales son el Santo Domingo y el Chontalpo. En el SM los promedios de proteína cruda (PC) para los pastos en Reforma Agraria y La Corona fueron de 7.86 y 4.43% respectivamente. En el SCV los promedios fueron de 8.69% para Reforma Agraria, y para La Corona de 5.68%. En el SAP los promedios fueron de 8.60% en la comunidad de Reforma Agraria, y en La Corona con 5.50%. Los sistemas que presentan mayor contenido de PC para ambas comunidades son SCV y SAP. También se observó que La Corona obtuvo los promedios más altos de PC, a comparación de los obtenidos en Reforma Agraria. La variabilidad entre parcelas en el SM es de 3.83 a 9.07%, para el SCV la

variabilidad es de 4.74 a 10.47% y por último SAP con una variabilidad de 5.29 a 10.62%. En el SM los promedios de fibra detergente neutra fueron para Reforma Agraria y La Corona son de 76.41 y 73.43%, y en FDA con 47.91 y 48.82% respectivamente. En el sistema SCV presenta promedios en FDN y FDA de 74.02 y 43.93% para Reforma Agraria, y para La Corona de 73.43 y 44.93%. Por último se encuentra el SAP el cual tiene 74.64 y 47.07% de FDA y FDN respectivamente, en la comunidad de Reforma Agraria, y en La Corona con 73.11 y 54.19%. Con estos resultados se detectó que los contenidos de ambas fibras son mayores para los SAP y SM, y entre comunidades no se observa mucha variabilidad en los sistemas, los resultados son muy similares para ambas comunidades. Respecto al contenido de celulosa en la pastura, en SM los promedios para Reforma Agraria y La Corona fueron de 32.91 y 27.12% respectivamente. En el SCV los promedios fueron de 34.78% para Reforma Agraria, y para La Corona de 32.08%. Por último se encuentra el SAP en el cual tiene promedios de 33.25% en la comunidad de Reforma Agraria, y en La Corona con 31.03%. Los sistemas que presentan mayor contenido de celulosa para ambas comunidades son SAP y SM. En el SM los promedios de hemicelulosa para Reforma Agraria y La Corona son de 28.50 y 22.53% respectivamente. En el SCV presenta promedios de 31.01% para Reforma Agraria, y para La Corona de 28.19%. Por último se encuentra el SAP en el cual tiene promedios de 27.57% en la comunidad de Reforma Agraria, y en La Corona con 19.24%. Los sistemas que presentan mayor contenido de hemicelulosa para ambas comunidades son SCV y SAP. En el SM los promedios de lignina para Reforma Agraria y La Corona son de 12.74 y 12.96% respectivamente. En el SCV presenta promedios de 12.55% para Reforma Agraria, y para La Corona de 10.58%. Por último se encuentra el SAP en el cual tiene promedios de 13.12% en la comunidad de Reforma Agraria, y en La Corona con 14.36%. El sistema que presenta mayor contenido de Lignina para ambas comunidades es SAP seguido por SM.

Sistema y Pastos	MS %	Cenizas %	PC %	FDN %	FDA %	Celulosa %	Hemice- lulosa %	Lignina %
------------------	---------	--------------	---------	----------	----------	---------------	------------------------	--------------

SM								
Chontalpo	71.23	15.92	6.95	75	50.56	27.31	22.33	13.33
Chontalpo	61.76	19.61	9.07	70.7	49.96	27.48	22.92	14.33
Santo Domingo	72.36	11.57	7.57	74.59	45.93	26.57	22.33	11.42
Promedio	68.45	15.7	7.86	73.43	48.82	27.12	22.53	12.96
SCV								
Insurgentes y Santo Domingo	72.57	13.27	8.43	72.89	46.11	30.1	24.23	10.3
Santo Domingo	68.81	9.09	7.17	72.88	45.13	32.89	29.08	10.89
Humidicola y Chontalpo	61.26	8.82	10.47	68.25	43.54	33.24	31.25	10.56
Promedio	67.55	10.39	8.69	71.34	44.93	32.08	28.19	10.58
SAP								
Insurgentes y Santo Domingo	70.67	18.59	10.62	70.35	40.2	33.51	34.8	15.43
Santo Domingo	68.09	12.6	10.02	74.21	47.87	27.18	22.83	13.03
Humidicola y Chontalpo	62.25	9.35	5.15	74.78	74.49	32.41	0.1	14.71
Promedio	67.00	13.51	8.60	73.11	54.19	31.03	19.24	14.36

Cuadro 7. Composición química (% MS) de pastos en la comunidad de Reforma Agraria.

SM. Sistema de monocultivo, SCV. Sistema de cercos vivos, SAP. Sistema de árboles en potrero, PC. Proteína cruda, FDN. Fibra detergente neutra, FDA. Fibra detergente ácida.

Cuadro 8. Composición química de pastos en la comunidad La Corona.
Información expresada en porcentaje.

Sistema	MS %	Cenizas %	PC %	FDN %	FDA %	Celulosa %	Hemice- lulosa %	Lignina %
SM								
Chontalpo	79.37	8.59	3.83	78.5	47.14	33.95	31.37	11.56
Chontalpo	70.35	11.99	5.01	74.41	48.42	31.24	25.99	10.99
Santo Domingo	76.08	8.36	4.43	76.33	48.18	33.55	28.15	15.67
Promedio	75.37	9.65	4.43	76.41	47.91	32.91	28.50	12.74
SCV								
Insurgentes y Santo Domingo	70.23	8.57	7.53	73.56	40.93	34.21	32.62	12.27
Santo Domingo	78.5	8.56	4.74	75.4	45.89	34.45	29.51	13.93
Humidicola y Chontalpo	74.29	8.91	4.77	73.09	42.2	35.67	30.89	11.45
Promedio	74.34	8.68	5.68	74.02	43.01	34.78	31.01	12.55
SAP								
Insurgentes y Santo Domingo	64.69	9.78	5.29	75.12	53.93	30.19	21.19	12.27
Santo Domingo	69.48	8.74	5.92	74.08	42.86	33.68	31.21	13.93
Humidicola y Chontalpo	77.29	7.74	5.3	74.73	44.42	35.88	30.31	11.77
Promedio	70.49	8.75	5.50	74.64	47.07	33.25	27.57	13.12

SM. Sistema de monocultivo, SCV. Sistema de cercos vivos, SAP. Sistema de árboles en potrero, PC. Proteína cruda, FDN. Fibra detergente neutra, FDA. Fibra detergente ácida.

5.1.5 Manejo y características del ganado.

Con lo que respecta a la cantidad de animales se encontró que Reforma Agraria cuenta con un aproximado de 797 cabezas de ganado, de las cuales 73 son becerros, 5 sementales y 719 animales grandes (vacas, vaquillas, novillonas y toretes). Mientras que para La Corona cuenta con 466 cabezas de ganado, en las cuales 45 son becerros, 6 sementales y 415 animales grandes. En ambas comunidades las razas de animales encontradas fueron la cebú y suizo, en los diferentes lotes ganaderos existen grados de cruza de *Bos indicus* con *Bos taurus*. Predominando la sangre de ganado Suizo Pardo (*B. taurus*), mientras que en el ganado *B. indicus* predomina el Indobrasil, Brahman y Guzerat.

Salud animal. Las principales enfermedades que atacan a los hatos ganaderos de la región son: infecciones respiratorias, parásitos tanto internos como externos, problemas reproductivos, mastitis, infecciones y pododermatitis. El manejo zoonosanitario del hato está en función, principalmente, de prácticas de desparasitación interna y externa. La vacunación del ganado se realiza cada 6 meses y lo llevan a cabo todos los productores, esta vacunación se hace sin un calendario definido y se rige en función a la capacidad económica del productor.

La producción y el mercado ganadero. Esta es una de las actividades más importante junto con la agricultura, por los ingresos que genera para las familias. La ganadería como ya antes se mencionó es de tipo extensivo, se utilizan pastos naturales e inducidos en la mayoría de los potreros. En la mayoría de los potreros los pastizales son cultivados con especies comerciales. El precio del ganado varía de acuerdo a la edad y peso de los animales y estos pueden llegar a valer entre los 2 a 5 mil pesos. El costo por kg de animal vivo, a orilla de carretera, oscila entre \$ 14.00 a \$ 18.00, dependiendo de la edad del animal. El principal mercado se localiza en el municipio de Palenque y la venta de los animales se realiza a través de los denominados “coyotes”.

5.1.6 Dinámica en el uso del suelo

Se observó en ambas comunidades, que la dinámica del uso de suelo, está determinada por tres actividades centrales. La agricultura contribuye esencialmente a la economía de los productores con productos básicos de maíz y frijol, sin embargo hay una tendencia a buscar cultivos agrícolas más rentables, como el chile, la palma y otros cultivos que requieren de altos insumos; tal es el caso de las hortalizas. La ganadería bovina es la actividad más rentable, por lo que el cambio de uso de suelo, esta siendo dirigido hacia esta actividad. A pesar de que hay un conocimiento de la importancia de conservar las áreas de selva, la agricultura y la ganadería están presionando a las pocas áreas conservadas. Estas áreas juegan un papel estratégico en las comunidades, ya que están en programas de pago por servicios ambientales y son importantes para la actividad turística, especialmente para Reforma Agraria.

5.2 ESTIMACIÓN DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO

El Cuadro 9. Presenta los resultados de la estimación del carbono almacenado en los diferentes reservorios de biomasa viva (árboles, herbáceas y raíces), materia orgánica del suelo (MOS) y carbono total, en los diferentes sistemas de pasturas.

El mayor reservorio en los tres sistemas con respecto al carbono total es el de MOS con más del 80%, mientras que BV con un 9.0%, donde los árboles concentran un 5.5%, las herbáceas y raíces totales tienen 1.5% y 1.8% respectivamente del carbono de la BV.

Cuadro 9. Carbono almacenado en los reservorios Biomasa Viva, Materia Orgánica del Suelo y Carbono total (Mg C ha^{-1}), para pasturas en Sistemas de monocultivo, con cercas vivas y árboles en potrero.

	Monocultivo		Cercos vivos		Árboles en potrero	
	SM	%	SCV	%	SAP	%
Biomasa viva (BV)	1.99	3.0	10.40	11.8	5.99	6.7
Árboles	0.00	0.0	7.60	8.6	4.23	4.7
Hierbas	1.33	2.0	0.91	1.0	0.64	0.7
Raíces totales	0.66	1.0	1.88	2.1	1.12	1.2
Materia orgánica del suelo (MO)	60.62	93.8	66.68	76.2	76.89	86.5
Materia orgánica del suelo	60.62	93.8	66.68	76.2	76.89	86.5
C total del sistema (Ct)	64.62	100	87.50	100	88.89	100

5.2.1 Carbono en biomasa viva (BV) y en sus componentes

En el Cuadro 10. Se muestra los contenidos de carbono en BV y en sus tres componentes, para los diferentes sistemas de pasturas. La mayor acumulación de carbono en BV entre sistemas esta en las pastura en SCV y SAP con $10.40 \text{ Mg C ha}^{-1}$ y $5.99 \text{ Mg C ha}^{-1}$ respectivamente. Se encontró diferencia significativas entre sistemas ($P=0.0270$), pero no entre comunidades. También se puede apreciar que en general, las pasturas en sistema silvopastoril (SAP y SCV) presentan mayores contenidos de carbono en BV que las pasturas en SM.

5.2.1.1 Carbono en árboles

Las densidades promedio de carbono en árboles en pasturas de SCV fue de $7.60 \text{ Mg C ha}^{-1}$, seguido por las pasturas de SAP con $4.23 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Los resultados del ANOVA reflejaron diferencias significativas entre sistemas ($P=0.014$), pero no entre comunidades.

5.2.1.2 Carbono en el componente herbáceo

El contenido promedio de carbono en el componente herbáceo en pasturas en SM fue de 1.33 Mg C ha⁻¹, seguido por las pasturas en SCV con 0.91 Mg C ha⁻¹ y SAP registró el contenido más bajo de carbono con 0.64 Mg C ha⁻¹, Cuadro 10. No se encontraron diferencias estadísticas entre sistema y comunidad (p=0.067).

5.2.1.3 Carbono en raíces totales

La mayor cantidad promedio de carbono en raíces totales fue de 1.88 Mg C ha⁻¹, para las pasturas en SCV, seguido por las pasturas en SAP con 1.12 Mg C ha⁻¹ y SM registró el contenido mas bajo de carbono con 0.66 Mg C ha⁻¹ Cuadro 10. No se encontró diferencias estadísticas entre sistema y comunidad (p=0.082).

Cuadro 10. Carbono almacenado en Biomasa viva y en sus componentes para las diferentes pasturas en sistemas de monocultivo, con cercos vivos y árboles en potrero.

	Monocultivo Mg C ha ⁻¹	Cercos vivos Mg C ha ⁻¹	Árboles en potrero Mg C ha ⁻¹
Árboles	0.00 ^a	7.60 ^b	4.23 ^{ab}
Hierbas	1.33 ^a	0.91 ^a	0.64 ^a
Raíces totales	0.66 ^a	1.88 ^a	1.12 ^a
Biomasa viva (BV)	1.99 ^a	10.40 ^b	5.99 ^{ab}

Promedios seguidos de la misma letra, entre tratamientos, no son diferentes estadísticamente, por Tukey a p<0.05.

La distribución de carbono en los reservorios de la BV se concentró en los árboles con un aporte de 41.35% para SCV y 23.01% para SAP. Seguido por las raíces totales con un aporte que varía entre 3.59% a 10.23% y el más bajo es para el reservorio herbáceas con un aporte que varia entre 3.48% y 7.24% Figura 10.

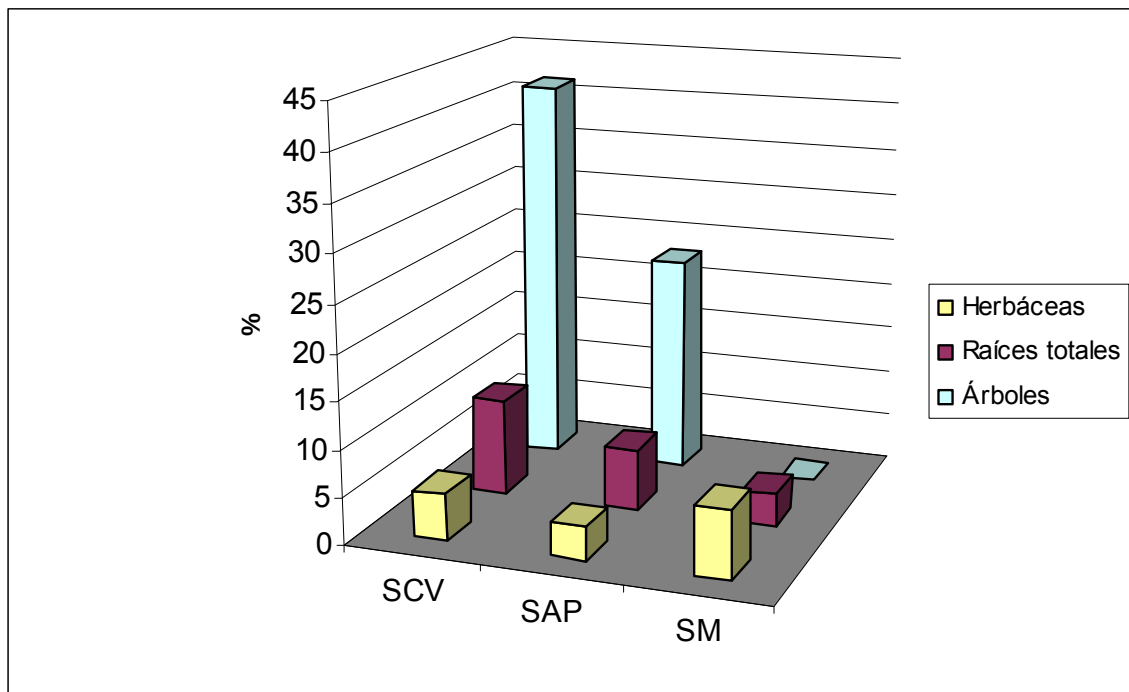


Figura 10. Porcentaje de carbono en los diferentes reservorios que conforman la biomasa viva de los diferentes sistemas.

5.2.2 Materia orgánica del suelo (MOS)

Los valores de materia orgánica en suelo a diferentes profundidades en los sistemas de pasturas analizados se muestran en el Cuadro 11. Las cantidades promedio de carbono acumulado en MOS no fue estadísticamente diferente ($p=0.104$) bajo ninguno de los sistemas, en ninguna de las tres profundidades. Sin embargo, el mayor contenido de carbono en suelo es para las pasturas en SAP y SCV con 76.89 y 66.68 Mg C ha⁻¹, mientras que la menor fue registrada por las pasturas en SM con 60.62 Mg C ha⁻¹.

Cuadro 11. Carbono almacenado en suelo en los diferentes sistemas de pasturas y profundidades.

Profundidad (cm)	Monocultivo	Cercos vivos	Árboles en potrero
	Mg C ha ⁻¹	Mg C ha ⁻¹	Mg C ha ⁻¹
0 -20	34.57 ^a	38.6 ^a	40.04 ^a
20 -40	12.04 ^a	15.14 ^a	20.63 ^a
40- 60	14.00 ^a	12.42 ^a	16.21 ^a
Total	60.62^a	66.68^a	76.89^a

Promedios seguidos de la misma letra, entre columnas, no son diferentes estadísticamente, por Tukey a $p < 0.05$.

5.2.3 Carbono total (Ct)

En lo que respecta al carbono total el valor mas alto se obtuvo en las pasturas en SAP con 88.89 Mg C ha⁻¹, seguido por las pasturas en SCV con 87.5 Mg C ha⁻¹. El valor más bajo correspondió a pasturas en SM con 60.62 Mg C ha⁻¹. Se encontró diferencia significativa entre sistemas ($P=0.031$), pero no entre comunidades y en la interacción entre comunidades y sistema Cuadro 12.

Cuadro 12. Carbono total almacenado en las pasturas en sistemas monocultivo, con cercos vivos y árboles en potrero.

	Monocultivo	Cercos vivos	Árboles en potrero
	Mg C ha ⁻¹	Mg C ha ⁻¹	Mg C ha ⁻¹
Biomasa viva	1.99 ^a	10.4 ^b	5.99 ^{ab}
Materia orgánica suelo	60.62 ^a	66.68 ^a	76.89 ^a
C total en sistema	64.62^a	87.5^{ab}	88.89^b

Promedios seguidos de la misma letra, en cada columna, no son diferentes estadísticamente, por Tukey a $p < 0.05$.

6. DISCUSIÓN

6.1 GANADERIA Y USO DEL SUELO EN LA SELVA LACANDONA

El sector pecuario es una de las bases de la economía del estado de Chiapas abasteciendo principalmente a los mercados locales y nacionales y en menor proporción a los internacionales (Villafuerte, 1997). La ganadería en el estado de Chiapas es parte integral de la estrategia de sobrevivencia de muchas comunidades y juega un papel central en la capitalización de las familias pobres (Jiménez, 2007). En general, en el sureste de México, la producción animal ha seguido un modelo extensivo que compite por el uso del suelo con los sistemas agrícolas.

En el caso de la ganadería bovina, la producción y calidad de los monocultivos de gramíneas tiende rápidamente a disminuir, por lo que pierden vigor y afectan la respuesta animal. Esta combinación de rendimiento pobre con degradación rápida está asociada, también con la calidad y deficiencias de nutrientes de los suelos tropicales. Al respecto, Amézquita y Pinzon (1991), midieron los cambios de las propiedades del suelo, como resultado de su compactación por el pisoteo de animales en pasturas del piedemonte de Caquetá (Colombia). Los resultados de esta investigación revelaron que los animales en pastoreo modifican substancialmente las propiedades físicas de los suelos.

En Chiapas, la ganadería ha crecido en los últimos años, compitiendo por el espacio agrícola y actualmente alrededor de 2.8 millones de ha son dedicadas a la ganadería (Gobierno del Estado de Chiapas, 2001). Esta “ganaderización” de las tierras en el estado, a pesar de ser una de las estrategias que permite la sobrevivencia de las familias rurales, ha afectado seriamente el ambiente (Villafuerte, 1997). Algunas expresiones de dicho deterioro son: la pérdida de la cobertura boscosa y la diversidad biológica, la compactación y erosión de los suelos, la sedimentación de ríos y embalses, la ruptura de balances hídricos y el incremento en las emisiones de gases que contribuyen al calentamiento

global. Muchos autores han clasificado al estado de Chiapas como un enorme potrero ineficiente ya que, aunque cubre mas de la tercera parte del territorio estatal, la ganadería contribuyó sólo con el 5.6 % del PIB en el 2002 (SAGARPA-SDR, 2004). El índice de agostadero promedio es alrededor de 1,36 hectáreas por unidad animal, rindiendo aproximadamente 150 kg de carne por ha por año, y de 1,2–3 lts de leche por día con rendimientos promedio de carne de 2,550 pesos/ha/año frente a 3,201 pesos para maíz (SAGARPA, 2003). Y 6,500 pesos para el café (INEGI, 2004).

En el sureste de México, en los últimos 20 años la expansión de la ganadería bovina se ha dado principalmente en los valles y planicies de la vertiente del Golfo, entre los que se encuentra la Región Lacandona. La intensificación de la ganadería bovina en las comunidades de la Selva Lacandona es notable y se ha dado en múltiples formas. Actualmente la ganadería en la región de la Selva Lacandona, se ha consolidado como la principal actividad económica de la región, con vínculos a diversos mercados locales y nacionales.

En las comunidades de la Corona y Reforma Agraria, la actividad ganadera es una actividad central y ocupa una importante proporción de la superficie agropecuaria total. Se ha observado que en los últimos 5 años, el número de cabezas de ganado se ha incrementado en un 75 %, con base en los estudios de (Esquivel, 2005). Dichas tendencias de crecimiento reflejan la importancia de la cría de bovinos como una estrategia de las comunidades rurales para obtener acceso a capital y a productos básicos, así como para la obtención de subproductos y una diversidad de servicios como transporte y tracción animal para la agricultura. Existen también motivaciones culturales en donde la ganadería representa un valor de prestigio social y éxito económico. Es importante destacar, que a pesar de que continúa el patrón de la ganadería extensiva en las comunidades estudiadas, existe entre los productores una tendencia a no aumentar las áreas de pastoreo y conservar las áreas de selva. Este aspecto es importante porque abre las posibilidades de cambiar la ganadería extensiva en modelos más “amigables” como los silvopastoriles. Sin embargo la adopción de estas estrategias a nivel de política pública ha sido

lenta y escasa. La opción de la venta de servicios ambientales (captura de carbono), ha abierto una posibilidad a la actividad ganadera que incorpora practicas agroforestales, sin embargo, la falta de mercados y experiencias comerciales en esta temática también son escasas (Jiménez *et al.*, 2001).

6.2 GANADERÍA BOVINA Y RECURSOS NATURALES

En las comunidades estudiadas, se ha observado que la población bovina aumenta más rápidamente que la superficie de pastizales convencionales, aumentando la presión de pastoreo, lo cual estaría causando una fuerte presión sobre las pasturas y el suelo. La ganadería, bovina se caracteriza por ser extensiva, presenta muy poca o casi nula inversión tecnológica, y asistencia técnica, por lo consiguiente hace que existan parámetros productivos y sanitarios deficientes. Esto coincide con lo reportado por Pérez (2003) y Guillen (2000) en otras regiones del estado de Chiapas. En la Corona y Reforma Agraria, se observó que la mayoría de los productores tiene inclinación a un sistema ganadero para la venta de becerros para la engorda y su traslado a otras regiones, sin embargo hay evidencias que muestran que hay productores con inclinación a modificar sus sistemas en sistemas semi-intensivos o totalmente intensivos, como lo muestra las Figuras 8 y 9. Este aspecto coincide, con otros estudios en selva donde los ganaderos están teniendo tendencias a la diversificación del sistema bovino tradicional (Jiménez, com. per.).

La viabilidad de la ganadería bovina ha sido cuestionada por los bajos márgenes de utilidad por unidad de tierra en pastoreo, lo cual se ve agravado por la alta susceptibilidad a la degradación de los monocultivos de gramíneas. La degradación productiva de los potreros reduce su eficiencia al reducir el crecimiento y persistencia de las plantas forrajeras. La degradación de los pastizales es un problema serio en todo el trópico latinoamericano (Szott *et al.*, 2000; Villafuerte, 1997). Aunque no existen datos para el sureste de México, que permitan cuantificar con precisión su magnitud.

En la zona estudiada, las causas mas comunes que afectan la producción de las pasturas, son la presencia de plagas, el sobrepastoreo y la quema frecuente. Estas prácticas, en zonas ganaderas tropicales de sudamerica, han ocasionado compactación y erosión de los suelos, la perdida de nutrientes y materia orgánica, transporte y disminución de retención de agua, la invasión por malezas y presencia de plagas, de tal forma que después de pocos años las pasturas tienden a disminuir sus capacidades productivas (Szott *et al.*, 2000).

En el presente trabajo, la percepción de los productores de la Corona y Reforma Agraria sobre las condiciones de sus áreas de pastoreo, muestran que hay serios problemas de plagas y enfermedades en las pasturas Cuadro 5. Lo que es un indicador para re-considerar el manejo animal que hacen en sus áreas de pastoreo y analizar la viabilidad de mejorar el manejo de germoplasma forrajero. El presente trabajo mostró que la calidad de los pastos, se encuentran en los promedios para pasturas tropicales Cuadros 7 y 8. Sin embargo es interesante observar que existieron mejoras de la calidad de las pasturas en los sistemas con presencia de árboles. Por ejemplo en la Comunidad de la Corona, los pastos presentaron valores superiores de PC en los sistemas de SCV y SAP con 8.69 y 8.60% de PC respectivamente. Al respecto, algunos autores reportan aumento en la calidad del pasto cuando éstos son asociados con árboles, (Somarriba, 1998; Mesquita *et al.*, 1994; Ramírez, 1997; González *et al.*, 1996). Esta mayor calidad de los sistemas silvopastoriles respecto al monocultivo se atribuye a un mayor aprovechamiento, Para la disponibilidad de forraje, los resultados obtenidos muestran que el SM es el de mayor disponibilidad promedio, seguido por el sistema SCV, y finalmente SAP Cuadro 6. De acuerdo con (Giraldo *et al.*, 1995). La producción de forraje normalmente decrece a medida que el porcentaje de la cobertura de los árboles aumenta y esa disminución del rendimiento de MS se observa principalmente a partir del 50% de cobertura. No obstante, muchas especies de gramíneas crecen mejor debajo de los árboles y presentan mejor calidad nutritiva (mayor contenido de PC) comparadas con las

gramíneas que crecen a plena exposición solar (Botero y Russo 2000; Hernández *et al.*, 2000).

6.3 ALMACENAMIENTO DE CARBONO

La deforestación y el uso ganadero compactan el suelo, aumentando la densidad aparente y la resistencia a la penetración, reduciendo la actividad microbiana y reduciendo la velocidad de infiltración del agua (Amézquita y Pinzón, 1991). A la vez, la erosión disminuye la fertilidad del suelo al llevar nutrientes y materia orgánica. La producción de biomasa se disminuye en pasturas debido a la poca agua retenida en el perfil del suelo y sobre todo en regiones con épocas de sequía rigurosa. En la región Selva de Chiapas, gran parte de los suelos se caracterizan por ser ácidos, altamente inundables producto de características propias regionales y de la compactación que el ganado ha propiciado por sistemas extensivos con altas cargas animal.

De acuerdo a los estudios realizados de textura se puede observar que existen una gran variedad de suelos que van de suelos de tipo arcillosos los cuales son los mas requeridos, ya que este tipo de suelo permiten una mayor absorción de nutrientes, dicha característica textural lo presentan las parcelas muestreadas de La Corona, mientras que para Reforma Agraria van de los francos a suelos arcillosos. En el primer estrato muestreado se puede ver que en su totalidad son suelos arcillosos, mientras que en el estrato de 20-40 cm se encuentran una mayor variedad de texturas (franco, franco arcilloso, franco arcilloso limoso, franco arcilloso arenoso y arcilloso) y finalmente el estrato de 40-60 donde predominan los suelos arcillosos Cuadro 4.

6.3.1 Carbono en árboles

Los valores promedios de carbono almacenados en el componente arbóreo encontrados en esta investigación en los sistemas de SCV y SAP son superiores a los obtenidos por Mora (2001) y por Andrade (1999) quienes reportan $3.06 \text{ Mg C ha}^{-1}$ y 3.7 Mg C ha^{-1} para un sistema silvopastoril de *Acacia*

mangium y *Eucaliptus deglupta* asociados con *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens* y *Panicum maximum*. Avila (2000) encontró 6 Mg C ha⁻¹ en sistemas de Brizantha asociado con *Acacia mangium* y de 2.2 Mg C ha⁻¹ en Brizantha y *Eucaliptus deglupta*. Los resultados obtenidos en esta investigación difieren a lo encontrado en otros tipos de sistemas agroforestales. Aguirre, (2006) y Rajagopal, (2004) encontraron en sistemas de cafetales bajo sombra y en sistemas agroforestales a base de cítricos promedios de 17.02 y 37.89 Mg C ha⁻¹ respectivamente. Esta diferencia entre sistemas agroforestales, puede estar en función de las densidades de árboles, tipo de especies utilizadas, edad del sistema y número de estratos presentes (Montagnini y Nair, 2004).

Las cantidades de carbono almacenado en el componente arbóreo, en los diferentes sistemas estudiados, mostraron variaciones marcadas. Tal variación se debe a la densidad de árboles presentes en los sistemas y al régimen de manejo. Por ejemplo, en el caso de las pasturas en SCV, éste sistema registró el valor máximo de carbono, probablemente debido a una mayor densidad de árboles que el SAP. Asimismo, el manejo de los árboles difiere entre sistemas. Por ejemplo, en SCV, hay una tendencia a no efectuar podas y permitir que los cercos vivos alcancen alturas máximas. En SAP, los productores efectúan un manejo de podas y aclareos para que los árboles mantengan una copa de poca altura y extendida, y exista espaciamiento entre árboles. Esto contribuye a una sombra más amplia.

6.3.2 Carbono en el componente herbáceo

Los resultados obtenidos de carbono en el componente herbáceo para este estudio en las pasturas en SM, SCV y SAP, resultaron similares a los reportados por Andrade (1999) con .07 Mg C ha⁻¹ para una asociación de *Brachiaria brizantha* con *Eucaliptus deglupta*, y a los mencionados por Sención (1996) de 0.5 Mg C ha⁻¹ a 1.5 Mg C ha⁻¹ para pasturas tropicales. Al comparar estos sistemas a otros sistemas agroforestales se encontró que son superiores a los resultados reportados por Aguirre (2006) y Rajagopal (2004) en sistemas

agroforestales de café bajo sombra los cuales varían en .44 y .12 Mg C ha⁻¹, sistemas agroforestales a base de cítricos con .57 Mg C ha⁻¹.

En este trabajo, las pasturas en SM fueron superiores a los demás sistemas. Dicho resultado se debe a que las especies herbáceas forman la vegetación dominante. Esto concuerda con lo obtenido por Ruiz (2002), Mora (2001) y Veldkamp (1993), quienes indican que las pasturas mejoradas en monocultivo retienen 60% más carbono que con árboles debido a la mayor biomasa y longevidad radicular de los pastos,. Por otro lado, Avila (2000) menciona que pasturas de *Brachiaria brizantha* bajo sombra, almacenan 32% más carbono que en monocultivo. Este aspecto sugiere poner atención al papel que juega la sombra en la calidad y producción de biomasa de los pastos y en la capacidad de almacenamiento de carbono de ellos.

6.3.3 Carbono en biomasa viva (BV)

La presencia de carbono en la BV de SCV y SAP fue superior a lo encontrado en el sistema de pasturas en monocultivo. Dichos resultados son similares a los reportados por Andrade (1999) quien encontró acumulación de carbono en BV de 6.2 Mg C ha⁻¹ y 10.1 Mg C ha⁻¹ en sistemas silvopastoriles, pero inferiores a los reportados por Ruiz (2002) de 15.0 Mg C ha⁻¹ en pasturas mejoradas. Se sabe que el uso de variedades mejoradas y aplicación de fertilizantes puede incrementar la captura de carbono (Towsend *et al.*, 1996).

Una de las contribuciones importantes de los sistemas silvopastoriles, respecto a las pasturas en monocultivo, es la contribución de la biomasa al estrato herbáceo y al suelo. En general los sistemas silvopastoriles tienen mayor almacenamiento de carbono en BV por la adicionalidad que le da el componente arbóreo al sistema. La mayor acumulación de carbono en BV, puede estar en función de la densidad de árboles, tipo de especies utilizadas, edad del sistema y el número de estratos presentes (Montagnini y Nair, 2004).

Existe gran discrepancia sobre la capacidad de las pasturas con o sin árboles de inmovilizar carbono. En general, cuando se compara con el bosque el stock

de carbono en pasturas, éste último, es menor. Sin embargo, los sistemas silvopastoriles pueden tener una importante capacidad de fijar carbono, por lo que hay necesidad de evaluar esta alternativa respecto a sistemas mas complejos en diversidad biológica, como la selvas y/o acahuals.

6.3.4 Materia orgánica del suelo (MOS)

Las mayores concentraciones de carbono en el suelo se encontraron a la profundidad de 0 a 20 cm y decreciendo a mayor profundidad. Esto es similar a lo reportado por Aguirre (2006), en sistemas de café bajo sombra, Ruiz (2002) y López (1998) estudiando sistemas con pasturas mejoradas y nativas, encontraron una tendencia decreciente respecto a la profundidad. Mora (2001) reporta lo contrario, en donde las concentraciones de carbono en suelo aumentan a mayor profundidad. Este incremento a mayores profundidades se puede considerar como una ventaja si se considera que este C (debajo de la capa arable), es menos propenso a procesos de oxidación o pérdidas por prácticas de laboreo. Además, diversas experiencias han documentado que el contenido de C en dicho estrato puede ser duplicado o triplicado con la inclusión de leguminosas en los pastizales.

La tendencia encontrada en este estudio en las cantidades de C que se almacenan en los estratos, se puede explicar por el tipo de textura que presentan los suelos. Por ejemplo, los estratos correspondientes a 0-20 y 40-60 cm son arcillosos y corresponden a suelos con mayor acumulación de MO y por ende de carbono. De acuerdo con Esquivel (2005), los suelos arcillosos son los que tienen mayor capacidad de acumular carbono debido a que los minerales arcillosos estabilizan la materia orgánica y originan la acumulación de esta en los suelos (Fassbender y Bornemisza, 1987).

En esta investigación se encontró más carbono en el suelo, en pasturas silvopastoriles (SAP y SCV) que en la pastura en monocultivo. Los datos obtenidos en La Corona y Reforma Agraria, fueron superiores a los reportados por Esquivel (2005), quien reporta en pasturas tropicales un contenido de 48 Mg

C ha⁻¹, Ruiz (2002) y Mora (2001) encontraron en pasturas mejoradas y nativas, en sistemas silvopastoril y monocultivo, cantidades que variaron entre 150 Mg C ha⁻¹ y 168 Mg C ha⁻¹. La variación de estos niveles de C en suelo, se puede deber al manejo del pastoreo, tipo de suelo, estado fisiológico del pasto y el contenido de nutrimentos (Fisher y Trujillo, 2000). Se ha documentado los aumentos de la MO en el suelo bajo sistemas silvopastoriles comparados con la gramínea sin árbol. El incremento de MO puede depender del manejo dado al sistema, de las especies de árbol y de herbáceas (Bolívar, 1998).

La presencia de MO en suelos donde hay pastoreo, es uno de los factores que permiten una respuesta favorable en la producción de biomasa. Al respecto, se considera que en pasturas tropicales, el C acumulado en el suelo debe originarse a partir del carbono fijado por el pasto. A diferencia de los cultivos anuales de ciclo corto, los pastos tienen un ciclo continuo de iniciación, crecimiento y muerte de unidades individuales (rizomas o estolones en gramíneas y ramas en leguminosas) que generan materia orgánica (Fisher y Trujillo, 2000). Esta MO puede ser consumida por los animales y gran parte de ella regresa al suelo como heces y orina. Parte de las plantas se hacen senescentes y son incorporadas directamente al suelo. Otros estudios sostienen que debido a la gran cantidad de biomasa, y a las constantes transformaciones a la que ésta es sometida, las pasturas secuestran más cantidad de carbono orgánico del suelo que las áreas con bosques (Neill *et al.*, 1997; Yakimenko, 1997). Por el contrario, Guggenberger *et al.* (1994) encontró que las pasturas secuestran carbono sólo a tasas menores que los bosques.

6.3.5 Carbono total (Ct)

Numerosos estudios han reflejado la superioridad de las pasturas mejoradas en sistemas silvopastoriles con respecto a pasturas en monocultivo para secuestrar carbono. En esta investigación no es muy evidente tal superioridad, ya que las diferencias no fueron significativas estadísticamente. Sin embargo, se debe mencionar que éste estudio se llevó a cabo en sistemas representativos de las áreas ganaderas de la Selva Lacandona, en donde existe

un escaso manejo del componente arbóreo. En los sistemas de cercos vivos y árboles en potreros éstos se caracterizan por tener un manejo de podas básico, en donde no se hace énfasis en la producción de biomasa forrajera ó de otro servicio. Sin embargo, los datos encontrados, reflejan el potencial de estas áreas, si se implantan prácticas agroforestales mas diversificadas con énfasis en la venta de servicios ambientales.

El mayor reservorio en los tres sistemas con respecto al carbono total se encontró en la MOS. Ruiz (2002), Mora (2001) y López *et al.* (1999), mencionan que los pastos en sistema silvopastoril almacenan seis veces más carbono en MOS que en la BV. En contraste, en un bosque o en una plantación, la mitad del carbono del ecosistema se encuentra en la parte aérea.

El uso del suelo determina en gran medida la descomposición de la MO. Así por ejemplo, los suelos bajo cultivos pierden un 40 por ciento del carbono (C) que existía cuando el suelo se encontraba bajo bosque. Sin embargo, los mismos suelos bajo pasturas pierden solo un 20 por ciento del C, que existía bajo condiciones de bosque, después de 5 años de tumba (Botero, 2000). Sin embargo, los cambios en el C del suelo encontrados son bastante variables, Lugo et al. (1986) y Bushbacher (1984) encontraron una amplia variación en la cantidad de C del suelo después de la tumba del bosque, dependiendo de multiples factores, como edad del sitio, historia de uso y el manejo agrícola.

La cantidad de carbono fijado en los sistemas silvopastoriles es afectada por las especies árbol/arbusto, la densidad y distribución espacial de los árboles y la tolerancia de sombra de las especies herbáceas (Nyberg y Hogberg, 1995; Jackson y Ash, 1998). Este aspecto es determinante, si se quiere implementar un manejo mas adecuado de los sistemas estudiados, en la perspectiva de captura de carbono.

6.4 PERSPECTIVAS DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES (CAPTURA DE CARBONO) Y SISTEMAS SILVOPASTORILES

A nivel mundial existe mucha discusión e investigación sobre como intensificar la producción ganadera de manera sustentable; o sea, como producir más en menos terreno, sin degradar la base productiva ni el ambiente. De las estrategias desarrolladas para la intensificación, la que mayor beneficio ecológico trae son los sistemas silvopastoriles. Estos son un tipo de sistema agroforestal que combina árboles y arbustos con la producción pecuaria. La incorporación de plantas leñosas a los sistemas ganaderos ocurre en una variedad de arreglos espaciales que incluyen: árboles aislados o en callejones en los potreros; el pastoreo en acahuals y sotobosques; los bancos forrajeros (árboles o arbustos sembrados a alta densidad para corte y acarreo en momentos de poca disponibilidad de forraje); y los cercos vivos.

El servicio ambiental de captura de carbono de actividades antrópicas es uno de los temas de mayor interés en los últimos años a partir de los avances en la Convención de Kyoto. Aunque la mayor parte de las discusiones y trabajos científicos se han orientado hacia el papel de los bosques y cultivos forestales, se ha llamado la atención sobre el papel que cumplen las raíces de los pastos mejorados y los árboles que crecen en los potreros y las ventajas de los mismos sobre las pasturas nativas en la fijación de carbono. Se ha sugerido desde entonces que cambios en el uso del suelo hacia la intensificación ganadera puede financiarse parcialmente con aportes de las industrias, empresas y países que hacen las mayores emisiones de CO₂ a la atmósfera. Es lógica la hipótesis que los sistemas silvopastoriles al combinar gramíneas mejoradas y estratos de raíces más profundas puedan tener tasas de captación de carbono superiores. Los contenidos de carbono en el suelo de los sistemas discutidos evidencian esto. Urge la investigación dirigida a desarrollar mecanismos financieros para multiplicar los beneficios ambientales de la ganadería arborizada.

La idea de proveer servicios de secuestro o inmovilización de carbono emergió de la Conferencia de Río de 1992, como forma de disminuir las tendencias en la deforestación. La posibilidad de que las naciones y actores privados puedan generar ingresos por el hecho de que sus bosques se mantengan, conlleva la idea de que se puede ofrecer un servicio a las naciones que emiten CO₂ (Pomareda, 1999).

La introducción de tecnologías silvopastoriles, como la siembra de árboles en potreros, el uso de cercas vivas, cortinas rompevientos y bancos forrajeros, a la vez que mejoran la calidad de la dieta nutricional (disminuyendo la capacidad de emitir metano de los bovinos), también ayudan a liberar áreas degradadas para permitir en ellas la regeneración natural y constituirse como sumideros de carbono. El uso de especies leñosas asociadas a las pasturas en sistemas pecuarios, tiene que evaluarse desde la perspectiva de su contribución a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero y de la captación de carbono, además de la factibilidad de sustituir en la época seca los suplementos de origen agroindustrial (concentrado, pollinaza, gallinaza) por suplementos producidos en los mismos terrenos (arbustos forrajeros).

Las comunidades estudiadas en este trabajo, se encuentran en la zona de amortiguamiento de la reserva de la Biosfera de Montes Azules (REBIMA), por lo cual las técnicas y sistemas pueden contribuir de manera estratégica para la conservación de la biodiversidad de las áreas de amortiguamiento y en general de la región Lacandona. Ya que dichos sistemas facilitan la conservación de animales y plantas de la selva dentro del paisaje agrícola, proporcionando importantes hábitats y recursos alimenticios (Harvey y Haber, 1999; Burel, 1996).

7. CONCLUSIONES

- El tipo de ganadería bovina practicada en las comunidades es una ganadería extensiva convencional con fuerte competencia por el uso del suelo. Se basa en el pastoreo y predominan los sistemas de pastos en monocultivo y en menor medida con cercos vivos y árboles en pasturas.
- Existe una amplia variedad de pastos y árboles en los sistemas con cerco vivo y árboles en pastura.
- Los productores tienen un importante conocimiento empírico acerca de las condiciones de sus pasturas.
- El carbono total en los sistema de pasturas, fue diferente para los sistemas silvopastoriles (árboles en potrero y cercos vivos). Estos sistemas obtuvieron los valores más altos de almacenamiento de carbono, teniendo el mayor valor las pasturas en sistemas de árboles en potrero seguido por los sistemas con cercos vivos y por último el sistema en monocultivo.
- Los aportes por componente y sistema varían, pero los principales contribuyentes de carbono al sistema son el suelo y árboles. En los diferentes sistemas evaluados el principal reservorio es el suelo aportando más del 80% con respecto al carbono total. Las mayores concentraciones de carbono se dan en la profundidad de 0 a 20 y disminuyendo a mayor profundidad.
- El componente arbóreo es el segundo reservorio de importancia con un aporte de más 6.0 % con respecto al carbono total. La cantidad de carbono almacenado en los árboles muestra variaciones marcadas. Tal variación se debe a la densidad de árboles presentes en los sistemas, en la cual las pasturas en sistemas con cercos vivos tienen la mayor densidad de árboles.
- Las pasturas en sistemas silvopastoriles almacenan más carbono en biomasa viva que las pasturas en sistema monocultivo.

-En las pasturas en sistema monocultivo el rendimiento relativo del pasto es mayor que en los sistemas silvopastoriles. Lo que también se reflejó en la tasa de carbono almacenado en compartimiento herbáceo.

-El almacenamiento de carbono en el estrato 0 a 20 contiene la mayor cantidad de carbono a diferencia de los demás estratos, pero en el cual esta más propenso a la perdida de carbono. Debido a los procesos de oxidación o pérdidas por las prácticas de labor en los sistemas.

8. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios con diferentes especies de pastos y árboles, que permitan comparar la eficiencia de unos y otras especies y asociaciones y su comparación con otros usos del suelo, incluyendo el bosque tropical.
- Es necesario desarrollar programas de investigación que incluyan estudios de los diferentes componentes del sistema por periodos más amplios, con el objeto de obtener resultados más consistentes y se puedan aplicar con mayor seguridad en diferentes condiciones ambientales y socioeconómicas.
- Es necesario promover el establecimiento de nuevos y mejores sistemas que diversifiquen la productividad ganadera, las cuales sean socialmente aceptables, ambientalmente compatibles, económicamente viables y lo principal que proporcionen un servicio ambiental. Como también le compete a los gobiernos nacionales el crear incentivos económicos especiales, bajo la definición de pagos por servicios ambientales. En este estudio demuestra que los sistemas silvopastoriles son una opción viable para la producción ganadera de la región y compatibles con la conservación de recursos naturales y los servicios ambientales.
- En la venta de servicios ambientales por captura de carbono es necesario incorporar otras actividades y mercados de servicios ambientales, como son los demás servicios que brindan los sistemas silvopastoriles, los cuales podrían ser la conservación de suelo y agua, o la biodiversidad. Con todo esto se ayudaría a diseñar y manejar sistemas mucho más integrales con respecto a la conservación dentro de las comunidades, y esto a su vez brindaría mucho más posibilidades económicas para el desarrollo y beneficio de las comunidades.
- Es necesario realizar estudios económicos de distintos escenarios agropecuarios y agroforestales como el de servicios ambientales de

captura de carbono y otros servicios ambientales como la de conservación de biodiversidad, corredores biológicos, etc.

- Los sistemas silvopastoriles tienen gran potencial para ser incorporados a programas de pago por captura de carbono en los programas nacionales como los promovidos por la Comisión Nacional Forestal mediante el proyecto PASA-CABSA y otros programas independientes como Scolel'te.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, D. C. M. 2006. Servicios ambientales: Captura de carbono en sistemas de café bajo sombra en Chiapas, México. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Chapingo. Maestría en Ciencias en Agroforestería para el desarrollo sostenible. México.
- AOAC. 1980. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. 13 Edition. Washington, D. C.
- Auckand, L., Moura, Costa, P., Bass, S., Hug, S., Tipper, R., y Carr, R. 2002. Colocando los cimientos para el MDL: Preparando el sector del uso de la tierra. Una guía rápida al Mecanismo de Desarrollo Limpio. 2^{da} Ed. Londres. 39 p.
- Amézquita, E. y Pinzón A. 1991. Compactación de suelos por pisoteo de animales en pastoreo en el piedemonte amazónico de Colombia. *Pasturas Tropicales*. Vol. 13, No. 2. 21 - 26 p.
- Andrade, J. H. e Ibrahim, M. 2003. Como monitorear el secuestro de carbono en sistemas silvopastoriles. *Agroforesteria en las Américas*. Vol 10, (39)-40. 109 – 116.
- Andrade,H.J. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis Mag. SC. Turrialba, Costa Rica CATIE. 83 p.
- Arvizu, F.J. 2004. Registro histórico de los principales países emisores. In: cambio climático: una visión desde México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología (INE). 1^{ra} Ed. México.99 -108.
- Avila, V. G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 102 p.

- Arreola, M.V. 1999. Marginación y cambio de uso de suelo en tres fronteras forestales de Chiapas. Tesis maestría en Desarrollo Rural. Dirección de Centros Regionales de la Universidad Autónoma Chapingo. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. 288p.
- Bauner, M. 1992 Trees as Browse and to support animal production. In: A. Speedy and P. Pugliese (Eds). Legume trees and other fodder trees as protein resources for livestock. Roma, Italia: FAO Animal production and health, pp 1-10.
- Benavides, J. 1983. Investigación en árboles forrajeros. En: Curso corto intensivo sobre técnicas agroforestales con énfasis en la medición de parámetros biológicos y socioeconómicos. Contribuciones de los participantes. Comp. Babar. Turrialba, Costa Rica. CATIE.
- Benavides, J. 1995. Manejo y utilización de la morera (*Morus alba*) como forraje. *Agroforesteria en las Américas* 2(7): 27-30.
- Botero, R y Russo, RO. 2000. Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales (en línea).Memorias: Conferencia Electrónica: I Conferencia Latinoamericana sobre Agroforestería para la producción animal. <http://www.cipav.org.co/cipav/confr/index/htm>
- Bolivar, D. 1998. Contribución de la *Acacia mangium* al mejoramiento de la calidad forrajera de *Brachiaria humidicola* y la fertilidad de un suelo ácido. Tesis Magister Scientae. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 105p.
- Burel, F. 1996. Hedgerows and their role in agricultural landscapes. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 15(2), 169-190.
- Budowski, G. 1993. The scope and potential of agroforestry in Central America. *Agroforestry Systems*. 23:121-131.

- Bustamente J., Ibrahim M y Beer J. 1998. Evaluación agronómica de ocho Gramíneas mejoradas en un sistema silvopastoril con poro (*Erythrina poeppigiana*) en el trópico húmedo de Costa Rica. *Agroforesteria en las Américas* 5(19): 1-16.
- Bushbacher, B. 1984. Changes in productivity and nutrient cycling following conversion of Amazonian forest to pasture. Ph. D. Thesis. University of Georgia, Athens. 210p.
- Brown, K. y Neil-Adger, W. 1994. Economic and political feasibility of international carbon offsets. *Revista Forest Ecology Management* No. 68.
- Blanco, F. 1991. La persistencia y el deterioro de los pastizales. *Pastos y Forrajes*. 13:173-176.
- Cairns, M. A., J. K. Winjum, D. L. Phillips, T. P. Kolchugina and T. S. Vinson. 1997. Terrestrial carbon dynamics: Case studies in the former Soviet Union, the conterminous United States, Mexico and Brazil. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 1:363-383.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC). 1997. Protocolo de Kyoto. 31 p.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. UNAM Agrupación Sierra Madre, S. C. México, D.F. 847 p.
- Chave, J., Andola, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J., Nelson, B. W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. 145(1): 87-99.

- Delgadillo, R. M. y Quechulpa M. O. 2006. Manual de Monitoreo en Sistemas Agroforestales. AMBIO. 35 p.
- Dixon, R.K., S. Brown, R.A. Houghton, A.M. Solomon, M.C. Trexler, y J. Wisniewski. 1994. Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science*, 263, 185-190.
- Esquivel, B. E. 2005. Uso de los suelos y almacenamiento de carbono en dos comunidades del municipio de marqués de Comillas, Chiapas. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Instituto Politécnico Nacional. 138 p.
- FAO. 2002. Contribución de la FAO a Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, 2002, Centro virtual investigación y Desarrollo. Iniciativa para la Ganadería,
Medio Ambiente y Desarrollo. [En línea].
<http://www.lead.virtualcentre.org/es/frame.htm>
- FAO, 2001. El Cambio climático y los bosques. In: Situación de los Bosques del Mundo 2001. 60 - 73 p. Disponible en
<<http://www.fao.org/Forestry/fo/sofo/SOFO2001/publ-s.stm>
- Fassbender, H.W. y Bornemisza, E. 1987. Química del suelo con énfasis en suelos de América Latina. Editorial IICA. San José, Costa Rica. 420p.
- Fearnside, P.M.; barbosa, r. 1998. soil carbon changes from conversion of forest to pasture in brazilian amazonia. *forest ecology and management* 108: 147-166.
- Figueres, C. y M. Gowan. 2002. The operation of the CDM. Pp. 1-11. En: C. Figurers (ed.) Establishing National Authorities for the CDM. A guide for developing countries. International Institute for Sustainable Development and the Center for Sustainable Development in the Americas, Canada. http://www.cckn.net/pdf/cdm_national_authorities.pdf.

- Fisher, M; Trujillo, W. 2000. Fijación de carbono por pastos tropicales en las sabanas de los suelos ácidos neotropicales. In Pomareda, C; Steinfeld, H. (Eds). Intensificación de la Ganadería en Centroamérica: Beneficios Económicos y Ambientales. San José, Costa Rica. CATIE/FAO/SIDE p, 115-135.
- Forsythe, W. 1972. Manual de Laboratorio de Física de Suelos. I.I.C.A. Turrialba, Costa Rica. 216 p.
- García, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen 3ar Ed. UNAM. México, D. F.
- Giraldo, V.L.A. 2000. Potencial de la arbórea A. Decurrens. 1: evaluación como componente en el sistema silvopastoril en el clima frío de Colombia. Conferencia electrónica de la FAO. URL: <http://www.fao.org>
- Giraldo, LA; Botero, J; Saldarriaga, J; David, P. 1995. Efecto de tres densidades de árboles en el potencial forrajero de un sistema silvopastoril natural, en la región atlántica de Colombia. *Agroforestería en las Américas* 8:14-19.
- González, A., Eguiarte, J. A., Martínez, R., Rodríguez, M. R. 1996. Adaptación y producción de gramíneas en Jalisco, Mexico. *Pasturas tropicales* Vol. 18 (2) 30-35 pp.
- Gobierno del Estado de Chiapas. 2001. Plan Estatal de Desarrollo 2001-2006. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
- Goudie, A. 1990. The Human Impact on the Natural Environment. Blackwell, Oxford, U.K. 3^a Edición. 388 p.
- Goudriaan, J. 1990. Atmospheric CO₂, global carbon fluxes and the biosphere. Theoretical Production Ecology: Reflections and Prospects. *Revista Simulation Monographs* No. 34.

- Guzmán, A. Laguna, I. y Martínez, J. 2004. Los mecanismos flexibles del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático. In: cambio climático: una visión desde México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología (INE). 1^{ra} Ed. Mexico.174 -187.
- Guggenberger, E.G., Christensen, B.T., y Zech, W.1994. Land use effects on the composition of organic matter in particle-size separates of soil: In: Lignin and carbohydrate signature. *European J.Soil Sci.* 45:449-458.
- Guilén, V. J. G., Jiménez, G., Nahed, J., Soto, M. L. 2000. Ganadería indígena en el norte de Chiapas. En: Historial ambiental de la ganadería en México. L. Hernández Ed. Instituto de Ecología, A.C. pp: 210-223.
- Grupo de Estudios Ambientales (GEA) A. C. 1993. El proceso de evaluación rural participativa: una propuesta metodológica. Grupo de Estudios Ambientales. México. 103 pp.
- Harvey, C. y Harber, W. 1999. Remnants trees and the conservation of biodiversity in Costa Rica Pastures. *Agroforestry Systems*,44: 37-68
- Hernández, R. J., Velasco, P. A., Robles, G. L., Ramos, M. T., Montoya, G. G. 2006. Estructura Socioproductiva del Ejido La Corona, Municipio de Marqués de Comillas, Chiapas. *AMBIO*. 87 p.
- Hernández, I; Milera, M; Simón, L; Hernández, D; Iglesias, J; Lamela, L; Toral, O; Matías, C; Francisco, G. 2000.Avances en las investigaciones en sistemas silvopastoriles en Cuba (en línea). Memorias. Conferencia Electrónica: I Conferencia Latinoamericana Sobre Agroforestería para la Producción Animal Tropical. [http:// www.cipav.org.co/cipav/confr/index/htm](http://www.cipav.org.co/cipav/confr/index/htm)

- Hernández, I. y Benavides, J., 1995. Potencial forrajero de especies leñosas de los bosques secundarios del petén, Guatemala. *Agroforestería en las Américas*. 8:302/2.
- Houghton, R.A. y C.M. Woodwell. 1989. Global Climate Change. *Scientific American*, 260:4, 36-40
- Ibrahim, M., y Mora, J. 2001. Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para generación de servicios ambientales. En: Plataforma electrónica sobre ganadería y medio ambiente, LEAD/FAO/CATIE. <http://lead.virtualcentre.org/es/ele/conferencia3/articulo1.htm>
- INEGI, 2006. Catálogo de claves de entidades federativas, numeración y localidad. México D. F.
- INEGI-Gobierno del Estado, 2004. Anuario estadístico de Chiapas.
- IPCC. 2003 Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry (en línea) National Greenhouse Gas Inventories Programme. Kanagawa, Japan. <http://www.ipcc.ch>.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical Summary. WMO/UNEP. Reino Unido: Cambridge University Press.
- IPCC, 2001. Climate Change 2001: Synthesis Report, Summary for Policymakers. This summary, approved in detail at IPCC Plenary XVIII (Wembley, United Kingdom, 24 - 29 September. 34 p. <<http://www.ipcc.ch/pub/SYRspm.pdf>>
- IPCC, 2002, Cambio climático y biodiversidad (en línea). OMN y PNUMA. 93 p. <http://www.ipcc.ch>.
- IIED. 1994. Rapid Rural Appraisal (RRA). Special issue on livestock. Notes N° 20. International Institute for Environment and Development. London, UK. 173 pp.

- Jackson, J y Ash, A. 1998. Tree-grass relationships in open eucalypt woodlands of northern Australia: influence of trees on pasture productivity, forage quality and species distribution. *Agroforestry Systems* 40: pp 159 -176.
- Jiménez F.J.G. 2001. Un enfoque agroforestal-participativo para la ganadería. *Ecofronteras*, No.13, ECOSUR, México pp17-18.
- Jiménez, G., Soto, L., Montoya, G., De Jong, B. 2001. Desarrollo Agroforestal y captura de carbono en Chiapas, México: Una experiencia de gestión comunitaria. Sustainable Rural development Information Systems (SRDIS), The World Bank. <http://srdis.ciesin.org/cases/mexico-011.html>
- Jiménez, F. J. G. comunicación personal.
- Livestock, Environmet and Development Initiative (LEAD). 2001. Livestock and Environment Toolbox, FAO.
- López, A. 1998. Aporte a los sistemas silvopastoriles al secuestro de carbono en el suelo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 50 p.
- Lopez, A; Schlönvoigt, A; Ibrahim, M; Kleinn, C; Kanninen, M. 1999. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 6: 51-53.
- Luiselli H. C. 2002. El medio ambiente y el campo. In: Memorias de 2° coloquio Internacional de Desarrollo Rural en México en el siglo XXI. Honorable Cámara de Diputados, México, DF. Pp: 491-496.
- Lugo, A. E.; Sanchez, M. J.; Brown, S. 1986. Land use and organic carbon content of some subtropical soils. *Plant and soil*. V 96: 185-196.
- Magaña Rueda, V:O. 2004. El cambio climático global: comprender el problema. In: cambio climatico: una visión desde México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología (INE). 1^{ra} Ed. México.17 -27.

- Marlan G., Boden T. y B. Andres. 2003. Global, Regional and National CO2 Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC). Oak Ridge National Laboratory, U. S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn. <http://cdiac.esd.ornl.gov/>
- Mariaca, M.R. 2002. Marqués de Comillas, Chiapas: Procesos de inmigración y adaptabilidad en el trópico cálido húmedo de México. Tesis doctorado en antropología social. Universidad Iberoamericana. México. 382p.
- Mariaca, M.R. 1997. Propuesta Técnica del programa de desarrollo regional sustentable de la región Marqués de Comillas, Chiapas. El Colegio de la Frontera Sur y SEMARNAP. Chiapas. 77p.
- Masera, O. 1995. Carbon Mitigation Scenarios for Mexican Forests: Methodological Considerations and Results. *Interciencia*, 20:6, 388-395.
- Mesquita, M., De Paula, V., Sette, D. E., De Assis, H. 1994. Efeito de árvores isoladas sobre a disponibilidade e composicao mineral de forragem em pastagens de Braquiaria. *Revista da sociedade Brasileira de Zootecnia* 23(5): 709-718
- Minami, K; Goudriaan, J; Lantinga, E; Kimura, T; Baker, M. 1993. Significance of grasslands in emission and absorption of greenhouse gases. *Grasslands for our world*. Nueva Zelanda.
- Minson, D.J. 1990. Forage in ruminat nutrition. Academic Press, Estados Unidos. 483 p.
- Moncada de la F. J. 2002. Perspectivas de la investigación agropecuaria y forestal. In: Memorias de 2ª coloquio Internacional de Desarrollo Rural en México en el siglo XXI. Honorable Cámara de Diputados, México, DF. Pp: 119-1332.

- Montangnini, F., y Nair, R. K. 2004. Carbono sequestration: An underexploited environmental Benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*. 61: 281 - 295.
- Mora, C.V. 2001. Fijación, emisión y balance de gases de efecto invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras intensivas de la zonas altas de Costa Rica. CATIE. Turrialba Costa Rica. 92 p.
- Montenegro, J., Abarca, S. 200. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En: Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. CATIE – FAO – SIDE. 334 p.
- Neill, C., Cerri, C. C., Melillo, J. M., Feigl, B. J., Steudler, P.A., Moraes, J. F. L., y Piccolo, M. C. 1997. Stocks and dynamics of soil carbon following deforestation for pasture in Rondonia. En: Soil Processes and the Carbon Cycle. CRC Press, Boca Raton. 9-28 p.
- Nyberg, G. y Hogberg, P. 1995. Effects of young agroforestry trees on soils in on-farm situations in western Kenya. *Agroforestry Systems*, 32: 45-52.
- Organización de las Naciones Unidas. 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Nueva York. 50 p.
- Pérez, L. H. 2003. Potencial de árboles y arbustos forrajeros en la Trinitaria Chiapas, México. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Chapingo. Maestría en Ciencias en Agroforestería para el desarrollo sostenible. México. 122 p.
- Pezo, D. e Ibrahim, M. 1999. Sistemas silvopastoriles. Colección de Módulos de Enseñanza. Módulo No.2. CATIE/GTZ. Turrialba, Costa Rica. 264 pp.

- Pezo, D. Ibrahim, M. 1997. Sistemas silvopastoriles; una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos. FIRA ed. 1er. Boletín Informativo. Vol. XXIX, no. 290. Morelia. Mich. 44 p.
- Pezo, D., Romero, F., y Ibrahim, M. 1992. Producción, manejo y utilización de los pastos tropicales para la producción de leche y carne. En Fernández-Baca, S. (ed). Avances en la producción de leche y carne en el trópico americano. Santiago, Chile. FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe. 47-98.
- Pomadere, C. 1999. Carbon sequestration through pasture intensification. Technical, economic and management issues. Informe para: The livestock and environment initiative the World Bank and FAO. 48p.
- PNUMA, 1999. Para comprender el cambio climático: Guía elemental de la Convención Marco de las Naciones Unidas y el Protocolo de Kyoto, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Secretaría sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (www.unfccc.int/resource/beginner_02_sp.pdf)
- Rajagopal, R.I. 2004. Estimación del secuestro de carbono en sistemas agroforestales a base de cítricos en el trópico húmedo mexicano. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Chapingo. Maestría en Ciencias en Agroforestería para el desarrollo sostenible. México. 145 p.
- Ramírez, G.H. 1998. Evaluación de dos sistemas silvopastoriles integrados por *Cynodon Plectostachyus*, *Leucaena Leucocephala* y *Prosopis juliflora*. Conferencia electrónica.
- Ramírez, G.H. 1997. Evaluación de dos sistemas silvopastoriles integrados por *Cynodon plectostachyus*, *Leucaena leucocephala* y *Prosopis juliflora*. Memorias en disquette del V Seminario-Taller Internacional "Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria" y I Seminario Internacional sobre "Palmas en Sistemas de Producción

Agropecuaria para el Trópico” Cali, Colombia. 31 de julio al 3 de agosto de 1997.

Ruiz, G:A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. CATIE. Turrialba Costa Rica. 106 p.

SAGARPA-SDR.2004 Informe Evaluación Alianza Contigo. Fomento Ganadero2003 Chiapas. [www/evalalianza.org.mx](http://www.evalalianza.org.mx).

SAGARPA 2003. Anuario estadístico por estado.

SAS, 2001. SAS Institute Inc. SAS Campus Drive, Cary, NY, North Carolina, Estados Unidos.

Sánchez, M. 1998. Sistemas agroforestales para intensificar de manera sostenible la producción animal en Latinoamérica tropical. Conferencia Electrónica. FAO.
<http://www.fao.org/WAICENT/FaoInfo/Agricult/AGA/AGAP/FRG/AGROFOR1/Sanchez1.txt>.

SEMARNAP. 1997. Programa de desarrollo regional sustentable en la subregión Marqués de Comillas de la selva Lacandona, Chiapas, México. Gobierno del estado de Chiapas, Secretaria de Ecología y Recursos Naturales y Secretaria de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, México.

Sención, G. J. 1996. Valoración económica de un ecosistema de bienes y servicios ambientales en bosques subtropical: estudio de caso La Palotada, Petén, Guatemala: Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba. Costa Rica. 132p.

Souza de Abreu, M., Ibrahim, M., Harvey, C., Jiménez, F. 2000. Caracterización del componente arbóreo en los sistemas ganaderos de La Fortuna de San Carlos, Costa Rica. Agroforestería en las Américas 7 (26): 53 - 56.

- Somarriba, E. 1988. Que es la agroforesteria. *El Chasqui*. 24:5-11.
- Steinfel, H., Cornelis De H. y Harvey, B. 2002. Livestock systems and the environment chapter II de conferencia electronica balancing livestock, the invironment, and human needs http://lead.virtualcentre.org/en/ele/econf_97/lxeconf.htm
- Szott, L. Ibrahim, M. and Beer, J. 2000. The hamburger connection hangover. Cattle pasture land degradation and alternative land use in Central America. CATIE, DANIDA, GTZ. 71 p.
- Steel, R; Torrie, J. 1998. Bioestadística: Principios y Procedimientos. México, Mc Graw-Hill. 622 p.
- Schneider, S.H. 1989. The Greenhouse Effect: Science and Policy. *Science*, 243:10, 271-281
- Towsend AR, Braswell BH, Holland EA, Penner JE. 1996. Spatial and temporal patterns in terrestrial carbon storage due to deposition of fossil fuel nitrogen. *Ecol Appl* 6: 806-814.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2003. Caring for Climate Change. A guide to the Climate Change Convention and the Kyoto Protocol. Issued by the Climate Change Secretariat (UNFCCC). Bonn, Germany. 1998. El Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Publicado por la Secretaría del Cambio Climático con el apoyo de la Oficina de Información sobre las Convenciones del PNUMA. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>.
- Van Soest P., J. y Robertson, J. 1985. Analysis of forages and fibrous of the feeds. Cornell University, Ithaca, New York. Laboratory manual for animal science.
- Velázquez, A., J.F. Mas, J.L. Palacio, J.R. Díaz, R. Mayorga, C. Alcántara, R. Castro y T. Fernández 2002. Análisis de cambio de uso del suelo. Informe técnico. Convenio INE-Instituto de Geografía, UNAM.

- Veldkamp, E. 1993. Soil organic carbon dynamics in pastures established after deforestation in the humid tropics of Costa Rica. Ph. D. Thesis. Wageningen, Netherlands, Agriculture University of Wageningen. 117 p.
- Villafuerte, S. D. 1997. La cuestión ganadera y la deforestación: viejos y nuevos problemas en el Trópico y Chiapas, Tuxtla Gutiérrez: Universidad de Ciencias y Artes del Estado de Chiapas: Gobierno del Estado de Chiapas, 1997.
- Yakimeko, E.Y. 1997. Soil comparative evolution under grasslands and woodlands in the forest zone of Russia. En: R. Lal, J.M. Kimble, R.F. follet, and B.A. Stewart (eds.), Management of Carbon sequestration in Soil. 391-404 p.
- Walkley A, Black T.A. 1934. An examination of the Degtjarett method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.

10. ANEXOS

Anexo 1: Caracterización sistema ganadero, usos del suelo y evaluación de pasturas.

Encuesta N°: _____ Fecha: _____

Encuestador: _____

Localidad: _____

Municipio: _____

A) Información general de la familia

¿Cuál es su nombre completo?:

Genero: (M) (F)

¿Cuál es su Edad? _____

¿Las parcelas son suyas? Dueño () Administrador ()

¿Usted tiene título de propiedad, la alquila o la pide prestada?

Propietario () Ejidal ()

¿Cuánto tiempo tiene de vivir en la zona?

¿Cuánto tiempo tiene de dedicarse a la

ganadería?: _____

¿Usted ha estudiado hasta que nivel?

Ninguno () Primaria () Secundaria () Técnico () Universitario ()

¿Usted sabe leer? (S) (N) y escribir (S) (N)

¿Cuántas personas de la familia dependen directamente de la Sus parcelas?

B) Información general de las parcelas

Cuántas parcelas tiene? _____

¿Cuál es la superficie de cada una de las parcelas? _____

¿Cuál es la superficie aproximada de su parcela con:

Granos básicos: _____ Hortalizas: _____

Pasto: _____ Pasto de corte: _____ Otro uso: _____

¿Cuál es el tipo de producción ganadera predominante?

Leche () Carne () otros () Cuales _____

¿Cómo esta compuesto su hato ganadero numero de animales?

Adultos: _____

Novillos: _____

Becerras: _____

¿Cuáles son los pastos mejorados que tiene en su finca?

¿Cuáles maquinarias, equipos e instalaciones tiene usted?

C) Producción ganadera

¿La producción baja en tiempo de seca? (S) (N)

¿Cuál es el destino de la producción?:

¿Engorda animales? (S) (N)

Animales vendidos al año _____

Precio venta _____

D) uso del suelo

Sistema de Producción actual _____ Año _____

Sistemas de Producción anteriores A) _____ Año _____

B) _____ Año _____

E) Tipo de sistema de potrero que cuenta el productor

Cerco vivo _____ Árboles en potrero _____ Solo pasto _____ Los tres _____

Cerco Vivo

Cuantos potreros _____ Metros establecidos _____

Especies establecidas _____

Utilización de la especie _____

Árboles en potrero

Cuantos potreros_____

Especies presentes_____

Por que decidió dejar estas especies en el potrero

F) Evaluación de pastos

Suelo

Se encuentran porciones de suelo desnudo en el pastizal:

A) Extremo B) Moderado C) Ligero D) Nada

El suelo en el potrero presenta compactación:

A) Extremo B) Moderado C) Ligero D) Nada

Pasto

La producción de pasto ha disminuido a través de los años de manera:

A) Extremo B) Moderado C) Ligero D) Nada

Presenta áreas de pasto muerto en una proporción:

A) Extremo B) Moderado C) Ligero D) Nada

EL vigor de su pasto ha disminuido de manera:

A) Extremo B) Moderado C) Ligero D) Nada

La presencia de plagas en sus pastos es:

- A) Extremo B) Moderado C) Ligero D) Nada

Ha notado la aparición de pastos nativos dentro de sus pasturas mejoradas de manera:

- A) Extremo B) Moderado C) Ligero D) Nada

Dentro de sus pastizales existe presencia de malezas con una frecuencia:

- A) Extremo B) Moderado C) Ligero D) Nada

Que tipo de malezas se encuentran en sus pastizales

En general como calificaría sus pastos por todo lo anterior

- A) Muy bueno B) Bueno C) Regular D) Malo

Anexo 2. Estadígrafos para estimación de carbono en tres sistemas de pasturas en las comunidades La Corona y Reforma Agraria.

SM	Media	Var	Sx	E	Li	Ls	CV %
Biomasa viva	1.993	1.184	0.576	1.130	0.864	3.123	54
C árboles	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
Hierbas	1.335	0.553	0.472	0.925	0.411	2.260	55
Raíces totales	0.664	0.161	0.333	0.652	0.012	1.316	60
Materia orgánica suelo	60.623	101.297	3.179	6.230	54.393	66.854	33
C total del sistema	64.622	136.312	3.282	6.432	58.189	71.054	32

SCV	Media	Var	Sx	E	Li	Ls	CV %
Biomasa viva	10.405	43.333	1.317	2.581	7.824	12.986	63
C árboles	7.606	28.447	1.126	2.207	5.399	9.812	70
Hierbas	0.920	0.069	0.392	0.767	0.152	1.687	28
Raíces totales	1.883	1.377	0.560	1.098	0.785	2.982	62
Materia orgánica suelo	66.683	219.049	3.334	6.534	60.149	73.217	16
C total del sistema	87.500	353.410	3.819	7.485	80.015	94.985	14

SAP	Media	Var	Sx	E	Li	Ls	CV %
Biomasa viva	5.995	13.547	1.503	2.945	3.050	8.940	61
C árboles	4.232	9.149	1.235	2.420	1.812	6.652	71
Hierbas	0.646	0.028	0.068	0.133	0.513	0.779	25
Raíces totales	1.122	0.505	0.290	0.569	0.553	1.691	63
Materia orgánica suelo	76.897	533.097	9.426	18.475	58.422	95.372	18
C total del sistema	88.895	816.074	11.662	22.858	66.037	111.753	19

SM: Sistema monocultivo

SCV: Sistema cercos vivos

SAP: Sistemas árboles en potrero

Var: Varianza; Sx: Desviación estándar; E: Error estándar; Li: Limite inferior; Ls: Limite superior; CV%: Coeficiente de variación.

Anexo 3. Análisis de varianza de carbono en los diferentes reservorios, en los sistemas de SM, SAP y SCV.

Dependent Variable: Carbono en biomasa arbórea

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	194.661(a)	5	38.932	2.788	.068
Sistema	174.268	2	87.134	6.239	.014
Comunidad	9.458	1	9.458	.677	.427
Sistema * Comunidad	10.935	2	5.467	.391	.684
Error	167.586	12	13.965		
Total	642.493	18			
Corrected Total	362.246	17			

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: Carbono en raíces

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5.942(a)	5	1.188	1.616	.229
Sistema	4.554	2	2.277	3.096	.082
Comunidad	.968	1	.968	1.316	.274
Sistema * Comunidad	.420	2	.210	.285	.757
Error	8.825	12	.735		
Total	41.691	18			
Corrected Total	14.767	17			

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: Carbono herbáceas incluyendo pasto

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.165(a)	5	.433	2.054	.143
Sistema	1.444	2	.722	3.424	.067
Comunidad	.273	1	.273	1.293	.278
Sistema * Comunidad	.449	2	.224	1.064	.376
Error	2.530	12	.211		
Total	21.527	18			
Corrected Total	4.696	17			

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: Carbono en biomasa viva

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	245.847(a)	5	49.169	2.297	.110
Sistema	212.343	2	106.172	4.960	.027
Comunidad	20.990	1	20.990	.981	.342
Sistema * Comunidad	12.513	2	6.257	.292	.752
Error	256.856	12	21.405		
Total	1180.371	18			
Corrected Total	502.702	17			

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: Carbono en suelo

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3258.819(a)	5	651.764	4.298	.018
Sistema	811.481	2	405.741	2.676	.109
Comunidad	2054.434	1	2054.434	13.549	.003
Sistema * Comunidad	392.904	2	196.452	1.296	.309
Error	1819.611	12	151.634		
Total	88477.477	18			
Corrected Total	5078.430	17			

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: Cttotal

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5921.573(a)	5	1184.315	5.008	.010
Sistema	2229.108	2	1114.554	4.713	.031
Comunidad	2969.041	1	2969.041	12.556	.061
Sistema * Comunidad	723.424	2	361.712	1.530	.256
Error	2837.650	12	236.471		
Total	124940.047	18			
Corrected Total	8759.224	17			