



El Colegio de la Frontera Sur

Carbono en sistemas ganaderos en un paisaje de conservación
REBIMA Chiapas, México.

TESIS

Presentada como requisito parcial para optar por el grado de
Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural

Por

Texar Asunción Morales Coutiño

2010

Índice General

Resumen.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	2
II. OBJETIVO GENERAL.....	5
2.1 Objetivos específicos.....	5
III. ANTECEDENTES.....	6
3.1 Calentamiento global y emisiones de GEI.....	6
3.2 Que son los paisajes ganaderos o paisaje rural.....	7
3.3 Sistemas agroforestales y captura de carbono.....	8
3.4 Almacenamiento de carbono en sistemas ganaderos.....	11
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
4.1 Localización del área de estudio.....	12
4.2 Sistemas estudiados.....	13
4.3 Lugar y selección de parcelas.....	13
4.4 Estimación de carbono en los diferentes reservorios.....	15
4.5 Carbono en árboles.....	16
4.6 Carbono en hierbas.....	16
4.7 Carbono en raíces.....	17
4.8 Carbono orgánico en suelo.....	17
4.9 Biomasa muerta (mantillo).....	18
4.10 Análisis estadístico.....	19
V. RESULTADOS.....	20
5.1 Caracterización del paisaje ganadero en los tres ejidos de la REBIMA.....	20
5.2 Características generales de las especies arbóreas y juveniles en los ejidos.....	27
5.3 Estimación del carbono en sistemas del paisaje ganadero de la REBIMA.....	30
5.4 Carbono estimado en el componente arbóreo y juvenil en los tres sistemas.....	30

5.5 Carbono estimado en el componente herbáceo (pastos) y raíces en los tres sistemas evaluados.....	31
5.6 Carbono estimado en la materia orgánica muerta: mantillo (Fresco, Intermedio, humus).....	32
5.7 Carbono estimado en la materia orgánica del suelo.....	33
5.8 Total de carbono total por compartimento.....	33
5.9 Cronosecuencia del carbono estimado en acahuales.....	35
5.10 Cronosecuencia del carbono estimado en potreros.....	35
5.11 Cronosecuencia del Carbono estimado en potreros con árboles.....	35
5.12 Carbono estimado en la materia orgánica del suelo en sus tres profundidades en los tres sistemas (cronosecuencia).....	37
VI. DISCUSION.....	38
6.1 Paisaje ganadero en un área de Conservación REBIMA.....	38
6.2 Estimación de carbono en los sistemas estudiados.....	40
6.3 Cronosecuencia de carbono estimado en los sistemas estudiados.....	42
VII. CONCLUSIONES.....	43
VIII. RECOMENDACIONES.....	44
IX. LITERATURA CITADA.....	45

ANEXO 1

Perspectivas del servicio ambiental que pueden ofrecer los pastizales para mitigar el bióxido de carbono (CO ₂) ante el cambio climático.....	51
---	----

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Contenido de carbono estimado (Mg ha^{-1}) en diferentes reservorios y sistemas en trabajos realizados en Chiapas, México.....	10
Cuadro 2. Caracterización del área de estudio en los tres ejidos de la REBIMA.....	22
Cuadro 3. Características del suelo en las parcelas estudiadas.....	26
Cuadro 4. Características del uso suelo en las parcelas estudiadas.....	27
Cuadro 5. Carbono estimado (Mg ha^{-1}) en cada compartimento por sistema.....	30

Índice de Figuras y Gráficas

Figura 1.	Mapa de ubicación del área de estudio.....	13
Figura 2.	Mapa de puntos de muestreo en la zona de estudio.....	14
Figura 3.	Diagrama de la parcela circular (1000 m ²) para la cuantificación de carbono en los diferentes reservorios (árboles adultos, juveniles, hierbas, mantillo, raíces y suelo) (IPCC 2001).....	15
Figura 4.	Mapa de caracterización del ejido Amatitlán y usos del suelo.....	23
Figura 5.	Mapa de caracterización del ejido La Democracia y usos del suelo.....	24
Figura 6.	Mapa de caracterización del ejido Plan de Río azul y usos del suelo.....	25
Gráfica 1.	Especies de árboles encontradas en las parcelas de muestreo.....	28
Gráfica 2.	Especies juveniles encontradas en las parcelas de muestreo...	29
Gráfica 3.	Media y error estándar del carbono estimado en los árboles (A) y en juveniles (B) en los tres sistemas estudiados. Letras iguales entre tratamientos no difieren significativamente (p=0.05).....	31
Gráfica 4.	Media y error estándar del carbono estimado en pastos (A) y en raíces totales (B) (gruesas y finas) en los tres sistemas estudiados. Letras iguales entre tratamientos no difieren significativamente (p=0.05).....	32
Gráfica 5.	Media y error estándar del carbono estimado en el mantillo en sus tres estados de descomposición en los tres sistemas estudiados. Letras iguales entre tratamientos no difieren significativamente (p=0.05).....	32
Gráfica 6.	Media y error estándar del carbono estimado en la materia orgánica del suelo en sus tres profundidades en los sistemas estudiados. Letras iguales entre tratamientos no difieren significativamente (p=0.05).....	33

Gráfica 7.	Media y error estándar del total de carbono por compartimento en los tres sistemas estudiados. Letras iguales entre tratamientos no difieren significativamente ($p=0.05$).....	34
Gráfica 8.	Comportamiento del carbono en acahuales, potreros y potrero con árboles en una cronosecuencia.....	36
Gráfica 9.	Comportamiento del carbono estimado en suelo en sus tres profundidades en acahuales, potreros y potrero con árboles.....	37

Agradecimientos

Le agradezco a El Colegio de la Frontera Sur por darme la oportunidad de seguir estudiando y a los docentes que contribuyeron en mi desarrollo profesional. A los colegas de la línea Ganadería y Ambiente (GAMA) por su apoyo académico durante mis estudios. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca que me otorgo para realizar la Maestría en ECOSUR y al Proyecto **“Estudio de las Gases de Efecto Invernadero en pasturas en la Selva Lacandona Chiapas, México”** Fondo Sectorial CONACYT-SEMARNAT (No. 23703-2006), el cual financió mi trabajo de campo y laboratorio. Se agradece al proyecto FORDECYT-ECOSUR No, 116306 por su apoyo en la fase final de la investigación.

A la Dra. Lorena Soto Pinto por darme su valioso tiempo y paciencia para culminar con la tesis. Al Dr. Guillermo Jiménez Ferrer por todo su apoyo mostrado durante la realización de la tesis. Al Dr. Bruce Ferguson por su amable participación y ayuda en la revisión de la tesis, así también al Dr. Jorge Castellanos por el apoyo en la parte estadística y la revisión del documento. Al Dr. David Álvarez por su apoyo en la revisión de la tesis.

A los productores de los ejidos Amatitlán, La Democracia y Plan de Río Azul quienes me permitieron trabajar en sus parcelas y también por la amistad brindada durante el trabajo de campo. Un especial agradecimiento a los compañeros de la CONANP (Chiapas), MC Janet González, Ing. Baldovinos y al Mvz. Ángel Sánchez por su apoyo en campo y la valiosa información proporcionada.

Un especial agradecimiento a todo el personal de Laboratorio de Ecosur de suelos y Bromatología, por su gran apoyo. A los compañeros del LAIGE-ECOSUR de San Cristóbal de Las Casas.

A mis amigos y amigas de la maestría generación 2008-2009, con quienes compartí buenos momentos y por su amistad que me ofrecieron muchas gracias.

En el trabajo de campo al Mc Juventino de Paz, Lorenzo Hernández y Francisco quienes fueron de mucho apoyo para realizar este proyecto.

Dedicatoria

A mis adorados padres José Benito Morales Sol (†) y Dominga Coutiño Pérez, y mis hermanos Néctar, Benito, Cristóbal, Daniel, Fidel y mi hermanita Roció.

A mis Cuñadas Carmen, Albi, Rubí, Erika y a mis sobrinitos Daniel, Fabi, María José, Cristi, Fabricio, Mauricio, Joséito y Eric, quienes en todo momento me dieron su cariño y apoyo moral.

A mi tía Lupita y a mi tío Oscar quienes me apoyaron moralmente y me acobijaron en su humilde casa. A mi estimada prima Lupita y a mis primos Oscar y Luis.

A Dios, por darme la fortaleza que necesitaba para continuar en esta etapa.

Resumen

En la Selva Lacandona en Chiapas, México las áreas forestales y selvas han dado paso a una matriz agrícola, en donde el paisaje ganadero es importante. Así, la ganadería bovina está siendo relevante en la dinámica de gases de efecto invernadero GEI (bióxido de carbono, metano y óxido nitroso). El estudio de GEI en México se ha enfocado principalmente en áreas forestales y en áreas de conservación y algunos sistemas agrícolas, sin embargo hay necesidad de profundizar en el tema en los sistemas pecuarios, especialmente en la ganadería bovina. El objetivo de este estudio fue evaluar los reservorios de carbono (C) en un paisaje ganadero, en acahuales y potreros en el área de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Montes Azules (REBIMA) Chiapas, México. Se realizaron muestreos en 16 parcelas en tres ejidos del municipio de Maravilla Tenejapa, Chiapas, México, usando métodos destructivos para la estimación de C en árboles adultos, juveniles y para raíces usando fórmulas alométricas. Asimismo, se determinó el carbono total en la biomasa herbácea, suelo y mantillo. El total de C por sistema fue en promedio: $173.8 \pm 52.9 \text{ Mg ha}^{-1}$ en los acahuales; y 156.8 ± 36.2 y $162.5 \pm 69.9 \text{ Mg ha}^{-1}$ en los potreros con árboles y potreros respectivamente. La biomasa aportada por los árboles fue mayor en los acahuales que en los potreros, aún cuando éstos tienen algunos árboles dispersos. La materia orgánica del suelo fue mayor en la capa más superficial y está disminuye con la profundidad. El suelo fue el componente con mayor contenido de carbono total en los sistemas. La cantidad de C almacenado en los árboles fue en promedio $35.7 \pm 58.7 \text{ Mg ha}^{-1}$, seguido por la biomasa herbácea con $15.4 \pm 1.0 \text{ Mg ha}^{-1}$ donde si hubo diferencia significativas entre acahual y potreros, y por último la biomasa de raíces con 2.5 ± 1.6 y $2.2 \pm 2.2 \text{ Mg ha}^{-1}$, en los sistemas. El C de la materia orgánica muerta fue mayor en el mantillo fresco con $2.5 \pm 1.6 \text{ Mg ha}^{-1}$; seguido por el mantillo intermedio (en proceso de descomposición) y el humus. El mantillo intermedio mostró diferencias significativas entre acahual y potreros. El almacén con el menor contenido de C fue el componente de los árboles juveniles con $0.16 \pm 0.23 \text{ Mg ha}^{-1}$, para acahual y $0.04 \pm 0.07 \text{ Mg ha}^{-1}$, para potreros en comparación con el C en los árboles. Este trabajo nos lleva a concluir que el manejo de acahuales y potreros es muy importante para la acumulación de carbono. Existe potencial para incrementar el sumidero de carbono en paisajes ganaderos al incorporar un número mayor de árboles, especialmente en áreas de pastoreo, de acuerdo a los resultados de cronosecuencia encontrados en este trabajo.

Palabras clave: cambio climático, gases de efecto invernadero, bovinos, acahual, potreros.

I. INTRODUCCIÓN

El carbono (C) es un elemento fundamental de los compuestos orgánicos, en los que se combina con nitrógeno, fósforo, azufre, oxígeno e hidrógeno para constituir las moléculas más importantes para la vida. El C en su unión molecular con el oxígeno constituye el bióxido de carbono (CO_2) gas resultante de procesos tanto geoquímicos como biológicos y cuya presencia en la atmosfera es fundamental en la regulación de la temperatura del planeta (Martínez y Fernández, 2004).

En la actualidad los bosques están acabándose, principalmente a causa de la intervención humana y las actividades productivas, promueven la deforestación, mediante la tala de los bosques, para el establecimiento inicial de agricultura de monocultivo y la siembra posterior de pastos para la ganadería extensiva (Sánchez et al. 2005).

Recientemente, se ha puesto mucho interés en la cuantificación de carbono en diferentes tipos de uso del suelo para efectos de mitigación de este GEI. Se han desarrollado metodologías para la medición y estimación de los distintos componentes tanto del suelo, como de la vegetación y la materia orgánica. El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) ha propuesto una metodología para la cuantificación de los reservorios de carbono, (IPCC, 2003) que son las más ampliamente usadas para el desarrollo de proyectos forestales de mitigación de carbono. Los componentes que se estiman son:

- Biomasa viva: árboles adultos, juveniles, hierbas, raíces.
- Biomasa muerta: mantillo en tres estados de descomposición.
- Materia orgánica del suelo.

El desarrollo de un nuevo mercado internacional de servicios ambientales (SA) se ha derivado de la necesidad de reducir a escala mundial las emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero. El INE (2002) reportó para el periodo comprendido entre los años 1990-2002, que las emisiones promedio de metano (CH_4) ocupaban el

84%, sin tomar en cuenta el bióxido de carbono (CO₂). A nivel mundial, las emisiones de metano ocupan el segundo lugar de importancia después del bióxido de carbono.

A escala mundial, están sucediendo cambios estructurales, especialmente en sectores como la ganadería. Se prevé que para el año 2020, la ganadería abarcará más de la mitad del valor de la producción agrícola mundial. Este incremento de la ganadería ha sido nombrado como la “revolución ganadera” y puede tener como consecuencia la presión sobre los recursos naturales locales (agua, suelo, vegetación y biodiversidad) (Steinfeld, 2002).

El paisaje ganadero es un paisaje, en donde hay pequeños parches de bosques, acahuales, áreas agrícolas y potreros con árboles y sin árboles, y que puede interactuar con otros sistemas o prácticas agrícolas y forestales.

En la Selva Lacandona, específicamente en el área de amortiguamiento de la Reserva Montes Azules, este paisaje puede estar compuesto de parches de vegetación secundaria en diferentes grados de madurez y potreros de edades diferentes.

Justificación

Una estrategia para conservar los bosques, selvas y su biodiversidad ha sido la de implementar reservas de la biosfera. En el sureste de México, existe una amplia red de Áreas Naturales Protegidas (ANPS) (INE, 2002). El número de estas ha aumentado en los últimos 10 años debido al creciente interés de organismos internacionales y nacionales para detener la deforestación y la pérdida de biodiversidad y contribuir al bienestar de la sociedad rural. Sin embargo esta estrategia por sí sola no asegura la conservación de selvas y bosques, ni permite una mejor calidad de vida a sus poseedores. En la mayoría de las áreas protegidas existe una fuerte presión como consecuencia de usos inadecuados de la tierra, asociado a un crecimiento demográfico. La falta de opciones laborales contribuye al incremento de la actividad agropecuaria en las áreas colindantes y dentro de las ANPS. La ganadería, como una actividad

socialmente aceptada, compite con otros usos del suelo y ha ocasionado una fuerte presión sobre las áreas forestales y de conservación (Martínez y Fernández, 2004).

En América Latina, la mayor parte de los estudios sobre GEI (Gases de efecto invernadero), provienen de investigaciones en áreas forestales y en sistemas agroforestales. Estudios sobre la ganadería bovina y su dinámica en la emisión de GEI, son escasos. En México, este vacío de información, impide construir líneas base para sustentar programas de pago por servicios ambientales (PSA) en paisajes ganaderos (Márquez, 1997).

En el contexto del cambio climático y las emisiones de GEI, los paisajes ganaderos manejados con alta cobertura vegetal, especialmente pastos de porte alto y árboles pueden constituir parte de la estrategia para el manejo más sustentable de la ganadería bovina, bajo una óptica de restauración, conservación de los recursos y de la biodiversidad, con los diferentes arreglos o combinaciones de los potreros y los árboles.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el carbono en los diferentes reservorios (árboles adultos, juveniles, hierbas, raíces, mantillo y materia orgánica del suelo) en el paisaje ganadero en tres ejidos de la Reserva de la Biosfera de Montes Azules (REBIMA) en la Selva Lacandona, Chiapas.

II. OBJETIVO GENERAL

1. Estimación del carbono almacenado en un paisaje ganadero de la REBIMA en el municipio de Maravilla Tenejapa, Chiapas.

2.1 Objetivos específicos

1. Caracterizar los diferentes usos del suelo en una área de la REBIMA, en donde predomina el paisaje ganadero.

2. Estimar el contenido de carbono en el suelo, mantillo, vegetación aérea y por debajo del suelo en áreas dedicadas a la ganadería en comparación con los acahuales con distintas edades.

Pregunta de investigación

- ¿Cuáles son los contenidos de carbono en los diferentes reservorios (árboles adultos, juveniles, hierbas, raíces, mantillo y materia orgánica del suelo) del paisaje ganadero?
- ¿Los acahuales de este paisaje ganadero contienen mayor carbono que los potreros?
- ¿Cuáles son las tendencias de los componentes de carbono en el tiempo? ¿se gana o se pierde carbono según el sistema de manejo?

Hipótesis

- La cantidad de C almacenado es mayor en un acahual que en un potrero, ya que los árboles dispersos pueden contribuir con cantidades significativas de carbono en los componentes de la biomasa aérea y raíces.
- El carbono del suelo de la capa de 0 a 30 cm de profundidad es mayor que las capas más profundas. Además, es el componente que mayor carbono acumula, independientemente del tipo de uso del suelo.

III. ANTECEDENTES

3.1 Calentamiento Global y Emisiones de GEI.

El calentamiento global generado por el incremento y acumulación de GEI (Gases de efecto invernadero) en la atmósfera, ha causado un amplio interés en los gobiernos mundiales. La emisión de GEI está provocando serios cambios en los sistemas biológicos, físicos y socioeconómicos a escala global (Martínez y Fernández, 2004).

El mecanismo denominado Protocolo de Kyoto. En este protocolo se les solicita que los países industrializados, excepto los Estado Unidos que no participa, reduzcan sus emisiones de GEI en aproximadamente un 5 % por debajo de los niveles para el periodo 2008-2012, tomando como referencia a los niveles de 1990. El Protocolo de Kyoto, permite que los participantes reduzcan las emisiones en sus países de origen y/o beneficiarse de los llamados mecanismos flexibles (Comercio de emisiones, la aplicación conjunta y el desarrollo limpio) así como contabilizar el carbono capturado por los llamados sumideros como los bosques o las tierras de cultivos (UNFCCC, 2003).

A nivel mundial, el volumen de las emisiones de CO₂ se ha incrementado 3.5 veces en los últimos 50 años por el uso de combustibles fósiles, la producción de cemento y el cambio de uso del suelo (Alegre y Cassel, 1996; Brown, 1996; IPCC, 2001). Se estima que a mediados del siglo XXI, las emisiones de CO₂ alcanzarán 6.2 billones de Mg año¹, lo que provocarán incrementos de la temperatura entre 1.5 y 4.5°C (IPCC, 2001).

En una proyección desde el año 1995 al 2050, se estimó que la silvicultura y la agroforestería a nivel mundial pueden capturar 3.8 x¹⁰ Mg C. Esta acumulación de Carbono equivaldría entre 11 y 15% del total de las emisiones fósiles en el mismo período (Brown, 1996).

En México una de las principales fuentes de emisión de CO₂ son los cambios de uso del suelo y la deforestación de bosques tropicales. De acuerdo con Masera et al. (1997) y Cairns et al. (2000), la región tropical de México presentó una tasa de deforestación anual de 500,000 a 559,000 ha año⁻¹ de 1977 a 1992.

Una forma de mitigar los efectos que genera el CO₂, además de reducir las emisiones es capturarlo y mantenerlo el mayor tiempo posible en la biomasa y el suelo (De Jong et al. 2004). Según el IPCC (2001), los bosques son los principales sumideros terrestres de CO₂, sin embargo los sistemas agroforestales (SAF) pueden desempeñar un importante papel al capturar y almacenar C, y a la vez convertirse en una alternativa tecnológica que puede reducir las tasas de deforestación en zonas tropicales y ofertar múltiples productos y servicios a las comunidades que los implementen.

3.2 Que son los paisajes ganaderos o paisaje rural.

En la literatura no existe una definición exacta del concepto paisaje ganadero, sin embargo entenderemos este concepto como un paisaje, en donde hay pequeños parches de bosques, acahuales, áreas agrícolas y potreros con árboles y sin árboles, y que puede interactuar con otros sistemas o prácticas agrícolas y forestales.

El concepto de paisaje rural se define como un área de suelo cultivable aun sin edificaciones en la cual la calidad de los ecosistemas está muy influenciada por el ser humano. Este paisaje incluye terrenos agrícolas activos o en barbecho, huertos y pasturas, plantaciones o bosques manejados y remanentes de vegetación nativa en las áreas que son dedicadas en su mayoría a actividades humanas (Harvey y Sáenz, 2007).

Hoy se está de acuerdo en que los esfuerzos de conservación deben extenderse más allá de las fronteras de las áreas protegidas y dentro de los paisajes agrícolas que rodean las áreas de amortiguamiento (Harvey y Sáenz, 2007).

Otros estudios indican que, aunque los agropaisajes son menos diversos que los paisajes forestados, estos paisajes rurales proveen hábitats y recursos que facilitan la persistencia de un subconjunto de especies de plantas y animales dentro de la matriz agrícola. Estudios realizados por Harvey y Sáenz (2007), indican que los árboles dispersos y las cercas vivas son usados por una variedad de grupos de animales y que estos elementos del paisaje pueden conservar elementos valiosos de la flora local.

3.3 Sistemas Agroforestales y Captura de Carbono.

En general la captura o secuestro de carbono es la extracción del carbono de la atmósfera y su almacenamiento en sumideros de carbono a través de procesos físicos o biológicos. Uno de ellos es la fotosíntesis, a través de la cual se elimina el carbono en la atmósfera por medio del crecimiento de bosques (Green Facts, 2010).

El concepto de captura de carbono normalmente integra la idea de retener los inventarios de este elemento que se encuentran en suelos, bosques y otro tipo de vegetación y donde es inminentemente su desaparición; así como el aumento de los sumideros de carbono, a través del establecimiento de plantaciones, sistemas agroforestales y la rehabilitación de bosques degradados (Tipper, 2002).

La conservación y el manejo de los bosques juegan un rol importante en el proceso de mitigación. Para tales efectos existen tres categorías de manejo forestal que pueden ayudar a reducir el C presente en la atmósfera:

- 1) captura de C a través de forestación, reforestación, agroforestería y restauración de suelos degradados mediante técnicas de manejo silvicultural que incrementen las tasas de crecimiento;
- 2) conservación de C contenido en la biomasa, a través de la ordenación, protección de reservas naturales, control de la deforestación e incendios y regulación de los regímenes de explotación de bosques naturales y;
- 3) sustitución de carbono, mediante el incremento de la conversión de biomasa en productos de madera duraderos, incremento en el uso de biocombustibles y plantaciones bioenergéticas (Masera, 1995).

La captura de C en un ecosistema gira fundamentalmente sobre procesos biológicos y ecológicos de fotosíntesis, respiración y descomposición. La productividad primaria neta de un ecosistema (PPN) es el principio de acumulación de biomasa vegetal.

La cantidad de CO₂ que se captura y se convierte en carbohidratos durante la fotosíntesis, se conoce como producción primaria bruta (PPB). La mitad de la PPB se incorpora en los tejidos vegetales como incrementos de biomasa en el tallo, ramas,

hojas y raíces, la otra mitad regresa a la atmósfera como CO₂ debido a la respiración autótrofa de los tejidos vegetales (Jaramillo, 2004).

En el caso de México, experiencias de captura de carbono desarrolladas por el proyecto “Scolel té”, en las regiones Tzeltales y Tzotziles del estado de Chiapas, estiman que el potencial de captura de carbono de sistemas agroforestales en zonas subtropicales y tropicales puede oscilar entre 40 y 140 Mg ha⁻¹ respectivamente (De Jong et al. 1997). Mediciones en estos sistemas han mostrado que sistemas de maíz con árboles (tipo Taungya) pueden almacenar en la biomasa viva hasta 58.5 Mg ha⁻¹, acahuals mejorados 59.3 y sistemas de café entre 35.1 y 46.8 en menos de 10 años de crecimiento arbóreo y sin considerar el componente suelo (Soto Pinto et al. 2010). Una mayor complejidad de los sistemas deriva en mayor acumulación de carbono.

En el trópico húmedo mexicano, Rajagolpa (2004) estimó la cantidad de C almacenado en SAF de cítricos en diferentes arreglos espaciales y componentes (asocio café, plátano, pasturas). Los sistemas cítrico-café-plátano, cítrico-café, cítrico-pastura y cítrico-plátano almacenaron 196, 186, 181, 144 Mg ha⁻¹, respectivamente. El C contenido en la biomasa aérea osciló entre 41 y 75 Mg ha⁻¹. El C en la materia orgánica del suelo (MOS) fue mucho mayor en comparación al C presente en la biomasa aérea, oscilando entre 101 y 129 Mg ha⁻¹. La distribución del C en árboles mostró variaciones marcadas por el tipo de especies arbóreas, densidad de siembra, regímenes de manejo y edad de los sistemas.

Estudios sobre almacenamiento de carbono en diferentes usos del suelo en Chiapas, México, de 4 agroecosistemas estudiados recientemente, el que contiene mayor cantidad de carbono total es el sistema de policultivo tradicional de café con 215.63 Mg ha⁻¹, y seguido por el acahual natural con 177.6 Mg ha⁻¹ (Cuadro 1).

Cuadro 1. Contenido de carbono estimado (Mg ha⁻¹) en diferentes reservorios y sistemas en trabajos realizados en Chiapas, México.

a) Reservorios	Monocultivo	Cercos vivos	Árboles en potrero	
Biomasa viva	1.99	10.40	5.99	
Materia orgánica del suelo	60.62	66.68	76.89	
Total de C del sistema	64.62	87.50	88.89	
b) Reservorios	Taungya tropical	Acahual mejorado tropical	Acahual mejorado subtropical	
Biomasa viva	52.98	71.75	45.73	
Materia orgánica del suelo	86.84	92.51	53.28	
Biomasa muerta	10.02	7.42	7.95	
Total de C del sistema	149.84	171.68	106.96	
c) Reservorios	Milpa Tradicional con árboles	Taungya	Acahual Enriquecido	Acahual Natural
Biomasa viva	9.2	16.9	42.0	59.3
Materia orgánica del suelo	108.9	89.5	105.2	109.8
Biomasa muerta	9.7	2.9	2.9	8.5
Total de C del sistema	127.9	109.3	150.1	177.6
d) Reservorios	Café natural	Café Monocultivo bajo sombra	Policultivo tradicional de Café	
Biomasa viva	35.14	46.84	57.47	
Materia orgánica del suelo	87.97	117.35	152.12	
Biomasa muerta	6.72	6.28	6.04	
Total de C del sistema	129.83	170.47	215.63	

Fuente: **a)** Aguilar, 2007; **b)** Delgadillo y Quechulpa, 2007; **c)** Roncal, 2006; **d)** Aguirre, 2006.

3.4 Almacenamiento de Carbono en sistemas ganaderos.

Aguilar (2007), en un estudio en la Selva Lacandona, Chiapas encontró que la mayor acumulación de carbono en biomasa viva está en sistemas de potreros con cercos vivos con 10.40 Mg ha^{-1} , y para árboles en potrero con 5.99 Mg ha^{-1} , y en menor proporción en el sistema de pastura en monocultivo con 1.99 Mg ha^{-1} . La materia orgánica del suelo medida hasta los 30 cm en potreros con árboles contiene 76.89 Mg ha^{-1} de carbono, seguido del sistema de cerco vivo con 66.68 Mg ha^{-1} , y el pastizal en monocultivo con un 60.62 Mg ha^{-1} (Cuadro 1).

Ruiz (2002) en Nicaragua, menciona que en el componente leñoso (árboles), pastizales de pastos nativos almacenaron 8.18 Mg ha^{-1} , y con pastos mejorados 12.54 Mg ha^{-1} , y en matorrales (tacotales) alcanzó un almacenamiento de 17.55 Mg ha^{-1} . El carbono almacenado en el mantillo en los matorrales (tacotales) fue mayor con un 33.10 Mg ha^{-1} , seguido por el pasto mejorado con árboles con el 15.0 Mg ha^{-1} , y en último lugar con 1.37 Mg ha^{-1} , al pasto nativo en monocultivo.

Mora (2001) en Costa Rica, encontró que la cantidad de carbono estimado en el suelo para el sistema con árboles y pasto fue de 598.3 Mg ha^{-1} , y en el sistema de pasto sin árboles fue de 625.5 Mg ha^{-1} . Para el caso del carbono acumulado en el sistema con árboles y pasto estrella a una profundidad de 60-100 cm fue de 263.0 Mg ha^{-1} , y para el pasto kikuyo con árboles fue de 201.2 Mg ha^{-1} . El carbono almacenado en la hojarasca en árboles y pasto estrella y pasto kikuyo fue similar.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1 Localización del área de estudio.

El trabajo se realizó en tres ejidos del municipio de Maravilla Tenejapa, Chiapas de la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Montes Azules (REBIMA), ubicada en la región de la Selva Lacandona, Chiapas (Figura 1).

El territorio tiene una altitud que fluctúa entre los 500 y 1,500 metros. La fisiografía influye en el uso del suelo ya que por lo general, las áreas más planas tienen uso agropecuario, mientras que los terrenos de pendientes media a fuerte son usados para cafetales y las áreas de mayor pendiente permanecen con uso forestal. Algunas comunidades de la micro región se localizan al interior de la Reserva. La vegetación predominante en la región es la selva alta perennifolia y la selva mediana subperenifolias (PRODESIS, 2005).

El ejido Amatitlán, la Democracia, y Plan de Río Azul tienen poblaciones de 450, 382 y 340 respectivamente. En general su tipo de tenencia de la tierra es ejidal (en Amatitlán 54 ejidatarios y 30 avecindados, la Democracia 50 ejidatarios, Plan de Río Azul 32 ejidatarios y 40 avecindados). Los pobladores hablan tojolabal, tzeltal, chol y Mame además del español. Los productores de estos ejidos se dedican a la agricultura de temporal para el caso del maíz y frijol; así como de otros cultivos como el café, el cacao, el plátano y la piña.

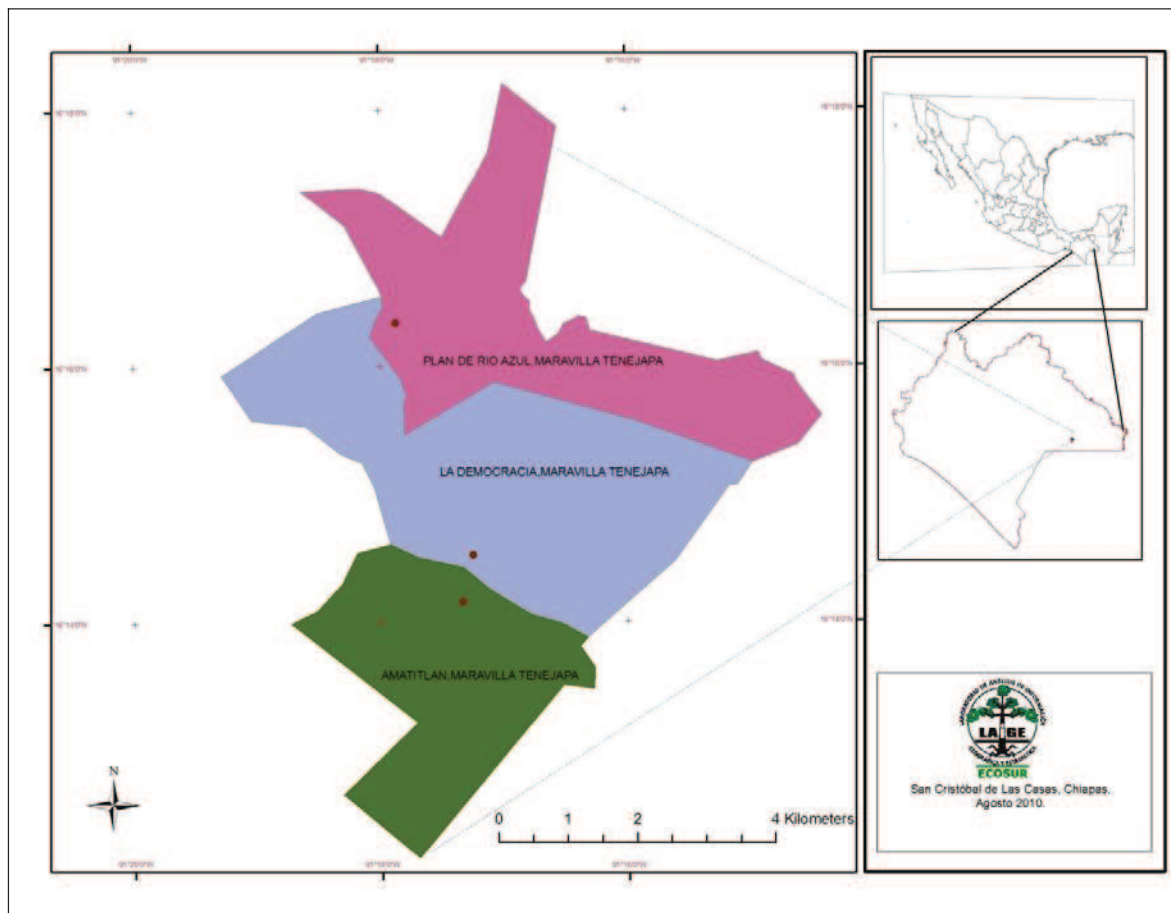


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

Fuente: ECOSUR-LAIGE, 2010.

4.2 Sistemas estudiados.

En las comunidades estudiadas existe una importante actividad ganadera (bovinos), Los sistemas a estudiar son potreros en Monocultivo, Potreros con árboles dispersos y acahuales.

4.3 Lugar y selección de parcelas.

La investigación se llevó a cabo en 16 parcelas de productores, de las cuales fueron 7 acahuales y 9 potreros, en tres ejidos que pertenecen al Municipio de Maravilla

Tenejapa, Chiapas los cuales fueron Amatitlán, la Democracia y Plan de Río Azul que están dentro de la REBIMA.

En el mes de enero 2009 se realizó un recorrido de campo para conocer el área de estudio. En febrero se hizo un transecto, parando cada 500 metros en carretera desde Amatitlán hasta Plan de Río azul, con el fin de visualizar todas las variantes y características del paisaje ganadero y así llenar un cuestionario en campo (Figura 2).

Se trabajó con una imagen de satélite del área (tres ejidos), proporcionado por la CONANP (2009), para lo cual se hizo una digitalización de todos los usos del suelo como acahuales, cultivos agrícolas, pasturas y áreas de bosques. La digitalización se realizó en el programa Arc View y se clasificó en base al color para cada uso del suelo. La fase de campo se realizó durante junio a julio del 2009.

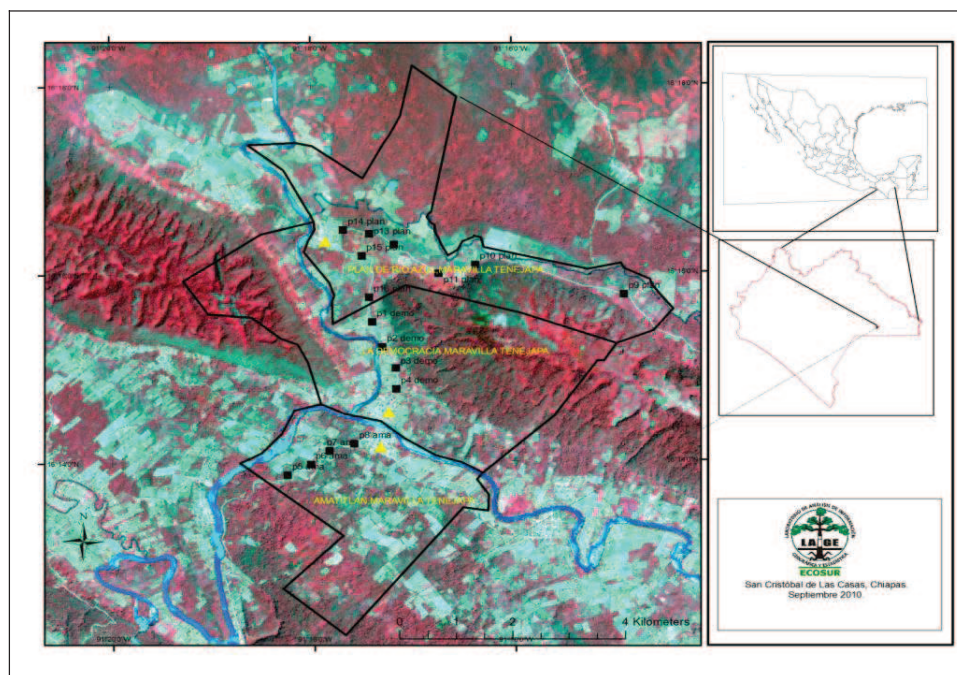


Figura 2. Mapa de puntos de muestreo en la zona de estudio).

Fuente: ECOSUR-LAIGE, 2010.

En julio del 2009 se empezó el muestreo de suelo, hierbas, mantillo y la medición de los árboles adultos y juveniles en las parcelas (potreros y acahuales). En cada parcela se

midió las siguientes características: altitud, pendiente, forma del terreno, especies de árboles y de pastos.

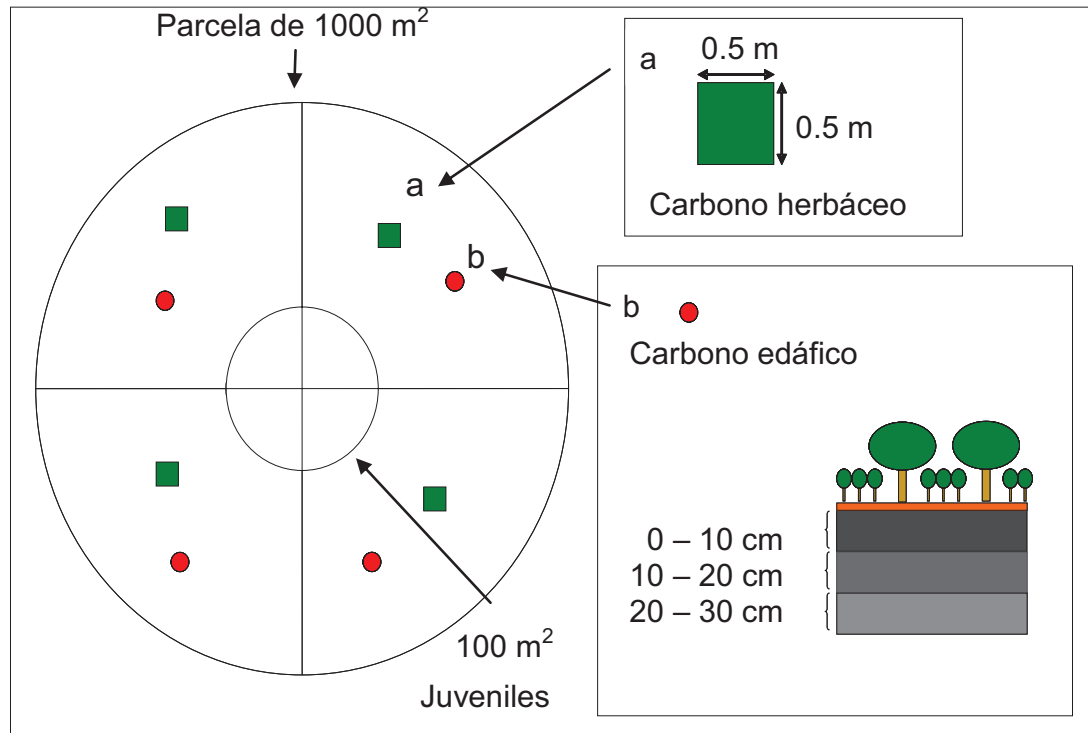


Figura 3. Diagrama de la parcela circular (1000 m²) para la cuantificación de carbono en los diferentes reservorios (árboles adultos, juveniles, hierbas, mantillo, raíces y suelo) (IPCC 2001).

4.4 Estimación de carbono en los diferentes reservorios.

La estimación de los reservorios de carbono se realizó en parcelas circulares de 1000 m² (Figura 2; (IPCC 2001)). En cada parcela se estimó la cantidad de carbono presente en los reservorios definidos por el IPCC (2001) para el desarrollo de proyectos forestales de mitigación de carbono:

- a) Biomasa viva: árboles adultos, juveniles, hierbas, raíces.
- b) Materia orgánica muerta: mantillo en tres estados de descomposición.
- c) Materia orgánica del suelo.

En el centro de cada área seleccionada se estableció una parcela circular de 1000 m². Desde el centro de la parcela se trazaron 4 líneas en sentido horizontal de 5.65 m y 17.85 m cada una, de la cual formaron las parcela de 100 m² y 1000 m² (Figura 1). Se midieron los diámetros de los árboles y juveniles a la altura del pecho (DAP). La parcela de 100 m² nos sirvió para la medición de juveniles (≥ 3 cm y ≤ 9.9 cm de DAP) y en la parcela de 1000 m² se midió a los árboles (> 10 cm de DAP). En el centro de cada parcela se tomó la posición geográfica, con el sistema de posicionamiento satelital (GPS) para después utilizarlo para la elaboración de mapas y conocer la ubicación de las parcelas.

4.5 Carbono en Árboles.

Dentro de la parcela de 1000 m² se midieron los árboles con un diámetro > 10 cm a una altura de 1.3 m desde la base del suelo; simultáneamente se midió la altura total de cada árbol con el uso de una pistola Gaga. También se midieron los juveniles (≥ 3 cm y ≤ 9.9 cm de DAP) y al igual la altura total del árbol. Para el cálculo de carbono total en la biomasa arbórea y juveniles se asumió por convención, el valor de 0.5 (IPCC, 2001). La biomasa arbórea y juveniles se calcularon empleando la ecuación alométrica desarrollada por Chave et al. (2005) la cual es:

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

Donde:

Y: Biomasa en kg (árbol)⁻¹

ρ : Densidad de la madera.

D: Diámetro normal en cm a 1.3 metros

h: Altura total en m.

ln: Logaritmo natural

exp: e elevada a la potencia dada

4.6 Carbono en hierbas.

Para la estimación de biomasa herbácea (pastos) se lanzó aleatoriamente un cuadro de 0.5 x 0.5 m (formando parcelas 0.25 m²), cuatro veces en la parcela de 1000 m². El

material herbáceo se cortó a ras del suelo para pesarlo en fresco y almacenarlo en bolsas de papel. Después se secaron en la estufa a 65 °C hasta peso constante. Al término de este proceso se retiró el material herbáceo; se formó una muestra compuesta de las submuestra de la parcela. Las muestras después de retirarlas de la estufa se molieron en un molino de Willey, para su posterior análisis y determinación de carbono total, mediante un autoanalizador Shimadzu TOC 5000-A en los laboratorios del Colegio de Posgraduados.

4.7 Carbono en raíces.

Se estimó la biomasa de raíces totales (gruesas) presente en cada parcela, mediante la ecuación alométrica desarrollada por Cairns et al. (1997) la cual es la siguiente:

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

Donde:

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

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

ln: Logaritmo natural

exp: e elevada a la potencia dada

4.8 Carbono orgánico en suelo.

Para la toma de muestras de suelo se utilizó un tubo de metal de 2 pulgadas de diámetro. Las muestras de suelo se tomaron de cada uno de los cuadrantes de la parcela de 1000 m²; de las siguientes profundidades: 0 – 10, 10 – 20 y 20 – 30 cm. (Figura 1). Cada muestra de suelo fue secada durante 7 días a temperatura ambiente en un invernadero. Posteriormente las muestras fueron desagregadas con un mortero, pero antes se le quitaron las piedras y raíces. Después se tamizó en malla número 40 para el análisis de carbono total mediante un autoanalizador Shimadzu TOC 5000-A en los laboratorios del Colegio de Posgraduados; con malla número 10 para el análisis de pH utilizando el método de agua 2:1, y la textura se determinó por el método de Bouyocous realizado en los laboratorios del Colegio de la Frontera Sur.

Con el fin de estimar la cantidad de carbono almacenado en el suelo, se midió la densidad aparente del suelo (DA) mediante el método de la probeta, utilizando un volumen conocido de 10 ml. Para obtener la cantidad de carbono orgánico, se aplicó la fórmula descrita por Ruiz (2002):

$$CA = CS \times DA \times P \times 100$$

Donde:

CA: Carbono almacenado (ton ha^{-1})

CS: Contenido de carbono en el suelo (%)

DA: Densidad aparente (ton m^{-3})

P: Profundidad del suelo (m)

4.9 Biomasa muerta (mantillo).

En este reservorio se consideró el mantillo en tres estados de descomposición: fresco, intermedio y humus. Para la cuantificación de carbono en este compartimiento se colectó el mantillo depositado en la superficie del suelo. Se colectó el material en la parcela de 1000 m^2 , evitando el pisoteo para obtener material en buenas condiciones. El mantillo se colectó en cada uno de los cuatro cuadrantes ubicados al azar dentro de nuestra parcela. Para su recolección se utilizó un aro de metal de 10 cm de radio. Delimitada el área se limpió alrededor cuidando no extraer material del exterior del aro. El material se colectó en bolsas de plástico etiquetadas. En cada punto el material colectado se dividió en tres partes en función de su grado de descomposición: mantillo fresco (material del que podía distinguirse la forma), mantillo intermedio (material que si bien conservaba cierta integridad de su forma original) y el humus (material en que no es posible distinguir el material que le dio origen). De los cuatro puntos muestreados se obtuvo una muestra compuesta por sitio para cada nivel de descomposición del material. Las muestras colectadas por sitio por cada nivel de descomposición (fresco, intermedio y humus) se pesaron en fresco y se secaron en un invernadero hasta peso constante. Las muestras ya secas se pesaron. Después se procedió al molido de estas en un molino de Willey, para análisis de carbono total (Autoanalizador).

4.10 Análisis estadístico.

Se realizaron estadísticas descriptivas como la desviación estándar, la media e intervalo de confianza al 95 % para densidades de carbono contenidas en los reservorios de árboles adultos, juveniles, hierbas, raíces, mantillo y materia orgánica del suelo en el paisaje ganadero (Steel y Torrie, 1917).

El análisis de los datos se realizó con el programa SPSS versión 15.0 con el cual se hizo una Anova con el fin de comparar los promedios de $C\ ha^{-1}$ en biomasa viva, materia orgánica del suelo y biomasa muerta entre los tres sistemas muestreados.

Se realizaron gráficas de caja (box plot) y también se hicieron gráficas de dispersión en el programa SPSS comparando la edad de los acahuales y potreros, con la cantidad de carbono estimado en cada compartimento (crono secuencias), para determinar la tendencias del carbono a diferentes tiempos.

V. RESULTADOS.

5.1 Caracterización del paisaje ganadero en los tres ejidos de la REBIMA.

El paisaje ganadero observado se caracterizó por ser un mosaico de parcelas agropecuarias (potreros y áreas agrícolas), áreas en descanso (Acahuales) y áreas de montaña (Figura 3, 4, 5).

En general, existe una fuerte presión de la actividad agrícola sobre el recurso de montaña. El tipo de agricultura desarrollada en esta área es de temporal con cultivos como el maíz (*Zea mays*), el café (*Coffea arabica*), el cacao (*Theobroma cacao*), el frijol (*Phaseolus vulgaris*), el plátano (*Musa paradisiaca*), y la piña (*Ananas sativus*) (Cuadro 2). Nuevos cultivos como la piña, el cultivo del plátano y la ganadería bovina están modificando el patrón de los usos del suelo en el paisaje de esta área de amortiguamiento.

La ganadería bovina en las tres comunidades se caracteriza por ser extensiva y manejadas en unidades familiares. Hay poca asistencia técnica y la infraestructura y apoyos económicos son mínimos, principalmente otorgados por la CONANP. Actualmente hay una tendencia a abrir áreas de pastoreo, especialmente en las zonas bajas que colindan con la vegetación riparia y a orillas de los caminos (Figura 2). Este fenómeno se entiende debido a la accesibilidad para manejar y comercializar el ganado. El número de cabezas de ganado en promedio por ganadero fue de 8 ± 12 vacas de cruce de Cebú X Suizo. Las características del sistema ganadero se resumen en el Cuadro 2.

Los sistemas estudiados se caracterizaron de forma general como sigue:

Potreros en monocultivo. Estas áreas son la que dominan el paisaje ganadero en la zona de estudio. En general tienen escasa presencia de arbolado en los potreros y predominan los cercos muertos para delimitar sus propiedades. El tipo de pasturas mas comunes son: pasto Brizanta (*Brachiaria brizantha*), Señal (*Brachiaria*

decumbens), Estrella Africana (*Cynodon plectostachyus*) y zacate común o grama nativa (*Cynodon dactylon*). Los potreros tuvieron una edad promedio de 5 años, con variación en la diversidad de especies arbóreas como *Cecropia peltata*, *Lonchocarpus rugosus*, *Scheelea liebmannii*.

Potreros con árboles. La presencia de árboles dispersos en áreas de pastoreo es común en la zona de estudio. Los árboles son remanentes del área forestal que el productor ha decidido mantener para una función determinada. Los árboles que mas destacan son *Spondias mombin*, *Inga sp*, *Blepharidium mexicanum*, *Inga laurina*, *Tabebuia rosea*, *Lonchocarpus rugosus*. El pasto brizanta (*Brachiaria brizanta*), zacate señal (*Brachiaria decumbens*), zacate estrella (*Cynodon plectostachyus*) y zacate común o grama (*Cynodon dactylon*).

Los Acahuales son áreas compactas de vegetación secundaria en el paisaje ganadero y en el sistema agrícola del área de estudio. Estas áreas han quedado en “descanso” luego del uso agrícola y están compuestos principalmente por diferentes especies. La edad de los acahuales en promedio fue de 7 años. Las especies que predominaron son *Heliocarpus donnell*, *Gliricidia sepium*, *Blepharidium mexicanum*, *Cecropia peltata*, *Inga sp*, *Spondias mombin*, *Bursera simaruba*.

Cuadro 2. Caracterización del área de estudio en los tres ejidos de la REBIMA.

Características	Amatitlán	La Democracia	Plan de Río Azul
Latitud	16°14'10''	16°14'13''	16°16'20''
Longitud	9°11'70''	9°11'70''	9°11'75''
Altitud (msnm)	200	200	200
Superficie total por Ejido (ha)	929.22	1552.49	1242.21
Superficie agrícola (%)	8.35	3.18	7.79
Superficie ganadera (%)	21.11	10.78	33.99
Superficie de acahual y selva (%)	63.51	84.07	57.08
# de habitantes	450	382	340
Cultivos agrícolas	Maíz, café, cacao, frijol, plátano	Maíz, piña, cacao, frijol, café, plátano	Maíz, café, cacao, frijol
Tipo de sistema de pastoreo	extensivo	extensivo	extensivo
Asistencia técnica	escasa	escasa	escasa
Tipo de bovino	cebú-suizo	cebú-suizo	cebú-suizo
Tipo de tenencia	ejidal	ejidal	ejidal
Infraestructura para el ganado	escasa	escasa	escasa
Promedio de vacas/ganadero	10±15	5±10	10±13

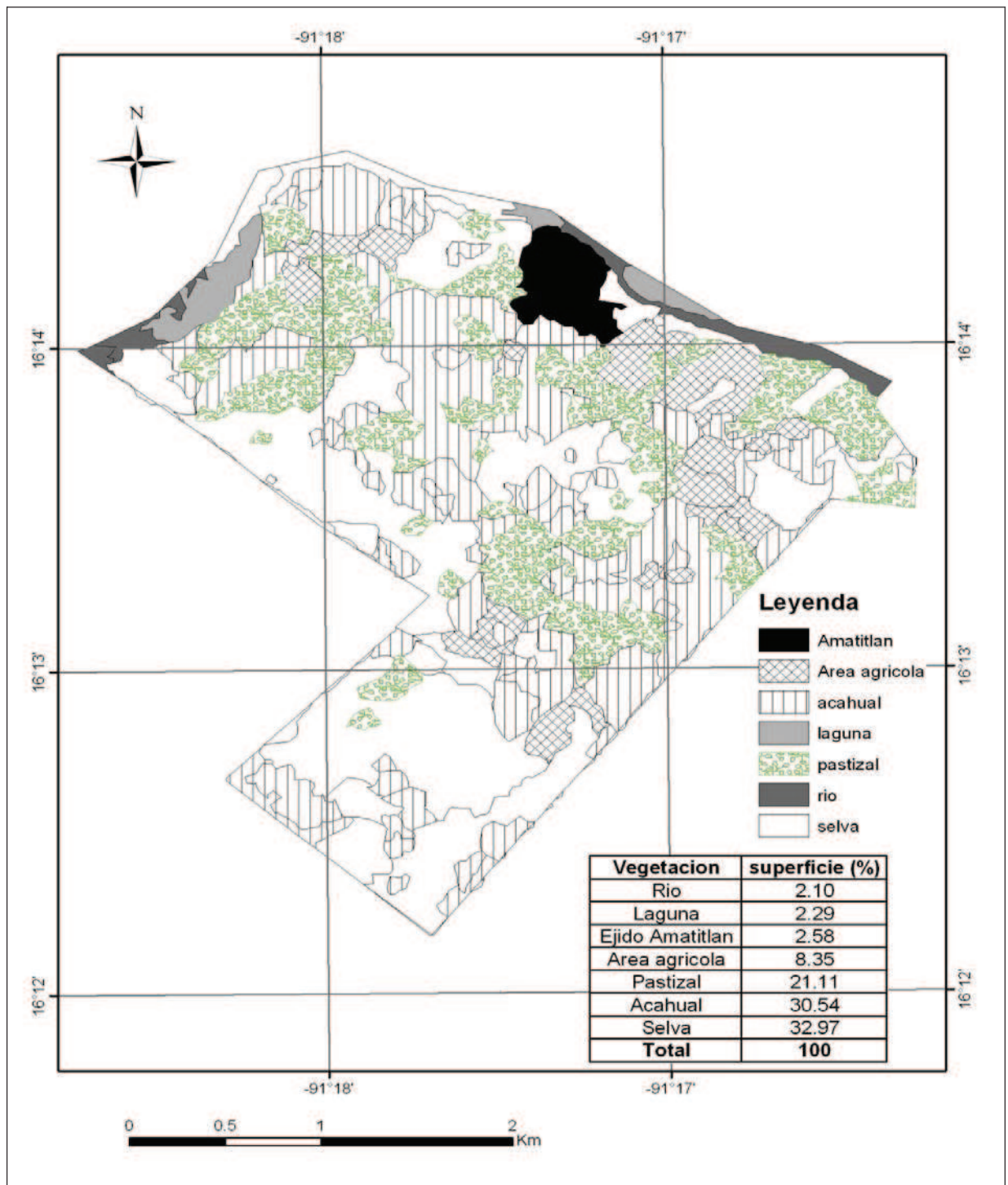


Figura 4. Mapa de caracterización del ejido Amatitlán y usos del suelo.

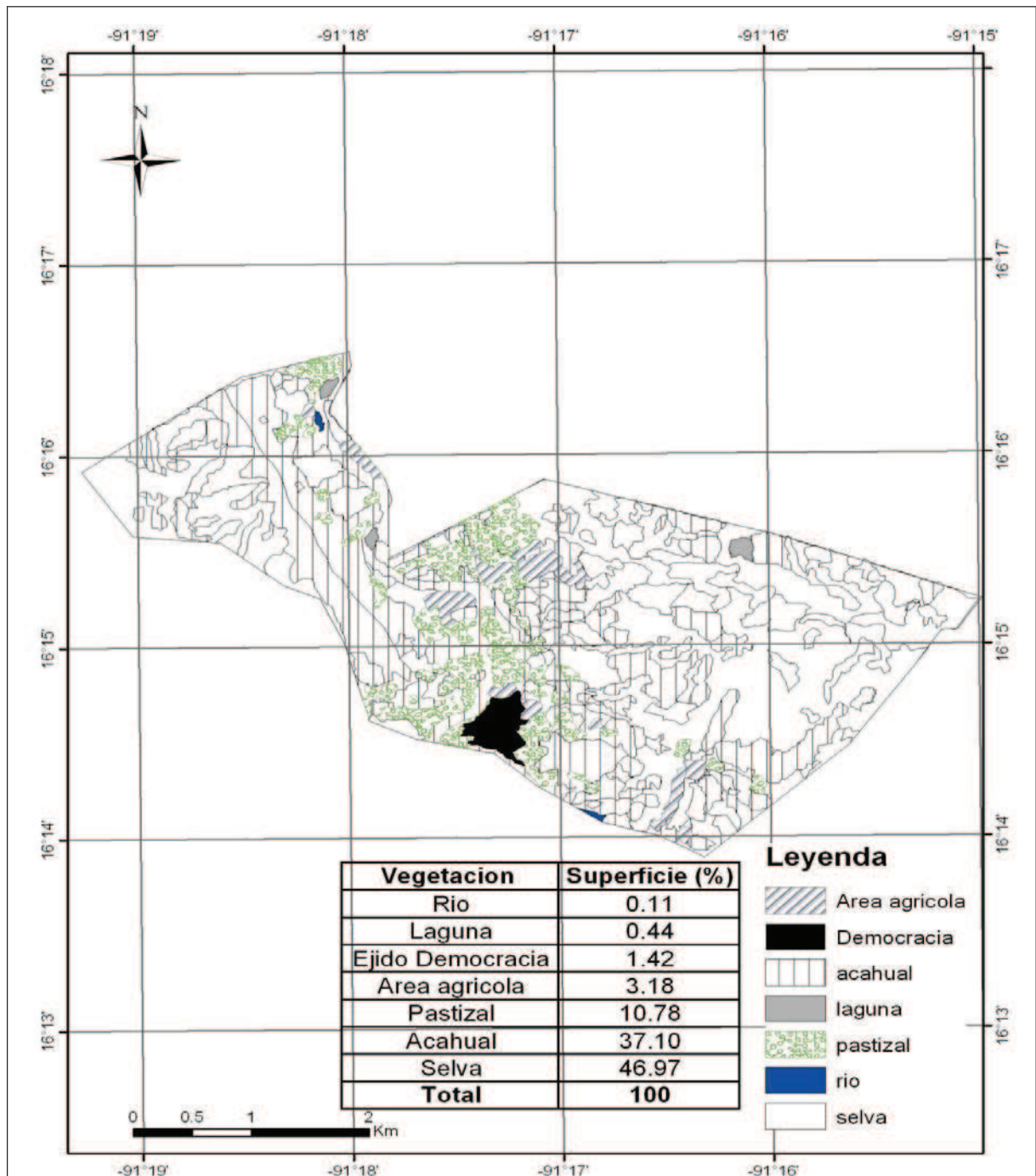


Figura 5. Mapa de caracterización del ejido La Democracia y usos del suelo.

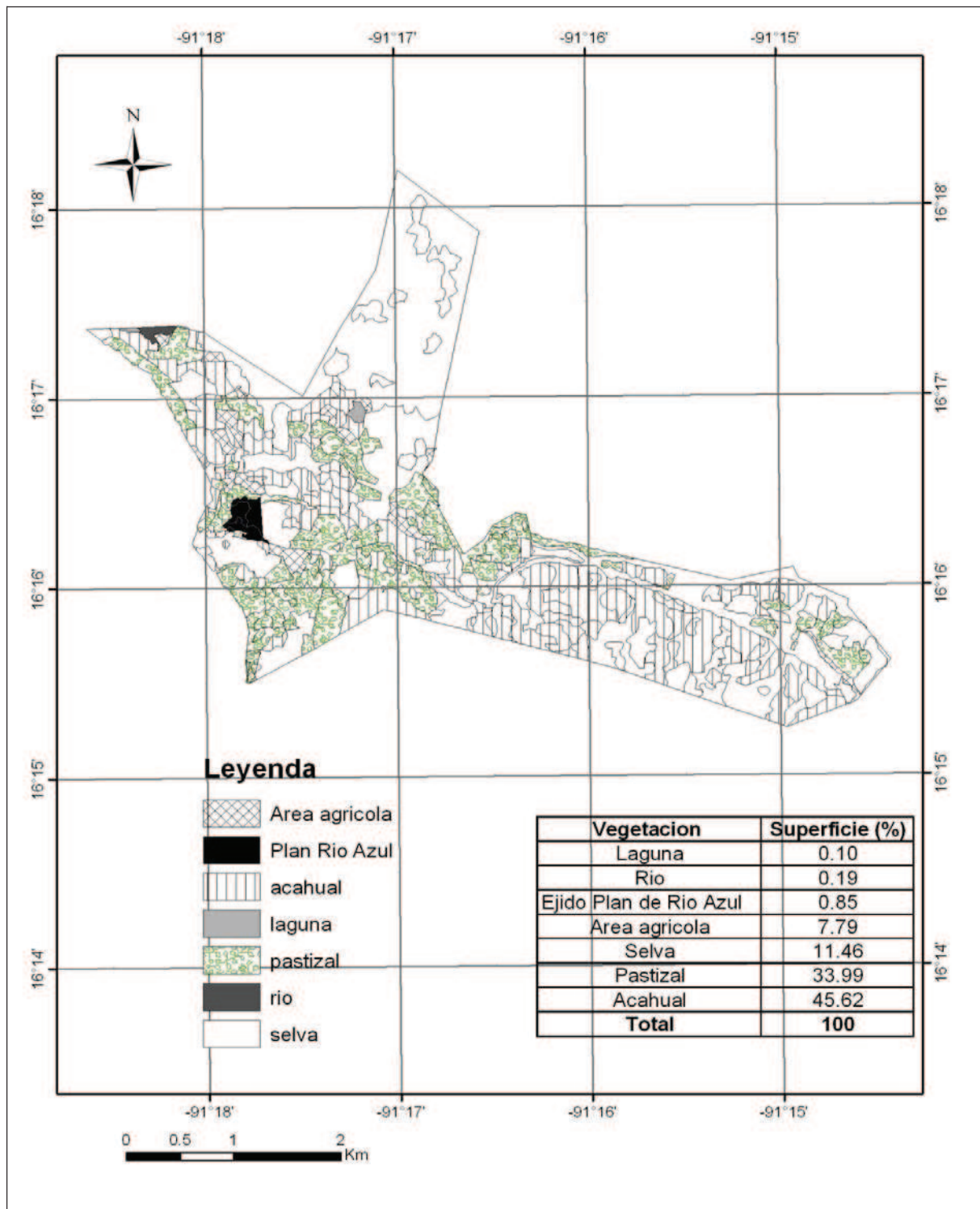


Figura 6. Mapa de caracterización del ejido Plan de Río Azul y usos del suelo.

Los suelos de las parcelas estudiadas en los tres ejidos mayormente son arcillosos. Tienen un pH ligeramente ácido con rangos de 6.02 a 6.64, aptos para fines agropecuarios (Cuadro 3). Sin embargo, la pendiente de las parcelas va de 12 a 20 %, indicando que están en laderas que son poco aptas para la agricultura (Cuadro 3).

Los suelos de los tres ejidos, mayormente fueron utilizados anteriormente para el cultivo de maíz, café, cacao, frijol, acahuales y bosque. Los terrenos tienen una superficie entre 2 y 3 ha, en promedio (Cuadro 4). El uso actual del suelo en los ejidos ha cambiado de acahual hacia potreros. La edad de las parcelas muestreadas fue de 2 a 12 años para los sistemas estudiados (Cuadro 4).

De las 9 unidades de pastoreo muestreadas, 5 son potreros con árboles y 4 son potreros sin árboles. Los pastos en estas parcelas incluyen el pasto estrella (*Cynodon nlemfluensis*), el pasto grama (natural) y el pasto señal (*Brachiaria decumbens*).

Cuadro 3. Características del suelo en las parcelas estudiadas.

Características	Amatitlán	La Democracia	Plan de Río Azul
Textura del suelo	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
Ph del suelo	6.22 ± 0.11	6.01 ± 0.49	6.64 ± 0.57
Pendiente (%)	20.00 ± 11.55	17.25 ± 17.21	12.38 ± 6.72
Densidad aparente	1.19 ± 0.08	1.19 ± 0.06	1.19 ± 0.07
Superficie/productor (ha)	2.88 ± 1.75	1.69 ± 1.25	3.44 ± 1.84

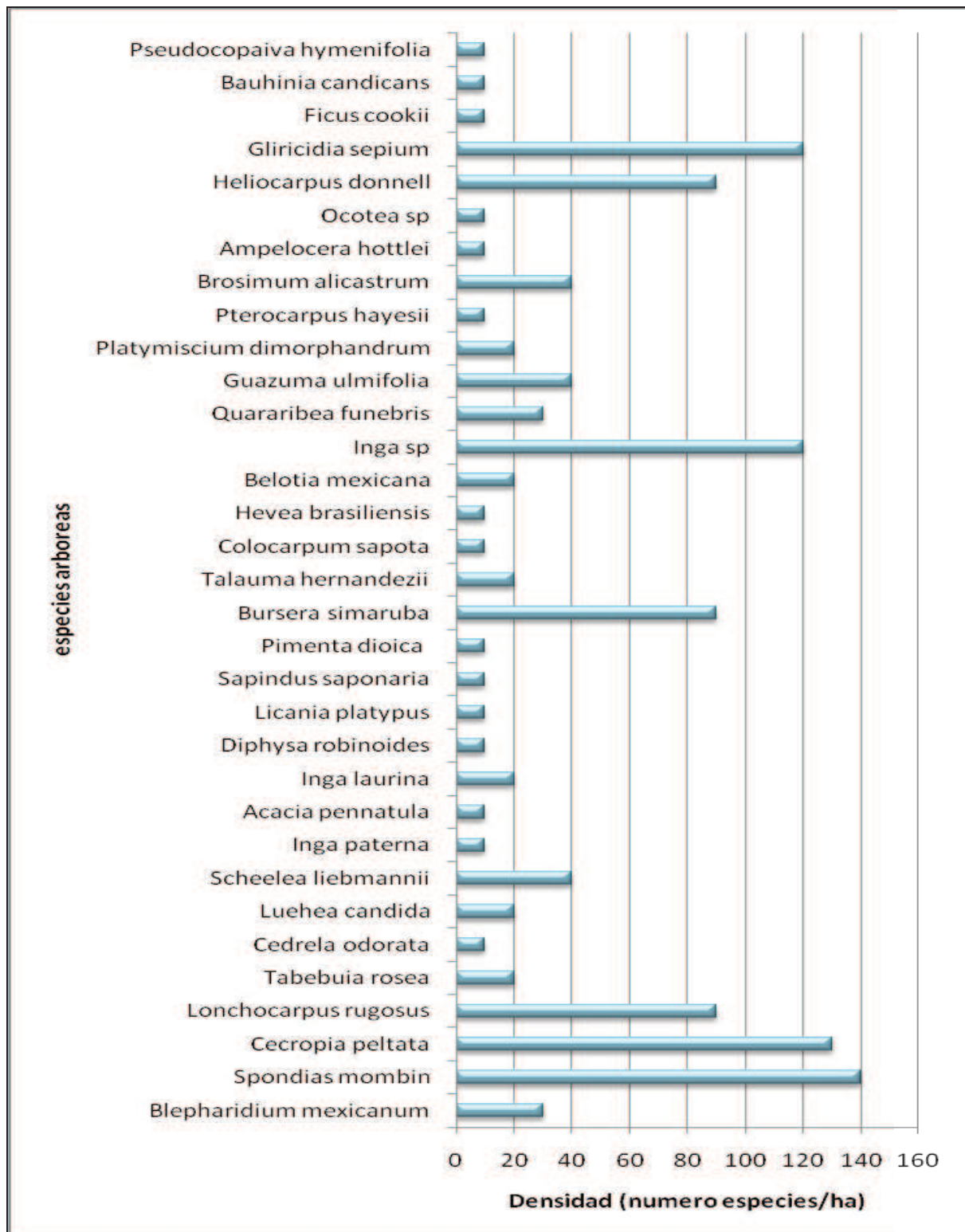
Cuadro 4. Características del uso suelo en las parcelas estudiadas.

Ejidros	Parcelas	Uso anterior del suelo	Uso actual del suelo	Años de uso del suelo actual
La Democracia	1	Maíz	Acahual	8
	2	Acahual	Potrero	6
	3	Acahual, Maíz	Potrero	6
	4	Maíz	Potrero	3
Amatitlán	5	Bosque	Acahual	12
	6	Café	Acahual	10
	7	Acahual	Potrero	10
	8	Café, Cacao	Potrero	10
Plan de Río Azul	9	Maíz	Acahual	3
	10	Maíz	Acahual	9
	11	Maíz, Frijol	Acahual	2.5
	12	Acahual, Café	Acahual	10
	13	Acahual	Potrero	2
	14	Acahual	Potrero	6
	15	Maíz	Potrero	8
	16	Maíz	Potrero	11

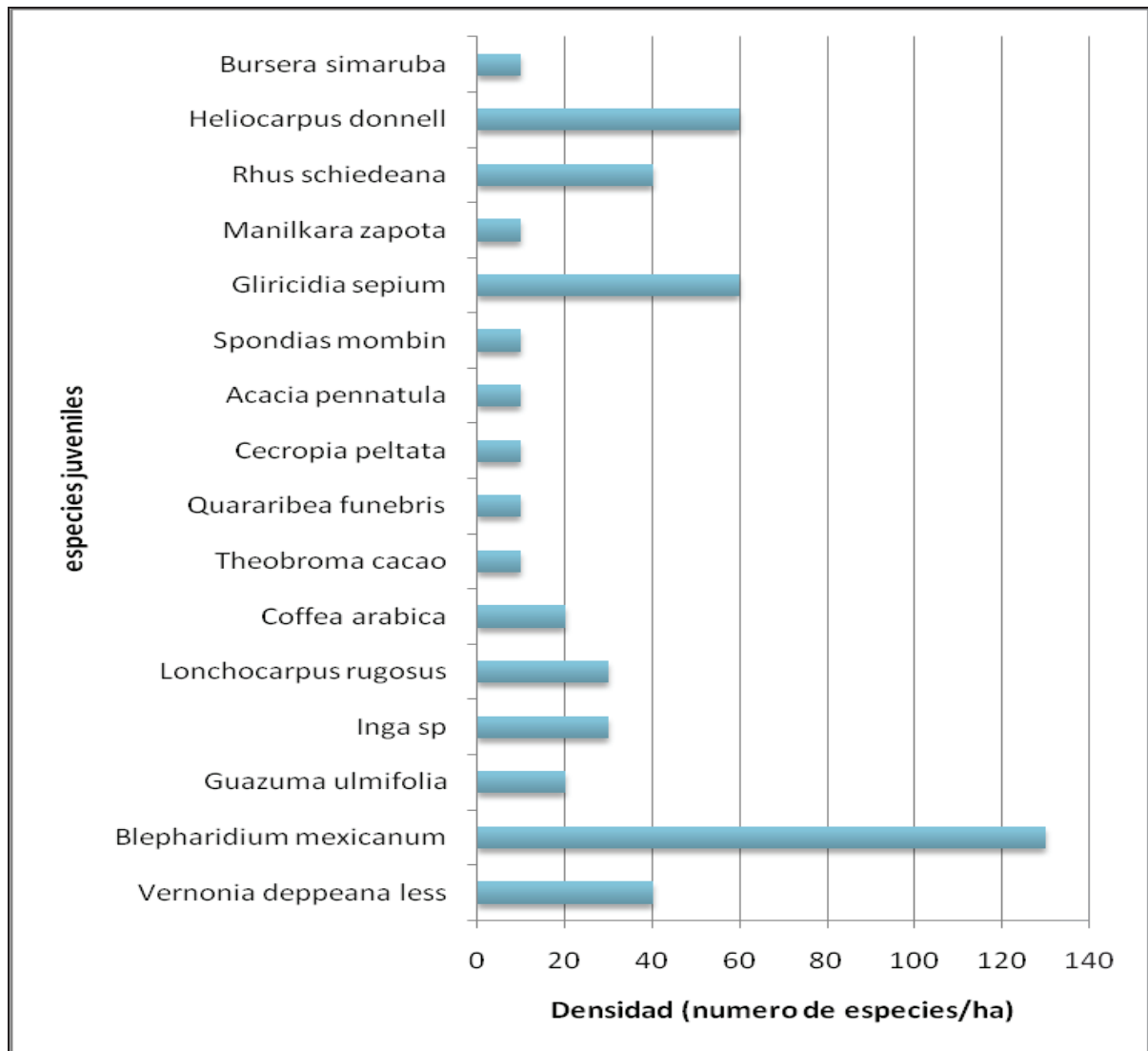
5.2 Características generales de las especies arbóreas y juveniles en los ejidos.

En la Gráfica 1 se muestran las 33 especies de árboles encontrados en las 16 parcelas muestreadas de 1000 m². Los géneros más abundantes fueron *Spondias*, *Cecropia*, *Inga*, *Gliricidia*, *Heliocarpus*, *Bursera* y *Lonchocarpus*.

En la Gráfica 2 se muestran las 16 especies de juveniles encontradas en las 16 parcelas de 100 m². Los géneros más abundantes fueron *Blepharidium*, *Gliricidia*, *Heliocarpus* y *Rhus*.



Gráfica 1. Especies de árboles encontradas en las parcelas de muestreo.



Gráfica 2. Especies juveniles encontradas en las parcelas de muestreo.

5.3 Estimación del carbono en sistemas del paisaje ganadero de la REBIMA.

La estimación de carbono para cada uno de los compartimentos por sistema mostró que el C en el suelo es el mayor almacén, seguido de la biomasa viva y la materia orgánica muerta. El C en los árboles contiene un promedio de 35.7 Mg ha⁻¹. En el compartimento del suelo, es principalmente la capa más superficial, de 0-10 cm, la que contiene el mayor C, 65 a 70 Mg ha⁻¹ en los tres sistemas, y por último el C de la biomasa del mantillo fresco (Cuadro 5).

Cuadro 5. Carbono estimado (Mg ha⁻¹) en cada compartimento por sistema.

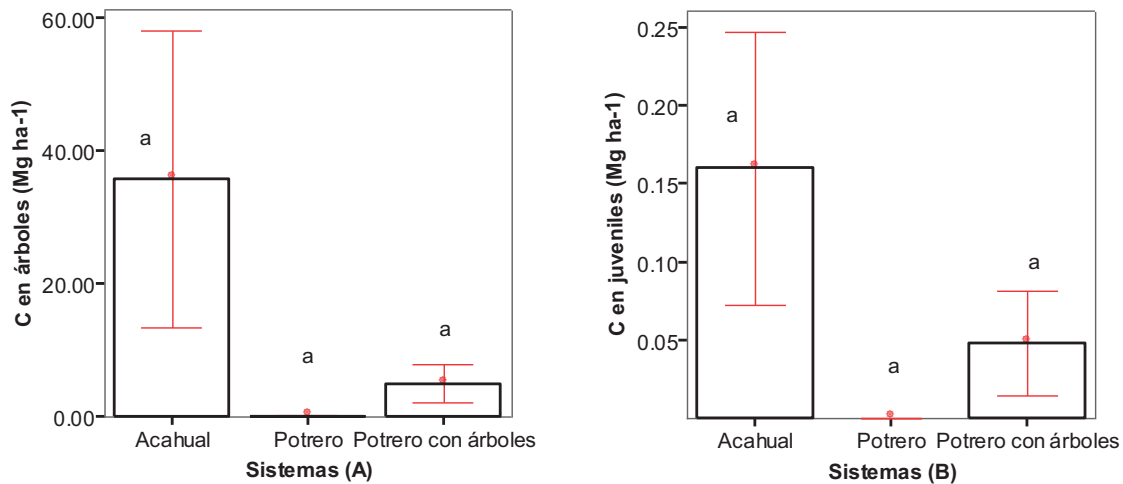
Compartimentos	Sistemas			Significancia
	Acahuales	Potreros con árboles	Potreros	
C en árboles	35.7 ± 58.7	5.05 ± 6.35	0.17 ± 0.20	0.296
C en juveniles	0.16 ± 0.23	0.04 ± 0.07	0 ± 0	0.278
C en pasto	2.14 ± 5.66	15.43 ± 1.08	14.58 ± 0.81	0.000
C en raíz	2.54 ± 1.63	2.26 ± 2.24	0 ± 0	0.073
C en Biomasa Viva	40.54 ± 56.7	22.80 ± 8.34	14.75 ± 0.96	0.543
C mantillo fresco	2.54 ± 1.64	2.26 ± 2.24	0 ± 0	0.073
C mantillo intermedio	2.08 ± 1.64	0.16 ± 0.37	0 ± 0	0.014
C en humus	1.26 ± 1.58	0.17 ± 0.38	0 ± 0	0.140
C en Biomasa Muerta	5.89 ± 4.04	2.60 ± 2.40	0 ± 0	0.024
carbono suelo 0-10	67.36 ± 18.53	65.49 ± 18.86	70.97 ± 37.53	0.944
carbono suelo 10-20	36.80 ± 10.57	40.26 ± 5.12	47.10 ± 24.85	0.529
carbono suelo 20-30	23.21 ± 9.41	25.71 ± 4.55	29.75 ± 8.78	0.455
C en M orgánica del suelo	127.37 ± 34.67	131.47 ± 28.16	147.83 ± 69.9	0.756
Total de C por sistema	173.80 ± 52.9	156.87 ± 36.2	162.58 ± 69.9	0.856

Media ± Desviación Estándar y significancia del ANOVA comparando entre sistemas (p=0.05).

5.4 Carbono estimado en el componente arbóreo y juvenil en los tres sistemas.

El carbono en el componente de árboles observó una tendencia a ser mayor en el acahual, con una media de 35.7 Mg ha⁻¹, mientras que los potreros tuvieron 5.05 y 0.17 Mg ha⁻¹; de esta misma forma en el componente juvenil los acahuales tuvieron más

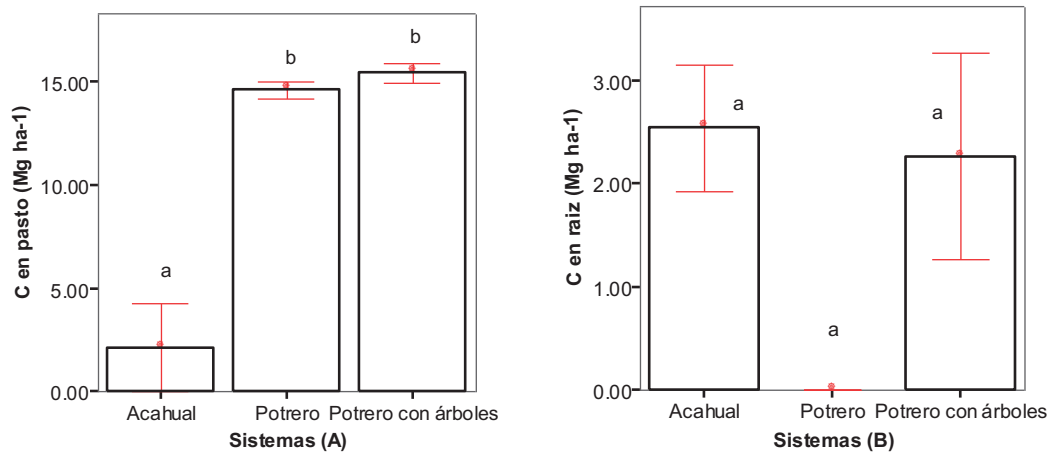
carbono con un 0.16 Mg ha^{-1} , que los potreros (Gráfica 3). Sin embargo las diferencias no fueron significativas por la alta variabilidad de los datos.



Gráfica 3. Media y error estándar del Carbono estimado en los árboles (A) y en juveniles (B) en los tres sistemas estudiados. Letras iguales entre tratamientos no difieren significativamente ($p=0.05$).

5.5 Carbono estimado en el componente herbáceo (pastos) y raíces en los tres sistemas evaluados.

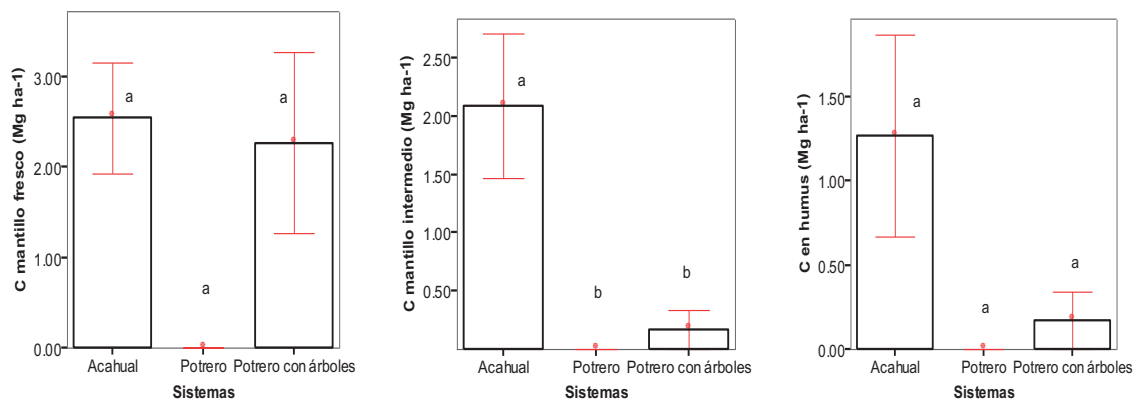
El carbono estimado en el componente herbáceo, observó una tendencia a ser mayor en los potreros que en los acahuales, con medias entre 14 y 15 Mg ha^{-1} , y 2.14 Mg ha^{-1} , respectivamente. Al contrario, el C en raíces totales en acahuales y en potreros fueron similares (Gráfica 4).



Gráfica 4. Media y error estándar del Carbono estimado en pastos (A) y en raíces totales (B) (gruesas y finas) en los tres sistemas estudiados. Letras iguales entre tratamientos no difieren significativamente ($p=0.05$).

5.6 Carbono estimado en la materia orgánica muerta: mantillo (fresco, intermedio, humus).

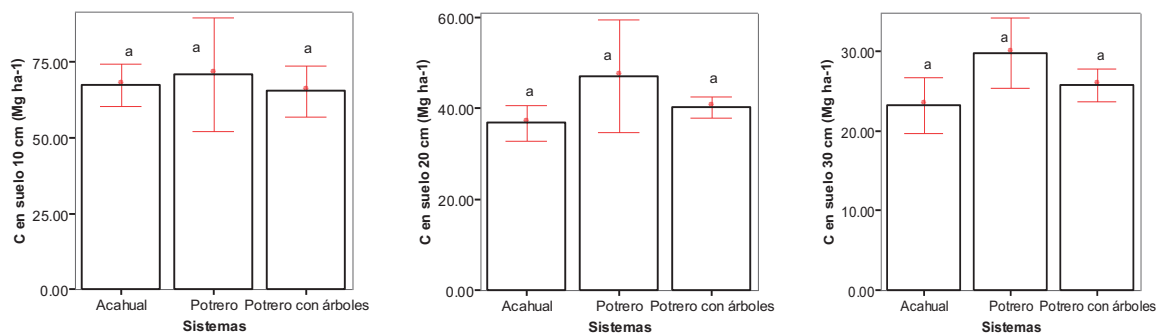
El carbono estimado en el mantillo fresco y humus fue similar entre sistemas; el mantillo intermedio fue mayor en el acahual que en los potreros ($p<0.05$). (Gráfica 5).



Gráfica 5. Media y error estándar del Carbono estimado en el mantillo en sus tres estados de descomposición en los tres sistemas estudiados. Letras iguales entre tratamientos no difieren significativamente ($p=0.05$).

5.7 Carbono estimado en la materia orgánica del suelo.

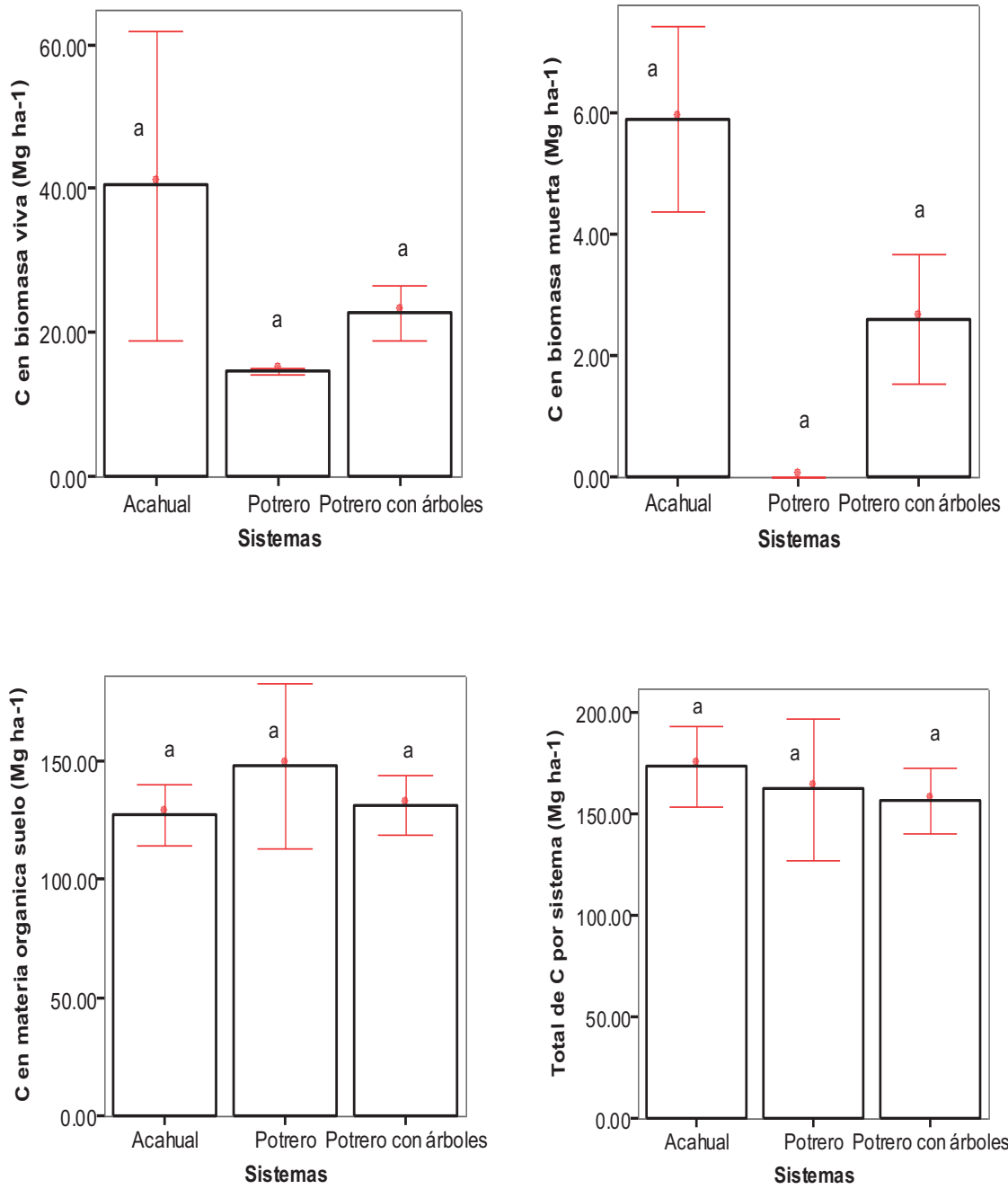
El carbono estimado en la MO a tres profundidades de suelo mostró mayores valores en la capa superficial (0-10 cm). Esta diferencia puede deberse a que en los primeros 10 cm, hay más actividad microbiana y los organismos descomponen más rápido al mantillo, incorporándose a la capa arable del suelo (Gráfica 6).



Gráfica 6. Media y error estándar del Carbono estimado en la materia orgánica del suelo en sus tres profundidades en los sistemas estudiados. Letras iguales entre tratamientos no difieren significativamente ($p=0.05$).

5.8 Total de Carbono por compartimento en cada sistema.

El total de carbono estimado por sistema no mostró diferencia estadística ($P < 0.05$), sin embargo el acahual tuvo un ligero contenido superior de C que los otros dos sistemas (Gráfica 7).



Gráfica 7. Media y error estándar del total de Carbono por compartimento en los tres sistemas estudiados. Letras iguales entre tratamientos no difieren significativamente ($p=0.05$).

5.9 Cronosecuencia del Carbono estimado en Acahuales.

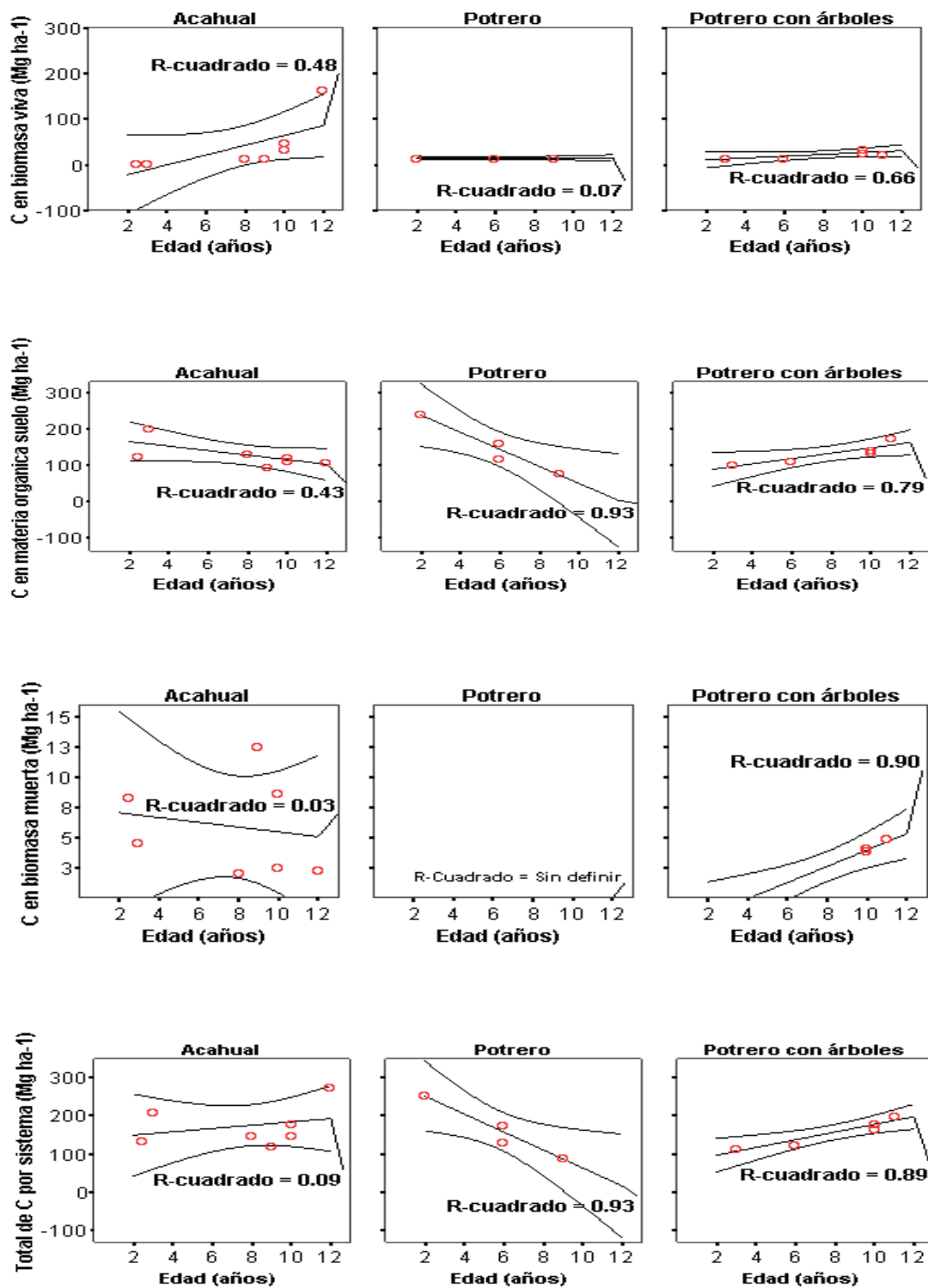
En el sistema acahual el C de la biomasa viva aumenta sustancialmente en el tiempo ($R^2=0.48$), mientras que el C en el suelo disminuye ligeramente ($R^2=0.43$). El C en la biomasa muerta desciende con el tiempo ($R^2=0.03$). En la biomasa viva se observa un incremento notable a partir de los 8 años de edad. El carbono en suelo aumenta en los primeros años, pero desciende con el tiempo, probablemente debido a una historia de uso del suelo determinada por la intensidad de manejo; no obstante a partir de los 9 años se observan incrementos al mismo tiempo que se encuentran árboles maduros en mayor densidad (Gráfica 8).

5.10 Cronosecuencia del Carbono estimado en los Potreros.

El C en la biomasa viva en los potreros es estable en el tiempo, dado al escaso número de árboles maduros y juveniles. El C en el suelo y el total de carbono del sistema disminuyen al paso del tiempo ($R^2=0.93$). El C en el compartimento de la biomasa muerta no mostró una tendencia en el tiempo (Gráfica 8).

5.11 Cronosecuencia del Carbono estimado en Potreros con árboles.

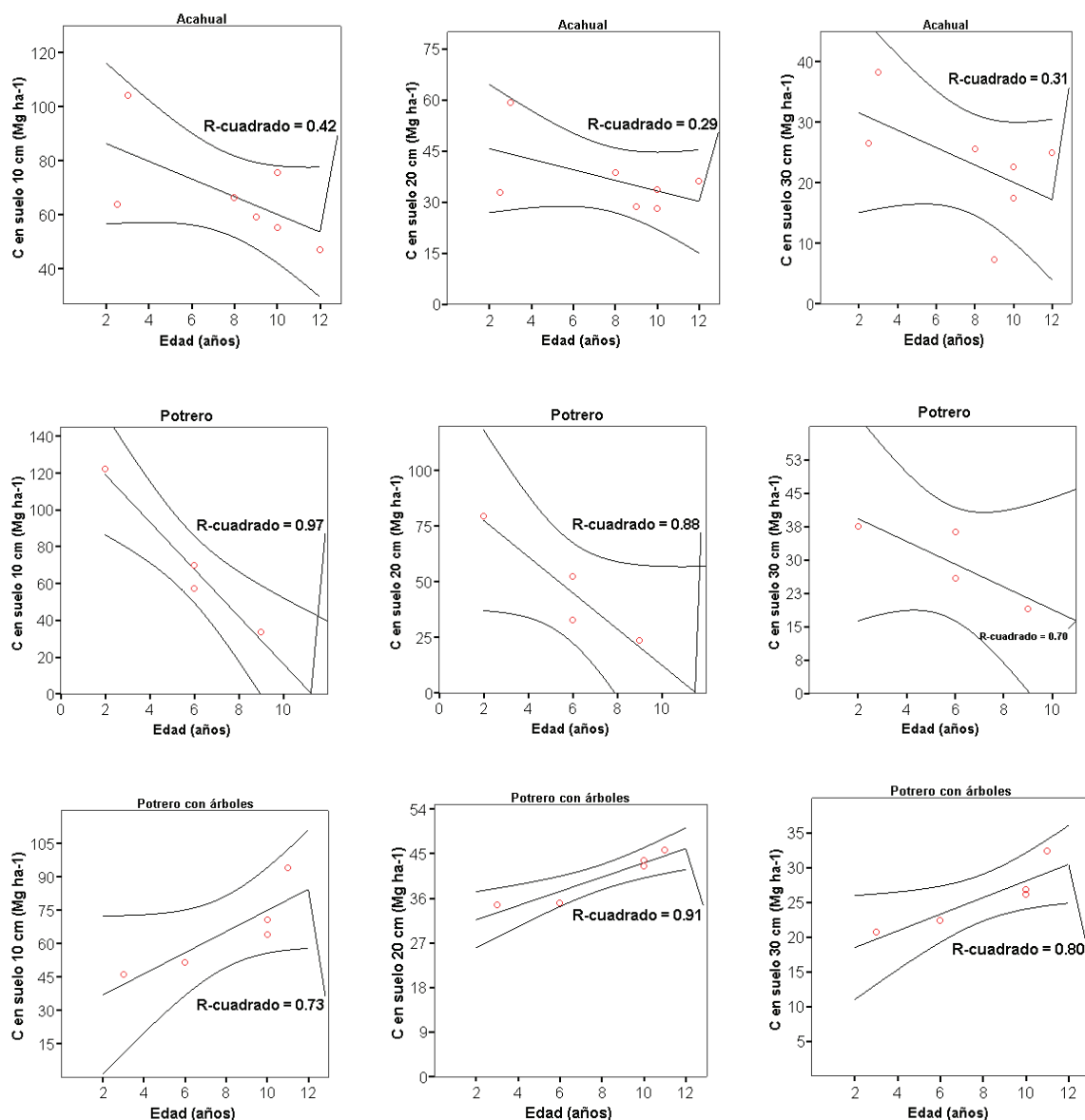
El C en el compartimento de la biomasa viva en los potreros con árboles es ascendente ($R^2=0.66$) al igual que el C en el suelo ($R^2=0.79$). El carbono en el suelo se incrementa a lo largo del tiempo y esto puede explicarse por la presencia de vegetación arbórea e hierbas que incide en la descomposición de la materia orgánica. El total de carbono del sistema tiene una tendencia similar con el C en suelo. El carbono en la biomasa muerta tiene una tendencia creciente a lo largo del tiempo (Gráfica 8).



Gráfica 8. Comportamiento del Carbono en acahuals, potreros y potrero con árboles en una cronosecuencia.

5.12 Carbono estimado en la materia orgánica del suelo en sus tres profundidades en los tres sistemas (cronosecuencia).

El carbono contenido en suelo en acahuales y potreros tiene una tendencia decreciente conforme al paso de los años en sus tres profundidades. Al contrario los potreros con árboles tienden a incrementar su carbono a partir de los primeros años (Gráfica 9).



Gráfica 9. Comportamiento del Carbono estimado en suelo en sus tres profundidades en acahuales, potreros y potrero con árboles.

VI. DISCUSION.

6.1 Paisaje ganadero en un Área de Conservación REBIMA.

El sureste de México, en las últimas décadas ha pasado por un dinámico crecimiento de la ganadería bovina (Alemán et al. 2007). Este proceso se ha basado en la “praderización” de las áreas tropicales de América Latina (Márquez, 2006). Por ejemplo, en 1970 existían en Tabasco y Chiapas 920 862 y 1249 326 cabezas de ganado vacuno; en 2007 para los mismos estados existían en promedio 1800 000 y 2 500 000 cabezas de ganado bovino respectivamente. Es decir, en un lapso de 37 años se ha incrementado la población vacuna en un 95 y 100 % respectivamente (Jiménez et al. 2010). Este crecimiento ha sido principalmente en detrimento de las áreas forestales y de selvas (Tudela, 1999).

El cambio de uso de suelo dirigido a fines pecuarios, es una constante en el estado de Chiapas. Por ejemplo, se ha estimado que la tasa anual de deforestación de la Selva Lacandona en la década de los 70 `s fue de entre 3.5 a 5.5 %, muy superior al promedio en América Latina (2.7–3.8), sin embargo hay indicios que este proceso ha disminuido en la última década (Márquez, 2006).

La presión de la ganadería y el aumento de las áreas de pastoreo en regiones con áreas naturales protegidas es un fenómeno mundial. Por ejemplo, en regiones de África y Asia, el crecimiento de la actividad ganadera está asociado a un aumento de la población y a una fuerte demanda de producto de origen animal, aspecto asociado a factores culturales (Steinfeld, 2002). Este cambio en el paisaje ha dado como resultado conflictos en el ámbito tanto ecológico como social (Cleaveland, 2003). Al respecto Harvey y Sáenz, 2007 hace mención que la transformación de áreas forestales a matrices agropecuarias (Vandermeer et al. 2008) pone en riesgo la conservación y modifica las bases ecológicas y los patrones de biodiversidad en regiones como Mesoamérica.

En Chiapas, la REBIMA es la Area Natural protegida más importante ya que aquí se protege aproximadamente el 20 % de la biodiversidad del país y es el relicto más grande de selva alta perennifolia de Norteamérica (CONANP, 2008). Sin embargo, existen fuertes presiones sociales sobre ésta área de Conservación.

El presente estudio mostró que las comunidades de La Democracia, Amatitlán y Plan de Río Azul tienen una importante actividad agropecuaria, lo cual conforma un paisaje ganadero dentro de un área de Conservación. El plan de manejo de la REBIMA menciona que ...“En términos generales, los procesos de expansión agropecuaria han planteado además de la deforestación y destrucción de ecosistemas, una serie de problemas de enorme relevancia vinculados a ello, como es la erosión que afecta a la mayor parte de los terrenos abiertos, con niveles de severos a muy severos (condición de los litosoles), ya que buena parte de las tierras dedicadas a la agricultura y ganadería se ubican en pendientes abruptas, lo cual favorece los procesos de pérdida de suelo” CONANP (2008). Al respecto, este estudio mostro que en estas comunidades las áreas conservadas de selvas son menos del 50 % y la matriz agropecuaria juega un papel importante en el paisaje rural. Por ejemplo, si se consideran las áreas de acahual, potrero y agrícola como parte de la matriz agropecuaria, estas sobrepasan en extensión a las áreas de selva. En este contexto, el paisaje ganadero está siendo importante. Así, las áreas de pastizal permiten una ganadería de tipo extensiva con bajo uso de insumos externos. Esto coincide con lo reportado por Jiménez et al. (2009) y de Paz (2010) en otras subregiones de la Selva Lacandona.

En general los tres ejidos involucrados en este trabajo, practican un sistema de pastoreo extensivo y permiten árboles en los potreros, lo que enriquece la diversidad del paisaje ganadero y pueden contribuir en mejorar la ecología del sistema. Sobre este aspecto, Aguilar (2007) y Velazco (2007) mostraron la riqueza de especies leñosas en áreas de pastoreo en la Selva Lacandona, las cuales tienen usos múltiples. Asimismo, Marinidou (2009) encontró en la zona de estudio de la REBIMA (Maravilla Tenejapa) en áreas de pastizal una importante diversidad de especies leñosas con alto valor para servicios ambientales (Carbono y biodiversidad).

La deforestación, ha traído cambios en la REBIMA y la actividad agropecuaria presiona sobre las áreas de conservación. La conformación de paisajes ganaderos, parece ser una tendencia en aumento debido al papel importante que está jugando la ganadería bovina. La CONANP en su Plan de manejo (CONANP, 2008) indica que los problemas centrales que afectan a la REBIMA se relacionan con la deforestación y la pérdida de fertilidad del suelo. Este fenómeno ya ha sido ampliamente comprobado en diversas partes del mundo, en donde se ha observado la fragilidad de los suelos tropicales al carecer de cubierta forestal. En general los problemas centrales en la REBIMA son: a) Conflictos agrarios, b) Deforestación acelerada y cambio del uso del suelo, c) degradación de de lo sistemas agropecuarios, como la ganadería y d) la falta de alternativas o proyectos ecológicamente sustentables.

La conformación de los paisajes ganaderos en áreas que antes eran selvas y bosques ha sido duramente cuestionada y se sabe que es un resultado de complejos factores sociales, principalmente. Sin embargo, actualmente también se ha reconocido la importancia que tienen los paisajes ganaderos y la matriz agropecuaria en torno a la calidad de vida de los productores y en permitir la conservación de la biodiversidad (Harvey y Sáenz, 2007).

6.2 Estimación de carbono en los sistemas estudiados.

Los suelos en esta área de estudio tienen un pH ligeramente ácido. Asimismo la clase textural de los suelos mayormente son arcillosos, seguido por los arcilla arenoso y por último los franco arenosos. 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.

En este estudio se constato que el carbono de la materia orgánica del suelo es el principal reservorio con aproximadamente el 70 % del carbono. El C en este reservorio es mayor en los potreros que en los acahuals, posiblemente por las características del

suelo (como pH, textura del suelo). Al respecto, los estudios de Acosta (2003), Roncal, (2006), Aguirre, (2006), Aguilar, (2007), Delgadillo y Quechulpa, (2007).mostraron que el contenido de carbono en el suelo disminuye con la profundidad con variantes dependiendo del tipo de sistema (Aguirre, 2006; Roncal et al. 2008, Soto-Pinto et al. 2010).

Ruiz (2002) estudiando sistemas con pasturas mejoradas y nativas, encontró una tendencia decreciente de C en la MO respecto a la profundidad del suelo. Se sugiere que esta diferencia puede deberse a que en los primeros 10 cm, hay mayor actividad microbiana y los organismos descomponen más rápidamente al mantillo, haciendo incorporarse a la capa arable (suelo) (Gráfica 6). Se ha reportado que sistemas manejados con alta incorporación de enmiendas orgánicas, como es el caso del café orgánico con sombra pueden mantener el carbono en la profundidad del suelo (Soto-Pinto et al. 2010).

En esta investigación el carbono contenido en los pastos en ambos sistemas de potreros fue de 14.58 y 15.43 Mg ha⁻¹, y en el acahual fue de 2.14 Mg ha⁻¹. Al respecto Mora (2001) en un estudio en Costa Rica en fincas lecheras, menciona que el carbono almacenado en los suelos cubiertos por el pasto estrella africana es mayor que aquellos bajo el pasto kikuyo, ya que los suelos cubiertos con pasto estrella contienen más materia orgánica. A la vez Botero (1998) y Márquez (1997) resaltan la importancia del suelo y su materia orgánica como almacén de carbono.

En la biomasa viva el mayor reservorio de carbono se encuentra en los árboles con diámetros \geq a 10 cm., seguido de la biomasa herbácea (pasto). Schelegel (2001) menciona que la biomasa producida en acahuales varía a diferentes edades, dependiendo del grado de desarrollo y de intervención del sistema. Asimismo, Cubero y Rojas (1999) indican que la cantidad de carbono no solo depende de la calidad del sitio, sino que varía dependiendo de la especie vegetal y su edad. Esta mayor cantidad de carbono en la biomasa viva, puede estar en función de la densidad de árboles, el tipo

de especies encontradas en las parcelas, edad y número de estratos presentes (Montagnini y Nair, 2004).

Este trabajo resalta el aporte del carbono que realiza el mantillo en sus tres estados con 5.89 y 2.60 Mg ha⁻¹, en el reservorio de materia orgánica muerta en los sistemas acahual y potreros respectivamente. El principal aporte de hojarasca dentro del mantillo en los sistemas evaluados puede provenir de los árboles pero hay que ver también el tamaño de las hojas, con el fin de promover la fijación biológica de N, el reciclaje de nutrientes y la incorporación de materia orgánica (Nair, 1993).

6.3 Cronosecuencia de carbono estimado en los sistemas estudiados.

En este trabajo la cronosecuencia de C en el tiempo vario por sistema y por componente, se observó que el contenido total de carbono (Mg/ ha) tuvo un incremento lineal en áreas de pastura con árboles, una ligera tendencia de mantenimiento en acahuals y una tendencia decreciente en potreros en monocultivo. Estudios realizados por Ibrahim et al 2007, en donde evaluó el almacenamiento de C en pasturas en paisajes ganaderos de Centroamérica, encontraron que el total de carbono almacenado fue siempre mayor en sistemas como bosque y selvas secundarias, mientras que las pasturas degradadas fueron el uso de tierra que reportó menos valores. Sin embargo los autores resaltan el potencial que pueden tener las pasturas que incorporan árboles y que son el uso de la tierra con mayor potencial para mejorar los paisajes ganaderos y lo servicios ambientales, en este caso, mediante la acumulación de carbono.

Los resultados de este estudio en torno a la cronosecuencia en acahuals, pasturas en monocultivo y pasturas con árboles (Grafica 8 y 9), permite reflexionar sobre la importancia del mejoramiento de las áreas de pastoreo y el aumento de la cobertura arbórea. Este aspecto puede permitir que el paisaje ganadero dominado por pasturas en monocultivo y degradadas se transforme en sitios con potencial para el secuestro de carbono (Sepúlveda e Ibrahim 2009) (Ver Anexo 1).

VII. CONCLUSIONES

Paisaje Ganadero

- El uso de suelo observado en el paisaje ganadero (n = 3 comunidades) mostró que la actividad agrícola y ganadera (Matriz agropecuaria) es parte importante del paisaje rural. Dentro de esta área muestreada se encontraron 33 especies de árboles. Los géneros más representados fueron *Spondias*, *Cecropia*, *Inga*, *Gliricidia*, *Heliocarpus*, *Bursera* y *Lonchocarpus*.

Carbono en los sistemas

- En los sistemas estudiados en el paisaje ganadero, se encontró que el componente suelo es el mayor almacén de C, seguido de la biomasa viva y la materia orgánica muerta.
- EL carbono en la materia orgánica del suelo en las tres profundidades estudiadas en todos los sistemas, mostró mayores valores en la capa superficial (0-10 cm) disminuyendo el contenido de C con la profundidad.
- El carbono en los árboles no mostró diferencia significativa en los tres sistemas, pero si hubo un mayor contenido de carbono en acahuales.
- El carbono en el compartimento herbáceo fue mayor en los potreros con árboles.
- Las cronosecuencias de C en los sistemas mostraron que el contenido total de carbono por sistema (Mg ha^{-1}) tuvo un incremento lineal en áreas de pastura con árboles, una ligera tendencia de mantenimiento en acahuales y una tendencia decreciente en potreros en monocultivo.

VIII. RECOMENDACIONES

- Realizar un muestreo más intenso en el área ganadera y su interacción con el área de conservación. Seleccionar un rango mayor de edades de los acahuales para ampliar la predicción de carbono en la cronosecuencia.
- Analizar la importancia del paisaje ganadero, su estructura y función con respecto a los stocks de carbono y su potencial para ofrecer servicios ambientales
- Realizar estudios de silvopastoreo, haciendo énfasis en la interacción animal-pastura- para evaluar la dinámica de C, considerando diferentes cargas animales.
- Implementar estudios de huella de carbono “Carbon foot print” considerando los ciclos de vida de los sistemas locales de Chiapas.
- Fomentar estudios sobre gases de efecto invernadero en áreas de pastoreo para promover estrategias de mitigación y adaptación en paisajes ganaderos

IX. LITERATURA CITADA.

- Acosta M. 2003. Diseño y aplicación de un método para medir los almacenes de carbono en sistemas con vegetación forestal agrícola de ladera de México. Colegio de Postgraduados, Instituto de Recursos Naturales, Programa Forestal. Tesis Doctoral. Montecillo, México. 121 p.
- Aguilar V. 2007. Almacenamiento de carbono en sistemas de pasturas en monocultivo y Silvopastoriles, en dos comunidades de la selva Lacandona, Chiapas, México. Tesis de Maestría, Chapingo, Estado de México. 90 p.
- Aguirre C. 2006. Servicios Ambientales: Captura de carbono en sistemas de café bajo sombra en Chiapas, México. Tesis de Maestría, Chapingo, México. 84 p.
- Alegre J y Cassel K. 1996. Dynamics of soil physical properties under alternatives systems to slash and burn. *Agric. Ecosys. Environ.* 58: 39-48.
- Alemán T, Gordon B, Medina F. 2007. Ganadería, Desarrollo y Ambiente: una visión para Chiapas. ECOSUR, Chiapas México, 122 p.
- Angassa A y Oba G. 2007. Herder perceptions on impacts of range enclosures, crop farming, fire ban and bush encroachment on rangelands of Borana, Southern Ethiopia. *Human Ecology.* 36(2): 201-215.
- Botero J. 1998. Contribución de los sistemas ganaderos tropicales al secuestro de carbono. 2a. Conferencia electronica de agroforestería para la producción animal en América Latina (fao-cipav).
- Briske D, Derner J, Brown J, Fuhlendorf S, Teague R, Havstad K, Gillen R, Ash A, W Willms. 2008. Rotational grazing on rangelands: Reconciliation of perception and experimental evidence. *Rangeland Ecology and Management.* 61: 3-17.
- Brown S. 1996. Present and potential roles of forests in the global climate change debate. *Unasylva.* 185: 3-10.
- Cairns M, Haggerty P, Alvarez R, De Jong B, Olmsted L. 1997. Tropical Mexico recent land use change: A region contributions to the global carbon cycle. *Ecological Applications.* 10: 1426-1441.
- Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns M. 2005. Tree allometric and improved estimation of carbón stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145: 87-99.

- Cleaveland S, Karesh W, Kock M. 2003. Conservation and Development Interventions at the Wildlife/Livestock Interface Implications for Wildlife, Livestock and Health Human IUCN. 145 p.
- CONANP 2008. Plan de manejo de la REBIMA, México DF 68 p.
- CONANP 2009. Comunicación personal con la Mc Janette Gonzales.
- Cubero J y Rojas S. 1999. Fijación de carbono en plantaciones de *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata* en los cantones de Hojancha y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica, Heredia. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de costa rica, Heredia. 100 p.
- De Jong B, Masera O, Hernandez T. 2004. Opciones de captura de carbono en el sector forestal. 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. p. 369-380.
- De Jong B, Tipper R, Taylor R. 1997. A Framework for monitoring and evaluation of carbon mitigation by farm forestry projects: example of a demonstration project in Chiapas, Mexico. *Mitigation and Adaptation for Global Change*. 2: 231-246
- De Paz J. 2010. Contenido nutritivo del follaje de especies arbóreas y arbustivas forrajeras de la Selva Lacandona, Chiapas y del microensilado de *Gliricidia sepium*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad Autónoma de Chiapas, México. 114 p.
- Delgadillo M. y Quechulpa S. 2007. Inventario de carbono y caracterización de tres sistemas agroforestales en localidades de los municipios, Salto de agua, Chilón y Comitán del estado de Chiapas, México. Tesis de licenciatura, Chapingo, Estado de México. 95 p.
- Esquivel 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 2010. Combatir el cambio climático con los pastizales. <http://www.fao.org/news/story/item/38916/icode/>

- Goodland R y Anhang J. 2009. Livestock and climate change. What if the key actors in climate change are cows, pigs and chickens? <http://www.worldwatch.org>
- GREEN FACTS 2010. <http://www.greenfacts.org/es/captura-almacenamiento-co2/index.htm>, fecha consultada 2010.
- Harvey C y Saénz J. 2007. Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica. Instituto Nacional de Biodiversidad, Costa Rica, 620 p.
- Ibrahim M, Chacón M, Cuartas C, Naranjo J, Ponce G, Vega P, Casasola F, Rojas J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*. 45: 27-36.
- INE 2002. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología.
- IPCC 2001. Climate change: the scientific basis. In: Houghton, T., Ding Y., Griggs, J., Noguer, M., van der, J., Dai X., Mashell K, Johnson, A. (Ed.), Contribution of working group 1 to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 881.
- 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>.
- Jaramillo J. 2004. El ciclo global del carbono. Una visión desde México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología (INE). 1^{ra} Ed. México, p. 76-85.
- Jiménez-Ferrer G, Marinidou E, Flórez M, De Jong B. 2010. Establecimiento de una línea base de las emisiones actuales y futuras de Gases de Efecto Invernadero provenientes de los subsectores Agricultura y Ganadería, del sector Agricultura, Silvicultura y otros usos del suelo, Chiapas, México. Informe Técnico, ECOSUR-International Conservation México. 75 p.
- Jiménez-Ferrer G, Velasco-Pérez R, Uribe-Gómez M, Soto-Pinto L. 2009. Ganadería y conocimiento local de árboles y arbustos forrajeros de la selva Lacandona, Chiapas, México. *Zootecnia Trop*. 26(3): 333-337.

- Marinidou E. 2009. Estimación del aporte de la cobertura arbórea a la regulación climática y la conservación de la biodiversidad: diseño y aplicación de una metodología en Chiapas, México. Tesis de Maestría, CATIE. Costa Rica. 164 p
- Márquez C. 2006. El conflicto de la apropiación territorial en la Selva lacandona, Chiapas. Tesis doctoral. Universidad de Toulouse, Francia. 443 p.
- Márquez L. 1997. Validación de campo de los métodos del instituto Winrock para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo para cuantificar carbono en sistemas agroforestales. Universidad de valle de Guatemala. 45 p.
- Martínez J y Fernández A. 2004. Cambio climático: Una visión desde México. Secretaria de medio ambiente y recursos naturales e instituto nacional de ecología. Primera edición, México, D.F., Noviembre, 521 p.
- Masera O, Ordoñez J, Dirzo R. 1997. Carbon Emissions from Mexican Forests: Current Situation and Long-term Scenarios, *Climatic Change* 35: 265-295.
- Masera O. 1995. Carbon Mitigation Scenarios for Mexican Forests: Methodological Considerations and Results. *Interciencia* 20: 388-395.
- Montagnini F y Nair P. 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. In *Agroforestry Systems*. 61: 281–295.
- Mora V. 2001. Fijación, emisión y balance de gases de efecto invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras intensivas de las zonas altas de costa rica. Tesis de Maestría, CATIE. Costa Rica.
- Nair P. 1993. *An Introduction to Agroforestry*. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. 543 p.
- PRODESIS 2005. Cartografía realizada para el proyecto Desarrollo Social Integrado y Sostenible.
- Rajagolpa I. 2004. Estimación del secuestro de carbono en sistemas agroforestales a base de cítricos en el trópico húmedo mexicano. Tesis de Maestría, Chapingo, Estado de México. 145 p.
- Roncal S. 2006. Almacenamiento de carbono y complejidad de sistemas agroforestales en comunidades indígenas de Chiapas, México. Tesis de Maestría, ECOSUR. 51 p.

- Roncal-García S, Soto-Pinto L, Castellanos-Albores J, Ramírez-Marcial N, De Jong B. 2008. sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. *Interciencia* 33 (3): 200-206.
- Ruiz A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. Tesis de Maestría, CATIE. Costa Rica. 106 p.
- Sánchez D, Harvey C, Grijalva A, Medina A, Vílchez S y Hernández B. 2005. Diversidad, composición y estructura de la vegetación en un agropaisaje ganadero en Matiguás, Nicaragua. *Biología Tropical*. 53: 387- 414.
- Sepúlveda C e Ibrahim M. 2009. Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas como una medida de adaptación al cambio climático en América Central. CATIE, Turrialba Costa Rica. 272 p.
- Soto-Pinto L, Anzueto-Martinez M, Mendoza V J, Jiménez-Ferrer G, De Jong B. 2010. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 78 (1):39-51.
- Steel R y Torrie J. 1917. *Bioestadística: principios y procedimientos*. 2ª Edición. McGraw-Hill, México. 622 p.
- Steinfeld H. 2002. Increasing global demand for animal products. In: *Responding to increasing global demand for animal products*. International Conference British society of animal science, Merida, Yucatan. 30 p.
- Tennigkeit T y Wilkes A. 2008. Las finanzas del carbono de los pastizales. Una evaluación del potencial en los pastizales comunales, Kunming, china. 34 p.
- Tipper R. 2002. Helping Indigenous Farmers to participate in the International Market for Carbon Services: The Case of Scolel te. In: Pagiola, S. et al. *Selling forest environmental services: market-based mechanisms for conservation and development*". Earthscan Ltd., London.
- Tudela F. 1999. Recursos naturales y sociedad en el trópico húmedo tabasqueño. En: Leff, E. (Coord.). *Medio ambiente y desarrollo en México*. Vol. I. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades, UNAM; Ed. Porrúa. México. Pp.149-227.

- UNFCCC 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. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>.
- Vandermeer J, Perfecto I, Philpott S, Chapelli J. 2008. Reenfocando la conservación en el paisaje: La importancia de la matriz. In: Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica. Instituto Nacional de Biodiversidad, Costa Rica. p.75 -104
- Velazco R 2007. Conocimiento local de árboles y arbustos forrajeros en la región de la Selva Lacandona, Chiapas México. Tesis de Licenciatura Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco Mexico. 102 p.
- White R, Murray S, M Rohweder. 2000. Pilot Analysis of Global Ecosystems. World Resources Institute Washington, D.C. p 81.

ANEXO 1

Perspectivas del servicio ambiental que pueden ofrecer los pastizales para mitigar el bióxido de carbono (CO₂) ante el cambio climático.

Los pastizales se definen en gran medida por su utilización para el pastoreo, e incluyen pastizales abiertos y pastizales con una baja cubierta de plantas leñosas. Se estima que los pastizales incluyen entre el 10 y el 30 % del carbono del suelo de todo el mundo. A nivel mundial hay más de 120 millones de pastores, que son los dueños de más de 5000 Mha (mega hectárea = 1 millón de hectáreas) de pastizales y muchos de ellos viven en condiciones de pobreza (White et al. 2000).

La viabilidad de los proyectos de financiación del carbono en las zonas de pastizales, depende en parte de una serie de factores propios de cada sitio. El potencial de la financiación del carbono en los pastizales también se ve limitado por las regulaciones que actualmente rigen el desarrollo de los mercados de carbono, así que algunas características comunes de los pastizales y de los sistemas de pastoreo pueden dificultar la financiación del carbono. Una incorporación de mayor número de árboles en los potreros, manteniendo las áreas de acahuales y aún más, enriqueciendo los acahuales con árboles maderables y evitando la quema podría significar un aumento significativo en las cantidades de carbono capturado y conservado. Este tipo de esquemas sería muy útil para programas tipo reducción de emisiones por deforestación y degradación (REDD+) como se ha mencionado en otras investigaciones regionales (Soto-Pinto et al. 2010).

Los proyectos de carbono deben lidiar también con el riesgo de no permanencia, es decir, el riesgo de que el carbono secuestrado pueda ser posteriormente liberado, cual es el caso de los incendios en los pastizales. El riesgo de no permanencia es una de las razones por las cuales los compradores de carbono no suelen comprar reducción de emisiones (RE) de los proyectos de AFOLU (agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra). La creación de un activo de carbono requiere que los administradores

(ganaderos) de tierras implementen prácticas adicionales de gestión que generen aumentos creíbles de las reservas de C o disminuciones en las pérdidas de C o emisiones de GEI (Tennigkeit y Wilkes, 2008).

Entre las prácticas comunes de gestión de pastizales que podrían aumentar la secuestro del carbono se incluyen la gestión de las tasas de carga, el pastoreo rotativo, planeado o adaptativo y el cercado de los pastos para evitar el pisoteo desmedido por el ganado (Briske et al. 2008).

Varios países menos desarrollados con grandes zonas de pastizales han elaborado planes nacionales de asignación (PNA) que incluyen respuestas potenciales o planeadas, tales como apoyo a la gestión de pastizales comunales, restauración de pastizales degradados, forestación, cultivo de gramíneas y leguminosas. Muchas de estas actividades tienen capacidad tanto para secuestrar carbono como para apoyar la adaptación (Tennigkeit y Wilkes, 2008).

Entre los potenciales desarrolladores de proyectos, las principales barreras actuales para el desarrollo de proyectos de financiación del carbono de los pastizales son el limitado conocimiento acerca de las oportunidades de mercado y la escasez de contactos con los actores del mercado de carbono. Otra de las limitaciones para los interesados en el desarrollo de proyectos piloto y metodologías, es los costos de inversión iniciales necesarios para el desarrollo de estos primeros proyectos (Tennigkeit y Wilkes, 2008).

El incrementar la cantidad de carbono retenida en los pastizales puede ayudar a las poblaciones dedicadas al pastoreo a adaptarse al cambio climático, ya que la materia orgánica añadida mejora la capacidad de retención del agua del suelo y con ellos su capacidad para resistir las sequías. Programas de pagos por servicios ambientales podrían ayudar a conservar las áreas de bosque, produciendo bienes forestales fuera del bosque y reduciendo la presión sobre aquél y ofreciendo recursos económicos a los productores (Angassa y Oba, 2007).

La mejora de las prácticas de gestión para restaurar la materia orgánica en los suelos de los pastizales, reducir la erosión y disminuir las pérdidas derivadas de la quema y el sobrepastoreo puede por tanto ayudar a retener cantidades mayores de carbono, que según algunas estimaciones podrían alcanzar los mil millones de toneladas (FAO, 2010).

La FAO proyecta que el número de la ganadería del mundo será el doble entre el periodo 2006 y 2050, así la relación de la ganadería con la emisión de gases de efecto invernadero sería también aproximadamente el doble, mientras esto es extensamente esperado que los GEI de otras industrias sean reducidos (Goodland y Anhang, 2009).