

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE**



TRABAJO DE DIPLOMA

Producción de biomasa y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y tacotales en la zona baja de la Micro-cuenca Río Bul Bul, Matiguás, Matagalpa, 2002.

Autores:

Br. David P. Páiz Escobar.

Br. José I. Molina Ordóñez.

Asesores:

Msc. Alfredo Ruíz García.

Ing. Claudio Calero.

**Managua, Nicaragua
02 de Diciembre 2002.**

INDICE

	Pág
Índice	
Índice de Tablas.....	i
Índice de Figuras.....	ii
Índice de Anexos.....	iii
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Glosario de Términos.....	vii
Abreviaturas.....	x
Resumen.....	xí
Summary.....	xlii
I- INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis.....	3
II- REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1- Cambio climático.....	4
2.2- Los bosques como mitigadores de los efectos del cambio climático.....	5
2.3- Las plantaciones forestales y agroforestales como fijadoras de carbono.....	9
2.4- Sistemas silvopastoriles.....	12
2.4.1- Potreros con árboles dispersos.....	12
2.4.2- Componente vegetal de los sistemas silvopastoriles y de pasturas.....	14

III- MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1- Ubicación del área de estudio.....	15
3.1.1- Aspectos generales de la micro-cuenca.....	15
3.2- Características generales del municipio de Matiguás.....	17
3.2.1- Sistemas de producción ganadera.....	18
3.3- Depósitos de carbono y sistemas evaluados.....	18
3.3.1- Depósitos de carbono.....	18
3.3.2- Sistemas evaluados.....	18
3.3.2.1- Pasto mejorados con árboles.....	19
3.3.2.2- Sistema pasto nativo con árboles.....	19
3.3.2.3- Sistema tacotal.....	19
3.4- Diseño de la investigación.....	20
3.4.1- Diseño experimental.....	20
3.4.2- Modelo Aditivo Lineal.....	20
3.4.3- Muestreo de fincas.....	21
3.4.4- Muestreo aleatorio.....	21
3.4.5- Selección de las unidades de muestreo (parcelas de medición).....	21
3.4.5.1- Selección de parcelas.....	21
3.4.6- Tamaño, forma y ubicación de las parcelas en el terreno.....	22
3.4.6.1- Parcelas para sistemas silvopastoriles.....	22
3.4.6.2- Parcelas para regeneración natural (tacotal).....	22
3.4.7- Delimitación de las parcelas.....	24
3.4.7.1- Sistemas silvopastoriles.....	24
3.4.7.2- Sistema tacotal.....	25
3.4.8- Descripción de las mediciones del componente arbóreo en los sistemas evaluados.....	25
3.4.8.1- Muestreo del componente árbol en sistemas silvopastoriles.....	25
3.4.8.2- Muestreo del componente árbol en tacotales.....	26
3.4.9- Descripción de la mediciones de las pasturas y hojarascas de los sistemas evaluados.....	26
3.4.9.1- Muestreo del componente herbáceo.....	26

3.4.9.2- Muestreo del componente mantillo.....	27
3.5- Muestreo de árboles para la medición de biomasa real en el campo.....	28
3.5.1- Gravedad específica.....	28
3.5.2- Fracción de carbono.....	28
3.5.3- Medición de volumen y biomasa en la muestra destructiva.....	29
3.5.4- Carbono almacenado real en las muestras destructivas.....	31
3.6- Cálculos para estimar biomasa en las parcelas temporales de muestreo.....	32
3.6.1- Estimación de biomasa de pasto en los sistemas silvopastoriles.....	33
3.6.2- Estimación de biomasa en el mantillo del sistema tacotal.....	34
3.7- Estimación de carbono almacenado en los componentes (leñosas, pastos y mantillo) considerado en los sistemas.....	35
3.7.1- Estimación de carbono almacenado en las leñosas.....	35
3.7.2- Estimación de carbono en pastos.....	35
3.7.3- Estimación de carbono en el mantillo.....	36
3.8- Análisis estadísticos aplicados.....	37
IV- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1- Aporte de biomasa y carbono por componente en los diferentes sistemas evaluados.....	38
4.1.1- Biomasa en las leñosas.....	38
4.1.2- biomasa en la masa pasto y mantillo.....	39
4.2- Carbono almacenado (C. A) en los componentes de los sistemas.....	40
4.2.1- Carbono almacenado en la masa arbórea.....	40
4.2.2- Carbono almacenado en pasto y mantillo.....	40
4.3- Dinámica de la biomasa y carbono por sistema.....	45
4.3.1- Biomasa del sistema tacotal.....	45
4.3.2- Biomasa del sistema pasto mejorado con árboles.....	46
4.3.3- Biomasa del sistema pasto nativo con árboles.....	46
4.3.4- Carbono.....	47

4.3.4.1- Sistema tacotal.....	47
4.3.4.2- Sistema pasto mejorado con árboles.....	48
4.3.4.3- Sistema pasto nativo con árboles.....	49

V- CONCLUSIONES.....	50
-----------------------------	-----------

VI- RECOMENDACIONES.....	51
---------------------------------	-----------

VII- BIBLIOGRAFÍA.....	52
-------------------------------	-----------

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tablas		Pág
1	Contenido del carbono en el suelo(%) de dos sistemas silvopastoriles vs monocultivos de gramíneas.....	14
2	Ubicación, delimitación y características del municipio de Matiguás, Matagalpa, 2002.....	17
3	Diseño completo al azar para evaluar los sistemas silvopastoriles en estudio, Matiguás, Matagalpa, 2002.....	20
4	Categorías de vegetación con la forma y tamaño de parcelas de muestreo, Matiguás, Matagalpa, 2002.....	23
5	Biomasa promedio estimada para cada sistema en cada uno de sus componentes y las categorías estadísticas de acuerdo a los criterios de Duncan, Matiguás, Matagalpa, 2002.....	39
6	Carbono promedio en los componentes de los sistemas y las categorías estadísticas encontradas según criterios de Duncan, Matiguás, Matagalpa, 2002.....	41
7	Aporte porcentual de carbono almacenado por componente en los sistemas evaluados, Matiguás, Matagalpa, 2002.....	42

INDICE DE FIGURAS

Figuras		Pág
1	Mapa de Nicaragua y ubicación de la zona de estudio, Matiguás, Matagalpa, 2002.....	16
2	Mapa de ubicación de la micro-cuenca del río Bul Bul y distribución de la muestra en Matiguás, Matagalpa, 2002.....	16
3	Parcelas circulares para la medición de biomasa y carbono en sistemas silvopastoriles. Modificado de Márquez, 1997.....	23
4	Parcelas circulares para la medición de biomasa y carbono en los sistemas tacotales. Modificado de Márquez, 1997.....	24
5	Comportamiento de la biomasa en los componentes leñosas, mantillo, pasto mejorado y pasto nativo de cada sistema, Matiguás, Matagalpa, 2002.....	47
6	Carbono almacenado en los componentes de cada uno de los sistemas evaluados, Matiguás, Matagalpa, 2002.....	49

ÍNDICE ANEXOS

- 1- Distribución de las parcelas del sistema pasto mejorado con árboles en las unidades productivas.
- 2- Distribución de los árboles por clase diamétrica en cada sistema.
- 3- Abundancia y frecuencia de las especies arbóreas en el sistema pasto mejorado con árboles.
- 4- Distribución de las parcelas del sistema pasto nativo con árboles en las unidades productivas.
- 5- Abundancia y frecuencia de las especies en el sistema pasto nativo con árboles.
- 6- Distribución de las parcelas en el sistema tacotal.
- 7- Abundancia y frecuencia de las especies del sistema tacotal.
- 8- Tabla de las especies de la muestra destructiva y su proporción de árboles en ellas.
- 9- Tabla de datos obtenidos en laboratorio para las especies de la muestra destructiva.
- 10- Tabla del comportamiento de los modelos alométricos de biomasa probados en cada criterio estadístico utilizado para su selección.
- 11- Comportamiento del Modelo Aditivo Lineal en las variables y por componente estudiado.
- 12- Tabla de Análisis de Varianza para la variable de biomasa de árboles.
- 13- Tabla de Análisis de Varianza para la variable biomasa de pasto y/o mantillo.
- 14- Tabla de Análisis de Varianza para la variable de carbono almacenado en árboles.
- 15- Tabla de Análisis de Varianza para la variable de carbono acumulado en pasto y/o mantillo.
- 16- Especies arbóreas encontradas según el inventario realizado en la zona de estudio.

- 17- Información sobre la densidad de árboles por parcela, de las especies de gramíneas muestreadas en las unidades experimentales, de biomasa y carbono almacenado en el sistema pasto nativo con árboles.
- 18- Información sobre la densidad de árboles por parcela, de las especies de pasto muestreadas, de la biomasa y carbono almacenado en el sistema pasto mejorado con árboles.
- 19- Información sobre la densidad de árboles por parcelas, biomasa y carbono almacenado en el sistema total.
- 20- Aporte porcentual de biomasa por componente y para cada sistema.
- 21- Comportamiento de la densidad de árboles ha^{-1} en los sistemas evaluados.
- 22- Correlación de Pearson entre las variables biomasa y las clases diamétricas.

DEDICATORIA

- Dedico este trabajo en primer instancia a Dios.
- A mis familiares por el apoyo (moral y económico) que me brindaron durante el tiempo necesario para poder culminar con mis estudios profesionales, en especial a mi madre " María Eloisa Ordóñez Barrera".

José Isidro Molina Ordóñez.

DEDICATORIA

Este trabajo de diploma se lo dedico con mucho orgullo:

- A Dios.
- A mis padres: Juan Pastor Páiz Mendoza, Juana Escobar Téllez.
- A mis hermanos, sobrinos y a todo familiar que al igual que mis progenitores creyeron en mi capacidad de alcanzar esta meta.
- A todas aquellas personas amigas y compañeros que de alguna u otra forma representaron puntos de impulso para no sucumbir antes del tiempo de clausura del pénsum académico.

David Pastor Páiz Escobar.

AGRADECIMIENTOS

Es importante mencionar que este trabajo de Diploma fue posible su ejecución y culminación gracia a la colaboración y cooperación de:

NITLAPAN – UCA. Por representar la principal fuente financiera, específicamente en la parte logística.

Ingeniero Agrónomo, Alfredo Ruiz García. Por ser el principal en brindarnos de forma abierta y sincera el apoyo logístico y técnico, tanto como puente financiero y como asesor del trabajo.

Ingeniero Agrónomo con Orientación Forestal. Claudio Calero. Por su aportes técnicos que facilitaron la presentación de este trabajo de diploma.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Agroecosistema: Es el ecosistema natural intervenido por el hombre, para la producción de bienes agropecuario. Es una unidad de factores físicos, ambientales, elementos y organismos biológicos que presentan una estructura de funcionamiento y autorregulación incorporando el componente agropecuario (Rosa et al, 1998).

Almacenamiento de Carbono: Se refiere a la capacidad de un ecosistema de mantener una determinada cantidad promedio de carbono por hectárea, que nunca será liberado a la atmósfera (Ramírez, et al 1997). Para su cuantificación toma en cuenta tipo de bosque o vegetación, densidad de la madera, factores de ajuste que son datos de biomasa basados en volumen por hectárea. Este se expresa en $t\ C\ ha^{-1}$.

Alteraciones Antropogénicas: Modificación que sufre el medio producto de la acción del hombre.

Biomasa: Masa total de los organismos vivos, animales o vegetales, que viven en un medio diferente: Bosques, estanque, mar, etc.

Bosque: Ecosistema compuesto predominantemente por árboles y otra vegetación leñosa que crecen junto de manera mas o menos densa.

Bosques Secundarios: Ecosistemas que se regeneran luego de disturbios sustanciales (inundaciones, fuegos, cambios en el uso del suelo o extracciones de madera extensiva e intensiva) caracterizados por la escasez de árboles maduros y por la abundancia de especies pioneras, al igual que por rebrote en el subpiso densos y plantas herbáceas. Aunque los bosque secundario generalmente llegan a su punto máximo de acumulación de biomasa dentro de un ciclo de aprovechamiento, la transición hacia un bosque primario usualmente requiere de varias rotaciones de distintas duraciones, dependiendo de la severidad del disturbio original. La transformación irreversible de los suelos subyacentes y del ciclo de nutrientes ocasionado por el uso crónico o intenso pueden hacer imposible el retorno del bosque primario original.

Cambio Climático: Se entiende 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 periodos de tiempos comparables.

Carbono Fijado: Se refiere al carbono que una unidad de área cubierta por vegetación tiene la capacidad de fijar en un periodo determinado. (Segura, 1997). Este se expresa en $t\ C\ ha^{-1}\ año^{-1}$.

Carbono Real: Se refiere al carbono almacenado considerando las condiciones actuales de cobertura en cuanto al área y el estado sucesional: bosque primario, bosque secundario, potrero.

Carbono Secuestrado: Se refiere al flujo de carbono de la atmósfera a la tierra producto de la recuperación de zonas (regeneración) previamente deforestadas, desde de pastizales, bosques secundarios hasta llegar al bosque clímax. El cálculo por lo tanto esta definido por el crecimiento de la biomasa.

Clorofluorocarbonos CFC's: Sustancias químicas sintéticas que contribuyen con aproximadamente el 14% del efecto invernadero, tienen una larga vida activa, destruyen la capa de ozono causando que una mayor proporción de rayos ultravioletas alcancen la superficie de la tierra teniendo como consecuencia el provocar cáncer en la piel, daño en la agricultura, etc.

Depósito: Se entiende uno o mas componentes del sistema climático en que se está almacenando un gas de efecto invernadero o un precursor de un gas de efecto invernadero.

Emisiones: se entiende a la liberación de gases de efecto invernadero o sus precursores en la atmósfera en un área y un periodo de tiempo especificado.

Fuente: Se entiende cualquier proceso o actividad que libera un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas invernadero en la atmósfera.

Gases de Efecto Invernadero: Se entienden aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y reemiten radiación infrarroja.

Mecanismo de Desarrollo Limpio: Instrumento que permite que los países en desarrollo puedan implementar en su territorio proyectos que generen reducciones certificadas de emisiones y que la partes que financian puedan usarlas para acreditarlas al cumplimiento de sus compromisos de reducciones cuantificadas antes llamado implementación conjunta.

Metano (CH₄): Gas de efecto invernadero que se produce en forma natural por la descomposición de sustancias orgánicas en ambientes pobres en oxígeno, en el sistema digestivo de los rumiantes y en otros animales, en explotaciones de combustibles fósiles y en la quema de biomasa, causante del 19% del calentamiento global del planeta.

Oxido Nitroso (N_xO): Gas de efecto invernadero responsable del 5% del calentamiento global, proveniente de las Chimeneas de las centrales energéticas que utilizan carbón, de los tubos de escape de los automóviles, de la acción de los fertilizantes nitrogenados, de la descomposición de materia orgánica por microbios y provoca la lluvia ácida que afecta bosques, lagos, ríos y cosechas.

Potrero: Área dentro de una finca, destinada a la cría y sostenimiento de toda especie de ganado. Se excluyen de estas áreas los bosques riparios, los cuales son toda aquellas agrupaciones de árboles menores a 2 ha, que bordean ríos, quebradas permanentes e intermitentes y drenajes naturales, así como las áreas de bosques (sean estos en cualquier estado sucesional).

Revegetación: Se refiere a un proceso inducido de regeneración de la cobertura vegetal en zonas ambientalmente críticas, dado los niveles de deforestación y las características geobiofísicas. Se refiere a los principios agro ecológicos y de la conservación (Suelo y agua), como condición necesaria para lograr una actividad agrícola, pecuaria y forestal sostenible. Estos procesos incluyen a los de regeneración natural (De Alba et al 1997).

Servicios Ambientales: Son aquellos servicios provistos por los agroecosistemas y ecosistemas como entidades sinérgicas que sostienen la vida en el planeta. Entre los servicios ambientales destacan: La regulación del ciclo hidrológico (recarga de acuíferos, protección de cuencas hidrológicas, purificación del agua y control de inundaciones); Captura de carbono y regulación climática y la conservación de la biodiversidad (Azqueta et al 1996).

Sistema Climático: Se entiende la totalidad de la atmósfera, la hidrosfera, la biosfera y la geosfera y sus interacciones.

Sistema Silvopastoriles: Son la combinación de especies forestales o frutales y/o animales , sin la presencia de cultivos

Sumidero de Carbono: Un área específica que fije gases de efecto invernadero típicamente se refiere a un área de biomasa o cuerpo acuífero. Se le llama así a los bosque que fijan carbono para realizar fotosíntesis y compensar así las emisiones de carbono que circula en la atmósfera.

ABREVIACIONES

B: Biomasa

B t ha⁻¹: Biomasa toneladas por hectárea.

C A t ha⁻¹: Carbono almacenado por hectárea.

C. A: Carbono acumulado.

CH₄: Metano.

CFC: Clorofluorocarbono.

CO₂: Dióxido de carbono.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación.

GEI: Gas de efecto invernadero.

Gt: Giga toneladas (10⁹ toneladas)

IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.

N₂O: Oxido nitroso.

N_xO: Oxido de nitrógeno.

Pg: Pentagrama (10⁹ toneladas)

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente.

PPbv: Partes por mil millones de volumen.

PPmv: Partes por millones de volumen.

PRT: Potencial de recalentamiento de la tierra.

tc: Toneladas de carbono.

T c ha⁻¹: Toneladas de carbono por hectárea.

Tg: Teragramos (10⁶ toneladas)

RESUMEN EJECUTIVO

El cambio climático ha ganado mayor atención en las últimas décadas, por la presencia de fenómenos meteorológicos (fenómeno del Niño y la Niña) que se manifiestan con prolongadas sequías, incremento en las temperaturas y distribuciones irregulares de las precipitaciones, cuyas consecuencias se han sentido con mayor rigidez en las economías de las sociedades de países en desarrollo como el nuestro.

Así mismo, se han abierto paso muchas investigaciones, que explican los principales factores que dan pauta a las variaciones climáticas. Estas han revelado la existencia de un fenómeno, "efecto de gases invernadero" (GEI), vinculado directamente con el calentamiento de la superficie terrestre. Igualmente han puesto al descubierto ecosistemas (bosques, plantaciones, sistemas agroforestales y silvopastoriles) que brindan un tipo de servicio ambiental que mitigan el efecto de estos gases (GEI).

En el caso particular de Nicaragua la mayoría de los estudios, han sido enfocado en estimar la capacidad de los sumideros en almacenar y secuestrar CO_2 (este tiene un potencial de recalentamiento de la tierra alto por su tiempo de permanencia en la atmósfera) en algunos ecosistemas (principalmente bosques). Ejemplo: Siu Chow, en bosque latifoliado, Reserva Chococente, Rivas, 2001.

En ese sentido, este estudio se desarrolló en el municipio de Matiguás, Matagalpa. Donde se determinó la producción de biomasa y el carbono almacenado en zonas de uso del suelo meramente pecuario, en sistemas silvopastoriles (que combinan gramíneas mejoradas y nativas con leñosas) y sistemas tacotales. Este último alcanza valores alto en la producción de biomasa ($99.96 \text{ t B ha}^{-1}$) y carbono acumulado ($31.17 \text{ t C ha}^{-1}$). Por su parte el sistema silvopastoril (Pasto mejorado con árboles) alcanzó un valor en la producción de biomasa de $29.68 \text{ t B ha}^{-1}$ y de carbono $11.95 \text{ t C ha}^{-1}$, y el otro sistema silvopastoril obtuvo valores de biomasa y carbono de $19.99 \text{ t B ha}^{-1}$ y 8.21 t C ha^{-1} respectivamente.

Para efecto de estimar biomasa en las leñosas de las parcelas temporales, se midió antes la biomasa en una muestra destructiva (en estas se obtuvo por separado la biomasa de fuste, follaje, ramas y total por cada árbol), luego se probaron varios modelos alométricos de biomasa para estimar esa variable en las primeras leñosas. El carbono también se midió en las muestras destructivas y se estimó en las leñosas de las parcelas experimentales. A los datos se le aplicaron análisis de varianza y separaciones de medias según criterios de Duncan.

SUMMARY

Now a day the climate has gotten a high percentage of temperature that is cause by phenomenon meteorological (phenomenon of child) which they reveal enormous dry season, rise the temperature with a little precipitations irregulars, where the economy of countries societies in development is affected.

In that way we have found a lot of research where explain how the elements show some changes in the climate. There is something called "greenhouse gasses effect" (GEI), linked directly with the global warming in this way the have left desolate to the ecosystems like (forest, plantations, agro forest and silvopastoriles that help to mitigate the effect of the gasses.

In particular situation of Nicaragua there are a lot of research where shows in to esteem the capacity of drawing all of resources and getting CO₂ (this is a dangerous when it stay in the atmosphere because after overheating of the earth) in some ecosystems like forest. Example: Siu Chow in forest with big leaves, reserve Chococente, Rivas, 2001.

In that way, this research had developed in Matiguás, Matagalpa, where was determined the production biomass and carbon keeping in the land merely in livestock in systems tacotales. This one got a good production of biomass 29.68 t B ha⁻¹ and carbon 11.95 t ha⁻¹, and the last one to get some effects in to esteem biomass was parcel of land in some measure the biomass was showing like a destructor (in the got in separate the biomass of shaft, foliage and branches) after were tested a lot models alometric of biomass to esteem in the fist of woodies

1 - INTRODUCCIÓN

La preocupación mundial por los probables impactos que puedan ocasionar los cambios en el sistema climático global y sus consecuentes perjuicios sobre las actividades humanas y los recursos naturales, ha creado la necesidad de que los países del mundo consideren la posibilidad de formular políticas e implementar acciones que contemplen reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero causante del cambio climático global (PNUD/PNUMA, 2001).

Los avances en su comprensión y la crecientes evidencias de sus potenciales implicaciones sociales, económicas y ambientales a escala global, nacional y regional han en causado una serie de estudios científicos con el fin de encontrar las mejores alternativas de mitigación a la problemática presente (Ciesla, 1995).

Investigaciones realizadas recientemente demuestran que la cubierta forestal de carácter permanente, sistemas agroforestales y dentro de estos los sistemas silvopastoriles constituyen uno de los más importante sumideros del carbono atmosférico, el cual es fijado en las estructuras de las plantas. En tal sentido los sistemas silvopastoriles son una forma de uso de la tierra, que brindan este tipo de servicio ambiental, trayendo consecuencias positivas para el clima mundial y para el productor, en caso de comercializar dicho servicio, quedando claro que la alternativa más viable de sumidero de GEI, es la forestación de nuevas áreas de tierras que reúnen las características para tal fin, la conservación de bosque en peligro de extinción, rehabilitación de bosques, nuevas forma de agricultura y la agroforestería (IPCC, 1995, citado por Siu Chow, 2001).

Sin embargo, no debe olvidarse que la actividad pecuaria ha sido culpada de aportar grandes cantidades de metano a la atmósfera, ya que los bovinos y otros rumiantes producen este gas (Ciesla, 1995), también la degradación de pasturas contribuye considerablemente al aumento del CO₂ (Abarca, 1996, citado por Andrade, 1999).

La ganadería es una de las principales actividades del sector agropecuario nicaragüense. Entre 1950 y 1997 el área bajo pasto en el país incrementó de 0.8 a 4.2 millones de hectáreas (Kaimowitz, 1996), e igualmente el número de cabezas en el mismo período incrementó de 1.7 – 2.65 millones (Szott et al. 2000).

El sector ganadero nicaragüense se encuentra representado por los departamentos de Chontales, Boaco, Jinotega, Zelaya, Matagalpa, Río San Juan y Las Segovia. Dentro de la zona de Matagalpa una de las regiones de mayor importancia por su actividad ganadera es Matiguás, donde se ubica el área de estudio para esta investigación.

A pesar de existir una caracterización de las zonas ganaderas de Nicaragua y muchas referencias que determinan los tipos de sistemas silvopastoril que adoptan los productores en sus unidades de producción para el desarrollo de esta actividad económica, aun no existen referencias bibliográficas que demuestren cuantitativamente el aporte que realizan estos sistemas al almacenamiento del carbono en función de la biomasa producida en ellos.

En vista de lo antes expuesto, este estudio se enfocó en obtener información que indique desde el punto cuantitativo la capacidad actual de los sistemas silvopastoriles (específicamente aquellos que asocian pasturas tanto mejoradas como nativas con árboles dispersos en potreros) de almacenar carbono, establecidos en 24 unidades productivas en la parte baja de la micro-cuenca del río Bul Bul, Matiguás, Matagalpa, Nicaragua.

La información a obtener brindará pautas, que habilitarán la apertura de nuevas investigaciones en esta misma temática y en nuevas zonas de estudios en el ámbito regional y nacional. Igualmente, podría utilizarse como iniciativa que permita abrir espacio en el país a la promoción de estrategias de pago por servicios ambientales.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Determinación del carbono almacenado en función de la biomasa producida en tres tipos de uso del suelo (sistemas silvopastoriles y tacotal) en Matiguás, Matagalpa.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estimar la producción de biomasa y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles con árboles dispersos asociados a pasto mejorados.
- Estimar la producción de biomasa y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles con árboles dispersos asociados a pastos nativos.
- Determinar cuantitativamente la biomasa y carbono almacenado en los sistema tacotales.

HIPÓTESIS

- Los sistemas silvopastoriles presentan un menor potencial de almacenamiento de carbono y producción de biomasa en comparación a los sistemas tacotales.
- Los sistemas silvopastoriles que presentan pastos mejorados mas árboles dispersos presentan mayores promedios de biomasa y de almacenamiento de carbono, con relación a los sistemas que combinan árboles y pastos nativos.

II- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 - Cambio Climático

El clima del mundo ha cambiado a lo largo de la historia geológica. Estos cambios han influido en la existencia, abundancia y distribución de plantas y animales. La gran preocupación de que algunas actividades humanas, como la quema de materiales combustibles, la deforestación tropical, pueden, estar cambiando el clima mundial a una velocidad jamás antes conocida, esto puede tener profundos efectos desfavorables en los bosques y en su sostenibilidad a una escala global, y por tanto alterar las condiciones ambientales del planeta (Ciesla, 1995).

Desde los años 1850, se han venido midiendo los aumentos de CO₂ y CH₄ en la atmósfera que han ido acompañado de aumento en la temperatura mundial producido por una serie de causas naturales y antropogénicas. Si persisten las tendencias actuales, se pronostica que la concentración de CO₂ en la atmósfera se duplicara respecto del nivel de la revolución Pre – industrial llegando a unas 260 ppm para el año 2065. Esto influirá en el clima mundial y regional probablemente. Se pronostica un aumento de la temperatura de 2 a 5 °C, aumentando mayormente con la latitud y tendrá mayores efectos en los ecosistemas septentrionales (IPCC, 1995, citado por Andrade, 1999).

Los gases de efecto invernadero regulan la temperatura de la tierra. Los más importantes son: el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), el ozono (O₃) y los clorofluorocarbono (C. F. C). Sin estos gases la temperatura media de la tierra sería de -30° C, en lugar de +15° C y la vida tal como la conocemos hoy, no podría existir (IPCC, 1996, citado por Andrade, 1999).

Los científicos han identificado al dióxido de carbono como el punto de referencia de los gases de efecto invernadero. Para poder comparar estos gases se desarrolló el

concepto de Potencial de Recalentamiento de la Tierra (PRT) como método para establecer las diferencias de los tiempos de permanencia en la atmósfera y de los efectos radiactivos de los GEI. Por ejemplo el metano es un gas de vida relativamente corta, por consiguiente las emisiones de este gas tendrá su impacto mayor en el cambio climático durante las primeras décadas que siguen sus emisiones. En cambio los óxidos nitrosos y los clorofluorocarbono contribuyen al efecto invernadero por centenares de años porque son más estables y se descomponen muy lentamente en la atmósfera (IPCC, 1992, 1994).

2.2 – Los Bosques como Mitigadores de los Efectos del Cambio Climático

Las plantas verdes son uno de los componente principales del ciclo del carbono. Mediante la fotosíntesis absorben el CO₂ de la atmósfera. Los árboles acumulan y almacenan carbono en los tejidos leñosos, de modo que los bosques son sumideros de carbono. Brown, (1997) estima que los ecosistemas forestales tropicales pueden almacenar de 46–183 t C ha⁻¹. Estos bosques contienen aproximadamente el 46% del carbono terrestre del mundo y el 11% del carbono de los suelos del planeta. Las plantaciones de árboles de breve rotación y rápido crecimiento pueden almacenar de 8 a 78 t C ha⁻¹ según las especies, lugares y duración de la rotación (Ciesla, 1995).

Los bosques maduros, que ya no crecen mas alcanzan al mismo tiempo una acumulación cero de carbono, cuando los árboles mueren, arden o se talan, una parte del carbono se libera a la atmósfera. Los bosques secundarios se establecen como un acumulador de carbono en los primeros 25 años de vida, la cantidad absoluta que se acumula anualmente aumenta de manera exponencial desde un mínimo en el año 1 sucesional a un punto máximo de 100% a los 25 años. Luego desde el año 25 al 75 la cantidad acumulada tiende a reducirse exponencialmente hasta el año 75 de ahí en adelante el bosque almacena carbono (Calvo, 1998).

Los bosques debido a su capacidad de almacenar carbono, pueden mitigar los efectos de un cambio climático mundial. Se ha recomendado la reducción de las quemas forestales y aclareo, y por otro lado el aumento de las plantaciones de árboles como respuesta del sector forestal al problema del cambio climático, debido a esto en varios países esta en marcha iniciativas aceleradas de plantación de árboles (Ciesla, 1995).

Los bosques tropicales almacenan en la vegetación y el suelo 159 Gtc y 216 Gtc (giga toneladas de carbono) respectivamente. El CO₂ atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, este participa en la composición de todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (Follaje, ramas, raíces y troncos) (Brown, 1997).

Los componentes de la copa aportan materia orgánica al suelo, que al degradarse se incorpora paulatinamente y dan origen al humus estable, este a su vez aporta nuevamente carbono al entorno. Durante el tiempo que el CO₂ se encuentra constituyendo algunas estructuras de las plantas y antes de que llegue al suelo o a la atmósfera se considera almacenado, en el momento de su liberación ya sea por la descomposición de la materia orgánica y/o por la quema de la biomasa, el CO₂ fluye para regresar al ciclo del carbono. El uso del combustible fósil y el cambio del uso de los suelo son considerados a nivel mundial como las dos principales fuentes netas de CO₂ a la atmósferas relacionadas con el cambio climático global. Existen actividades de parte de los sectores industria, energía y agricultura que contribuyen a la emisión de gases de efecto invernaderos (Ciesla, 1995).

Según Dixon et al (1994), los bosques representan el 27% de la superficie terrestre y se calcula que contiene mas del 50% del carbono presente sobre la superficie terrestre y aproximadamente el 40% de todo el carbono existente en el subsuelo (Suelo, raíces y hojarasca en descomposición), lo cual equivale a casi 1.146 Gtc. De este total los bosques tropicales de bajas latitudes cuentan con aproximadamente

con el 37%, seguido de los bosques templados de latitudes medias con un 14% y por ultimo los bosques de altas latitudes con un 49%.

Una parte sustancial de la zona forestal existente en el mundo sufrirá un importante cambio en los tipos generales de vegetación, registrándose los más importantes en las latitudes altas y los menos en las regiones tropicales. Se espera que el cambio climático evolucione rápidamente en relación con la velocidad que crecen, se reproducen y se establecen las especies forestales. Por tanto probablemente perezcan tipos de bosques completos y se establezcan nuevos tipos de especies, y por ende, nuevos ecosistemas. Durante la transición de un tipo de bosque a otro puede liberarse grandes cantidades de carbono, porque la velocidad en que puede perderse carbono en momentos de elevadas mortalidad forestal es mayor que la velocidad en que puede ganarse desde el crecimiento hasta alcanzar la madurez (IPCC, 1995).

En los modelos climáticos se prevé, que el incremento sostenido de 1°C en la temperatura media global basta para originar cambios en climas regionales que afectara el crecimiento y la capacidad de regeneración de los bosques en muchas regiones; en varios casos esto altera la composición y función de los bosques naturalmente (IPCC, 1995).

Según Ciesla (1996), las especies vegetales que tienen una amplia distribución geográfica y grandes poblaciones serán las que probablemente sobrevivan al cambio climático. Especies como el *Pinus sylvestris*, que se extiende desde Europa occidental hasta Siberia, el *Pópulos tremula* y el *P. Tremuloides*, cuyas distribuciones se extienden en los dos continentes son ejemplos de esta situación. Las especies con distribuciones geográficas limitadas correrán mayores riesgos de extinción, igualmente ocurrirá con especies limitadas a las grandes alturas, que no podrán cambiar la propia distribución hacia mayores alturas como respuesta a un clima más caliente (Ciesla, 1996). Davis (1989) afirma que por cada 1°C más la distribución de

los árboles en el hemisferio septentrional puede expandirse 100 km hacia el norte, mientras que las fronteras meridionales se retiran.

Sin embargo Erickson et al. (1993). Afirman que el peligro de extinción de especies de plantas y la consiguiente pérdida de biodiversidad es mínima porque las plantas poseen variaciones genéticas que les permiten adaptarse a condiciones medioambientales cambiantes, considerando a la variación genética como requisito previo para la evolución, es un mecanismo poderoso que les permite a las plantas y animales cambiar y adaptarse.

Ciesla (1994), expresa también que existen procesos naturales que pueden ayudar a los árboles adaptarse considerando principales los siguientes:

- a) La aclimatación: que ocurre cuando poblaciones de árboles, debido a su variabilidad genética logran sobrevivir a los efectos del cambio climático.
- b) Migración: se presenta esta cuando especies de árboles migran hacia zonas con condiciones similares a las de sus habitas.
- c) Rasgos fisiológicos y de desarrollo: Ambos permiten que las especies arbóreas experimenten cambios permanentes como resultado de la evolución.
- d) frontera de distribución: Es el proceso natural que se da entre las especies arbóreas y que está determinado entre la competencia y/o rivalidad existente entre las especies.

Estudios de laboratorios sobre el índice de crecimiento y productividad de las plantas que crecen en un ambiente con niveles elevados de CO₂ han documentado aumento en los índices de fotosíntesis, reducción de la necesidad de las plantas de usar agua, mayor absorción de carbono y aumento en la actividad microbiológica del suelo. Esto produce mayores índices de fijación de carbono que a su vez estimulan el crecimiento. Sin embargo se duda que la producción vegetal pueda realmente incrementarse en un ecosistema natural donde apacentan los animales, los organismos patológicos, condiciones edáficas heterogéneas, incidencias de factores

climáticos y las diferentes interacciones que se pueden establecer entre especies, que en su conjunto son determinantes en su sobrevivencias (Ciesla, 1994).

Investigaciones recientes han demostrado, que en los pastizales tropicales los aumentos de las temperaturas medias no deben suponer importantes alteraciones de la productividad y la composición de las especies, aunque si pudiese hacerlo, la alteración de la cantidad y estacionalidad de las precipitaciones y el aumento de la evapotranspiración (IPCC, 1995). El incremento de CO₂ en la atmósfera puede elevar la relación carbono-nitrógeno de forraje para los herbívoros, reduciendo así su valor nutritivo. Los cambios de temperatura y precipitación en los pastizales templados pueden alterar las estaciones de crecimiento y ocasionar desplazamiento de límites entre las pasturas, bosque y zonas arbustivas (IPCC, 1995).

Los bosques y la vegetación en general, contribuyen al cambio climático global gracias a sus influencias sobre el ciclo global del carbono. Almacenan grandes cantidades de carbono en la vegetación y el suelo. Los bosques tropicales crecen más rápidos que los bosques del norte, por lo que la fijación de carbono en su biomasa es mayor. Cada metro cúbico de madera absorbe aproximadamente un cuarto de tonelada de carbono; así cada cuatro metros cúbicos de madera con tiene una tonelada de carbono. De esta manera los bosques contribuyen a la mitigación de los gases de efecto invernadero (Cuéllar, 1999).

2.3 - Las plantaciones forestales y agroforestales como fijadoras de carbono

Es generalmente aceptado que las plantaciones juegan un papel muy importante en la captura y almacenaje de grandes cantidades de carbono atmosférico. Las plantaciones con especies tropicales de rápido crecimiento son un pequeño sumidero de carbono por la relativa pequeña área con relación a otras formas de uso del suelo. El área anualmente plantada en los trópicos es menos del 10% de la cantidad del área deforestada simultáneamente y solo podría capturar 0.3% del carbono liberado por la deforestación. La reforestación con plantaciones puras tiene

inconvenientes financieros que las han limitado en la mayoría de los países latinoamericanos. La reforestación con árboles maderables a densidades bajas, a dado un incremento en ingreso de los productores. Este sistema tiene la capacidad de fijar cantidades importantes de carbono en la madera de los árboles (Botero, 1998).

En años recientes se ha sugerido que el establecimiento de grandes áreas de plantaciones forestales tienen un impacto sobre la mitigación de los gases invernaderos en la atmósfera. Se piensa que los países tropicales podrían contribuir a fijar grandes cantidades de carbono, debido a que poseen condiciones favorables, de clima, suelo y áreas para el establecimiento de tales plantaciones. Por otro lado, el desarrollo planificado de plantaciones puede ayudar a los países productores de madera tropical a manejar sus recursos forestales en forma sostenible, reduciendo la presión sobre los bosques naturales (Asamadu, 1998).

Para el desarrollo de plantaciones se sugiere la utilización de especies de rápido crecimiento, preferiblemente nativas, que en corto periodo fijen grandes cantidades de carbono en su biomasa (Asamadu, 1998, Brown, 1997). La importancia de las plantaciones forestales de rápido crecimiento para almacenar carbono se basa en una mayor tasa de fijación. Se estima que una plantación arbórea sana absorbe o secuestra alrededor de $10 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de la atmósfera, dependiendo de las condiciones del lugar. Además, de una producción de biomasa alta, otra característica importante a tomar en cuenta es el tiempo de permanencia de la plantación hasta su cosecha (Beaumont, 1999).

Las plantaciones de producción de madera para aserrío contribuyen en mayor medida a la mitigación de gases de efecto invernadero que aquellas destinadas para la producción de pulpa de papel y leña. Sin embargo, las especies para pulpa son generalmente de crecimiento mas rápido y logran fijar mas dióxido de carbono en poco tiempo. El uso de madera proveniente de plantaciones forestales de rápido crecimiento para la fabricación de muebles, casa, encofrados, juguetes y tornería es

una manera eficaz para fijar CO₂; así el carbono fijado queda fijado en las estructuras por largo tiempo (Alfaro, 1997).

Un estudio de (Sedjo y Solomon 1989, citado por la FAO, 1993), Concluyen que el aumento actual del carbono atmosférico (1.5 ppm año⁻¹) podría ser absorbido en casi 30 años aproximadamente en 465 millones de hectáreas de plantaciones forestales, con un aumento de 14.5 millones de ha año⁻¹, lo que significa un aumento de mas del 10% del área forestal actual existente en la superficie terrestre.

Específicamente en los trópicos existen tierras disponibles para el establecimiento de plantaciones forestales según estudios de (Grainger, 1990, citado por la FAO 1993), concluye que en los trópicos existe la cantidad 621 millones de hectáreas técnicamente disponibles y estudios realizados por Houghton et al, (1991) revelan que hay mas de 865 millones de hectáreas de tierras disponibles para plantaciones forestales. Sin embargo estos estudios no consideran los factores socioeconómicos y otras restricciones para la iniciativa de forestación de larga escala además de la disponibilidad de la tierra. Los factores socioeconómicos por un lado, permiten determinar que las decisiones de comprometer un área para el establecimiento de plantaciones deben ser: tecnológicamente apropiada, económicamente factible y socialmente aceptable (FAO, 1993).

Los sistemas agroforestales no sólo actúan como sumideros de carbono, sino que también evitan el agotamiento de los sumideros ya existentes, al reducir la presión sobre los bosques. Al convertir la madera en muebles o usarla en construcción, esta actúa como depósito de carbono hasta su descomposición completa, que pueden, ser muchos años (Dixon, 1995). En algunos sistemas agroforestales en Centroamérica se han estimado tasas de fijación de carbono que varían desde los 0.1 hasta 3.6 t C ha⁻¹ año⁻¹. La fijación de carbono esta en función directa del crecimiento en biomasa de una plantación, ya que es aceptado que un 50% de la biomasa está constituido por este elemento (Brown Y Lugo, 1984, IPCC; 1995).

2.4 - Sistemas Silvopastoriles

Un sistema silvopastoril es una opción de producción pecuaria que involucra la presencia de leñosas perennes (árboles o arbustos) y de los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas y animales), en donde ellos interactúan bajo un sistema de manejo integral (Somarriba, 1992, citado por Casasola, 2000). Los sistemas silvopastoriles son prácticas agroforestales que contribuyen con la economía y la sostenibilidad biótica del sistema de producción (Beer y Guevara, 2000; Souza et al. 2000, citado por Casasola, 2000).

Algunos ejemplos de sistemas silvopastoriles son: Las leñosas en callejones (Alley farming), el pastoreo en plantaciones de árboles frutales o maderables, barreras vivas o cortinas rompevientos, las cercas vivas, los árboles y arbustos dispersos en potreros y los bancos forrajeros, siendo el penúltimo sistema silvopastoril de gran interés para este trabajo.

2.4.1 - Potreros con árboles dispersos

La presencia de árboles en bajas densidades en las pasturas ($4 - 30$ árboles ha^{-1}) es frecuente en los potreros de Centroamérica. Los árboles en pasturas proveen sombra, forraje, frutos, secuestro de carbono y mantienen la biodiversidad (Barrios et al. 1999; Harvey y Haber. 1999; Camargo et al. 2000; Souza et al. 2000; citado por Casasola 2000). En Centroamérica un alto porcentaje de finqueros manejan árboles en sus potreros para proveer sombra a sus animales especialmente en las regiones calientes pues estos ayudan a contra restar el estrés calórico de los animales, Ya que se ha estimado que de bajo de la copa de los árboles la temperatura es de 2-3 °C menor que la temperatura ambiente (Souza et al. 2000; citado por Casasola, 2000). En un estudio realizado en Costa Rica demuestra que la producción de leche de vacas pastoreadas a la sombra fue de 20.5 veces mayor que la encontradas en vacas pastoreadas a pleno sol (Souza et al. 1999).

Anteriormente, se ha mencionado que los bosques y sistemas agroforestales son sumideros importantes de carbono. Igualmente las pasturas mejoradas podrían estar secuestrando en el suelo cantidades similares (Fischer, et al, 1994). Según Houghton, (1991) encontró que la capacidad promedio de secuestro de carbono en el trópico americano es de 60 t C ha^{-1} , y para agroforestería es de 95 t C ha^{-1} (Winjum et al, 1992, citado por Andrade, 1999). Igualmente las pasturas mejoradas podrían estar secuestrando cantidades de carbono que varían de los 100 a 507 M t C año^{-1} (Megatoneladas), la mayor parte se ubica en las capas mas profundas del perfil del suelo, mas allá de la capa arable. *Brachiaria humidicola* y *Andropogum gayanus* contribuyen con mucho mas carbono al contenido del suelo que los pastos nativos, especialmente al asociarse a algunas leguminosas (Fisher et al, 1994).

Un estudio realizado en Costa Rica manifiesta que la industria forestal en dicha nación es abastecido en gran medida con materia prima proveniente de los árboles establecidos en potreros, donde para el año 1995 se estimó un volumen promedio de 571, 500 m^3 de madera, encontrándose a la vez, que el volumen de madera proveniente de potreros tiene un mayor porcentaje de volumen aprovechable comparado con la del bosque (COSEFORMA, 1995).

En pastizales tropicales, a lo largo de un amplio rango de zona de vida, hay igual o mas carbono orgánico en el suelo que lo que hay en bosques adyacentes. Este es el caso de las pasturas menores de 20 años donde las altas producciones de raíces explican quizás porque las pasturas acumulan tanto carbono en el suelo, según investigaciones realizadas por Brown Y Lugo, (1993).

2.4.2 - Componente vegetal de los sistemas silvopastoriles y de pasturas

En los Sistemas Silvopastoriles, además de la acumulación de carbono en las gramíneas y las leguminosas rastreras (en caso de existir), esta la acumulación del carbono en las maderas y las raíces del árbol. En general los sistemas silvopastoriles tienen mayor productividad primaria neta como consecuencia de su mayor captación de luz, mayor ciclaje de nutrientes y mayor eficiencia en el uso de los recursos como el agua (Veldkamp, 1993).

Como se ha, dicho antes la mayor productividad primaria neta implica mayor movilización del carbono en el sistema. Un ejemplo claro de ello, son los datos encontrados por Ramírez (1997) en el valle del Cauca Colombia, en el cual se nota un aumento en el contenido del carbono en el suelo, con el hecho de combinar las pasturas con *Leucaena leucocephala* y *Prosopis juliflora*.

Tabla 1. Contenido del carbono en suelo (%) de dos sistemas silvopastoriles vs monocultivos de gramíneas.

Sistemas	Profundidad		
	0 – 10 cm	10 – 20 cm	20 – 30 cm
<i>Cynodon plectostachius</i> + <i>P. Juliflora</i> + <i>L. Leucocephala</i>	1.69	1.4	0.93
<i>Cynodon plectostachius</i> + <i>P. Juliflora</i>	1.49	1.19	0.65
<i>Cynodon plectostachius</i>	1.00	0.7	1.48

Fuente: Adaptado de Ramírez, 1997.

III - MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 - Ubicación del área de estudio

La investigación fue realizada en la parte baja de la micro-cuenca del río Bulbul, en el Municipio de Matiguás. Según Levard et al (2001) el Municipio se ubica en las región central de Nicaragua a 249 Km de la capital de Nicaragua. El lugar se encuentra entre las coordenadas geográficas de 85° 27' N y 12° 50' O, en el departamento de Matagalpa. Las características biofísicas y climáticas del municipio son: precipitación entre 1200-2000 m año⁻¹ y altitud de 200-900 msnm. La micro-cuenca del río bulbul presenta una precipitación de 1800–2000 mm año⁻¹. La altitud está entre los 200–500 msnm, topografía generalmente ondulada con pendientes fuertes (3 al 50%), suelo predominantemente arcilloso y temperaturas medias anuales andan por el orden de los 27° C (Levard et al, 2001).

3.1.1 - Aspecto Generales de la micro-cuenca

La micro-cuenca del río Bul Bul, alcanza un área de 100 km², su cauce principal desemboca en el curso principal de la cuenca del río Matagalpa.

En la parte alta de la micro-cuenca la principal forma de uso del suelo esta representado por: Agroforestería (principalmente café con sombra), agricultura de subsistencia, bosque de protección y conservación del recurso hídrico y fauna.

La parte media y baja tienen bien identificadas las formas de uso del suelo para actividades pecuarias, agrícola y bosques remanentes de protección. En el caso de la última zona la actividad pecuaria es la forma de uso del suelo de mayor cobertura, característica que permitió seleccionarla, para el desarrollo de esta investigación. Las principales comunidades que se cubrieron son: Patastule, Limas Arribas y Limas Abajo. Existe una trocha que permite tener acceso a todas las comunidades en

vehículos livianos y pesados. Todas las observaciones anteriores de caracterización general se llevaron acabo, mediante un previo reconocimiento de la zona de estudio.

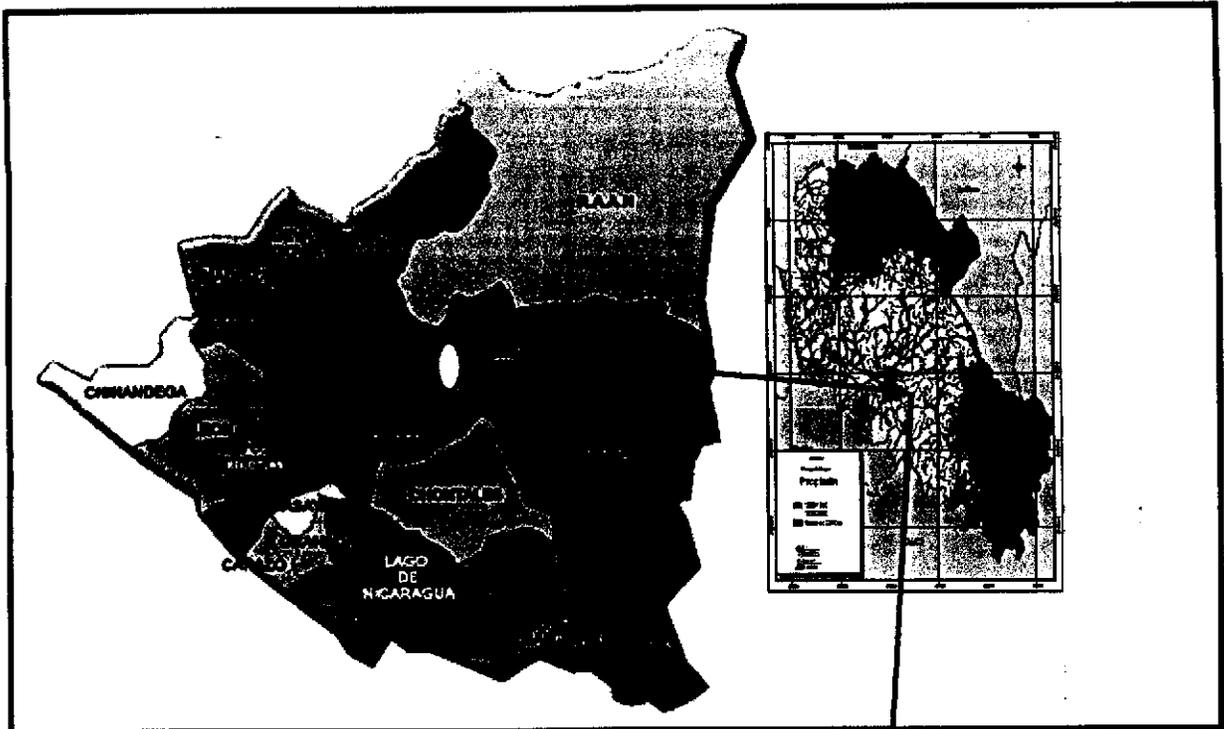


Figura 1: Mapa de Nicaragua y ubicación de la zona de estudio, Matiguás, Matagalpa, 2002.

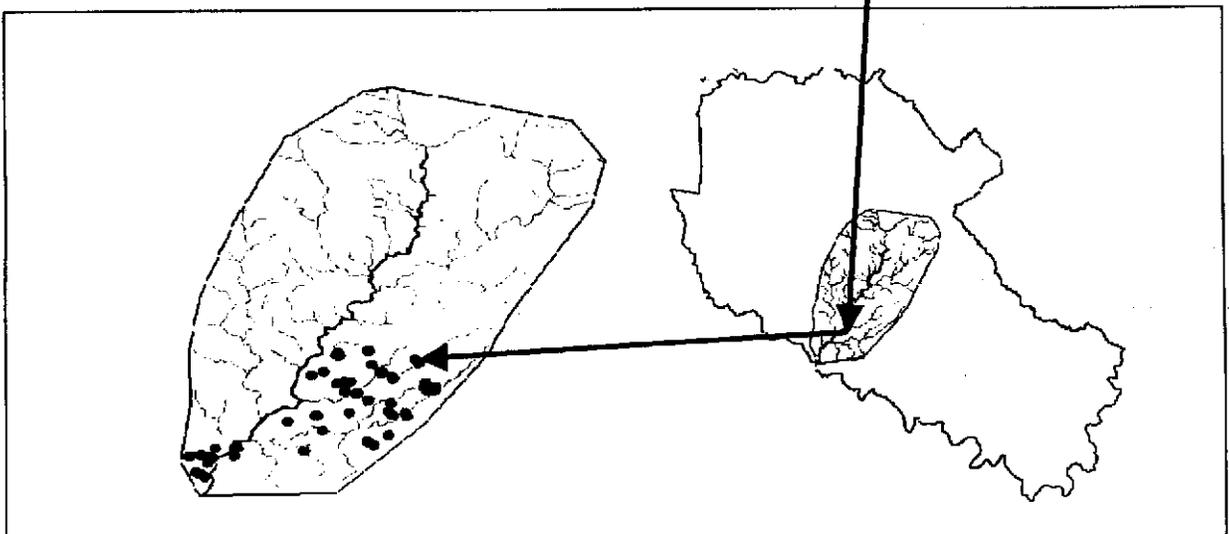


Figura 2: Mapa de ubicación de la micro cuenca del río Bul Bul y distribución de la muestra en Matiguás, Matagalpa, 2002.

3.2 - Características Generales del Municipio de Matiguás

El municipio de Matiguás se ubica en la Región Central de Nicaragua a 250 Km al Norte de la Capital de Nicaragua sus principales características se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Ubicación, delimitación y características del municipio de Matiguás, Matagalpa, 2002.

Extensión territorial	1335 km ² . Compuesto por 33 comarcas
Distancia de la capital	249 kms de Managua, capital de Nicaragua.
Al Norte	Municipio el Tuma la Dalia y Rancho Grande.
Al Sur	Municipio de Camoapa y Boaco
Al Este	Municipio de Río Blanco y Paiwas(R.A.S.S.)
Al Oeste	Municipio de Muy Muy y San Ramón.
Población total (1995)	38,584 habitantes.
Población Urbana	19%
Población Rural	81%
Densidad poblacional	29 hab/km ²

Fuente: Levard et al., 2001.

vista de que esta zona, es meramente ganadera es la primera condición la que prevalece, explicando en parte el porque no existen muchas unidades productivas con estos sistemas.

3.4 - Diseño de la investigación

3.4.1 - Diseño experimental

Se aplicó un diseño factorial (3*2*5), los tratamientos corresponden a los sistemas mencionados en el acápite anterior, y dos niveles que corresponden a pendientes de 0 – 20% y pendientes mayores a 20% (tabla 3).

Tabla 3. Diseño Completo al Azar para evaluar los sistemas silvopastoriles.

Pendiente 0 – 20%			Pendiente mayores 20%		
A	B	C	A	B	C
A1.1	B1.1	C1.1	A2.1	B2.1	C2.1
A1.2	B1.2	C1.2	A2.2	B2.2	C2.2
A1.3	B1.3	C1.3	A2.3	B2.3	C2.3
A1.4	B1.4	C1.4	A2.4	B2.4	C2.4
A1.5	B1.5	C1.5	A2.5	B2.5	C2.5

(A): Pastos nativos más árboles dispersos; (B): pasto mejorado más árboles dispersos;
(C): Tacotales pastoreados.

3.4.2 - Modelo Aditivo Lineal -

$$Y_{ij} = \mu + P_i + T_j + PT_{ij} + D + E + e_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij} = Es el resultado de biomasa y carbono almacenado esperado debido a la pendiente y a los sistemas evaluados.
 μ = Es la media general de los sistemas.

P_i	=	Es el efecto de la pendiente i.
T_j	=	Es el efecto de los sistemas j.
PT_{ij}	=	Es el efecto de la interacción pendiente por sistema.
D	=	Densidad de árboles como covariable.
E	=	Edad de los sistemas como covariable.
e_{ij}	=	Es el error experimental.

3.4.3 - Muestreo de fincas

En el área de estudio, se identificaron un total de 51 unidades de producción, de las cuales se seleccionaron 24 (47%) unidades productivas completamente al azar, para la realización del presente estudio. El método de azarización aplicado, fue mediante la técnica y/o método de sorteo; En una bolsa se introdujeron 51 trozos de papel quienes estaban codificadas con el nombre de los productores, que representan las unidades productivas localizadas en la zona de estudio, los primeros 24 trozos que se extrajeron fueron las unidades productivas que se escogieron para el estudio.

3.4.4 - Muestreo Aleatorio

En el estudio se estipuló determinar una muestra estadística para cada uno de los depósitos (Componente arbóreo, pasto y mantillo) y sistemas evaluados (pasto nativo mas árboles dispersos; pasto mejorado mas árboles disperso y Tacotales). El tamaño de la muestra (n) definida para cada sistema fue de 10 unidades experimentales, dando así un n muestral de 30 parcelas y/o unidades experimentales.

3.4.5 - Selección de las unidades de muestreo (parcelas de medición)

3.4.5.1 - Selección de parcelas:

Para efecto de la selección de parcelas se utilizó el método de muestreo aleatorio. Cada una de las fincas fueron previamente caracterizadas mediante un recorrido, con el fin de observar si las unidades productivas contenían los sistemas

considerados en el estudio. En el caso de identificarse uno o varios de los sistemas evaluados. En caso de ser sistemas silvopastoriles se consultaba lo siguiente:

- a)- Las especies de pasto deben tener una edad mayor de tres años.
- b) - No haber aplicado quema en los tres últimos años.
- c) - El hato no estar presente en el momento de levantar la información en el sistema.

3.4.6 - Tamaño, forma y ubicación de las parcelas en el terreno

3.4.6.1 - Parcelas para sistemas silvopastoriles

Para este estudio se utilizaron parcelas circulares de área 1000 m^2 y dentro de esta se establecieron subparcelas que sus formas y tamaños estuvieron en función de los tipos de vegetación a medir. El tamaño de las parcelas para hacer el muestreo en pasturas fue de 0.25 m^2 , para el caso de las especies leñosas con diámetros de 2–5 cm se utilizó un tamaño de parcela de 25 m^2 , los diámetros entre 5-15 cm se midieron en una parcela de 250 m^2 y los diámetros mayores a los 15 cm se midieron en la parcela de 1000 m^2 (Tabla 4 y figura 3).

3.4.6.2 - Parcelas para regeneración natural (tacotal)

En el caso de las parcelas de los sistemas tacotales se utilizó una parcela de muestreo con área de 400 m^2 de forma circular, dentro de la que se midieron todos los árboles a partir de los 2 cm de diámetro. En el caso del mantillo fue medido en una subparcela de área de 1 m^2 de forma cuadrada (Tabla 4 y figura 3).

Tabla 4. Categoría de vegetación con la forma y tamaño de parcelas de muestreo.

Componente	Forma	Área m ²	No de parcelas / unidad de muestreo
Biomasa de pastos y hojarascas	Cuadradas	0.25 (pasto) y 1 (mantillo)	3 (pastos) y 4 (mantillo)
2<Dap<5	Cuadradas	25	1
5≤Dap<15	Cuadradas	250	1
Dap>15	Circular	1000	1
Tacotales	Circular	400	1

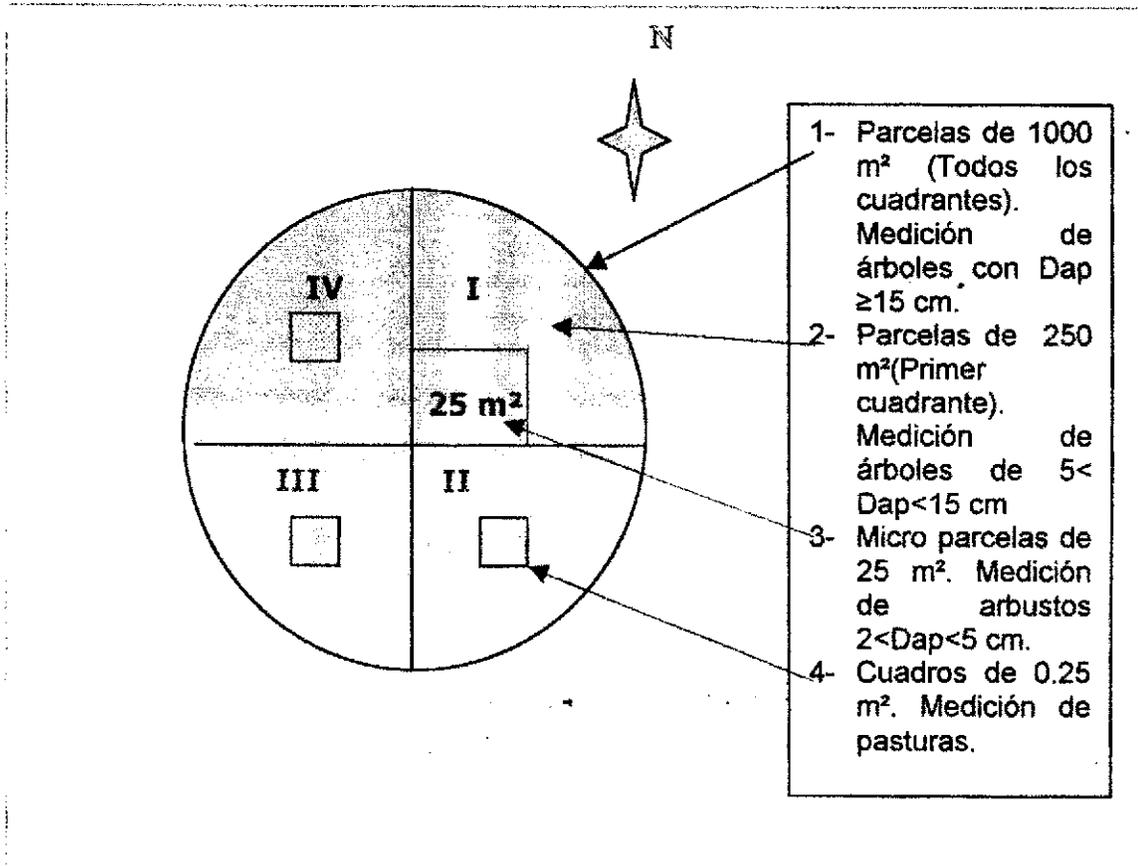


Figura 3: Parcelas circulares de 1000 m² para la medición de biomasa y carbono en los sistemas silvopastoriles. Modificado de Márquez (1997).

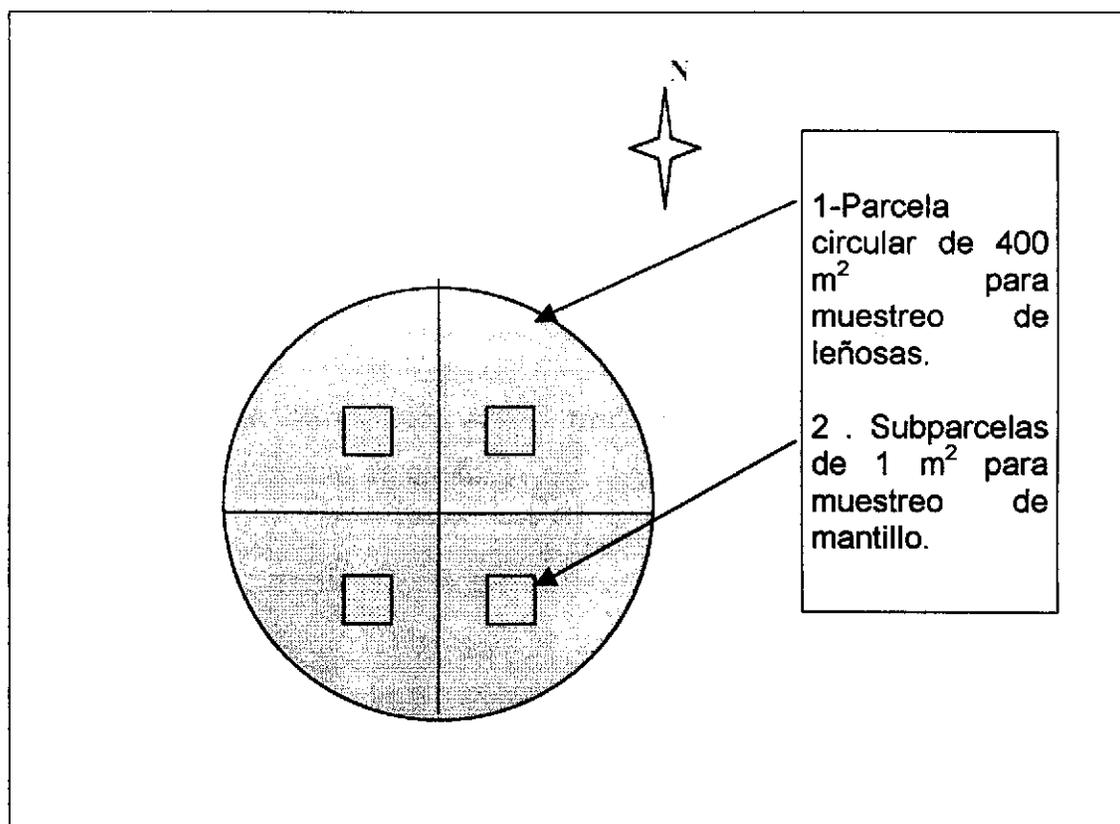


Figura 3. Parcela circular de 400m² para la medición de biomasa y carbono en los sistemas tacotales. Modificado de Márquez (1997).

3.4.7 - Delimitación de las parcelas

3.4.7.1 - Sistemas Silvopastoriles

Una vez identificado uno de estos sistemas, se marcó un punto al azar (centro de la parcela de área de 1000 m²), mediante el lanzamiento de un objeto (piedra, martillo, trozo de palo, etc), que sería la referencia para medir un primer radio (17.84 m) de la parcela en dirección norte, posteriormente se trazaban los tres radios restantes. Una vez realizado esto, se obtenía una parcela circular con cuatro cuadrantes de 250 m². Se consideraba el orden de estas a partir del norte.

En el caso de las subparcelas de 25 m² se delimitaban en el primer cuadrante de la parcela circular. Las subparcelas (0.25 m²) para el muestreo del componente pasto,

se delimitaban en el centro de los cuadrantes 2, 3 y 4. Sus dimensiones estaban predefinidas en un cuadrado de 0.5 m * 0.5 m.

3.4.7.2 - Sistema Tacotal

En los sistemas tacotales las parcelas circulares (400 m²) fueron delimitada con la misma metodología utilizada en las parcelas de 1000 m² explicadas anteriormente, con la diferencia de que los radios tenían una distancia menor (11.28 m) que obedecía al área misma de estas..

En cuanto a la delimitación de las subparcelas para las muestras del componente mantillo, se le diseño un cuadrante con área de 1 m² y se aplicó la misma metodología usada en la delimitación de las subparcelas de pasturas, con la diferencia que se realizaba en los cuatros cuadrantes.

En los casos donde la pendiente resultó ser mayor al 20%, se corrigió la distancia de los radios con la ayuda de la formula (radio corregido), tanto en las parcelas utilizadas en los sistemas silvopastoriles, como en las parcelas de los sistemas tacotales.

3.4.8 - Descripción de las mediciones del componente arbóreo en los sistemas evaluados

3.4.8.1 - Muestreo del componente árbol en sistemas silvopastoriles

Una vez definida la delimitación de la parcela, se procedió a realizar el inventario de los árboles en cada una de las subparcelas, tomando encuesta para esto las categorías diamétricas estipuladas para este fin. Las principales variables medidas en este inventario fueron: El Dap y la altura (Dap, para los árboles identificados con las categorías diamétricas de 5–15 cm y las mayores a 15 cm y en el caso de la categoría diamétrica de 2–5 cm únicamente se midió diámetro).

Los primeros árboles que se inventariaban eran los ubicados en el primer cuadrante de 250 m², en este únicamente se midieron los árboles entre 5–15 cm de Dap. Posteriormente se midieron los árboles con Dap mayor a 15 cm que se encontraran dentro del área de la parcela circular (1000 m²). Finalmente se inventariaban los árboles con diámetros menores a 5 cm ubicados en la subparcela de 25 m², delimitada en el primer cuadrante. Es pertinente mencionar que este orden cronológico de levantar los datos no necesariamente se cumplió con la misma secuencia.

3.4.8.2 - Muestreo del componente árbol en tacotales

Cuando se había definido la delimitación y ubicación de la parcela en el sistema tacotal, se procedió a inventariar el componente arbóreo que se encontraba dentro del área (400 m²) de la parcela, a quienes se les midió las mismas variables consideradas para el caso del componente arbóreo en los sistemas silvopastoriles (Dap y altura total). Es pertinente aclarar que en los sistemas tacotales no se consideraron categorías diamétricas para efectos de medición en el inventario mismo que se iniciaba en cualquiera de los cuadrantes de la parcela.

3.4.9 - Descripción de las mediciones de las pasturas y hojarasca de los sistemas evaluados

3.4.9.1 - Muestreo del componente herbáceo

El levantamiento de las muestras de pasto se realizó en los cuadrantes 2, 3 y 4 de la parcela circular de 1000 m². La subparcela de 0.25 m² (para la muestra de pasto), era ubicada en el centro de cada cuadrante, esto se hizo trazando una línea de 10 m de distancia, a partir del centro de la parcela circular. Una vez ubicada y delimitada el área de la submuestra de pasto, con ayuda de tijeras podadoras y machetes se cortaban todas las plantas herbáceas que caían dentro del área de 0.25 m² y posteriormente se pesaba (gr), así se levantaron todas las muestras de pasto. Cuando ya se habían levantado las tres submuestras se procedía a realizar una

mezcla para obtener una submuestra de pasto. Esta última se pesaba en gramos (obteniéndose así su peso fresco), empaquetada y etiquetada para luego ser trasladada al laboratorio, donde se le determinaría su peso seco (gr), porcentaje de materia seca y la fracción de carbono.

3.4.9.2 - Muestreo del componente mantillo

El procedimiento para levantar las submuestra del mantillo, tiene un poco de similitud con la utilizada para el caso del componente herbáceo.

Cuando se había terminado de inventariar el componente arbóreo, se procedió a levantar las submuestras de hojarascas y trozos leñosos concentrados en el mantillo (en un área 1 m²). La subparcela se ubicaba aproximadamente en el centro de cada uno de los 4 cuadrante de la parcela, mediante el trazado de una línea de distancia de 5.5 m a partir del centro de la parcela grande (400 m²). Seguidamente se levantaba y pesaba la submuestras de hojarascas, este procedimiento se realizaba también con las submuestras de trozos de leñosas. De esta manera se obtenían 4 submuestras de hojarascas y de leñosas, estas se mezclaban por separado para extraer una submuestra de hojarascas y una de leñosas, que a su vez fueron empaquetadas, pesadas (kilogramos) y rotuladas. De estas últimas muestras, se obtenían sus pesos húmedos en kilogramos en el campo, luego se trasladaron al laboratorio donde se les determinó su peso seco (gr), porcentaje de materia seca y fracción de carbono. Este procedimiento se aplicó para todas las muestras del componente mantillo extraídas de las parcelas en los sistemas tacotales.

3.5 - Muestreo de árboles para la medición de biomasa real en campo

Para esto fue necesario primeramente determinar las especies mas representativas de la zona de estudio que conformarían las muestras destructivas, encontrándose entre estas: *Guazuma ulmifolia*, *Platymiscium pleiostachyum*, *Tabebuia rosea*, *Albizia saman*, *Cordia alliodora*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Cassia grandis*. En total se consideró una cantidad de 51 árboles distribuidos en las siete especies (anexo 8).

Una vez identificadas las especies en el terreno, a estas se les media el Dap, la altura del fuste y altura total, seguidamente eran taladas para cubicar en su totalidad las principales ramas ($Dap \geq 5mc$); Las ramas secundarias de ($Dap \leq 5cm$) se deshojaban para ser pesadas (libras). Cuando el follaje no era tan abrumante se pesaba en su totalidad, en cambio cuando era muy denso se procedía a calcularle el área de cobertura en el suelo y a extraer de esta tres submuestras de follaje (con área de $1 m^2$) que se pesaban (libras). Luego, a través de una relación de tres se obtenía el peso del follaje de la copa del árbol, estimando así su biomasa en hojas.

3.5.1 - Gravedad específica

De cada una de las siete especies, se seleccionó un árbol, para extraer de este un trozo de madera del fuste y ramas con diámetros mayores de 5cm, a estos se les determinó a nivel de laboratorio su gravedad específica (anexo 9). De la gravedad específica de fuste y ramas se obtuvo un promedio de gravedad específica que se utilizaría para el calculo de biomasa del fuste por árbol y por especie.

3.5.2 - Fracción de carbono

Este dato al igual que la gravedad específica se obtuvo en el laboratorio para las especies de las muestras destructivas (anexo 9), mismo que se utilizaría para el calculo de carbono acumulado real por especie en la muestra destructiva.

3.5.3 - Medición de Volumen y biomasa en la muestra destructiva

Entre las principales formulas empleadas para el desarrollo de los cálculos podemos citar:

a) Biomasa de Fuste

$$Bf = Vf \times GEf$$

Donde: Bf: Biomasa de fuste (t); Vf: Volumen de fuste (m³); GE: gravedad especifica promedio de fuste y ramas (gr/cm³).

b) Volumen de Ramas

b.1 - Volumen de ramas gruesas: Se obtuvo con la formula de Smallian que considera los diámetros de los extremos de la troza y la longitud de la misma.

$$Vr = AB_1 + AB_2/2 * L$$

Donde:

AB₁ = Área basal uno (m²).

AB₂ = Área basal dos (m²).

L = Longitud de la troza (m).

b.2- Biomasa de ramas gruesas: Se estimó con la información de volumen y la gravedad especifica promedio obtenida entre el fuste y ramas.

$$Br = Vr \times GE$$

Donde:

Br: Biomasa ramas (t)

Vr: Volumen de ramas (m³)

GE: gravedad especifica promedio del fuste y ramas (gr/cm³)

b.3- Biomasa de ramas delgadas (t):

La biomasa de ramas (con diámetros menores a 5cm), se obtuvo mediante la fórmula que multiplica el peso fresco de todos los trozos de ramas pesados en el campo con el % de materia seca determinado a nivel de laboratorio.

$$B_{rp} = (P_{rp} \times \% MS) \div 100$$

Donde:

B_{rp} = Biomasa de ramas pequeñas (t)

P_{rp} = Peso de ramas pequeñas (kg)

%MS = Porcentaje de materia seca (%)

c) Hojas

c.1- Biomasa de hojas: se obtuvo directamente con el peso en campo de todas las hojas y con el % de materia seca de los resultados de laboratorio.

$$B_h = (P_h \times \% MS) \div 100$$

Donde:

B_h = Biomasa de hojas (t).

P_h = Peso fresco de las hojas (kg).

%MS = Porcentaje de materia seca.

d) Biomasa total

Se obtiene por la sumatoria de la biomasa de fuste, biomasa de ramas y biomasa de hojas.

Donde:

$$B_t = B_f + B_r + B_h$$

B_t = Biomasa total (t).

B_f = Biomasa fuste (t).

B_r = Biomasa ramas (t).

B_h = Biomasa hojas (t).

3.5.4 - Carbono Almacenado Real en las Muestras Destructivas

En el caso de determinar el carbono almacenado en las especies mas representativas (muestras destructivas), se logró mediante la formula que multiplica la fracción de carbono de la especie con la biomasa total de ella (especie) .

$$C.A = frc \times B_t$$

Donde:

C. A = Carbono almacenado (t)

Frc = fracción de carbono determinado en laboratorio.

Bt = Biomasa total (t)

3.6 - Cálculos para estimar biomasa en las parcelas temporales de muestreo

En el caso de la biomasa de las leñosas, se determinó mediante el desarrollo de ecuaciones alométricas de biomasa (logarítmica, exponencial, logaritmo naturales y lineales). En total se probaron 21 modelos (anexo 10), que generalmente utilizan para el cálculo de biomasa las variables de diámetro y altura total.

Los parámetros o indicadores determinantes del mejor modelo a aplicar fueron:

- a) El coeficiente de determinación (R^2)
- b) Coeficiente de variación (CV%)
- c) Prueba de F (análisis de variancia): $Pr > F$ para el modelo y la prueba de significancia para cada parámetro del modelo
- d) Una prueba de sesgo de estimación del modelo, utilizando la diferencia agregada (DA), (CAO et al. 1980; MAX et al. 1985; REAL 1989).

Con el objetivo de comparar los valores reales de biomasa medido con el valor estimado por los modelos, se utilizó un método de medición de sesgo denominado diferencia agregada (DA), utilizada para evaluar modelos de estimación de biomasa en áreas forestales (CAO et al. 1980; MAX et al. 1985; REAL 1989). Se obtiene a través de medias de los residuales.

$$DA = \sum (O_i - E_i) / n$$

En donde:

O_i : es el valor observado.

E_i : es el valor estimado.

n : es el número total de observaciones.

Si el modelo es insesgado, se esperan que esta suma sea cercana a cero. Los signos negativos están asociados a una sobreestimación, en tanto los valores positivos de la DA indican subestimación.

El modelo alométrico que mejor ajuste tuvo, es el que se describe:

$$LBt = a + b (D) + c (D^2)$$

En donde :

LBt = logaritmo de biomasa total.

a, b y c = son constantes determinadas por el SAS.

D = es el Dap de los árboles.

Este modelo presentó un $r^2 = 0.9405$, un coeficiente de variación de 24%, una probabilidad altamente significativa y una diferencia agregada de 0.005, indicando un error de 0.5% (anexo 10), situación que habilitó la escogencia de esta ecuación para el calculo de biomasa de las arbóreas inventariadas en los sistemas evaluados.

Se utilizó el programa de S. A. S, para realizar la prueba de los 21 modelos alométricos.

3.6.1 - Estimación de biomasa de pasto en los sistemas silvopastoriles

La estimación de la biomasa en este componente fue posible mediante la utilización de sus pesos frescos obtenidos en el campo y sus porcentajes de materia seca obtenida a nivel de laboratorio. Estos dos se multiplicaron entre sí, para obtener la biomasa. La fórmula empleada fue:

$$B_p = P_f \times \% MS$$

Donde:

B_p = Es la biomasa pasto (t).

P_f = Es el peso fresco determinado en el campo (g).

$\%MS$ = Es el porcentaje de materia seca determinado en laboratorio.

El calculo de la biomasa se hizo, tanto para los pastos nativos como para los pastos mejorados muestreados en el campo y de forma separada.

3.6.2 - Estimación de biomasa en el mantillo del sistema tacotal

El procedimiento de calculo de la biomasa en este componente fue un poco similar al anterior, ya que, en este se ocuparon también los pesos frescos obtenidos en las parcelas de campo y los porcentajes de materia seca determinada a nivel de laboratorio de las hojas y ramas depositadas en el mantillo. El calculo se realizó de forma separada para cada estructura vegetativa. La adición de ambas biomasa permitió obtener las biomasa del mantillo. La formula empleada es:

$$B_{(h o r)} = P_{Frc (h o r)} * \% M.S (h o r)$$

Donde:

$B_{(h o r)}$: es la biomasa en hojas o en ramas (t).

$P_{Frc (h o r)}$: es el peso fresco de hojas o ramas (kg).

$\% M S_{(h o r)}$: es el porcentaje de materia seca de hojas o de ramas.

Una vez determinado la biomasa en cada uno de los componentes (leñosas, pastos y mantillo), facilitó la estimación de la biomasa arriba de cada sistema evaluado en este estudio.

3.7 - Estimación de carbono almacenado en los componentes (leñosas, pasto y mantillo) considerado en los sistemas en estudio

3.7.1 – Estimación de carbono almacenado en leñosas

Anteriormente se menciona el calculo de la fracción de carbono para seis especies, de estas se obtuvo un promedio de fracción de carbono empleado para determinar carbono almacenado (CA) en las especies que no se les calculó la fracción de carbono en laboratorio (anexo 9). La ecuación:

$$C. A = Frc * B$$

Donde:

C. A = Es el carbono almacenado (t).

Frc = Es la fracción de carbono.

B = Es la biomasa del árbol (t).

Permitió estimar el carbono almacenado en los árboles contenidos en las especies concentradas en los sistemas evaluados. La acumulación de carbono para las especies que sí se les determinó la fracción de carbono, se obtuvo aplicando la misma ecuación anterior, utilizando claro su fracción de carbono estimada a nivel de laboratorio.

3.7.2 - Estimación carbono almacenado en pasto

La acumulación de carbono en el componente pasto se determinó utilizando la biomasa de pasto estimada anteriormente y la fracción de carbono estimada a nivel de laboratorio tanto de los pastos nativos y pastos mejorados. Aquí, también se obtuvo el carbono de forma separada, igual que al estimar la biomasa para estos mismos componentes. La fórmula matemática empleada fue:

$$C. A = B_p * Frc_p$$

Donde:

C. A = Es el carbono almacenado en pasto (t).

B_p = Es la biomasa de pasto (t).

Frc_p = Es la fracción de carbono en pasto.

La fracción de carbono en el caso del componente pasto, se determinó a nivel de laboratorio con la metodología propuesta por Schelleberger, cuyo principio afirma que el carbono presente en el tejido vegetal se encuentra en forma orgánica.

3.7.3 - Estimación de carbono almacenado en el mantillo

Para efecto del calculo del carbono almacenado en las hojas y ramas depositadas en el mantillo de los sistemas tacotales, se aplicó un procedimiento similar al anterior. Como se dispone de la biomasa para cada estructura vegetal (hojas y ramas), esta se utilizó para multiplicarla con la fracción de carbono tanto en las hojas como en las ramas, determinado a nivel de laboratorio, al aplicar la formula:

$$C. A = B_{(h \ o \ r)} * Frc_{(h \ o \ r)}$$

Donde:

C. A = Es el carbono almacenado (t).

$B_{(h \ o \ r)}$ = Es la biomasa de hojas o ramas (t).

$Frc_{(h \ o \ r)}$ = Es la fracción de carbono de hojas o ramas.

Este procedimiento se realizó para cada muestra de hojas y ramas levantada en cada parcela. La adición de ambas estructuras permitió determinar el carbono

almacenado en este componente por parcela y por ende para el sistema en estudio (tacotal).

Al contarse con los datos de carbono almacenado en cada componente fue posible determinar el carbono almacenado promedio arriba en los sistemas evaluados (anexo 17, 18 y 19).

3.8 - Análisis Estadísticos Aplicados

Se utilizó un análisis estadístico aplicado para un Diseño Completamente al Azar Irrestricto. Los datos primeramente se normalizaron para disminuir la heterogeneidad de los mismos y alcanzaran una distribución normal, esta normalización de los datos se realizó en el programa SAS, con la categoría aritmética de normalización:

$$Y = \text{SQRT}(X + 0.5)$$

donde:

Y = dato ya normalizado.

SQRT = raíz cuadrada.

X = valor de un dato a normalizar.

0.5 = es constante.

Su utilización es recomendada en este mismo programa SAS. Así mismo, se aplicó un análisis de varianza a los datos, tanto de biomasa como de carbono acumulado, a través del modelo matemático predefinido. Posteriormente se desarrollaron separaciones de medias según los criterios de Duncan tanto para biomasa como para carbono acumulado y finalmente se realizaron correlaciones entre el Dap y la biomasa.

IV - RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 - Aporte de biomasa y carbono por componente en los diferentes sistemas evaluados

4.1.1 - Biomasa en las leñosas

Las fuentes de variación del ANDEVA aplicado a la variable árbol son: Pendiente, sistema, interacción (Sist * pend), densidad de árboles y edad del sistema como covariable. La variabilidad de los datos para este componente esta explicada en un 54.43% por el modelo estadístico (anexo 11), con una probabilidad altamente significativa (Pr = 0.01).

Según los parámetros estadísticos del ANDEVA aplicado para cada fuente de variación, solamente se detectaron diferencias altamente significativas para los sistemas con una probabilidad altamente significativa aun con un $\alpha = 0.01$. Para las demás fuentes de variación no se encontraron diferencias estadísticamente significativas aun con un α de 0.05 (anexo 12).

Las pruebas de rangos múltiples de Duncan realizadas con un α de 0.05, manifiestan que la producción de biomasa promedios del componente arbóreo del sistema tacotal ($49.96 \text{ t B ha}^{-1}$), es estadísticamente diferente a las medias de biomasa de las leñosas en los sistemas pasto mejorado y pasto nativo con árboles ($22.00 \text{ t B ha}^{-1}$ y $16.88 \text{ t B ha}^{-1}$ respectivamente). No encontraron diferencias significativas estadísticamente entre las medias del componente árbol de los sistemas silvopastoriles en cuanto a la producción de biomasa. (Tabla 5).

4.1.2 - Biomasa en las pasturas y mantillo

Las fuentes de variación del modelo aplicado, corresponden a pendiente, sistemas, interacción (pend * sist), densidad de árboles y edad del sistema como covariables. La variación encontrada para los datos de este componente esta explicada por el modelo en un 90.75 % (anexo 11), con una probabilidad altamente significativa ($Pr = 0.01$).

Según los parámetros del ANDEVA, solamente se determinaron diferencias estadísticas altamente significativas ($Pr = 0.01$) para el caso de los sistemas y la covariable edad. Para las demás fuentes de variación no se encontraron diferencias estadísticas (anexo 13).

Duncan ($\alpha = 0.05$), encontró que existen diferencias significativas estadísticamente, entre la biomasa promedio estimada tanto en el mantillo ($50.01 \text{ t B ha}^{-1}$) del sistema tacotal, como en la biomasa de las pasturas introducidas y tradicionales (7.67 y 3.1 t B ha^{-1} respectivamente) de los sistemas silvopastoriles. En ese sentido, ubicó en tres categorías estadística en orden jerárquico a mantillo, pasto mejorado y pasto nativo (tabla 5).

Tabla 5. Biomasa promedios estimada para cada sistema en cada uno de sus componentes y las categorías estadísticas de acuerdo a los criterios de Duncan.

Sistemas	B. árbol (t ha^{-1})	B. pasto (t ha^{-1})	B. arriba (t ha^{-1})
Tacotal	49.96 (29.9) a	50.01 (20.2) a	99.97 (42.7) a
Pasto m. + árboles	22.00 (20.8) b	7.67 (2.40) b	29.68 (21.4) b
Pasto n. + árboles	16.88 (11.08) b	3.1 (0.88) c	19.98 (11.49) b

() : Desviación Estándar; (a, b y c) : Categorías estadísticas de Duncan, Matiguás, Matagalpa, 2002.

4.2 - Carbono Almacenado (C. A) en los Componentes de los Sistemas

4.2.1 - Carbono almacenado en la masa arbórea

Las fuentes de variación del modelo aplicado corresponden a pendiente, sistemas, a la interacción (P*S), a densidad de árboles y edad como covariables. La variación encontrada esta explicada en un 54.68 % por el modelo (anexo 11), con una probabilidad altamente significativa (Pr= 0.01).

Según los parámetros del ANDEVA, para cada fuente de variación, solamente en el caso de los sistemas se encontraron diferencias estadísticamente altamente significativa (Pr= 0.01). Para las demás fuentes estipuladas no se encontraron diferencias estadísticas significativas (anexo 14).

Al aplicar las separaciones de medias según los criterios de Duncan ($\alpha = 0.05$), se encontró que el almacenamiento de carbono promedio de las leñosas del sistema tacotal ($21.55 \text{ t C ha}^{-1}$), es estadísticamente diferente a los promedios de C. A obtenidos en las arbóreas de los sistemas silvopastoriles (9.45 t C ha^{-1} en pasto mejorado y 7.24 t C ha^{-1} en pasto nativo). Estos últimos son estadísticamente iguales entre sí (tabla 6).

4.2.2 - Carbono almacenado en pasto y mantillo

Las fuentes de variación corresponden a las mismas aplicadas en el modelo anterior (pendiente, sistemas, interacción (P*S), a densidad de árboles y edad del sistema como covariables). La variación encontrada esta explicada en un 89.27 % por el modelo, con una probabilidad altamente significativa (Pr= 0.01).

Según los parámetros del ANDEVA para cada fuente de variación, solamente para el caso de los sistemas y la covariable edad del sistema se encontraron diferencias

estadísticamente altamente significativa ($Pr= 0.01$). Para las demás fuentes estipuladas no se encontraron diferencias estadísticas significativas (anexo 15).

Según los criterios de Duncan aplicado con un $\alpha = 0.05$, se encontró que el carbono almacenado promedio estimado en el mantillo ($17.63 \text{ t C ha}^{-1}$), en las pasturas introducidas (2.51 t C ha^{-1}) y en las tradicionales (0.96 t C ha^{-1}) de los sistemas tacotales y silvopastoriles respectivamente, son estadísticamente diferentes entre sí. Ubicándolos en tres categorías en orden descendente al mantillo, pasto mejorado y pasto nativo (tabla 6).

Tabla 6. Carbono promedio en cada uno de los componentes (leñosas, pasto y mantillo) de los sistemas y las categorías estadísticas encontradas según Criterios de Duncan.

Sistemas	C. árbol (t ha^{-1})	C. pasto (t ha^{-1})	C. arriba (t ha^{-1})
Tacotal	21.55 (12.9) a	17.63 (8.9) a	39.17 (17.38) a
Pasto m. + árboles	9.45 (9) b	2.51 (0.92) b	11.95 (9.19) b
Pasto n. + árboles	7.24 (4.8) b	0.96 (0.32) c	8.21 (4.9) b

(): Desviación standard; (a, b y c) : Categorías estadísticas de Duncan, Matiguás, Matagalpa, 2002.

Un sistema tacotal de acuerdo a sus características es considerado como un bosque secundario según la definición de Finegan, (1992). Esto explica la situación de aparecer este sistema con una mayor riqueza florística, al concentrar un total de 47 especies arbóreas, con frecuencias y abundancias variables (anexo 7), explicando a la vez, la alta densidad promedio de árboles por hectárea por clase diamétrica (anexo 2). En cambio la densidad de árboles promedios por clase diamétrica en los sistemas silvopastoriles alcanzaron valores bajos, la riqueza florística con su abundancia y frecuencia, también fue diferente (anexos 2, 3 y 5).

El sistema tacotal presentó en este estudio la mayor densidad de árboles. Sin embargo, este componente (árbol) no es quien realiza el mayor aporte de biomasa,

pero sí el mayor aporte de carbono acumulado en este sistema (tabla 5 y 6). Justificado lo primero (menor biomasa), por la condición de que la mayor concentración de árboles se dio en los menores rangos diamétricos (anexo 2). Según el anexo 21, puede afirmarse que entre mayor es la clase diamétrica mayor es la biomasa y por tanto mayor carbono acumulado. Este componente alcanzó mayor carbono por: estar constituido estructuralmente de más lignina, celulosa y hemicelulosa que el mantillo, además presenta sus procesos fisiológicos activos que permiten incrementar el Dap y altura y por ende carbono almacenado.

En el caso de los sistemas silvopastoriles sí es el componente árbol el más influyente en el aporte de biomasa y de carbono almacenado. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Andrade Castañeda (1999), donde el componente arbóreo realiza un aporte porcentual de 76 a 94% del carbono total. En nuestro estudio el aporte porcentual de las leñosas oscila entre 79.07 a 88.18% en los sistemas silvopastoriles evaluados (tabla 7).

Tabla 7. Aporte porcentual de carbono almacenado por componente en los sistemas evaluados, Matiguás, Matagalpa, 2002.

Sistema	C. árbol %	C. pasto %	C. total o Arriba t B ha⁻¹
Tacotal	55.01	44.98	39.17
P. m + árboles	79.07	20.93	11.95
P. n + árboles	88.18	11.81	8.21

En estos sistemas, el comportamiento de la distribución de los árboles en los rangos diamétricos, es igual al del sistema tacotal, a mayor clase diamétrica menor número de árboles (anexo 2 y 22). En ese sentido, la densidad de árboles concentrada en cada sistema no es influyente en la biomasa y en el carbono almacenado, sino que es el diámetro a la altura del pecho, la única variable determinante de la dinámica de estas dos variables (biomasa y carbono). Igualmente esto puede explicar el porqué del buen ajuste del modelo alométrico de biomasa utilizado, que únicamente considere a la variable diámetro.

Las diferencias de biomasa y carbono existentes entre el componente mantillo y pasto obedecen principalmente a la cantidad de material vegetativo disponible y a la fuentes de aporte de este. En el caso del mantillo, este se encuentra en el sistema que presentó la mayor diversidad florística (anexo 7), la densidad de árboles mas alta (anexo 2) por un lado y por otro las estructuras vegetativas del mantillo tienden ser mas lignificadas estructuralmente produciendo por ende mas biomasa seca, y además de no ser parte de la dieta del ganado a pesar de ser pastoreados. En cambio los pastos nativos y mejorados se muestrearon de acuerdo a tres condiciones, una de ellas orienta realizar el muestreo al stop de pasto, (muestrear después del pastoreo), por tanto el material vegetativo disponible fue en menor cantidad.

Sin embargo, la diferencia puede no ser relevante por la posibilidad de que el mantillo esté liberando carbono a la atmósfera en mayores cantidades que las gramíneas, ya que se encuentran en una zona de trópico húmedo donde la tasa de descomposición de la materia orgánica es más rápida y como el mantillo se encuentra mas disponible, esto favorece grandemente la liberación del CO₂, en mayores cantidades que en las gramíneas.

La superioridad en la producción de biomasa y de almacenamiento de carbono demostrada por los pastos mejorados en relación a los pastos nativos, pueden obedecer a las características de dinámica del crecimiento y desarrollo inherentes de

estas pasturas, a la densidad de árboles por clase diamétrica encontrada en cada sistema y a la composición florística de los pastizales.

Además, los pastos introducidos alcanzan un mejor desarrollo fenológico de sus partes estructurales (tallos, hojas y raíces), presentan alta tolerancia a la sombra y producción de biomasa en sistemas silvopastoriles, situación que les permite ser más competitivos ante la invasión de malezas de hojas anchas y por ende obtener un mejor rendimiento de biomasa y carbono. En cambio las pasturas nativas bajo esas mismas condiciones no poseen igual capacidad para alcanzar una alta competitividad con malezas invasoras, no son tolerantes a la sombra, afectando de esta manera su crecimiento, desarrollo fenológico, productividad y carbono almacenado.

En estudio realizado por Bolívar, 1998, en Calabacito, Panamá. Concluyó que los pastos mejorados tienden a aumentar su productividad y valor nutritivo al estar en asocio con leguminosas. Villafuerte, 1998, en su estudio en el trópico húmedo de Costa Rica, concluye que los árboles pueden reducir en un 50% el rendimiento de pasturas no mejoradas y en un 30% el rendimiento de pasturas introducidas. Estas aseveraciones explican el hecho de aparecer en este estudio las gramíneas mejoradas con valores alto de biomasa y carbono en relación a las gramíneas nativas.

Esto antes expresado, tiene relación con las distribuciones de los árboles por clase diamétrica encontrada en los sistemas silvopastoriles, donde el sistema con pasto mejorado tiene una mayor densidad de árboles ha^{-1} , con Dap arriba de 15 cm (anexo 2) con respecto al sistema que contiene pasto natural, siendo posible que los productores evitan someter a excesos de sombra a estos últimos.

También es importante mencionar que los pastos mejorados, presentaban menor competencia por malezas y un stop alto de pasto disponible después del pastoreo en la mayoría de las parcelas muestreadas, poniendo de manifiesto que estos pastos

posiblemente reciben un mejor manejo, que puede girar en torno a la aplicación de un pastoreo rotativo, evitando sobre pastorearlos y por ende someterlos a una sobre carga animal. Lamentablemente no puede opinarse lo mismo para el caso de las otras gramíneas, donde las condiciones anteriores no eran tan similares, en este, la situación era completamente inversa. Según Veldkamp (1997) las pasturas introducidas con altos rendimientos de biomasa y bien adaptadas tienen un rol importante en la retención y reducción de las emisiones de carbono a la atmósfera, lo que se debe a la productividad de biomasa área y a la longevidad de estas. Esto explica el hecho de que las pasturas mejoradas presentaran los mejores rendimientos tanto de biomasa como de carbono almacenado.

4.3 - Dinámica de la biomasa y carbono por sistema

4.3.1 – Biomasa del sistema tacotal

Los datos, demuestran que el aporte de biomasa del componente mantillo (hojas y ramas sobre el suelo) del sistema tacotal y el aporte realizado por el componente arbóreo tiene una proporción de 50.02% y 49.97% respectivamente, de la biomasa total estimada. Con una mínima diferencia 0.05%, evidenciándose así, que las hojas y ramas depositadas sobre el suelo de los sistemas tacotales realizaron un aporte de biomasa con el mismo peso porcentual del aporte realizado por el componente arbóreo en este mismo sistema (anexo 20 y figura 5).

Sin embargo, puede notarse en el grafico 1 y tabla 6, que el componente árbol presenta una desviación superior ($\pm 29.9 \text{ t B ha}^{-1}$) a la que presenta el mantillo ($\pm 20.2 \text{ t B ha}^{-1}$) condición que define al componente árbol, quien tiene el mayor potencial para producir y aportar biomasa a este sistema. Además de considerar los futuros incrementos del Dap y altura de los árboles que les permitirán incrementar los valores promedios actuales.

4.3.2 – Biomasa del sistema pasto mejorado con árboles

El comportamiento del aporte de biomasa del componente pasto no obtuvo la misma dinámica que la del componente mantillo, situación que se explica al comparar este componente (pasto) con los árboles en los sistemas “pasto introducido con árboles y pasto tradicional con árboles”. En el sistema que asocia pastura mejorada, la gramínea obtuvo un aporte en porcentaje de biomasa de 25.8% de la biomasa arriba (total) estimada en este sistema (anexo 20). Esta situación manifiesta que las leñosas son las principales fuentes de producción de biomasa arriba (22 t B ha^{-1}). Al observar la tabla 5 y figura 5, nótese que el componente árbol puede alcanzar un máximo en tonelaje de biomasa de 42.8 t B ha^{-1} , en cambio el componente pasto alcanzaría un máximo de $10.07 \text{ t B ha}^{-1}$, esto en consideración de las desviaciones que presenta cada componente. Esto vinculado principalmente a las diferencias en la estructura, la edad, el tiempo de uso y a la cantidad disponible entre pastos y leñosas.

4.3.3 – Biomasa del sistema pasto nativo con árboles

El componente arbóreo contenido en el sistema pasto nativo con árboles tiende, a sobre salir en cuanto al aporte de biomasa, al alcanzar un peso porcentual del 84.44% de la biomasa arriba estimada (anexo 20). Las pasturas nuevamente realizan un aporte de biomasa bajo (3.1 t B ha^{-1}). Las desviaciones reflejadas para cada componente, expresan que las leñosas podrían realizar un aporte máximo de biomasa en toneladas de 27.96 y los pasto alcanzarían un aporte máximo en biomasa de 3.98 t B ha^{-1} (tabla 5 y figura 5). Esta situación es explicado por lo expresado en el sistema anterior.

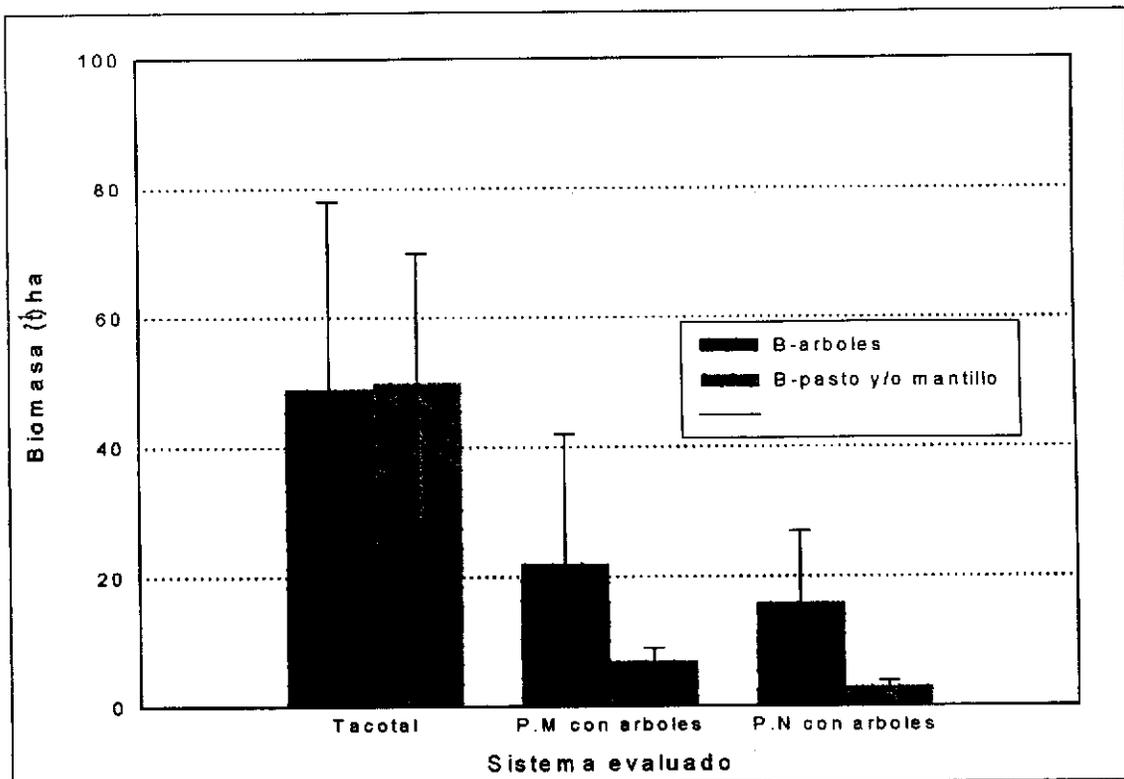


Figura 5. Comportamiento de la biomasa en los componentes leñosas, mantillo, pasto mejorado y pasto nativo de cada sistema, Matiguás, Matagalpa, 2002.

4.3.4- Carbono

La dinámica de aporte del almacenamiento de carbono ($t\ C\ ha^{-1}$) de cada una de los componentes constituyentes de cada sistema evaluado (tacotal, pasto mejorado con árboles y pasto nativo con árboles), tienen un comportamiento diferente.

4.3.4.1 – Carbono en el sistema tacotal

En el sistema tacotal el componente arbóreo presentó una acumulación de $21.55\ t\ C\ ha^{-1}$, que representa el 55.01% (tabla 7) del carbono arriba o total estimado ($39.17\ t\ C\ ha^{-1}$). En cambio el componente mantillo manifiesta una acumulación de carbono de $17.63\ t\ C\ ha^{-1}$, para un porcentaje 44.98% del carbono arriba y una diferencia con respecto al primer componente de 10.03% (tabla 6 y figura 6). El componente arbóreo de acuerdo a la desviación standard presenta el mayor potencial para

almacenar y aportar carbono en la medida que continúa creciendo, en cambio el mantillo tiende a liberar CO₂ a la atmósfera y aportar al suelo debido a la descomposición materia orgánica.

Brown 1997, estima que los ecosistemas forestales tropicales pueden almacenar de 46 a 183 t C ha⁻¹, Ciesla 1995, afirma que las plantaciones de árboles de breve rotación y rápido crecimiento pueden almacenar de 8 a 78 t C ha⁻¹, en este estudio se encontró que el ecosistema forestal de categoría tacotal puede almacenar carbono arriba desde 13.79 a 48.55 t C ha⁻¹. Estos datos están cercanos a los de Ciesla por ser ambos sistemas similares en cuanto a las etapas fenológicas, en cambio el sistema evaluado por Brown tiene una etapa de desarrollo superior por ser meramente un bosque secundario.

4.3.4.2 - Sistema pasto mejorado mas árboles

La acumulación de carbono promedio mas alta del tratamiento pasto mejorado con árboles, se obtuvo también en el componente arbóreo con 9.45 t C ha⁻¹, que representa el 79.07% (tabla 7) del carbono arriba estimado, marcando así una diferencia del 58.14% con respecto al aporte realizado por el componente pasto (20.93%), al obtenerse en este un carbono acumulado promedio de 2.51 t C ha⁻¹ (tabla 6 y figura 6).

Andrade Castañeda (1999), estimó el almacenamiento de carbono arriba en sistemas silvopastoriles (Pasto mejorados con árboles) en dos zonas del trópico húmedo de Costas Rica, obteniendo valores que oscilan de 3.7 a 4.7 t C ha⁻¹ y valores de 0.35 a 1.5 t C ha⁻¹, estos datos no difieren mucho con el almacenamiento de carbono estimado en este estudio que oscilo entre 1.59 y 3.43 t C ha⁻¹.

4.3.4.3 - Sistema pasto nativo mas árboles

El comportamiento del carbono promedio estimado en los componentes del sistema pasto natural con árboles, fue similar al anterior, donde el componente arbóreo aparece nuevamente con el promedio mas alto (7.24 t C ha^{-1}) y por ende realiza el mayor aporte al carbono arriba (84.44% , tabla 7), el componente pasto aporta un 0.96 t C ha^{-1} representando el 11.69% del carbono arriba estimado. Nuevamente el componente árbol aparece con el mayor potencial de almacenar carbono en consideración de las desviación standard (tabla 6 y figura 6).

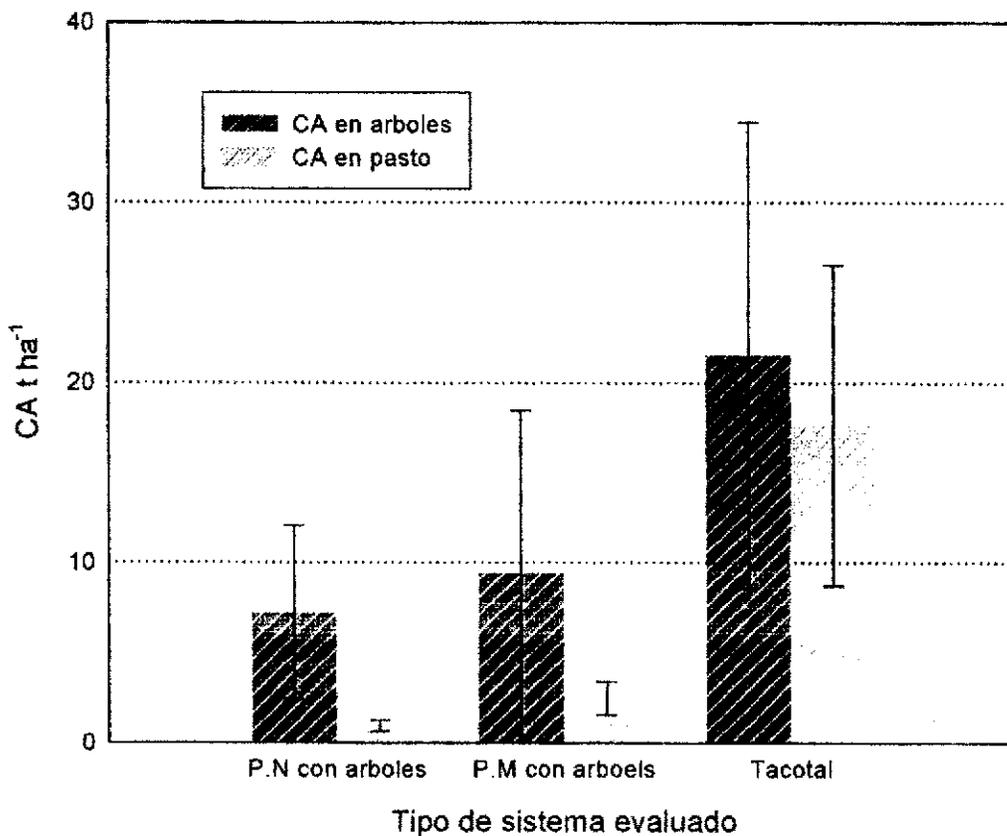


Figura 6. Carbono almacenado en los componentes de cada uno de los sistemas evaluados, Matiguás, Matagalpa, 2002.

V- CONCLUSIONES

Los modelos alométricos que se probaron presentaron un R^2 alto, un coeficiente de variación bajo y una probabilidad altamente significativa, sin embargo el sesgo determinado por la diferencia agregada, fue la variable que determino el modelo a utilizar.

Los sistemas silvopastoriles considerados en esta investigación presentan una capacidad de producción de biomasa y almacenamiento de carbono menor que la capacidad de producción de biomasa y carbono almacenado que poseen los sistemas tacotales establecidos en la zona de estudio.

Las diferentes especies de pastos mejorados alcanzaron un mejor promedio de biomasa y carbono (7.67 t B ha^{-1} y 2.51 t C ha^{-1}), en relación a los alcanzados por las especies nativas (3.1 t B ha^{-1} y 0.96 t C ha^{-1}).

Los sistemas silvopastoriles, son los sumideros de carbono más importantes en la zona de estudio, debido a que ocupan mayor extensión territorial producto de ser la ganadería la principal actividad económica. Evidenciándose su aporte ambiental a la mitigación del efecto invernadero.

VI - RECOMENDACIONES

En estimaciones de biomasa en sistemas silvopastoriles y tacotales, se recomienda aplicar la ecuación y/o modelo alométrico de biomasa utilizado en esta investigación siempre y cuando aparezcan con representatividad las especies de las muestras destructiva encontradas en este estudio.

Fomentar la diversidad florística de los sistemas silvopastoriles (con especies maderables, forrajeras y frutales), con el fin de fortalecer por un lado tanto el incremento de su capacidad de producción de biomasa como de almacenar carbono y por otro de diversificar los servicios y beneficios que brindan las leñosas tanto al hato como a los propietarios de estos.

En estudios donde se realizasen estimaciones de biomasa en ecosistemas (bosques, plantaciones, agroforestales y sistemas silvopastoriles), es pertinente determinar modelos alométricos de biomasa, que pueda ser aplicado a otras masas vegetales de la misma zona climática.

El gobierno central (Ministerios), ONG's y Universidades deberían gestionar recursos financieros con organismo donantes (Banco Mundial, AID-USDA, o gobiernos de países desarrollado) por medio de la iniciativa Pago por Servicios Ambientales para fortalecer el manejo de los ecosistemas que almacenan carbono atmosférico y alcanzar un desarrollo socioeconómico y sostenibilidad ambiental.

Esta metodología podría ser útil para estimaciones de carbono almacenado en otros sistemas silvopastoriles (bancos forrajeros, bancos de proteínas, etc) y sistemas agroforestales (café con sombra, Alley farming, etc) para conocer el potencial de almacenamiento de carbono de estos.

VIII - BIBLIOGRAFIA

- Alfaro, M. 1997. Almacenamiento y Fijación de Carbono en ecosistemas forestales. *Revista Forestal Centroamericana*. No. 19: 9-12.
- Andrade, H. J. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo de Costa Rica. Magíster Scientiae. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 70p.
- Asamadu, K. 1998. Sumideros de carbono, La Alternativa para no hundirnos. *Actualidad forestal Tropical* 6(4): 1-4.
- Azqueta, Diego y Pérez, Luis 1996. Gestión de Espacios Naturales. La Demanda de Servicios Recreativos. McGraw Hill / interamericana, España.
- Beaumont, RE. 1999. El protocolo de Kyoto y el mecanismo para un desarrollo limpio: Nuevas posibilidades para el sector forestal de América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 99p.
- Bolívar, D. M. 1998. Productividad y calidad forrajera de *Brachiaria himidicola* en monocultivo y en asociación con *Acacia mangium* en suelo ácidos en el trópico húmedo de Costa Rica. *Agroforstería de las Américas*. 1999. Vol. 6. N 23.
- Botero, J. A. 1998. Exploración de opciones silvopastoriles para la sostenibilidad del sistema de doble propósito del trópico húmedo. Tesis Magister Scientiae. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 103p.
- Brown, S. 1997. Los bosques y el cambio climático: El papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. In Congreso forestal Mundial(11, Antalya, Turquía). *Actas Antalya, Turquía, Ministry of Forestry*. P. 107 – 128.
- Brown, S. Y Lugo, AE. 1993. Tropical Secondary Forest. *Journal of Tropical Ecology*, 6: 1 – 32.
- Brown, S.; Lugo, A. E. 1984. Biomass of tropical forest: A new estimate based on forest volumes. *Science* 223: 1290-1293.
- Calvo A., 1998. fijación de Carbono: Una aproximación Económica. *Revista Ciencias Ambientales*. P. 47.
- Casasola Coto, F. 2000. Productividad de los Sistema Silvopastoriles tradicionales en Moropotente, Estilí, Nicaragua. 2000. Thesis Magíster Scientiae. CATIE, Turrialba, Costa Rica. P – 83.
- Ciesla, W. M, E. Donaubauer. 1994. Dicback and Dectine of trees and forest – a global overview. *Estudios FAO: Montes*. N 120: 90p.

- Ciesla, W. M. 1995. Sistemas de realización de la ordenación forestal sostenible: Sostenibilidad de los bosques mediante su protección contra incendios, insectos y enfermedades. FAO, Roma(Italia). 143 – 159 p.
- Ciesla, W. M. 1996. Cambio climático Bosques y Ordenación Forestal. Una visión de conjunto. FAO, Roma, Italia. 1996. p - 115.
- COSEFORMA, 1995. Inventario forestal de la región huéter norte. Resumen de resultados. Segunda edición San José, Costa Rica. COSEFORMA – MINAE – GTZ..
- Cuéllar, N. Et al. 1999. Los servicios ambientales del agro: El caso del café de sombra en El Salvador. PRISMA. No 34: 1 – 16.
- Davis, M, B. 1989. Lags in vegetation response to global warming *Climate Change*. 15: 75 – 82.
- De Alba, Edmundo y Reyes, 1997. Valoración Económica de la Biodiversidad de México. Manejo de Recursos Naturales, Secretaría del Medio Ambiente y los recursos Naturales. México.
- Dixon, R.K. 1995. Agroforestry systems: Sources or sinks of greenhouse gases. *Agroforestry systems* 31: 99-116.
- Dixon, R.K. S. Brown, R.A. Houghton, A.M. Solomon, M.C. Trexler y J. Wisnicwiski. 1994. Carbon pools and Fluy of global forest ecosystems. *Science* 263: 185-190.
- Erickson, G., G. Namkoong y J. H. Roberds, 1993. Dynamic gene conservation for uncertain futures. *Forest Ecology and Management*. 62: 15 – 37.
- FAO, 1993. Evaluación de los recursos forestales 1990. Países tropicales. Estudios FAO: Montes N^o 112. 59 p.
- Finegan, B. 1992. The Management potential of noetropical secondary lowland rain forest, *Forest Ecology and Management* 47: 295 – 321.
- Fisher, M. J; Rao, I. M; Ayarza, M. A; Lascano, C. E; Sáenz, J. I; Thomas, J. R; Vara, R. R. 1994. Carbon storagen by introduced deep rooted grasses in south American savannas. *Nature* 371: 236-238.
- Houthong, R. A; Skole, D. L.; Lefkowitz, D. S. 1991. Changes in Land scape of Latin America between 1850 and 1895, 2: Net release of CO₂ to the atmosphere forest ecology and management 38: 173 – 199.
- IPCC (Panel intergubernamental de expertos sobre cambios climáticos). 1995. Segunda evaluación del cambio climático: Sensibilidad y adaptación de los sistemas al cambio climático. Montreal, Canada, 7-31p.

- IPCC, 1992. The 1992 IPCC Supplement, OMM/PNUMA, 70p.
- IPCC. 1994. summary for policymaker of the 1994. WGI. Report on radioactive foreing of climate change. OMM/ PNUMA, IPCC. 1ª sesión, Nairobi, Kenia, IPCC/ Doc. 3 Parte 1, Item 3.1.
- Kaimowitz, D. 1996. Livestock and deforestation. Central America in the 80's and 90's. A police perspective. Jakarta, I. N. CIFOR. 88p, CIFOR. Special publication. 40 p.
- Levard, L; Pérez, F y Marín, L. 2001. Limitantes y potencialidades del desarrollo agropecuario en el Municipio de Matiguás. Managua, Nicaragua NITLAPAN – UCA. 120p.
- Márquez, L. 1997. Validación de los métodos del Instituto Winrock para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo para cuantificar carbono en sistemas agroforestales. Guatemala. Universidad del Valle de Guatemala. 45p.
- PNUD/PNUMA. 2001. La Lucha Contra el Cambio Climático: El Compromiso del Parlamento Latinoamericano, Buenos Aires. 1998. P 125 – 126.
- Ramírez, O; Gómez, M. 1997. Estimación y valoración económica del almacenamiento del carbono. Revista Forestal Centroamericana. 2(27): 17 – 22 p.
- Rosa, Herman; herrador, Doribel y Cuellar. 1998. Cambio climático global y revegetación nacional: Retos y oportunidades. PRISMA No 28, San Salvador.
- Salas Estrada, JB. 1993. Árboles de Nicaragua. Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente. (IERNA), Managua, Nicaragua. P 343 – 359.
- Segura, M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costarricensis*, en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis Lic. Cs. Fort. Heredia, Costa Rica, UNA. 127p.
- Siu Chow, M. Y; Ordeñana Obando, W. 2001. Estimación del contenido y almacenamiento del carbono en el bosque seco secundario en el refugio de vida silvestre Chococente. Tesis CENIDA-UNA, Managua, Nicaragua. 16 – 22 p.
- Souza, M. ; Ibrahim, M. ; Sales, S. 1999. Árboles en Pastizales y su influencia en la producción de leche. In 1^{er} congreso Latinoamericano sobre agroforesteria para la producción sostenible. Cali, Colombia. 68 p.
- Szott, L.; Ibrahim, M.; Beer, J. 2000. The hamburguer connection hangover. Cattle pasture land degradation and alternative land use in Central America. Serie técnica, Informe técnico N° 313. 71 p.

Veldkamp, E. ; séller, M. ; Núñez, M. 1997. Effects of the management on N₂O and no emissions from pastures soils in the humid tropic of Costa Rica. Enviado a Global Biogeochemical cycles. NATO ASI Series I: Global Enviromental change, Vol. 40.

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.

ANEXOS

Anexo 1. Distribución de las parcelas del sistema pasto mejorado con árboles en las unidades productivas.

Sistema	Código de finca	No. Parc.	Especie pasto	Densidad árb. Parc.
P m + árboles	F3	1	<i>Brachiaria brizanta</i> (Brizanta)	3
	F6	1	<i>Panicum maximun</i> (Guinea)	5
	F9	1	<i>Panicum maximun</i> (Guinea)	14
	F10	2	<i>Cynodom plectostachyus</i> (Estrella)	5
	F11	1	Asia	4
	F22	1	Asia	9
	F23	1	<i>Cynodom plectostachyus</i> (Estrella)	5
	F29	1	<i>Brachiaria brizanta</i> (Brizanta)	8
	F30	1	<i>Brachiaria brizanta</i> (Brizanta)	5
			<i>Panicum maximun</i> (Guinea)	24
		10		8.2

Anexo 2. Distribución por Rangos diamétricos de los árboles en cada sistema evaluado.

Sistema	Clases diamétricas			Densidad árb ha ⁻¹
	2 - 5	5 - 15	>15	
P. nativo + árb	240	196	27	463
%	51.84	42.33	5.83	
P. mejorado + árb	400	136	38	574
%	69.69	23.69	6.62	
Tacotal	560	658	97	1315
%	42.59	50.04	7.37	

Anexo 5. Abundancia y frecuencia de las especies en el sistema pasto nativo con árboles.

Sistema	Especie	Nombre científico	Número de árboles	Número de parcelas
P n + árboles	Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>	1	1
	Chaperno	<i>Albizia andinocephata</i>	2	2
	Guachipilin	<i>Diphysa robiniodes</i>	3	1
	Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	8	3
	Guanacaste de oreja	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	3	3
	Muñeco	<i>Cordia bicolor</i>	2	2
	Roble	<i>Tabebuia rosea</i>	3	1
	Coyote	<i>Platymiscium pleiostachyum</i>	10	3
	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	46	7
	Genizaro	<i>Albizia samman</i>	2	1
	Tapacon	Desconocido	1	1
	Carao	<i>Casia grandis</i>	1	1
				82

Fuente. Salas Estradas 1993.

Anexo 6. Distribución de las parcelas del sistema tacotal en las unidades de producción pecuaria.

Sistema	Código de finca	No Parc	Especie	Densidad Arb parc ⁻¹
Tacotal	F3	1	Mantillo	51
	F12	1	Mantillo	43
	F13	1	Mantillo	45
	F27	1	Mantillo	30
	F24	2	Mantillo	36 y 43
	F28	3	Mantillo	50, 60 y 83
	F25	1	Mantillo	85
		10		

Anexo 7. Tabla de abundancia y frecuencia de las especies en el sistema tacotal.

Sistema	Especie	Nombre científico	Número de árboles	Número de parcelas
tacotal	Aguacate de monte	<i>Persea coerulea</i>	7	1
	Canela monterera	<i>Arbutus xalapensi</i>	1	1
	Capulín	<i>Mutinja calabura</i>	2	2
	Carao	<i>Casia grandis</i>	2	1
	Cereno		12	1
	Chaperno	<i>Lomchocarpus antropurpureus</i>	16	6
	Cojombro montero		1	1
	Cornizuelo	<i>Acacia hindsii</i>	50	7
	Cortés	<i>Tabebuia ochracia</i>	2	1
	Coyote	<i>Platymiscium pleosthachyum</i>	13	3
	Escobillo	<i>Phytostylon brasiliensis</i>	1	1
	Frijolillo	<i>Leucaena shannoni</i>	1	1
	Gavilán	<i>Pentaclethra macroloba</i>	1	1
	Gavilancillo	Desconocido	2	1
	Genizaro	<i>Albizia saman</i>	20	2
	Guaba	<i>Inga sp.</i>	5	3
	Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	102	8
	Guanacaste	<i>Enterolobium cyclocarpun</i>	27	5
	Guapinol	<i>Hymenea courbaril</i>	14	3
	Guarumo	<i>Cecropia insignis</i>	14	3
	Guayabo	<i>Ruprechtia costata</i>	6	3
	Jagua	<i>Genipa americana</i>	2	2
	Jífocuabo	<i>Bursera simarouba</i>	10	3
	Jobo	<i>Spondias monbin</i>	15	3
	Jocotillo		1	1
	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	17	4
	Yema de huevo	<i>Morinda panamensis</i>	1	1
	Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i>	16	2
	Madroño	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	1	1
	Mora	<i>Chlorophora tinctora</i>	12	2
	Muñeco	<i>Cordi bicolor</i>	16	4
	Nancite	<i>Byrsonima crassifolia</i>	4	1
	Palo de agua	<i>Vochycia hondurensis</i>	8	1
	Palo tambor	<i>Gyrocarpus americanus</i>	6	3
	Panturra		51	2
	Pata de venado	<i>Bauhinia puleitia</i>	9	1
	Pava		6	1

	Pocoyo		1	1
	Quebracho	<i>Lysiloma auritum</i>	2	2
	Quitacaizón	<i>Astronium graveolens</i>	1	1
	Sangredrigo	<i>Pterocarpus officinalis</i>	30	3
	Zapote montero	<i>Pouteria sapota</i>	2	2
	Zapotillo	<i>Pouteria sapota</i>	1	1
	Tatacasme	<i>Lasianthae fruticosa</i>	3	2
	Vainillo	<i>Senna atomaria</i>	1	1
	Zopilote		11	2
			526	

Anexo 8. Tabla de las especies en la muestra destructiva y la proporción de árboles en cada una de ellas.

Nombre común	Nombre técnico	No. De árboles
Carao	<i>Cassia grandis L.f</i>	3
Coyote	<i>Platymiscium pleiostachyum J.D. Smith</i>	9
Genizaro	<i>Albizia saman (Jacq.) Benth.</i>	6
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia Lam.</i>	17
Guanacaste	<i>Enterolobium cyclocarpum (jacq.) Griseb.</i>	3
Laurel	<i>Cordia alliodora (Ruiz & Pav.) Oken</i>	10
Roble	<i>Tabebuia rosea (Bertol.) DC.</i>	3
Total		51

Fuente. Salas Estradas 1993.

Anexo 9. Tabla de datos obtenidos a nivel de laboratorio para las especies de la muestra destructiva.

Especies	Gravedad específica fuste	% MS ramas	% MS en hojas	Fracción de carbono
Carao	0.67	56	44	0.418
Coyote	0.59	56	39	0.457
Roble	0.51	47	29	0.444
Guácimo	0.66	63	30	0.431
Laurel	0.47	55	32	0.418
Genizaro	0.48	46	40	0.425
Promedio	0.56			0.432

Anexo 10. Tabla del comportamiento de los modelos alométricos de biomasa en cada criterio estadístico, utilizados para su selección.

#	MODELOS DE BIOMASA	R ²	CV%	Prob F	D. A
1	$Bt = -0.3942^* + 0.03616^{**}D$	0.525	109	**	
3	$bt = -0.41216^{NS} + 0.03760^* D - 0.00002038ns D^2$	0.5251	110	**	
4	$LNbt = -3.7566^{**} + 0.08254^{**}D$	0.7873	46	**	
6	$LNbt = -5.02010^{**} + 0.1844^{**}(D) - 0.00144^{**}(D^2)$	0.9405	24	**	0.007
7	$LNbt = -8.2189^{**} + 2.1796^{**}LN (D)$	0.9427	23	**	0.015
11	$LBt = -1.63148^{**} + 0.03585^{**}D$	0.7873	46	**	
13	$LBt = -2.18062^{**} + 0.08012^{**}(D) - 0.0006244^{**}(D)^2$	0.9405	24	**	0.005
14	$LBt = -3.5694^{**} + 2.1796^{**}L (D)$	0.9497	23	**	0.015
16	$RBt = -0.00117^{NS} + 0.02288^{**} (D)$	0.779	35.6	**	
17	$RBt = -0.56786^{**} + 0.24035^{**}r (D)$	0.7901	34.7	**	
19	$RBt = -1.03483^{**} + 1.2367^{**}L(D)$	0.7372	38.8	**	
20	$RBt = -1.03483^{**} + 0.5371^{**}LN (D)$	0.7372	38.8	**	
21	$RBt = 0.33714^{**} + 0.00026606^{**}(D^2)$	0.597	48.1	**	
27	$LNbt = -6.0519^{**} + 0.9190^{**}r (D)$	0.897	-32	**	-0.142
28	$LBt = -2.6283^{**} + 0.3991^{**}r (D)$	0.897	-32	**	-0.141
29	$Bt = 0.14947^{NS} + 0.00002663^{**}(D^2 \times ht)$	0.5413	107	**	
30	$Bt = -0.1921^{NS} - 0.00044^{NS} (D^2) + 0.000044^*(D^2 \times h) + 0.043^{NS} (ht)$	0.6111	101	**	
31	$Bt = -0.1104^{NS} - 0.0005^{NS} (D^2) + 0.0022^{**} (D \times ht) + 0.000023^{NS} (D^2 \times ht)$	0.6701	93	**	
32	$LNt = -8.33^{**} + 1.8973^{**} LN (D) + 0.6191^{**} LN (ht)$	0.9519	-22.16	**	0.009
38	$Bt = -0.6169^* - 0.0024 (D^2) - 0.0021ns (D ht) + 0.092^* (D) + 0.000122^*(D^2 ht)$	0.7044	89	**	
39	$Bt = -0.7244^{**} + 0.02569^{**} (D) + 0.05163^*(ht)$	0.5665	105.7	**	

Anexo 11. Tabla del comportamiento del Modelo Aditivo Lineal o Matemático en cada una de las variables estimada

Variables	R²	C. V%	Pr > F
B. árbol	0.5443	31.8341	0.0080**
B. Pasto y/o Mantillo	0.9075	21.5601	<,0001**
B. arriba	0.7672	24.8936	<,0001**
C. árbol	0.5439	31.0212	0.0076**
C. pasto y/o Mantillo	0.8927	22.7267	<,0001**
C. arriba	0.7471	25.4682	<,0001**

B: biomasa. C carbono, R²: Coeficiente de determinación, CV%: Coeficiente de variación, Pr > F: probabilidad estadística.

Anexo 12. Tabla de Análisis de Varianza para la variable biomasa árbol.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Pr > F
Pendientes	1	0.4223	0.4223	0.16	0.6922
Tratamientos	2	49.1913	24.5956	9.37 **	<,0011**
Pend. * Trat.	2	9.9994	4.9997	1.91	0.1725
Árboles	1	8.9676	8.9676	3.42	0.0780
Edad	1	0.3725	0.3725	0.14	0.7099
Error	22	57.7235	2.6237		
Total	29	126.6766			

Anexo 13. Tabla de Análisis de Varianza para la variable Biomasa Pasto y/o Mantillo.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	FC	Pr > F
Pendientes	1	0.2768	0.2768	0.39	0.5374
Tratamiento	2	146.6264	73.3132	103.95	<.0001**
Pend. * Trat	2	0.2418	0.1209	0.17	0.8435
Árboles	1	0.0054	0.0054	0.01	0.9310
Edad	1	4.9929	4.9929	7.08	0.0143**
Error	22	15.5156	0.7052		
Total		167.6590			

Anexo 14. Tabla de Análisis de Varianza para la variable de carbono acumulado en árboles.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	Pr > F
Pendiente	1	0.1473	0.1473	0.13	0.7182
Tratamiento	2	20.8490	10.4245	9.45	0.0011**
Pend. * Trat.	2	4.2305	2.1152	1.92	0.1707
Árboles	1	3.9041	3.9041	3.54	0.0732
Edad	1	0.1558	0.1558	0.14	0.7106
Error	22	24.2652	1.1029		
Total	29	53.5519			

Anexo 15. Tabla de Análisis de Varianza para la variable de carbono acumulado en pasto y/o mantillo.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	Pr > F
Pendiente	1	0.0959	0.0959	0.33	0.5694
Tratamiento	2	50.0857	25.0428	87.08	<,0001***
Pend. * Trat.	2	0.0625	0.0312	0.11	0.8974
Árboles	1	0.0159	0.0159	0.06	0.8161
Edad	1	2.3807	2.3807	8.28	0.0087**
Error	22	6.3266	0.2875		
Total	29	58.9673			

Anexo 16. Especies leñosas encontradas según el inventario realizado en la zona de estudio.

Número	Especie	Nombre científico	Familia
1	Aguacate de monte	<i>Persea coerulea</i>	Laureaceae
2	Canelo montero	<i>Nectandra reticulata</i>	Laureaceae
3	Cereno		
4	Capulin	<i>Muntingia calabura</i>	Elaeocarpaceae
5	Carao	<i>Cassia grandis</i>	Mimosaceae
6	Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>	Bombacaceae
7	Chaperno	<i>Albizia andinocephata</i>	Mimosaceae
8	Comizuelo	<i>Acasia sp</i>	Mimosaceae
9	Cortés	<i>Tabebuia ochracea ssp. neochrysantha</i>	Bignoniaceae
10	Coyote	<i>Platymiscium pleiostachyum</i>	
11	Cogombro montero	<i>Desconocido</i>	
12	Escobillo	<i>Myrciaria floribunda</i>	Myrtaceae
13	Frijolillo	<i>Leucaena channoni</i>	Mimosaceae
14	Guanacaste de oreja	<i>Enterolobium cyclocarpun</i>	Mimosaceae
15	Gavilán	<i>Pentaclethra macroloba</i>	Mimosaceae
16	Gavilancillo	<i>Desconocido</i>	
17	Genizaro	<i>Albizia saman (Jacq.) Muell.</i>	Mimosaceae
18	Guaba	<i>Inga sp</i>	Mimosaceae
19	Guachipilin	<i>Diphyssa robinoides</i>	Fabaceae
20	Guácimo tem.	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Sterculiaceae
21	Guapinol	<i>Hymenaea courbaril</i>	Caesalpiniaceae
22	Guarumo	<i>Cecropia insignis</i>	Cecropiaceae
23	Guayabo de monte	<i>Ruprechtia costata</i>	Poligonaceae
24	Jagua	<i>Genipa americana</i>	Rubiaceae
25	Jiñocuabo	<i>Bursera simarouba</i>	Burseraceae
26	Jocote jobo	<i>Spondias mombim</i>	Anacardiaceae
27	Jocotillo		
28	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	Boraginaceae
29	Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i>	Fabaceae
30	Madroño	<i>Calycophyllum candidissimun</i>	Rubiaceae
31	Mora	<i>Chlorophora tinctoria</i>	Moraceae
32	Muñeco	<i>Cordia bicolor</i>	Boraginaceae
33	Nancite	<i>Byrsonima crassifolia</i>	Malpighiaceae
34	Palo de agua	<i>Vochyseia hondurensis</i>	Vochysiaceae
35	Pocoyo	<i>Desconocido</i>	
36	Pava	<i>Desconocido</i>	
37	Panturra	<i>Desconocido</i>	
38	Palo tambor	<i>Ochroma lagopus</i>	Bombacaceae
39	Pata de venado	<i>Bauhinia pauletia</i>	Caesalpiniaceae
40	Quebracho	<i>Lysiloma auritum</i>	Mimosaceae

41	Quitacalzon	<i>Astronium graveolens</i>	Anacardiaceae
42	Roble	<i>Tabebuia rosea</i>	Bignoniaceae
43	Sangredrigo	<i>Pterocarpus officinalis</i>	Fabaceae
44	Tatacasme	<i>Lasianthae fruticosa</i>	Asteraceae
45	Tapacon		
46	Vainillo	<i>Senna atomaria</i>	Caesalpiniaceae
47	Yema de huevo	<i>Morinda panamensis</i>	Rubiaceae
48	Zapote montero	<i>Pouteria sapota</i>	Sapotaceae
49	Zopilote	<i>Vochysia ferruginea Mart.</i>	Vochiseseae

Anexo 17. Información sobre: la densidad de árboles por parcelas, de las especies de pasto en unidades experimentales, de la biomasa y C. A en el sistema pasto nativo con árboles

Sistema	%p	Repetición	Densidad árb. parc. ⁻¹	Especie	B. Pasto tn ha ⁻¹	C. A tn ha ⁻¹	B. árb tn ha ⁻¹	C. A árb ha ⁻¹
Pasto n + árb.	9	R1	10	Zacaton	3.94	1.10	29.94	12.40
	4	R2	11	Zacaton	4.21	1.30	42.50	18.40
	7	R3	8	Zacaton	2.64	0.80	8.20	3.50
	6.5	R4	10	Gramma	1.81	0.50	12.40	5.30
	4	R5	6	Zacaton	2.94	1.00	17.40	8.00
	37	R1	10	Zacaton	3.12	0.90	17.00	7.10
	21	R2	9	Gramma	1.85	0.40	14.90	6.30
	22.5	R3	7	Jaragua	2.87	0.90	11.20	4.80
	35	R4	5	Jaragua	4.21	1.40	7.10	3.00
	44	R5	6	Zacaton	3.59	1.30	8.70	3.60
Promedio					3.10	1.00	16.90	7.20
Desviación					0.88	0.32	11.08	4.80

Anexo 18. Información sobre la densidad de árboles por parcelas, de las especies de pasto muestreadas, de la biomasa y C. A en el Sistema pasto mejorado con árboles.

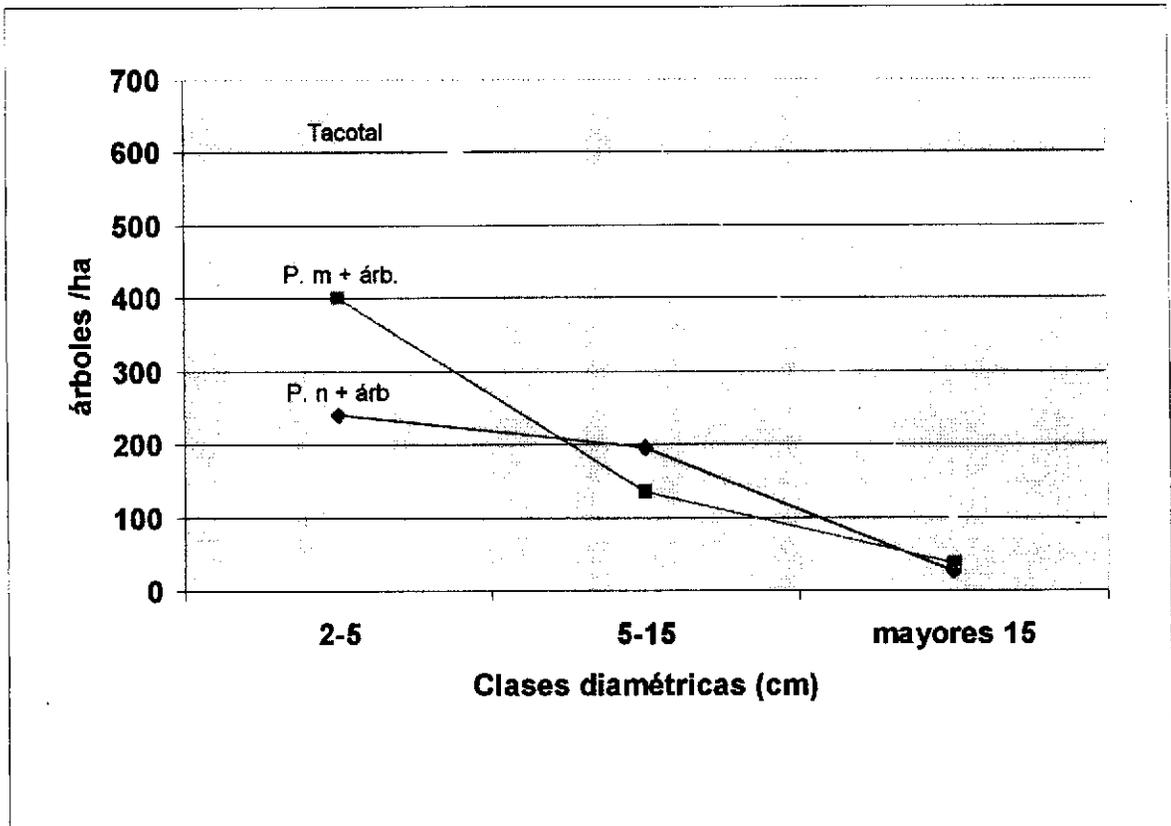
Sistema	%p	Repetición	Densidad árb. Parc ⁻¹	Especie	B. Pasto tn ha ⁻¹	C. A Pasto tn ha ⁻¹	B. árb tn ha ⁻¹	C. A árb ha ⁻¹
Pasto m + árb.	4	R1	3	Brizanta	3.40	1.00	11.50	5.00
	7.5	R2	5	Guinea	7.31	2.30	6.00	2.60
	2	R3	14	Guinea	7.54	2.50	28.00	12.00
	12	R4	5	Estrella	4.83	1.50	7.50	3.30
	8	R5	4	Asia	9.39	3.30	10.70	4.60
	38	R1	9	Asia	7.88	2.20	17.80	7.50
	23	R2	5	Estrella	6.58	2.00	52.70	22.60
	24	R3	8	Brizanta	8.21	2.80	13.20	5.60
	25	R4	5	Brizanta	11.54	4.00	2.90	2.90
	25	R5	24	Guinea	10.13	3.50	65.70	28.40
Promedio					7.70	2.50	22.00	9.50
Desviación					2.40	0.92	20.86	9.00

Anexo 19. Información sobre la densidad de árboles por parcela, la biomasa y C. A en el Sistema tacotal.

Sistema	%p	Repetición	Densidad árb. Parc ⁻¹	Especie	B. Pasto tn ha ⁻¹	C. A Pasto tn ha ⁻¹	B. árb tn ha ⁻¹	C. A árb ha ⁻¹
Tacotal	2	R1	51	Mantillo	35.11	10.7	30.00	12.90
	3	R2	36	Mantillo	34.55	11.6	23.00	9.90
	13	R3	43	Mantillo	36.15	12.4	37.00	15.90
	2.5	R4	30	Mantillo	56.9	18.2	127.00	54.70
	9	R5	50	Mantillo	80.96	33.6	40.90	17.60
	23	R1	43	Mantillo	50.07	15.1	40.10	17.30
	23	R2	45	Mantillo	42.32	14.6	30.20	13.10
	21	R3	85	Mantillo	32.01	13.1	52.70	22.80
	27	R4	60	Mantillo	96.91	34.5	65.80	28.40
	22	R5	83	Mantillo	35.01	12.5	52.90	22.90
Promedio					50	17.6	50.00	21.50
Desviación					22.27	8.9	29.94	12.90

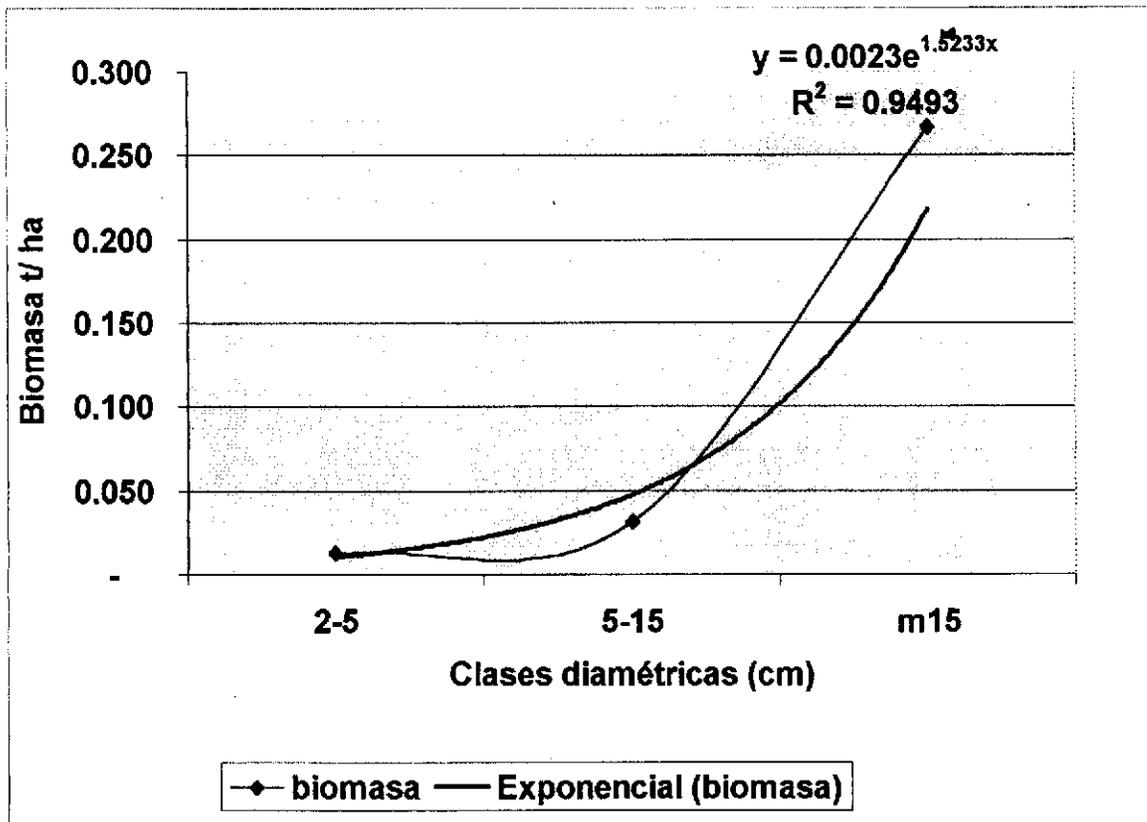
Anexo 20. Aporte porcentual de biomasa por componente en cada sistema evaluado en Matiguás, Matagalpa. 2002.

Sistema	B. árbol %	B. pasto %	B. total o Arriba t B ha ⁻¹
Tacotal	49.98	50.02	99.96
P. m + árboles	74.12	25.88	29.68
P. n + árboles	84.44	15.56	19.99



Anexo 21. Comportamiento de la densidad de árboles ha^{-1} en los sistemas evaluados de acuerdo a las clases diamétricas en Matiguás, Matagalpa. 2002.

En este se expresa el comportamiento de la densidad de árboles por clase diamétrica alcanzada en cada uno de los sistemas evaluados, siendo obvio que los tres sistemas tienen altas densidades de árboles de 2-5 cm, disminuyendo relativamente al aumentar la clase diamétrica. El sistema tacotal fue quien alcanzó las mayores densidades por categoría diamétrica. El sistema pasto mejorado con árboles superó en la clase de 2-5 y mayores de 15 cm al otro sistema silvopastoril.



Anexo 22. Correlación de Pearson con la variable biomasa y las clases diamétricas en Matiguás, Matagalpa. 2002.

Esta correlación pone de manifiesto que la clases diamétrica es una variable determinante de la biomasa producida en cada sistema. Entre mayor es la clase diamétrica mayor será la biomasa en cualquiera de los sistemas en estudio.