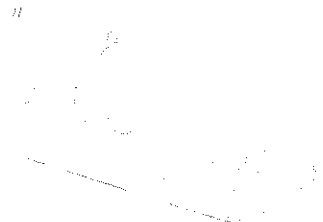


Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles
y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua

ALFREDO RUIZ GARCÍA



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA PROGRAMA
DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**

**FIJACION Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES Y
COMPETITIVIDAD ECONÓMICA EN MATIGUÁS, NICARAGUA**

**POR
ALFREDO RUIZ GARCIA**

CATIE

**Turrialba, Costa Rica
2002**

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA PROGRAMA
DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN ESCUELA DE
POSGRADO**

**FIJACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES Y
COMPETITIVIDAD ECONÓMICA EN MATIGUÁS, NICARAGUA**

**Tesis sometida a la consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de
Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de
Investigación y Enseñanza, como requisito parcial para optar por el grado de:**

Magister Scientiae

**POR
ALFREDO RUIZ GARCIA**

**Turrialba, Costa Rica
2002**

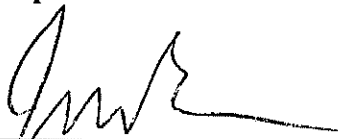
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:

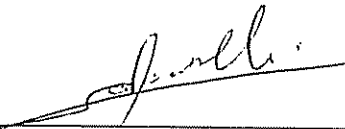


Muhammad Ibrahim, Ph.D.
Consejero Principal



John Beer, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Lucio Pedroni, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Bruno Locatelli, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Hernán Andrade, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Ali Moslemi, Ph.D.
**Director Programa de Educación y
Decano de la Escuela de Posgrado**



Alfredo Ruiz-García
Candidato

DEDICATORIA

A mis hijos Lía Gabriela y Leo Alfredo, y a mi esposa Lea Ma. Montes, quienes llenan de felicidad y satisfacción cada día de mi vida.

A mi madre que me trajo al mundo y que dentro de sus limitaciones ha dado todo su empeño para hacerme llegar hasta donde he llegado y quien ahora vive sus últimos días de su vida.

A mi patria, Nicaragua, país de enorme contraste, abundantes riquezas, pero sumida en la pobreza producto del saqueo de sus malos hijos y por la falta de aptitudes y capacidades de los estrategas y diseñadores de las políticas de desarrollo, lo que ha creado la desesperanza de la población que lucha en el día a día para sobrevivir en este desierto desmoralizante.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme vida, capacidad y sabiduría para enfrentar con firmeza las difíciles condiciones en que vive nuestra sociedad.

Al Dr. Muhammad Ibrahim, quien me ha tratado con mucho respeto y porque sus consejos mas que los consejos de mi profesor fueron los consejos de amigo. Gracias Dr. Por su humilde forma de ser.

Al Dr. Bruno Locatelli, por su gran aporte en la modelación económica. Agradezco por su aporte e interés de contribuir a la formación nuestra.

Al Dr. John Beer por sus importantes aportes metodológicos en la definición de este proyecto de investigación a sus aportes al documento final.

De manera especial quiero agradecer a Hernán Andrade, por ser uno de los más importantes asesores de mi tesis. Principalmente en los momentos de definición metodológica del proyecto y en menor medida por estar lejos de CATIE en el documento final. Gracias mi amigo, la vida te ha de gratificar por ello.

A mi equipo de trabajo, Herty Betancourt (Ing. Agrónomo, especialista en suelos), José Isidro Molina y David Paiz, estudiantes de Ing. Forestal de la Universidad Agraria de Nicaragua, quienes realizaron su tesis de grado en el marco de esta investigación y de quienes fui su asesor principal y a Arellys Morales (Lic. Economía agrícola). Los aportes de todos ellos han sido muy valiosos para la realización de esta investigación.

Finalmente a Nittapán por su apoyo financiero y logístico para realizar esta investigación y a todos los productores por ser parte de esta investigación.

CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
CONTENIDO	vi
LISTA DE CUADRO	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Desarrollo sostenible, pobreza rural y medio ambiente	4
2.1.1 Contexto global	4
2.1.2 La problemática del desarrollo y los recursos naturales	5
2.1.3 Servicios ambientales y contribución al desarrollo y combate a la pobreza rural	7
2.2 El dióxido de carbono y el efecto invernadero	9
2.3 Definición del servicio ambiental de almacenamiento y fijación de Carbono	10
2.4 El papel de las coberturas forestales y agroforestales en el almacenamiento y fijación de carbono	11
2.4.1 Los bosques y plantaciones como sumideros de carbono	11
2.4.2. Las plantaciones forestales como fijadoras de carbono	12
2.4.3. Sistemas agroforestales y la fijación de carbono	13
2.4.4. Sistemas silvopastoriles	14
2.5 Valoración económica del servicio ambiental de fijación y el papel de almacenamiento de carbono	16
3. BIBLIOGRAFIA	18
ARTICULO 1. PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN LA PARTE AÉREA Y SUELO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES Y TACOTAL EN MATIGUÁS NICARAGUA	23
RESUMEN	24
ABSTRACT	26
1. INTRODUCCIÓN	28
1.2 OBJETIVOS	29
2. MATERIALES Y METODOS	30
2.1 Área de estudio	30
2.1.1 Localización	30
2.1.2 Clima	31
2.1.3 Características biofísicas y suelos	31
2.1.4 Sistemas de producción ganadera	31
2.1.5 Características socioeconómicas	32
2.2 Depósitos de carbono y sistemas a evaluar	33
2.2.1 Depósitos de carbono	33
2.2.2 Sistemas a evaluar	33
2.3 Diseño de la investigación	33
2.3.1 Diseño Experimental	33
2.3.2 Muestreo de fincas	34
2.3.3 Selección de unidades de muestreo (parcelas de medición)	35
2.3.4 Tamaño, forma y delimitación de las parcelas en el terreno	35

2.3.4.1	Forma y tamaño de parcela en sistema de pastura con árboles	35
2.3.4.2	Forma y tamaño de parcela en sistema de pastura en monocultivo	38
2.3.4.3	Forma y tamaño de parcelas utilizadas en tacotales	38
2.3.4.4	Muestreo de suelos	39
2.4	Construcción de modelos biomasa	40
2.4.1	Selección de árboles	40
2.4.2	Gravedad específica	41
2.4.3	Fracción de carbono en la madera	41
2.4.4	Medición de volumen y biomasa en la muestra destructiva	42
2.5	Factor de expansión de biomasa	44
2.6	Estimación de biomasa y carbono almacenado en las parcelas temporales de muestreo	45
2.6.1	Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en fuste, ramas, hojas y total en el componente forestal	45
2.6.2	Cálculo de la biomasa total, y carbono almacenado	46
2.6.3	Cálculos de biomasa en la pastura	46
2.6.4	Estimación del carbono de suelo	46
3.	RESULTADOS y DISCUSIONES	48
3.1	Biomasa y carbono en las muestras destructivas del componente arbóreo	48
3.1.1	Gravedad específica de las especies estudiadas	48
3.1.2	Fracción de carbono para seis especies leñosas estudiadas	48
3.1.3	Factor de expansión de biomasa	49
3.2	Biomasa, carbono almacenado y modelos de estimación	51
3.2.1	Estimaciones de biomasa en el componente leñoso de las parcelas de muestreo	51
3.2.2	Biomasa en el componente leñoso, pastura residual y el mantillo en tacotales	55
3.2.2.1	Biomasa arbórea	55
3.2.2.2	Biomasa en pastos y mantillo	57
3.2.2.3	Biomasa total arriba del suelo	59
3.3	Carbono almacenado sobre y bajo el suelo	60
3.3.1	Carbono almacenado en el componente leñoso	60
3.3.2	Carbono almacenado en la pastura residual y mantillo	61
3.3.2.1	Carbono almacenado por las gramíneas y mantillo según los sistemas evaluados	61
3.3.3.	Carbono en el suelo	63
3.3.4	Carbono total almacenado en los sistemas silvopastoriles, pastos en monocultivo y tacotales	65
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
4.1	Conclusiones	68
4.2	Recomendaciones	69
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
ARTICULO 2. EVALUACIÓN ECONÓMICA Y VALORACIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN FINCAS GANADERAS EN MATIGUÁS, NICARAGUA		72
RESUMEN		73
ABSTRACT		75

1.	INTRODUCCIÓN	77
1.2	Objetivos	79
1.2.1	Objetivo general	79
1.2.2	Objetivos específicos	79
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	80
2.1	Localización del sitio de investigación	80
2.2	Encuesta a nivel de finca	80
2.3	Tipología de productores y el uso del suelo dentro de la finca	81
2.4	Estimación de costos y beneficios a nivel de finca con y sin venta de servicios ambientales de secuestro de carbono	82
2.4.1	Costos operativos	82
2.4.2	Producto Bruto Total	82
2.4.3	Producto bruto total por hectárea	83
2.4.4	Beneficio neto familiar	83
2.5	Modelación de las combinaciones de sistemas que optimizan el ingreso y el potencial de secuestro de carbono	83
2.6	Estimación del costo de oportunidad de aumentar el almacenamiento de carbono en la finca	84
3.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	86
3.1	Tipología de productores y características de las fincas ganaderas en Matiguás	86
3.1.1	Producción y productividad pecuaria en las fincas ganaderas de Matiguás	87
3.1.2	Costos de producción y los beneficios familiares de las fincas ganaderas de Matiguás	89
3.2	Función de ingresos de cada sistema de uso del suelo dentro de las fincas estudiadas	93
3.3	Estimaciones del óptimo económico y ecológico de las fincas estudiadas y comparación con la situación actual	94
3.4	Costo de oportunidad de incrementar una tonelada de carbono en las fincas estudiadas	96
3.5	Beneficios potenciales del servicio ambiental de almacenamiento y fijación de carbono en las unidades económicas rurales	99
3.5.1.	El impacto en el empleo y la seguridad alimenticia	100
3.5.2.	Ingresos	102
3.5.3.	Formación y conciencia ambiental	102
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
4.1.	Conclusiones	103
4.2.	Recomendaciones	105
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	106

LISTA DE CUADROS (ARTICULO 1)

Cuadro 1.	Ubicación, delimitación y características socioeconómicas de la zona de la zona de investigación	32
Cuadro 2	Superficie y producción anual de los principales rubros agropecuarios del Municipio de Matiguás	33
Cuadro 3.	Diseño completo al azar para evaluar los sistemas silvopastoriles	34
Cuadro 4.	Categorías de vegetación y tamaño de parcelas de muestreo	36
Cuadro 5.	Especies y número de árboles en la muestra destructiva para medición de biomasa	41
Cuadro 6.	Gravedad específica promedio para el fuste y rama de seis especies forestales creciendo en potrero, Matiguás, Nicaragua.	48
Cuadro 7.	Fracción de carbono en fustes y ramas para seis especies arbóreas creciendo en potreros, Matiguás, Nicaragua.	49
Cuadro 8.	DAP, altura y factor de expansión de biomasa (FEB) según clases diamétricas para las especies estudiadas, Matiguás, Nicaragua.	50
Cuadro 9.	Densidades de árboles por sistema y clase diamétrica consideradas en el estudio, Matiguás, Nicaragua	51
Cuadro 10.	Coefficientes de correlación de Pearson de la biomasa total con el DAP, altura total, biomasa de fuste, biomasa de ramas y biomasa de hojas para las especies estudiadas (n = 53), Matiguás, Nicaragua.	51
Cuadro 11	Modelos de mejor ajuste para estimar biomasa total en función de diámetro a la altura del pecho (cm) y altura total (m).	53
Cuadro 12.	Producción de biomasa por componente y sistema, Matiguás, Nicaragua	58
Cuadro 13.	Cobertura de gramíneas y hoja ancha según sistema, Matiguás, Nicaragua	58
Cuadro 14.	Carbono almacenado en el componente leñoso de sistemas silvopastoriles y tacotales ($t\ C\ ha^{-1}$), Matiguás, Nicaragua.	60
Cuadro 15.	Carbono total almacenado arriba del suelo (leñosas y gramíneas) en sistemas silvopastoriles y tacotales en matiguás ($t\ C\ ha^{-1}$), Matiguás, Nicaragua	62
Cuadro 16.	Carbono almacenado en el suelo ($t\ ha^{-1}$) a tres profundidades en pasturas con y sin árboles, y tacotales en matiguás ($t\ C\ ha^{-1}$), Matiguás, Nicaragua	62
Cuadro 17.	Carbono almacenado en la biomasa de gramíneas forrajeras y componente leñoso, el suelo y total por sistema, Matiguás, Nicaragua.	66

LISTA DE CUADROS (ARTICULO 2)

Cuadro 1.	Características básicas de las fincas ganaderas, según tipos de productores, Matiguás, Nicaragua.	86
Cuadro 2.	Promedio de uso de los suelos de las fincas en cada tipo de productores (tipo_1, tipo_2 y tipo_3), Matiguás, Nicaragua	87
Cuadro 3.	Numero de vacas, rendimiento de leche y precios de la leche en invierno y verano, según tipos de productores en Matiguás, Nicaragua	89
Cuadro 4.	Producción bruta, costos y beneficios familiares por hectárea, día hombres de trabajo y actividad productiva, Matiguás, Nicaragua	92
Cuadro 5.	Producción bruta, costos y beneficios familiares por finca y actividad productiva, Matiguás, Nicaragua	92
Cuadro 6.	Los parámetros estimados por el modelo fueron los siguientes	93
Cuadro 7.	Simulación de ocupación del suelo en una finca ganadera de Matiguás, los resultados económicos esperados y cantidad de carbono almacenado	95
Cuadro 8.	Ingresos actuales y costo de oportunidad de incrementar 1 t C en fincas ganaderas, según el tipo de productor en Matiguás, Nicaragua.	99
Cuadro 9.	Tipos de productores, tamaño de fincas, tierra total, empleos generados por el sistema actual y el impacto en el empleo producto del cambio a pasto mejorado + árboles y a un sistema de bosque.	101

LISTA DE FIGURAS (ARTICULO 1)

Figura 1.	Esquema analítico de la investigación para el desarrollo sostenible	4
Figura 1:	Mapa de Nicaragua y ubicación de la zona de estudio	30
Figura 2:	Mapa de ubicación de la micro cuenca del río Bul Bul y distribución de las parcelas de muestreo	30
Figura 3:	Parcela circular para la medición de carbono, 1,000 m ² , dividida en cuatro cuadrantes de 250 m ² y sub-parcelas de 25 m ² y 1 m ² para medición de diámetros menores, pasto, hojarasca y suelo. Modificado de Schlegel (2001); DAP= diámetro a la altura del pecho.	37
Figura 4.	Transecto para el muestreo de pasto residual y suelos en pasturas en monocultivo	38
Figura 5.	Relación entre el DAP y el factor de expansión de biomasa de las especies estudiadas, Matiguás, Nicaragua.	50
Figura 6.	Relación del diámetro a la altura del pecho (DAP, cm) y la biomasa total (BT, t árbol ⁻¹) de las especies estudiadas, Matiguás, Nicaragua	52
Figura 7.	Relación de la biomasa y carbono real y el diámetro a la altura del pecho (dap) para las especies muestreadas, Matiguás, Nicaragua	54
Figura 8.	Predicción de la biomasa por el modelo (Log 10) y el diámetro a la altura del pecho (dap) para las especies muestreadas, Matiguás, Nicaragua.	54
Figura 9.	Predicción del carbono por el modelo (Log 10) de las especies estudiadas, Matiguás, Nicaragua	54
Figura 10.	Biomasa total en el componente arbóreo en sistemas de pasto natural mas árboles (PN. Árboles), pastos mejorados mas árboles (PM. Árboles) y tacotales en Matiguás, Matagalpa. (Líneas verticales representan desviaciones standard)	56
Figura 11	Biomasa en el componente herbáceo de los sistemas de pasto nativos y mejorados con árboles, pastos a pleno sol, Matiguás, Nicaragua. (Líneas verticales representan desviación standard)	57
Figura 12	Biomasa total sobre el suelo (pastos, gramíneas y árboles), Matiguás, Nicaragua. (Líneas verticales representan desviaciones standard)	59
Figura 13.	Carbono almacenado por el componente leñoso de/árboles en potrero y tacotales, Matiguás, Nicaragua. (Líneas verticales representan desviaciones standard)	65
Figura 14.	Carbono almacenado por las gramíneas nativas y mejoradas en Matiguás, Nicaragua. (Líneas verticales representan desviaciones standard)	68
Figura 15.	Distribución del carbono total de los sistemas (suelo y parte aérea), Matiguás, Nicaragua	73

LISTA DE FIGURAS (ARTICULO 2)

Figura 1.	Relación entre los costos pecuarios por finca y los ingresos netos de los productores, Matiguás, Nicaragua.	90
Figura 2.	Beneficios netos pecuario por finca vs. capital invertido, Matiguás, Nicaragua.	90
Figura 3.	Ubicación de fincas ganaderas, según el optimo económico, máxima capacidad de almacenamiento de carbono y situación actual, Matiguás, Nicaragua	95
Figura 4.	Costos de oportunidad de 1 t C vs. el ingreso actual por tipo de productores Matiguás, Nicaragua.	98

1. Introducción general

Las demandas crecientes en el abastecimiento de alimentos humanos, provenientes de las actividades agropecuarias presionan constantemente por incrementos en la producción agropecuaria. En los países del trópico, la búsqueda por satisfacer estas demandas ha implicado la incorporación de nuevas áreas a la explotación agrícola y pecuaria, provocando con ello la tala de áreas expansivas de bosque.

La incorporación a la explotación agropecuaria de áreas de bosque sin un adecuado manejo, ha implicado la degradación acelerada de los suelos, la baja progresiva de la productividad agrícola y pecuaria, y la pérdida de biodiversidad. Asimismo, se contribuye a la liberación de gases como el CO₂ almacenados en los bosques y el suelo. Los incrementos en la tasa de deforestación ha implicado emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociados al calentamiento global (French 1994; Dixon 1995; IPCC 2000).

En los últimos 25 años los incrementos en la producción de carne y leche en América Tropical, se debe al crecimiento de la población bovina y de la superficie de pasturas. De otro lado, la productividad ganadera por unidad de área ha disminuido como consecuencia de la implementación de sistemas de producción más extensivos de pasturas en monocultivo y que sufren la degradación después de 4-8 años de establecimiento (Pezo e Ibrahim 1996). Szott et al (2001), estima que mas del 50% de las áreas de pasto de América Central son degradadas. /

Las actividades humanas son causantes de cambios en la composición de la atmósfera. Se cree que tales cambios se relacionan con un sustancial calentamiento del clima global, debido al llamado "efecto invernadero". Los incrementos en la concentración atmosférica de CO₂, N₂O y otros GEI, causados por el uso desmedido de combustibles fósiles y el cambio de uso del suelo, es objeto de enorme preocupación mundial.

Estimados recientes sugieren una liberación neta de carbono desde el mundo tropical debido a la deforestación entre 0.42 y 1.60 Pg/año (IPCC 2001), de los cuales 0.1 a 0.3 Pg se debe a la disminución en la materia orgánica de los suelos (Veldkamp 1993). La magnitud en la cantidad de CO₂ emitido hacia la atmósfera por los suelos tropicales, solo

es sobrepasada por la liberación mundial debida al consumo de combustibles fósiles (Veldkamp 1993; Lohmann 2000). Se considera que la concentración de CO₂ en la atmósfera ha incrementado más de un 25% desde 1800 (EPA 1994).

Los países desarrollados, responsables del 90% de las emisiones de CO₂ en el mundo, se resisten a reducir drásticamente el uso de combustibles fósiles y los países en desarrollo aumentarían sus cuotas de emisiones en el futuro. Por tanto, las emisiones de GEI a la atmósfera seguirán aumentando. Como medida compensatoria se propone entre otros: modificar la biosfera y la corteza terrestre para permitir que absorban más CO₂ (Lohmann 2000). De esto, se desprende que los sistemas forestales y agroforestales pueden ser una alternativa para convertirse en sumideros de CO₂. Los sistemas silvopastoriles pueden ser no sólo una alternativa de producción ecológicamente sostenible, sino una oportunidad para reducir el CO₂ atmosférico, intensificar las fincas ganaderas y diversificar las fuentes de ingresos con la venta de servicios ambientales. Esto abre una oportunidad para que los ganaderos se beneficien del pago de secuestro de carbono debido a que ellos ocupan una mayor proporción de las tierras cultivadas en comparación con otros usos agrícolas.

El encontrar alternativas productivas, ecológica y económicamente sostenibles, es un reto para la humanidad, puesto que la utopía de convertir los suelos tropicales en un sumidero de Gases de Efecto Invernadero (GEI), a través de plantaciones forestales puras, atenta contra la seguridad alimenticia de una población creciente en el mundo, además de tener efectos negativos en la biodiversidad. En este sentido los sistemas agroforestales, y dentro de ellos los silvopastoriles, pueden no solo ser una opción de producir un marco de manejo y protección de recursos naturales; sino que también contribuir a revertir procesos de degradación en más del 50% de las pasturas existentes en el trópico. Sin embargo, la potencialidad técnica y económica de tales sistemas está pobremente referenciada en la región y el mundo, por lo que se hacen necesarios procesos de investigación técnica y socioeconómica para promover tales cambios.

El presente estudio aportará información sobre la contribución y potencial en la fijación y almacenamiento de carbono, así como la competitividad económica que tienen diferentes arreglos de pastura y árboles en sistemas ganaderos; información que puede ser útil para

la implementación de pago por servicios ambientales (PSA) y generar referencias útiles para el cambio de uso del suelo de pasturas degradadas a sistemas más sostenibles.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Desarrollo sostenible, pobreza rural y medio ambiente

2.1.1 Contexto global

En la década pasada e inicios de la presente la humanidad está adoptando importantes acuerdos globales, hemisféricos y regionales orientados a dar contenido programático a la transición hacia un desarrollo sostenible, concepto propuesto por la Comisión Brundtland en 1987, (Smyle at al. 1999). Estos acuerdos han enfatizado que el desarrollo debe estar centrado en el ser humano. De esta manera, el crecimiento económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente son componentes interdependientes, que se refuerzan mutuamente en el propósito por alcanzar el desarrollo sostenible.

El bienestar de los seres humanos depende de todos los aspectos del desarrollo. Consecuentemente es crucial seguir un planteamiento multidimensional, por consiguiente, la formulación de estrategias y la adopción de medidas para el desarrollo y combate de la pobreza deben basarse en un enfoque integrado (Figura 1).

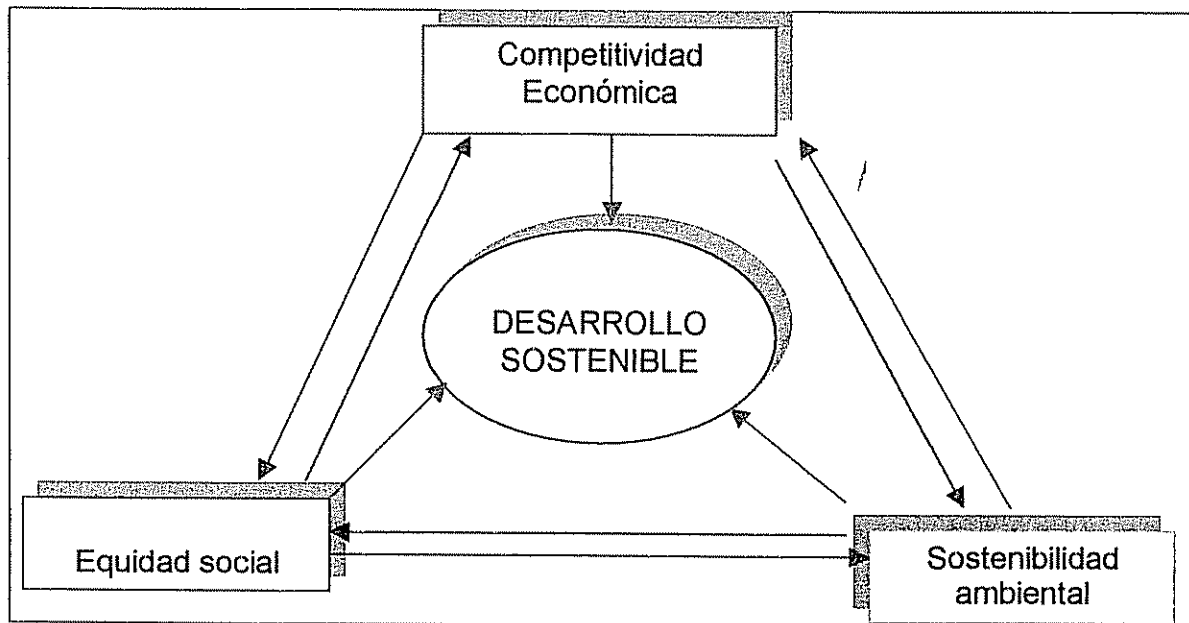


Figura 1. Esquema analítico de la investigación para el desarrollo sostenible

El concepto de desarrollo sostenible ha orientado la formulación de otras definiciones y programas sectoriales que inciden en el medio rural. Al respecto interesa la definición de desarrollo sostenible para la agricultura y algunos de los programas sobre la conservación y gestión de los recursos para el desarrollo contenidos en la agenda 21. Para la agricultura, la FAO adoptó la siguiente definición operacional: *"El desarrollo sostenible consiste en la ordenación y conservación de la base de recursos naturales y la orientación del cambio tecnológico e institucional, de tal manera que se asegure la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras. Este desarrollo conserva la tierra, el agua y los recursos genéticos vegetales y animales, no degrada el medio ambiente y es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable"*.

Los conceptos y objetivos del desarrollo sostenible en el medio rural señalan una visión de la agricultura que va más allá de la producción sostenible y creciente de alimentos y materias primas e incluye la gestión de los recursos naturales. Gallopín (1994), menciona que utilizando la potencia, la flexibilidad y el conocimiento ofrecido por las tecnologías nuevas y emergentes y los nuevos desarrollos científicos, la agricultura se convertirá en sinónimo de manejo sostenible y productivo de los eco-recursos, que incluirán el suelo, el agua, las variedades vegetales y animales, la biodiversidad, funciones y servicios ecológicos tales como la regulación de las cuencas, regulación climática y el ciclo de nutrientes entre otros.

La aspiración por una nueva forma de desarrollo que tenga presente tanto el mejoramiento de la calidad de vida del ser humano como la conservación de los recursos naturales y la protección del medio ambiente, implica un proceso de cambio en la forma de pensar, comprender y hacer las cosas. Se requiere de iniciativas de desarrollo a nivel global de sistemas de producción, finca, cuencas hidrográficas, país y región.

2.1.2 La problemática del desarrollo y los recursos naturales

Existen dos vertientes principales de la degradación ambiental. La primera, asociada a patrones de crecimiento económico en las sociedades industrializadas y sectores de mayores ingresos en los países en desarrollo, con patrones de consumo y producción insostenibles y, la segunda, asociada a la pobreza de la mayoría de los países en

desarrollo. En ambos casos los factores de crecimiento poblacional y de inequidad son determinantes. Las actividades económicas basadas en el manejo de los recursos naturales, enfrentan el desafío de superar ambas vertientes de degradación ambiental (Espinoza et al. 1999).

En nuestros países la " agricultura comercial " basada en la utilización de insumos y capital externo, está considerada en mucha de sus prácticas como una agricultura insostenible desde el punto de vista de los recursos naturales, ambiental y de salud. A ella se le atribuyen problemas de degradación de los suelos, contaminación del agua por el uso excesivo de agroquímicos y deterioro de la base genética para la producción de alimentos, entre otros.

Las actividades agropecuarias hoy en día se enfrentan a un dilema compuesto por tres elementos: (i) Enfrentar el reto de responder satisfactoriamente a la competitividad, para cuyo efecto emplea actualmente, procesos productivos que, en mayor o menor grado, son ecológicamente insostenibles; el mercado no "internaliza" o no paga los costos reales de la degradación, lo cual significa que la producción está subsidiada al permitir el deterioro de la misma base de recursos que sustenta la producción; (ii) la sociedad requiere enfrentar la seguridad alimentaria, en cuyo caso, la productividad, se erige como un criterio social y económico necesario en tierras agrícolas y pecuarias potencialmente aptas; (iii) la producción agropecuaria está recibiendo la presión del entorno económico, político, jurídico y social por una mayor responsabilidad ambiental (sustentabilidad) de sus actividades, procesos, productos y servicios para con los recursos naturales y medio ambiente (Espinoza et al. 1999).

Se estima que más de un tercio de las tierras de Latinoamérica están moderada a severamente degradadas. En Guatemala se ha perdido el 40% de la capacidad productiva de las tierras y en Costa Rica y México se ha calculado que la pérdida de productividad por erosión de suelos reduce el Producto Interno Bruto (PIB) en 0.5-1.5% año⁻¹ (Espinoza et al. 1999).

Por otro parte, la mayoría de los pobres rurales viven en áreas de bajo potencial productivo, zonas degradadas y tierras frágiles de ladera y zonas bajas del trópico húmedo. Esta población depende de los recursos naturales que son la base de su

sustento (agua, alimento, energía e ingresos), pero por las limitantes en cuanto a calidad y cantidad de esos recursos y su marginación económica y política, cruzan el umbral de sustentabilidad y empiezan, por falta de otra alternativa, a destruir esta base. Sobrevivencia de corto plazo o conservación de los recursos naturales, es el dilema al cual se enfrentan millones de pobres en el medio rural con consecuencias para toda la sociedad y en detrimento de la calidad ambiental.

En los países latinoamericanos en general y los centroamericanos en particular, aún disponen de una amplia riqueza de recursos naturales. No obstante, los desafíos de la pérdida de los recursos naturales, los cambios climáticos y la pérdida de la biodiversidad son cada día más influyentes en las estrategias que buscan el desarrollo sostenible. Echeverría (1998), plantea que las estrategias de desarrollo para el medio rural deberían orientarse a romper el círculo vicioso entre deforestación, degradación de los recursos hídricos y suelos, y la pobreza rural.

2.1.3 Servicios ambientales y contribución al desarrollo y combate a la pobreza rural

Los recursos naturales renovables y el capital natural, son una fuente primordial de los insumos en que se basa la producción y el sistema económico en muchas economías del mundo, además proporcionan servicios ambientales. Sin embargo, en términos generales, los recursos naturales y los servicios ambientales han sido bienes de bajo costo o de libre acceso; aspecto que ha ocasionado que los costos privados de bienes y servicios no hayan reflejado los verdaderos costos sociales de su uso y menos aún la provisión para el mantenimiento y la conservación de los recursos naturales que hacen posible tales servicios ambientales (Smyle et al. 1999).

Los recursos naturales, en la mayoría de los países del mundo han sido manejados ineficientemente en detrimento de los procesos ecológicos que sustentan la vida y que hoy se pretende revertir insertándolos en el marco del desarrollo sostenible como servicios ambientales pagados.

La utilización eficiente de los recursos debe permitir revertir la destrucción de los recursos ocasionada por las actividades productivas no-sostenibles y de aplicar estrategias para la

utilización sostenible de la tierra. Estas deben realizarse de tal manera que se eleve la productividad y a la vez se conserven los recursos, principalmente en aquellos ecosistemas frágiles.

El establecimiento de mercados de servicios ambientales puede contribuir de distintas maneras al desarrollo sostenible en el medio rural y en algunos casos sus beneficios trascienden el nivel local y adquiere una dimensión regional y hasta global. El desarrollo de estos mercados puede conducir al surgimiento de nuevas actividades económicas, generación de empleo y de ingresos a los propietarios de recursos generadores de servicios ambientales. Así mismo, permite la transferencia de conocimientos y de recursos de otros sectores nacionales e internacionales al medio rural. No menos importante, es la oportunidad de crear una conciencia pública por los problemas ambientales y un efecto en los patrones de consumo y de producción.

2.2 El dióxido de carbono y el efecto invernadero

La tierra de forma natural está cubierta por gases que permiten la entrada de la energía solar, la cual calienta la superficie de la tierra. Algunos de los gases en la atmósfera, llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI), impiden el escape de este calor hacia el espacio. Este es un efecto natural que mantiene a la tierra con una temperatura promedio arriba del punto de congelación y permite la vida tal como la conocemos. Las actividades humanas han producido un exceso de GEI (principalmente CO₂, CH₄ y N₂O) que están calentando la tierra. Las concentraciones atmosféricas de CO₂ ha aumentado en un 30% desde los tiempos pre-industriales, mientras que la temperatura global promedio ha aumentado entre 0,3 y 0,6 °C (Begon et al., 1996; Alexander et al., 1998; Beaumont 1999; Tattenbach y Pedroni 1999).

Los ecosistemas vegetales son de suma importancia para el ciclo global del carbono porque almacenan grandes cantidades de éste en la vegetación y el suelo, y lo intercambian con la atmósfera mediante los procesos de fotosíntesis, respiración y descomposición. Además, estos se constituyen en fuente de carbono para la atmósfera cuando sufren alteraciones provocadas por el hombre o por causas naturales, por ejemplo, actividades de conversión de bosque a otros usos no forestales (Ramírez et al. 1994). La tala y quema de las masas forestales, permite la liberación del carbono almacenado en la biomasa y con la degradación de los suelos se libera parte del carbono almacenado en el mismo. Por otro lado, los bosques en crecimiento se convierten en sumideros al registrar una absorción neta de CO₂ de la atmósfera, en la biomasa y en el suelo. El hombre puede, mediante la ordenación forestal, modificar la magnitud de las reservas de carbono e inducir cambios en la circulación (flujo) de este elemento, alterando así la función de tales reservas en el ciclo del carbono y posiblemente afectando el clima (Brown 1996).

Todas las plantas y animales realizan el proceso de respiración, proceso que causa disminución del O₂ e incremento de CO₂ atmosférico (Hall y Rao 1994). Cuando una planta o una parte de ella muere, el carbono fijado en los tejidos es liberado a la

atmósfera en forma de dióxido de carbono por medio del proceso de descomposición (Begon et al. 1996; Finegan y Delgado 1997).

La deforestación y otros cambios en el uso de la tierra en la zona del trópico, constituyen una fuente significativa de dióxido de carbono atmosférico. La magnitud de esta fuente adicional es comúnmente estimada entre 8% y 47% de la que se produce de los combustibles fósiles (Begon et al. 1996; Brown 1997b; Alexander et al. 1998). La deforestación contribuye al aumento del CO₂ en la atmósfera de dos formas: disminuyendo la cobertura vegetal capaz de fijar carbono atmosférico, y por la liberación de CO₂ a la atmósfera a través de la quema y descomposición de biomasa, incluida parte de la materia orgánica en el suelo (Hall y Rao 1994).

2.3 Definición del servicio ambiental de almacenamiento y fijación de carbono

El almacenamiento y la fijación de carbono es uno de los servicios ambientales de los ecosistemas forestales y agrícolas (Brown et al. 1984b; Segura 1997). La fijación de carbono se genera en el proceso de fotosíntesis realizado por las hojas y otras partes verdes de las plantas, que capturan el CO₂ de la atmósfera producen carbohidratos, liberan oxígeno y dejan carbono que se utiliza para formar la biomasa de la planta, incluyendo la madera en los árboles. En ese sentido, los bosques tropicales, las plantaciones forestales y las prácticas agroforestales, y en general, aquellas actividades que lleven a la ampliación de una cobertura vegetal permanente, pueden cumplir la función de "sumideros de carbono" (Cuéllar et al. 1999).

Referente a la mitigación de Gases de Efecto Invernadero por parte del recurso forestal, se utilizan varios términos como fijación, reducción, secuestro, almacenamiento y absorción.

Para efectos de este trabajo se usan los siguientes conceptos:

- Stock de carbono. Se refiere a la capacidad de un ecosistema de mantener una determinada cantidad promedio de carbono por ha (Ramírez et al. 1994). Para su cuantificación se toman en cuenta criterios como: bosque o vegetación, densidad de la madera, y factores de ajuste que son datos de biomasa basados en volúmenes por

hectárea de inventarios forestales (Segura 1997). El carbono almacenado se expresa en $t C ha^{-1}$.

- **Carbono fijado.** Se refiere a la capacidad de una unidad de área cubierta por vegetación para fijar carbono en un período determinado (Segura 1997), es decir por encima de la cantidad actualmente almacenado. El carbono fijado es una forma temporal de almacenamiento; por ejemplo el convenio entre el Gobierno de Noruega y Costa Rica y los bonos de carbono (Certificados de Conservación del Bosque - CCB), permite el pago a los propietarios de bosque que eviten cambios en el uso de la tierra durante un periodo de 20 años (Ramírez et al. 1994). El carbono fijado se expresa en $t C ha^{-1} año^{-1}$.

2.4 El papel de las coberturas forestales y agroforestales en el almacenamiento y fijación de carbono

Investigaciones recientes sugieren que la calidad del manejo forestal puede hacer una contribución significativa en controlar los niveles de CO_2 en la atmósfera. Otras actividades de uso de la tierra que pueden contribuir a este fin son: la conservación de bosque en peligro de deforestación, rehabilitación de bosques, forestación, reforestación, agricultura y agroforestería (Ducan et al. 1999; Fischer et al. 1999).

La alternativa más viable de ampliación de sumideros de GEI es la forestación de nuevas áreas de tierra que presentan características favorables para ello. Las variables a considerar para elevar al máximo la fijación de carbono incluyen: las especies de árboles a plantar, las tasas de crecimiento y la longevidad de las mismas, las características del sitio a forestar, los períodos de rotación y la duración y uso de los productos forestales a extraer. La forestación y la reforestación son las únicas actividades elegibles para el MDL durante el primer periodo de compromisos según los acuerdos de Bonn.

2.4.1 Los bosques y plantaciones como sumideros de carbono

Únicamente los bosques que tienen un crecimiento neto, son capaces de una absorción neta de dióxido de carbono (Begon et al. 1996; Finegan y Delgado 1997), y por lo tanto, de contribuir a la reducción de dióxido de carbono atmosférico.

En Costa Rica, estudios de fijación de carbono realizados en los bosques en crecimiento han dado los siguientes resultados: El bosque tropical húmedo hasta $16,7 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Tosi 1995, citado por Carranza *et al.* 1996) y el bosque húmedo premontano $5,1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. En bosques de altura, Segura (1997) encontró que *Quercus costarricensis* con manejo silvicultural almacenó 56 t C ha^{-1} mientras que la tasa de fijación para todas las especies fue de $1.87 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Los bosques secundarios también contribuyen a la fijación de CO_2 ; su potencial para fijar carbono dependerá del potencial de la vegetación para desarrollarse y la tasa de producción de biomasa. En general, los bosques secundarios que se desarrollan en tierras utilizadas anteriormente para la actividad ganadera crecen más lentamente, quizás por la compactación y calidad de los suelos escogidos para la actividad ganadera o por efectos de la degradación y pérdida de fertilidad, que los bosques secundarios establecidos en tierras agrícolas con pocos años de uso, lo que repercute en la cantidad de biomasa y la capacidad para fijar carbono (Finegan y Delgado 1997).

2.4.2. Las plantaciones forestales como fijadoras de carbono

En años recientes se ha sugerido que el establecimiento de grandes áreas de plantaciones forestales tendría un impacto sobre la mitigación de GEI 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, suelos 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 1999).

Para el desarrollo de plantaciones se sugiere la utilización de especies de rápido crecimiento, y por razones de cuidar la biodiversidad preferiblemente nativas, que en cortos periodos fijen grandes cantidades de carbono en su biomasa (Brown 1997^a; Asamadu 1998). La importancia de las plantaciones forestales de rápido crecimiento para almacenar carbono se basan en una mayor tasa de fijación. Se estima que una plantación arbórea sana y en los mejores sitios absorbe o secuestra alrededor de $10 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de

la atmósfera, dependiendo de las condiciones del lugar (Asamadu 1999). Además de una tasa de producción de biomasa alta, otra característica importante a tomar en cuenta es el tiempo de permanencia de la plantación hasta su cosecha (Beaumont 1999; Finegan y Delgado 1997).

Las plantaciones de madera para aserrío contribuyen en mayor medida a la mitigación de GEI, que aquellas destinadas para pulpa de papel o para la producción de leña que son de rotaciones cortas. Sin embargo, las especies para pulpa son generalmente de crecimiento más rápido y logran fijar más dióxido de carbono en poco tiempo (Alfaro 1997) y el uso de leña puede sustituir el uso de combustibles fósiles. El uso de madera proveniente de plantaciones forestales de rápido crecimiento para la fabricación de muebles, casas, encofrados, juguetes y tomería es una manera eficaz para fijar CO₂; así el carbono fijado queda almacenado en las estructuras por largo tiempo (Alfaro 1997; Kyrklund 1990; Stella 1999).

2.4.3 Sistemas agroforestales y la fijación de carbono

Los sistemas agroforestales (SAF) y silvopastoriles pueden mantener y hasta aumentar las reservas de carbono en la vegetación y los suelos. De hecho, la agroforestería fomenta prácticas sostenibles de bajos insumos que minimicen la alteración de los suelos y plantas, enfatizando la vegetación perenne y el ciclaje de nutrientes, contribuyendo a almacenar carbono a largo plazo (Kursten y Burschel 1993).

La reforestación no incluye exclusivamente a las plantaciones forestales puras en bloque, también existen otras estrategias tales como: cultivo en linderos, cortinas rompevientos, sistemas taungya, cercas vivas, árboles dispersos en potreros y cultivos, entre otros.

Los SAF ayudan a evitar el agotamiento de las reservas o almacenamientos naturales de carbono ya existentes, reduciendo la presión sobre los bosques. El componente arbóreo en los sistemas agroforestales pueden llegar a evitar la explotación de los bosques al suplir suficiente energía a bajos precios, y si la madera de los árboles es procesada, un 50% de ella actúa como almacén de carbono hasta su descomposición (Dixon 1995; Stella 1999).

Según Kurstel y Burschel (1993), la cantidad de carbono secuestrado directamente por los árboles dentro de diferentes SAF oscila entre de 3 a 25 t C ha⁻¹. En el caso de huertos caseros y taungya se logra superar las 50 t C ha⁻¹. El potencial para el almacenamiento de carbono en SAF, incluyendo el carbono del suelo, oscila entre 12 y 228 t C ha⁻¹ (Dixon 1995); siendo el potencial para el almacenamiento de carbono mayor en el trópico húmedo.

En algunos sistemas agroforestales se han estimado tasas de fijación de carbono desde 0,1 a 5 t C ha⁻¹ año⁻¹. El almacenamiento de carbono depende: de la especie arbórea y densidad de siembra, la materia orgánica presente en el suelo, edad de los componentes, tipos de suelos, características del sitio, factores climáticos y el manejo silvicultural al que se vea sometido (Segura 1999; Cubero y Rojas 1999).

2.4.4 Sistemas silvopastoriles

Un sistema silvopastoril es una opción de producción pecuaria que involucra la presencia de las leñosas perennes (árboles o arbustos), e interactúan con los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas y animales), todos ellos bajo un sistema de manejo integral (Somarriba 1992; Pezo e Ibrahim 1996).

Los sistemas ganaderos y de pasturas tradicionales se mencionan como uno de los usos del suelo que mas aportan CH₄ y CO₂ a la atmósfera (Ciesla 1996; Abarca 1996). En los sistemas de producción de leche intensiva, la emisión de N₂O es también importante debido a la aplicación de fertilizantes nitrogenados en dosis relativamente altas (Mora 2002). Los sistemas silvopastoriles ofrecen una alternativa sostenible al aprovechar las ventajas de varios estratos de la vegetación. Además al aumentar la biomasa no sólo se crean sumideros de carbono en forma de árboles y productos maderables, sino que se aumenta la biodiversidad animal y vegetal, ayudando a evitar el agotamiento de los recursos naturales ya existentes (Sánchez 1999; López 1998).

Recientemente se ha reconocido el papel de las pasturas en el ciclo del carbono. En este sentido las gramíneas seleccionadas con altos rendimientos de biomasa y bien adaptadas, tienen un rol importante en la reducción y retención de la emisión de carbono de la atmósfera, mediante la producción de biomasa aérea y de raíces, y por la deposición

de materia orgánica en el suelo (Montenegro y Abarca 1999). La mayoría de las gramíneas tropicales son plantas C₄ que tienen un alto potencial para secuestrar carbono. Sin embargo, se necesita de la asociación con leguminosas para sostener la productividad. Por lo tanto, la combinación de gramíneas mejoradas, leguminosas y árboles es un sistema efectivo para incrementar el potencial de los recursos (ciclaje de nutrientes e interacciones) y contribuir al almacenamiento de carbono (Pomareda 1999; Montenegro y Abarca 1999).

Las contribuciones que puede tener un determinado sistema, está en función de los arreglos y densidades de árboles, así como también del tipo de pasturas (gramíneas y/o leguminosas). Los Sistemas Agroforestales y Silvopastoriles en Centroamérica han estimado tasas de fijación de carbono en el orden de 0.1 a 4.3 tC ha⁻¹ año⁻¹ (Kursten et al. 1993; Pomareda 1999). Un análisis presentado por Fischer et al. (1994) en las sabanas del neotrópico, se encontró que las pasturas mejoradas almacenan la mayor parte de carbono en las capas más profundas del perfil del suelo, más allá de la capa arable (0 - 80 cm de profundidad) y que las gramíneas introducidas podrían estar almacenando en el suelo entre 217 a 294 t C ha⁻¹. Según este análisis, las pasturas *Brachiaria humidicola* y *Andropogon gayanus* adicionaron entre 28,5 y 77,6 t C ha⁻¹ en relación a los pastos nativos, especialmente al asociarse con alguna leguminosa.

Un estudio realizado en la Zona Norte de Costa Rica, López (1998) encontró que el suelo de un potrero con pasto guinea (*Panicum maximum*) almacenó 233 t C ha⁻¹; mientras que el suelo de un sistema silvopastoril con regeneración natural/de laurel (*Cordia alliodora*) almacenó de 180-200 t C ha⁻¹.

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

2.5 Valoración económica del servicio ambiental de fijación y el papel de almacenamiento de carbono

El mantenimiento de reservas de carbono en los bosques se ha convertido en un servicio ambiental reconocido globalmente, que puede tener un valor económico considerable para países en vías de desarrollo (Dixon et al 1994).

La valoración de los servicios ambientales ha sido un tema de importancia relevante en los últimos años. Los profesionales y los gobiernos hoy comprenden que para calcular medidas alternativas de inversión se requiere la determinación de valores monetarios de beneficios y costos, tanto directos como indirectos, de diferentes acciones. La valoración económica ha pasado de mediciones de los impactos directos provocados por las actividades a incorporar el concepto de contabilidad de los recursos naturales (Dixon et al. 1994).

A nivel mundial se han generado controvertidas discusiones sobre la valoración de los servicios ambientales y la concientización de la sociedad para retribuir económicamente y compensar a los propietarios de los ecosistemas que aportan servicios ambientales (Gregerson et al. 1999). Los debates giran entorno a: ¿cómo cuantificar los servicios generados?, ¿cómo valorar tales servicios?, ¿en cuáles sistemas se pagan tales servicios?, y mas recientemente, ¿cuales son costos de transacción de los servicios?. La complejidad de las interacciones dentro de un ecosistema hacen casi imposible poder medir y valorar cada bien por separado, como la conservación de la biodiversidad, producción y protección del recurso hídrico, belleza escénica natural para fines científicos y turísticos (Montenegro y Abarca 1999; Otárola y Venegas 1999).

Una excepción es el servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono. Este puede ser cuantificado en forma física y por componente dentro de un ecosistema (árbol, planta, materia orgánica depositada arriba del suelo, y en el suelo, etc.). Esto hace posible conocer la cantidad de carbono almacenado por un ecosistema y por tanto posibilita realizar negociaciones por este servicio.

En las pocas experiencias de valoración del servicio ambiental de carbono se han utilizado varios precios de referencia. En el caso de Costa Rica, este ha negociado con el

gobierno de Noruega, un precio de US\$10 por tonelada de carbono almacenada por un período de 20 años. Sin embargo, el precio de US\$20 por tonelada que corresponde al promedio de los mejores estimados existentes del costo marginal social de la emisión de una tonelada de carbono a la atmosférico, debería ser el pago por el servicio de sumidero permanente de carbono atmosférico (Ramírez et al. 1994).

Según el IPCC (2000), se establecen criterios de pago para negociaciones futuras, contabilizando en el momento de la negociación el carbono fijado y/o almacenado de acuerdo a la función de las tierras y/o en función de la actividad, con lo que se da cabida a cuantificar y valorar nuevos y diversos ecosistemas que brinden el servicio ambiental de fijación y/o almacenamiento de carbono. Se otorga, consecuentemente, la opción de cuantificar el carbono almacenado y/o fijado por sistemas agroforestales y otros usos de la tierra, justificando la retribución monetaria por el servicio ambiental brindado a la sociedad.

3. BIBLIOGRAFIA

- Ⓜ Alexander, S; Schneider, S; Lagerquist, K. 1998. Nature's Services: societal dependence on natural ecosystems. The interaction of climate and life. Washington, D.C: Gretchen C. Daily. 476 p.
- Ávila, G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 99p.
- Alfaro, M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en ecosistemas forestales. Revista Forestal Centroamericana No.19: 9-12.
- Alvarado, J; López de León, E; Medina, M. 1999. Cuantificación estimada del dióxido de carbono fijado por el agroecosistema café en Guatemala. Boletín PROMECAFE. (IICA)N 81:7-14.
- Andrade, H.J. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 83 p.
- Asumadu, K. 1999. El comercio del derecho de emisión: una nueva oportunidad para los países productores de maderas tropicales. Actualidad Forestal Tropical 6 (4):2.
- Asumadu, K. 1998. Sumideros de carbono, la alternativa para no hundirnos. Actualidad Forestal Tropical 6 (4):1 - 4.
- Ⓜ Beaumont, R.E. 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. 99 p.
- Bastienne S; Gayoso G; Guerra J. 2001. Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Santiago de Chile, Universidad Austral de Chile, proyecto FONDEF D98I1076. 15 p.
- Ⓜ Begon, M, Harper, J; Townsend, C-R. 1996. Ecology: individuals, populations and communities. Oxford, Blackwell Scientific Publications. 876 p.

- Brow, K; Adger, N.W. 1994. Economic and political feasibility of international carbon offsets. *Forest Ecology and Management*. 68 :217-229.
- Brown, S. 1997 (a). 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,
- _____; Lugo, A.E. 1992 Aboveground biomass estimate for tropical moist forests of the Brazilian Amazon, *Interciencia* 17 (1): 8-18.
- _____; Gillespie, A.R.J. 1989. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35 (4): 881-902.
- _____; Lugo, A.E. 1984a. Biomass of tropical forest: a new estimate based on forest volume. *Science* 223: 1290-1293.
- _____; Lugo, A.E. 1984b. The storage and production of organic matter in tropical forest and their role in the global carbon cycle. *Biotropica* 14:161-187
- Carranza , C; Allward. B; Echeverría, J; Tosi, J; Mejías, R. 1996. Valoración de los servicios ambientales de los bosques de Costa Rica, Centro Científico Tropical. 71 p.
- Ciesla, W.M. 1996. Cambio climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. Estudio FAO Montes No 126. 147 p.
- Cuéllar, N; Rosa, H; González, M. 1999. Los servicios ambientales del agro: El caso del café de sombra en El Salvador. *PRISMA*. No. 34:1-16.
- CEPAL. Panorama social 1996. Información en páginas de internet.
- Dixon, K. 1995 Sistemas agroforestales y gases de invernadero. *Agroforestería en las Américas*. 2 (7) 22-26.
- Dixon , A; Scura, F; Carpenter. A; Sherman, B.1994 Análisis económico de impactos ambientales. In: Desarrollo ambiental y el papel del análisis económico. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 249 p.
- Dixon, J.; Carpenter, R..Fallón, L; Sherman. P. 1995. Economic analysis of the environmental impacts of development projects. London. Asian Development Bank. 210 p.
- Duncan, P; Jurgen, B; Bruenig, F; Burgess, P; Cabarde, B; Cassells, D; Douglas, J; Gilmour, D; Hardcastle, P; Hartshorn, G; Kaimowitz, D; Kishor. N; Leslie, A; Palmer, J; Putz.F; Salleh. N; Sizer, N; Synott. T; Wadsworth, F; Whitmore, T. 1999. No habrá bosques sin manejo: sustentación de ecosistemas forestales bajo condiciones inciertas. *Actualidad Forestal Tropical* 6 (4):10-12.

- Erickson, J. 1992. El efecto invernadero: el desastre del mañana, hoy. Madrid, España, McGraw-Hill / Interamericana 217 p.
- EPA. 1994. Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks : 1990-1993. U.S ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. National center for environmental publications and information. Cincinnati. 74p.
- Echeverría, R. 1998. Estrategias para la reducción de la pobreza rural. BID. No ENV-122. p 5.
- Espinoza, N; Gatica, J; Smyle J. 1999. El pago de servicios ambientales y el desarrollo sostenible en el medio rural. Costa Rica. Serie de publicaciones RUTA. 57 p.
- FAO.1995. Evaluación de los recursos forestales 1990: Países tropicales. Estudio FAO Montes No 112. 106 p.
- Fischer, M.J; Rao, I.M; Ayarza, M.A; Lascano, C.E; Saenz, J.I; Thomas, J.R; Vara, R.R. 1994. Carbon storage by introduced deep rooted grasses in the South American Savannas. Nature 371: 236-238.
- Fischer, M.J; Trujillo, W. 1999. Fijación de carbono en pastos tropicales en sabanas de suelos ácidos neotropicales. In Seminario Internacional intensificación de la Ganadería Centroamericana: Beneficios Económicos y Ambientales. (1999, Turrialba. Costa Rica). Turrialba, Costa Rica; FAO - CATIE, SIDE. p.115 -135.
- Finegan, B.1992. The management potential of neotropical secondary lowland rain forest, Forest Ecology and Management 47: 295-321.
- _____. 1997. Bases Ecológicas "Los ambientes tropicales y el ajuste de los organismos". Turrialba, Costa Rica. CATIE.
- _____; Delgado, D. 1997 ". Ciclos y flujos de materia y energía: Ecosistema, océano y atmósfera. Bases Ecológicas ". Turrialba. Costa Rica. CATIE. p11- 15.
- Gregerson, H; Lundgren, A; Kengen, S; Byron, N. (1999). Avalúo de bienes y servicios forestales y su incorporación a las cuentas nacionales. FAO. Roma. No124. 24p
- Hall, D.O; Rao, K.K. 1994. Photosynthesis. 5th ed, Cambridge, Cambridge University Press. 211 p.
- Herz, C. 1999. El Protocolo de Kyoto: una oportunidad que no debemos perder. Bosques y Desarrollo. 20-21: 8-13.
- Holdridge, L.R. 1978. Ecología basada en las zonas de vida. Trad. H. Jiménez S. San José, Costa Rica. IICA 216 p.

- ④ IPCC. 2000. Uso de la tierra, cambio del uso de la tierra. Informe especial. Resumen para responsables de políticas. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Montreal, Canadá. 24 p.
- Kursten, E; Burschel; P. 1993. CO₂-mitigation by agroforestry. Water, Air and Soil Pollution 70: 533-544.
- Kyrilunk, B.1990. Cómo pueden contribuir los bosques y las industrias forestales a reducir el exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera. Unasyiva 41(163): 2-15.
- Lohmann, L. 2000. El Mercado del carbono: Sembrando más problemas. Movimiento mundial por los bosques tropicales. Naturskydds foreningen. Montevideo, Uruguay. 31p.
- López, A. 1998. Aporte de los sistemas silvopastoriles al secuestro de carbono en el suelo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 50 p.
- Levard, L; Pérez, F y Marín, L. 2001. Limitantes y potencialidades del desarrollo agropecuario en el Municipio de Matiguás. Managua, Nicaragua, Nitlapán-UCA. 120 p.
- Márquez, L. 1997. Validación de campo de los métodos del Instituto Winrock para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo para cuantificar carbono en sistemas agroforestales. Guatemala. Universidad del Valle de Guatemala. 45 p.
- _____. 2000. Elementos técnicos para Inventarios de Carbono en Uso del Suelo.. Guatemala, Fundación Solar. 36 p
- MacDiken, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA: Winrock International Institute for Agricultural Development. 45 p
- Montenegro, J; Abarca, S. 1999, Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. In Intensificación de la ganadería en Centroamérica: Beneficios económicos y ambientales. Turrialba, Costa Rica; FAO-CATIE, SIDE. P. 151 -174.
- Otárola, M; Venegas, G. 1999. Propuesta de un sistema de compensación de servicios ambientales para los robledales de la Cordillera de Talamanca. Tesis Lic. Cs. For. en Manejo forestal. Heredia, Costa Rica. Escuela de Ciencias Ambientales. Facultad de la Tierra y el Mar. Universidad Nacional, 150 p
- Pedroni, L. 1999. Implementación conjunta y desarrollo limpio: Antecedentes a nivel mundial. Manejo forestal tropical. (CATIE). No 10; 1 -12

- Pezo, D; Ibrahim, M 1999. Sistemas silvopastoriles. segunda ed. CATIE, Turrialba Costa Rica. Materiales de enseñanza. No 44. 275 p.
- Pezo, D.; Ibrahim, M. 1996. Sistemas silvopastoriles, una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos. In Pastoreo intensivo en zonas tropicales. 1er Foro internacional. FIRA/Banco de México. Veracruz, México. 35p.
- Pomareda, C. 1999. Carbon sequestration through pasture intensification: technical, economic and management issues for the livestock and environment initiative. San José, Costa Rica. The Word Bank /FACT47p.
- ☉Ramírez, O; Gómez, M. 1999. Estimación y valoración económica del almacenamiento de carbono. Revista Forestal Centroamericana. 2 (27): 17-22.
- ☉Ramírez, P. 1998. Gases de efecto invernadero y venta de carbono: Una visión de conjunto. Revista de Ciencias Ambientales No15.: 20 - 27.
- ☉Ramírez. O ; Rodríguez, L; Finegan, B; Gómez, M. 1999. Implicaciones económicas del secuestro de CO₂ en los bosques naturales. Revista Forestal Centroamericana. 2 (27): 10-16.
- Sánchez, M. 1999. Sistemas Agroforestales para intensificar de manera sostenible la producción animal en América Latina. Memorias de una conferencia electrónica septiembre 1998. FAO. Estudio Producción y Sanidad Animal. No143. p. 515.
- . 2000. Sistemas agroforestales para intensificar de manera sostenible la producción animal en Latinoamérica Tropical. In Conferencia electrónica FAO sobre Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica. Roma, FAO. 8p.
- Segura, M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costaricensis*, en un bosque de altura en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis Lic. Cs. For. Heredia, Costa Rica., UNA. 127 p.
- Serrao, E. A.; Toledo, J. M. 1992. Sustaining pasture based production system for the humid tropics. In: Development or destruction, the conversion of tropical forest to pasture in Latin America. Eds. S. Downing, H. Pearson, C. García Downing. Boulder, West view Press. P. 257- 280.
- 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.

**PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN LA PARTE
AÉREA Y SUELO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES Y TACOTAL EN MATIGUÁS
NICARAGUA**

POR:

Alfredo Ruiz García

RUIZ GARCIA, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 111 p.

Palabras claves: Sistemas silvopastoriles, productores, fincas ganaderas, pasturas nativas, pasturas mejoradas, tacotales, sistemas de producción, *P. maximum*, *B. Brizantha*, *P. virgatum*, *P. notatum*, *Hyparrhenia rufa*, fracción de carbono, gravedad específica, biomasa, carbono almacenado.

RESUMEN

Con el objetivo de estimar la capacidad de almacenamiento de carbono y la contribución en la competitividad económica de las fincas ganaderas, se estudiaron sistemas silvopastoriles de pastos nativos (*Hyparrhenia ruffa*, *Paspalum notatum* y *Paspalum virgatum*) y pastos mejorados (*Brachiaria brizantha*, *Panicum maximum*, *Cynodon dactylon*) asociados con árboles dispersos (más de 15 especies) y áreas de regeneración natural dentro de las fincas (tacotales con edades entre 5-20 años). La investigación se realizó en fincas privadas cuyos tamaños oscilaron entre 10-300 ha⁻¹, el sitio está ubicado en las partes bajas (200-400 msnm) de la micro-cuenca del Río bul-bul, en el municipio de Matiguás, Nicaragua. Las coordenadas del municipio son 85° 27' N y 12° 50' W. Las precipitaciones de la zona oscilan entre los 1200 a 1800 mm año⁻¹, de los cuales más del 80% se da en el periodo de mayo a diciembre, y un periodo seco se presenta en los meses de enero a abril. La temperatura media anual es de 27 °C.

Se empleó un diseño irrestricto al azar, con cinco repeticiones y arreglo factorial 2 x 5, el factor A= es la pendiente del terreno (< 20% y > 20%) y factor B= cinco sistemas de uso del suelo (pasto natural a pleno sol, pasto mejorado a pleno sol, pasto natural con árboles, pasto mejorado con árboles y tacotal). Para estimar la biomasa se probaron 29 modelos alométricos, lineales, cuadráticos y logarítmicos (utilizando el diámetro a la altura del pecho (dap) y altura total como variables independientes).

Las variables evaluadas en la investigación fueron, la biomasa y carbono almacenado por cada componente del sistema (árboles, pasturas, suelos, hojarasca) y el factor de expansión de biomasa. En la parte económica se evaluaron indicadores técnicos productivos (rendimiento de leche, carga animal, precios de leche), y variables económica (costos de producción, ingresos netos, costo de oportunidad de incrementar el carbono en las fincas, impacto de los cambios de uso del suelo en el empleo y el ingreso).

- “ Se encontró una alta correlación entre Biomasa y Carbono Total y DAP ($R^2 = 0.89$ y 0.90). El modelo que mejor estimó la biomasa y el carbono en el componente leñoso es un modelo logarítmico y presentó un $R^2 = 0.94$, C.V = 24% y un sesgo de estimación de 0.5%, estos resultados son superiores a los reportados por Brown et al (1989 y 1992), y por los reportados por Segura (1999), y Ortiz (1997 a). Los contenidos de biomasa y carbono en el componente leñoso y herbáceas fueron diferentes estadísticamente entre los tacotales y los otros sistemas. Los sistemas silvopastoriles fueron estadísticamente diferentes a los sistemas de pastos a pleno sol. Entre los cuatro sistemas de pasturas, el pasto mejorado con árboles resultó superior a los otros tres. ”

- “ El contenido de carbono almacenado en el suelo no resultó estadísticamente diferente entre los cinco sistemas, aun cuando los tacotales almacenaron un 10% más carbono que pastos nativos a pleno sol y el pasto mejorado con árboles un 2% más que pastos nativos. El carbono total del sistema (pasturas, árboles y suelos), solo tacotal resultó diferente respecto a los demás sistemas almacenando $201,1 \text{ t C ha}^{-1}$, pastos mejorados con árboles $170,2 \text{ t C ha}^{-1}$, pastos nativos con árboles $164,4 \text{ t C ha}^{-1}$, pasto mejorado a pleno sol 157 t C ha^{-1} y pastos naturales a pleno sol $153,4 \text{ t C ha}^{-1}$. ”

RUIZ GARCIA, A. 2002. Fixation and storage of carbon in silvopastoriles systems and economic competitiveness in Matiguás, Nicaragua. Thesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 106 p.

Key words: Silvopastoral Systems, producers, cattle farm, native pastures, improved pastures, tacotales, production systems, *P. maximum*, *B. Brizantha*, *P. virgatum*, *P. notatum*, *Hyparrhenia ruffa*, carbon fraction, specific gravity, biomass, stored carbon.

ABSTRACT

¹¹ With the objective to estimate the storage capacity of carbon and the contribution in the economic competitiveness of the cattle farm, silvopastoral systems of native grasses (*Hyparrhenia ruffa*, *Paspalum notatum* and *Paspalum virgatum*) and improved grasses (*Brachiaria brizantha*, *Panicum maximum*, *Cynodon dactylon*) associated with dispersed trees (more than 15 species) and areas of natural regeneration on the farms (tacotales with ages among 5-20 years) were studied. The investigation was carried out in private farms which sizes oscillated among 10-300 ha⁻¹, located in the low parts (200-400 msnm) of the micro-watershed of the bul-bul River, in the municipality of Matiguás, Nicaragua. The coordinates of the municipality are 85^o 27' N and 12^o 50' W. The precipitations in the area oscillate among 1200 to 1800 mm año⁻¹, it has a rainy period of may to december (80%), and a dry period from january to april. The annual half temperature is of 27 °C.¹¹

Completely randomised design, with five repetitions and factorial arrangement 2 x 5, the factor A = land slope (< 20% and > 20%) and factor B = five soil use systems (unshaded natural pasture, unshaded improved grass, natural grass with trees, improved grass with trees, and natural regeneration (tacotal)) was used. To estimate the biomass, 29 lineal, quadratic and logarithmic model were tested (using as variables the breast height diameter (bhd), total height).

The variables evaluated in the investigation were: the specific gravity of the wood (SG), carbon fraction (wood, grass and fallen leaves), biomass, carbon stored (trees, pastures, soil, fallen leaves) and the expansion factor of biomass. In the economic component, productive technical indicators were evaluated : yield of milk, stocking rate, prices of milk,

and economic indicators: production costs, net revenues, opportunity cost of increasing the carbon, and impact of land use changes on employment and the revenues.

¹¹ It was found a high correlation between Biomass and Total Carbon and BHD ($R^2 = 0.89$ and 0.90). The model that better estimated the biomass and the carbon in the woody component was a logarithmic model and it presented a $R^2 = 0.94$, C.V = 24% and a estimate bias of 0.5%, these results are superior to those reported by Brown et al. (1989 and 1992), Segura (1999), and Ortiz (1997a). The biomass contents and carbon in the woody and herbaceous component were statistically different between the natural regeneration (tacotal) and the other systems. The silvopastoral systems were statistically different to the unshaded grasses systems. Among the four pasture systems, the improved grass with trees was superior to the other three systems. ¹¹

¹¹ The content of carbon stored in the soil was not statistically different among the five systems, even when the natural regeneration (tacotal) stored 10% more carbon than unshaded natural grasses and the improved grass with trees 2% more than natural grasses. The total carbon of the system (pastures, trees and soil), only natural regeneration (tacotal) was different respect to the other systems, which stored $201,1 \text{ t C ha}^{-1}$, improved grasses with trees $170,2 \text{ t C ha}^{-1}$, native grasses with trees $164,4 \text{ t C ha}^{-1}$, unshaded improved pasture 157 t C ha^{-1} , and unshaded natural grasses $153,4 \text{ t C ha}^{-1}$. ¹¹

1. INTRODUCCION

La conversión de bosques a pasturas ha sido el cambio en el uso de tierra más importante en América Latina en los últimos cuarenta años. Muchas de las áreas deforestadas fueron reemplazadas por pasturas en Centroamérica durante las décadas de los 60's, 70's y 80's (Kanninen, 2001). Los lentos adelantos tecnológicos y/o la falta de adopción de estos en sistemas ganaderos y el modesto aumento en la productividad, hicieron de la expansión de pasturas la única estrategia para aumentar la producción ganadera. En la región centroamericana, cerca de 15 millones de hectáreas están ocupadas por pastizales (Pomareda, 1999), de las cuales 4.4 millones están en Nicaragua.

La necesidad de un entendimiento del papel que juegan los pastizales tropicales y los sistemas silvopastoriles en el ciclo del carbono ha sido señalada por muchos autores. Las pasturas son importantes depósitos de carbono, la mayoría almacenada por la materia orgánica del suelo (Minami, et al 1993; Veldkamp, 1994; Ibrahim y Mannetje, 1998). Las pasturas bien manejadas pueden contribuir con el almacenamiento de carbono ;sin embargo una pastura degradada actúa como fuente emisora (Dixon 1995).

El almacenamiento de carbono en sistemas arbóreos se ha estimado en 2,8 t C ha⁻¹ año⁻¹ en plantaciones para leña, 1,2 t C ha⁻¹ año⁻¹ en bosques secundarios, 1.1 t C ha⁻¹ año⁻¹ en árboles de sombra y de 0,1 t C ha⁻¹ año⁻¹ en árboles establecidos en potreros (Kursten y Burschel 1993). Se ha documentado que la asociación de/pasturas con leguminosas forrajeras, mejora el almacenamiento de carbono en los suelos (Ibrahim 1994).

El almacenamiento de carbono es un servicio ambiental que valoriza la incorporación de especies arbóreas en sistemas agroforestales, y representa un atractivo para el financiamiento de proyectos de inversión y de desarrollo rural y combate a la pobreza en el ámbito regional y nacional, (IPCC 1996), encontrándose varios casos de proyectos agroforestales bajo programas de financiamiento por segundos países.

Este trabajo fue realizado con el objetivo de cuantificar el potencial que tienen diferentes arreglos de pasturas con árboles y árboles de regeneración natural en pequeñas áreas

(tacotal) dentro de las fincas ganaderas, en el municipio de Matiguás, Matagalpa, Nicaragua.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo general

- Estimar la biomasa, almacenado en fincas ganaderas, con manejo de pasturas naturales y mejoradas en monocultivo, sistemas silvopastoriles y áreas de regeneración natural de 5-20 años (tacotales).

Objetivos específicos

- Estimar el aporte de biomasa herbácea y leñosas en los sistemas estudiados
- Determinar el factor de expansión de biomasa de las especies leñosas
- Cuantificar el carbono almacenado en el suelo, pastura, componente leñoso y mantillo.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Área de estudio

2.1.1 Localización

La investigación se realizó en la micro-cuenca del Río Bulbul, en el Municipio de Matiguás, ubicado en las coordenadas geográficas $85^{\circ} 27' N$ y $12^{\circ} 50' W$, en el Departamento de Matagalpa, Nicaragua (Figura 1).

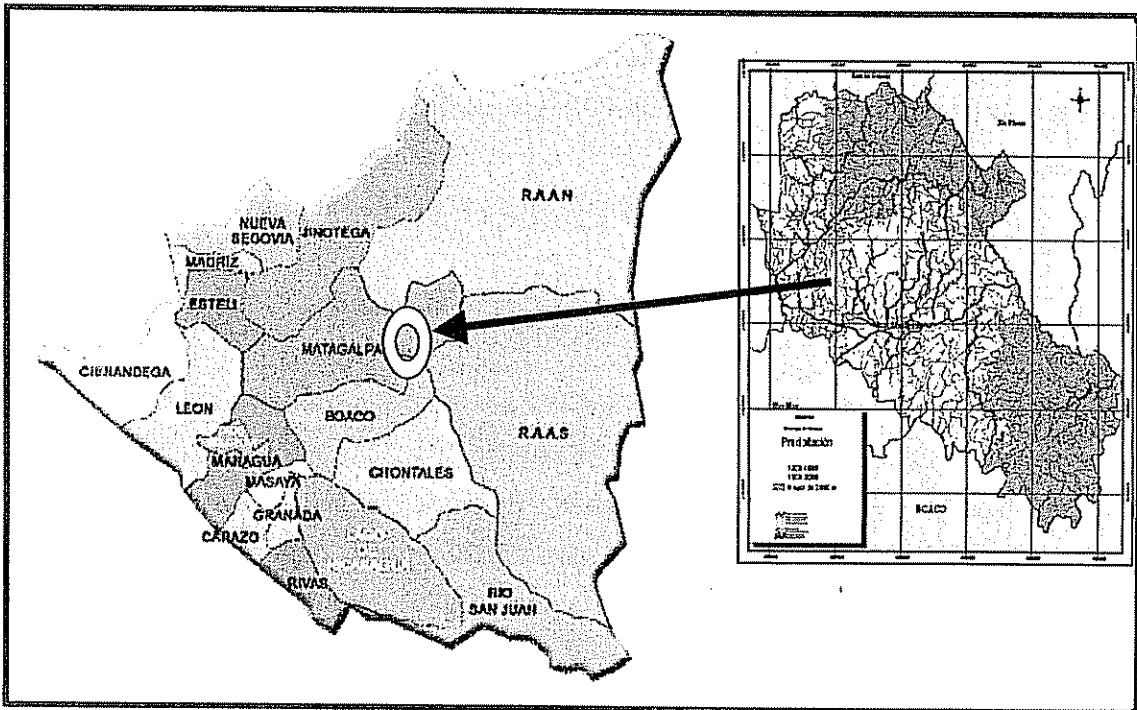


Figura 1: Mapa de Nicaragua y ubicación de la zona de estudio

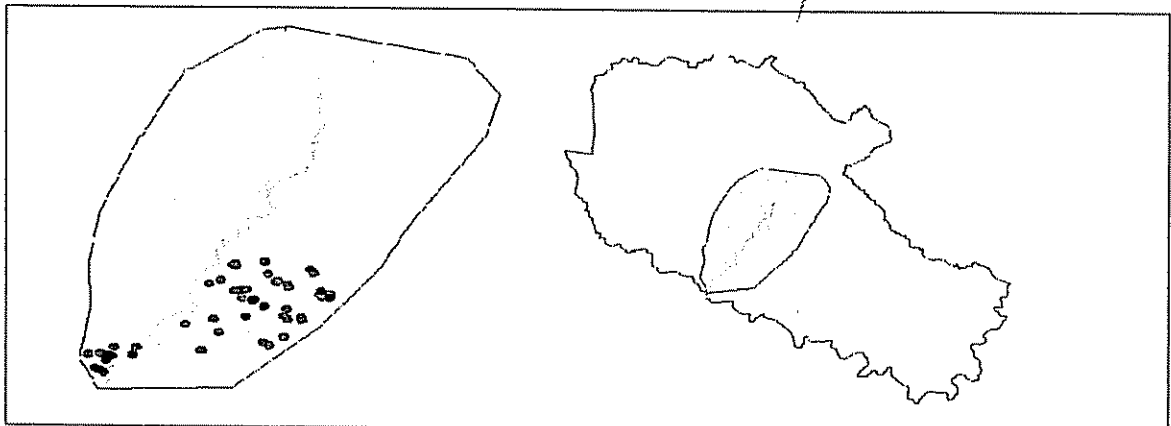


Figura 2: Mapa de ubicación de la micro cuenca del río Bul Bul y distribución de la muestra (los puntos corresponden a la posición de cada parcela de muestreo).

2.1.2 Clima

Las precipitaciones de la zona de estudio oscilan entre los 1200 a 1800 mm por año, mas del 80% cae en el período de mayo a diciembre, y un período seco se presenta en los meses de enero a abril. La temperatura media anual es de 27 °C.

2.1.3 Características biofísicas y suelos

La altitud del Municipio se encuentra entre los 200 y 900 msnm, la investigación se realizó en la cuenca baja, altitudes entre los 200-400 msnm. La topografía es irregular, presentando pendientes desde 2 hasta 50%. Los suelos son predominantemente arcillosos y las profundidades son menores de 50 cm.

2.1.4 Sistemas de producción ganadera

Los sistemas de producción ganaderos son predominantemente de doble propósito, leche y carne, son muy extensivos (bajos niveles de inversión de capital y de trabajo por unidad de área), desarrollada en fincas con áreas entre 10 a 300 hectáreas. Las prácticas de alimentación del ganado es predominantemente con pastos naturales de baja calidad y con muy poco uso de forrajes cultivados o comprados. El manejo de las pasturas se hace con uso frecuente del fuego y se les somete a sobrepastoreo durante la época seca y no se hace uso de fertilización de suelos. Los sistemas ganaderos predominantes son: pasto natural con árboles dispersos (PNCA); pasto mejorado con/árboles dispersos (PMCA); pasto natural a pleno sol (PNSA); pasto mejorado a pleno sol (PMSA) y tacotales (regeneración natural entre 5-20 años).

Las cargas animales son bajas, entre 0.4 – 0.9 unidades ganaderas (UG = bovino de 400 kg) ha⁻¹, con animales de razas criollas con cruces indefinidos con la raza Brahaman adaptada al trópico y con razas lecheras europeas. En las fincas que poseen mejor accesibilidad al mercado y mejor dotación de medios para el manejo del ganado, la presencia de genes de las razas europeas es más frecuente. La producción de leche es de 2.5 – 5 l vaca⁻¹ día⁻¹.

En general las prácticas de sanidad y reproducción son muy precarias. Esto determina que los resultados técnicos y económicos por unidad de área sean muy bajos, y que el aumento en la producción dependa de la ampliación del área de pasturas a costa de la reducción de las áreas de bosque.

2.1.5 Características socioeconómicas

Características generales

El Municipio de Matiguás se ubica en la Región Central de Nicaragua a unos 249 km al Norte de la Capital Managua. Sus principales características se presentan en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Ubicación, delimitación y características socioeconómicas de la zona de la zona de investigación

Extensión territorial	1.335 km ² compuesto por 33 comarcas
Distancia de la Capital	249 km de Managua, capital de Nicaragua
Población total	38,584 habitantes
Población urbana	19 %
Población rural	81 %
Densidad población rural	29 habitantes km ⁻²

Fuente: Levard et al., 2001

Actividades económicas

La principal actividad económica de Matiguás lo constituye la ganadería de leche y carne. Se calcula que aproximadamente seis de cada 10 familias rurales tiene al menos una cabeza de ganado y el hato ganadero de este municipio se estima en 45 mil cabezas, Instituto Nicaragüense de Fomento y Municipalidad (NIFOM), (1997).

Las actividades agrícolas más importantes son la producción de maíz (*Zea mays*), frijoles (*Phaseolus vulgaris*) y musáceas (*Musa sp*). También se produce café (*Coffea arabica*) y cacao (*Theobroma cacao*). Según el INIFOM el municipio produce anualmente unos 150,000 qq de maíz y 40,000 qq de frijol. Se estima también que existe en todo el municipio alrededor de 1,620 ha de café.

Cuadro 2 Superficie y producción anual de los principales rubros agropecuarios del Municipio de Matiguás

Rubro	Area (has)	Producción (qq/año)
Maiz (<i>Zea mays</i>)	6,178	130 – 170,000
Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	2,801	30 - 50,000
Café (<i>Coffea arabica</i>)	1,623	5 - 7,000
Musáceas (<i>Musa sp</i>)	1,124	Nd
Pasturas	61,635	-
Ganadería (vacunos a matanza)		10 -12, 000 unid

Fuente: Levard et al. (2000), en base a INIFOM (1997) y Censo INEC (1995)
 1 qq = 45 kg, INEC = Instituto Nacional de Estadística y Censos, INIFOM = Instituto nicaragüense de fomento y municipalidad.

2.2 Depósitos de carbono y sistemas a evaluar

2.2.1 Depósitos de carbono

Se cuantificó el carbono almacenado en:

- a) Biomasa sobre el suelo (árboles, sotobosque y pastura)
- b) Hojarasca
- c) Materia orgánica del suelo

2.2.2 Sistemas a evaluar

Se evaluaron cinco sistemas, los cuales hemos clasificado en: a) pasturas nativas sin árboles o monocultivo (PNSA), b) pasturas mejoradas sin árboles o monocultivo (PMSA), c) pasturas nativas con árboles dispersos (PNCA), d) pasturas mejoradas con árboles dispersos (PMCA), y e) Tacotales. Las pasturas nativas de la zona están dominadas por grama natural (*Paspalum notatum*), zacate amargo (*Paspalum virgatum*) y jaragua (*Hyparrhenia rufa*). En cambio los pastos mejorados predominantes son: pasto guinea (*Panicum maximum*), brachiarias (*Brachiaria brizantha*), pasto estrella (*Cynodon dactylon*).

2.3 Diseño de la investigación

2.3.1 Diseño Experimental

Se empleó un diseño irrestricto al azar, con cinco repeticiones y arreglo factorial 2X5, donde el factor A = pendiente (dos niveles: <20% y >20%), el factor B = cinco sistemas,

los cuales corresponden a los tipos de arreglos de sistemas silvopastoriles descrito anteriormente. (cuadro 3).

Cuadro 3. Diseño completo al azar para evaluar los sistemas silvopastoriles

Factor A	Niveles	Factor B	Niveles
Pendiente	<20%	Sistemas	Pasto nativo sin árboles (PNSA)
	>20%		Pasto mejorado sin árboles (PMSA)
	Pasto mejorado sin árboles (PNCA)		
	Pasto mejorado con árboles (PMCA)		
	Tacotales		

Modelo

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

Donde:

- μ = Es la media general de los sistemas
- P_i = Es el efecto de la pendiente i
- T_j = Es el efecto del sistema j
- PT_{ij} = Es el efecto de la interacción pendiente por sistema
- e_{ij} = Es el error experimental

2.3.2 Muestreo de fincas

A partir de una base de datos de 60 productores ganaderos que tiene Nittlapán, se seleccionaron al azar 34 productores de la parte baja de la micro-cuenca del Río Bulbul. En estas fincas se recopiló mediante encuestas estructuradas información socioeconómica, biofísica y técnicas de manejo de los sistemas y del hato ganadero.

Con la información a nivel del productor se identificaron los tipos de sistemas de uso de la tierra existente en cada finca, información que luego fue utilizada para el muestreo de parcelas de medición de cada uno de los componentes a evaluar.

2.3.3 Selección de unidades de muestreo (parcelas de medición)

Se estableció una base de datos de los sistemas de uso de la tierra de cada finca y a partir de ella se seleccionó al azar las parcelas para cada sistema evaluado: PNSA, PMSA, PNCA, PMCA y tacotal. Para la ubicación concreta en el terreno se siguió los siguientes pasos:

- a) Se identificaron en la finca las áreas ocupadas con determinado tipo de sistemas (pasto natural en monocultivo, pasto mejorado en monocultivo, pasto natural con árboles, pasto mejorado con árboles y tacotales)
- b) Se seleccionó al azar un potrero con el tipo de sistema y nivel de pendiente que se requería muestrear (en base a la base de datos creadas para cada finca).
- c) Ubicados en el potrero con el sistema a evaluar, se lanzó una piedra para seleccionar el punto, el cual sería el centro de la parcela de muestreo.

2.3.4 Tamaño, forma y delimitación de las parcelas en el terreno

2.3.4.1 Forma de parcela en el sistema de pastura con árboles

Se utilizó una parcela de forma circular de 1000 m². En sistemas agroforestales Winrock Internacional utiliza parcelas de 500 m² de forma circular. En su experiencia, Winrock ha encontrado que para algunos sistemas donde los árboles tienen un gran tamaño y se encuentran muy dispersos, es necesario un tamaño mayor de parcelas.

Dentro de la parcela grande, cada uno de los componentes a evaluar se midió en parcelas de tamaño específico.

- Las pasturas se midieron en parcelas cuadradas de 0.25 m² ubicadas en cada uno de los cuadrantes de la parcela grande (1000 m²). Se cortó el pasto dentro de cada marco de 0.25 m², se pesó por separado, luego se mezcló el contenido de las sub-muestras y se llevó aproximadamente 200 g al laboratorio para determinar materia seca y carbono orgánico.
- leñosas con DAP entre 2 y 5 cm se midieron en una parcela de 25 m², ubicada en el primer cuadrante partiendo del radio norte girando en sentido de las manecillas

de un reloj, se tomo el DAP y la altura total de todos los árboles dentro de esta parcela.

- los árboles con DAP entre 5 - 15 cm se midió en el primer cuadrante, el cual tenía un área de 250 m² , de la misma manera que el caso anterior se midio el DAP t altura total.
- Finalmente los árboles con DAP mayores a 15 cm se midieron en toda el área de la parcela de 1000 m² (Figura 3 y cuadro 4).
- Las muestras de suelos fueron tomadas en el centro de cada parcela grande; para ello se construyó una calicata de 50 x 50 cm de ancho y 100 cm de profundidad. En los sistemas de pastura no se considero hojarasca.

Cuadro 4. Categorías de vegetación y tamaño de parcelas de muestreo

Componente	Forma	Área (m ²)	No de parcelas / Unidad de muestreo	Ubicación (cuadrante)
Herbáceas	Cuadrada	0.25	3	II, III, IV
2<Dap<5 (cm)	Cuadrada	25	1	I
5≤Dap<15 (cm)		250	1	I
Dap>15 (cm)	Circular	1000	1	I, II, III, IV

DAP = Diámetro a la Altura del Pecho.

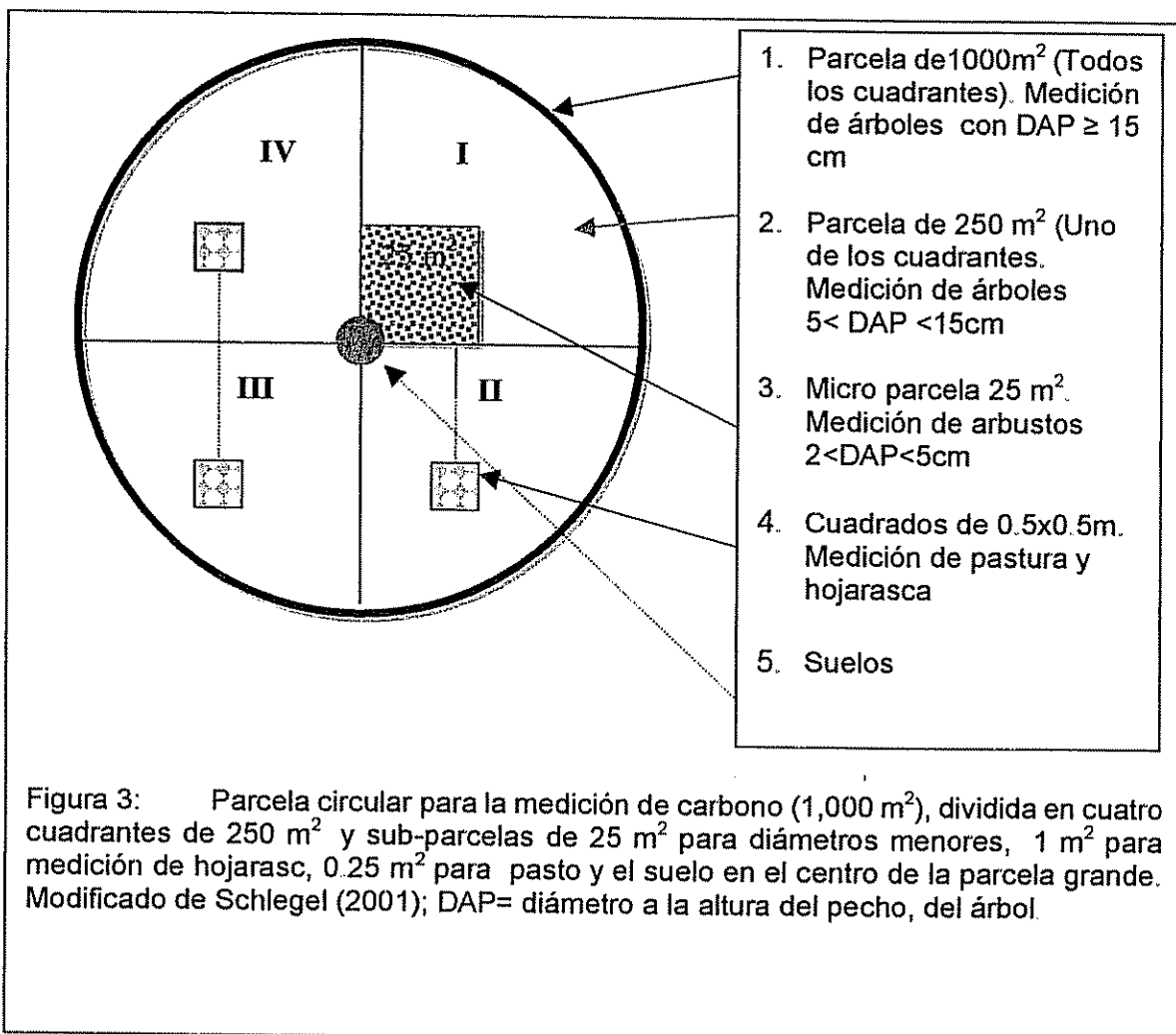


Figura 3: Parcela circular para la medición de carbono (1,000 m²), dividida en cuatro cuadrantes de 250 m² y sub-parcelas de 25 m² para diámetros menores, 1 m² para medición de hojarasca, 0.25 m² para pasto y el suelo en el centro de la parcela grande. Modificado de Schlegel (2001); DAP= diámetro a la altura del pecho, del árbol.

- Se realizó el inventario de todos los árboles, y se midió la altura total y el DAP de todos los árboles con DAP > 2 cm.
- Las leñosas con DAP menores a los 2 cm, la hojarasca y ramas secas caídas sobre el suelo fueron medidos en una parcela cuadrada de 1 m², repitiendo el marco en cada uno de los cuadrantes de la parcela circular. Los contenidos de hojarasca en cada muestra fueron pesados por separado, luego se mezclaron y se obtuvo una sub-muestra compuesta para llevar al laboratorio y obtener así el peso seco y el contenido de carbono. Cabe resaltar que los contenidos dentro de esta parcela no fueron separados, por eso los altos valores de biomasa reflejados más adelante.

2.3.4.4 Muestreo del suelo

Para el muestreo de suelo, tanto de la densidad aparente, como del carbono orgánico se hicieron calicatas en cada una de las parcelas de muestreo (50 en total), hasta 1 metro de profundidad. La calicata siempre fue ubicada en el centro de las parcelas circulares y en el caso de los pastos sin árboles se ubicó en el centro del transecto de 50 mts.

a) Densidad aparente

Para determinar el contenido de carbono en el suelo, es necesario conocer la densidad aparente del suelo. Para esto se utilizó el método del "cilindro de volumen conocido" que se describe en MacDiken 1997.

Se tomó una muestra por cada perfil de suelo estudiado, para ello se utilizó el cilindro de volumen conocido, cada muestra fue tomada en el centro del rango de profundidad de cada perfil (0-20, 20-40 y 40-80 cm), el primero se tomó a los 10 cm, el segundo a los 30 y el tercero a los 60 cm.

b) Carbono orgánico

Las muestras para la estimación de carbono en el suelo fueron tomadas hasta una profundidad de 80 cm, pasando por los tres perfiles de suelo antes descrito. Se tomó una

muestra compuesta de cada uno de los tres perfiles considerados, se mezcló el suelo para cada horizonte hasta alcanzar un color uniforme. Una muestra de 200g aproximadamente fue colocada en una bolsa de plástico, se rotuló debidamente y se llevó al laboratorio de suelos de la Universidad Agraria de Nicaragua (UNA) para determinar el contenido de carbono orgánico.

El carbono fue determinado utilizando la metodología de combustión húmeda descrita por Walkley-Black (1934). El principio de este método es la oxidación del carbono orgánico por medio del ácido crómico caliente. A la muestra se le da una cantidad de calor, en un baño del ácido crómico. El ácido crómico no utilizado en la oxidación del carbono orgánico se determina mediante titulación con sulfato ferroso de amonio (Chapman, 1973).

2.4 Construcción de modelos biomasa

2.4.1 Selección de árboles

En base a la información generada de los inventarios en las parcelas de muestreo de los cinco sistemas evaluados, se seleccionaron las especies para un muestreo destructivo de biomasa las cuales cumplían los siguientes criterios.

- a) Especies que tengan un peso mayor al 20% del total de especies encontradas.
- b) Especies que estén presentes tanto en tacotal como en los potreros.

Una vez seleccionadas las especies a muestrear, la muestra de árboles se distribuyó según clases diamétrica, a fin de obtener una muestra que incluyera individuos de las diferentes clases diamétricas (ver cuadro 5). El número de individuos seleccionados por especie fue determinado proporcionalmente a la frecuencia de esa especie en el inventario general de estudio.

Cuadro 5. Especies y numero de árboles en la muestra destructiva para medición de biomasa

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

La muestra estuvo compuesta por siete especies para un total de 51 árboles, para cada árbol en pie se midió el diámetro la altura del pecho, y la altura total. Una vez cortado cada árbol, se midió el diámetro de cada punta y longitud de trozas de las ramas gruesas y para las ramas de diámetros menores a cinco cm, fueron cortados en trozos pequeños y pesados, de igual forma se pesaron las hojas de cada árbol cortado.

2.4.2 Gravedad específica.

Se define como el peso de un bloque de madera secado al horno dividido por el peso de una cantidad igual de volumen de agua y es expresado en decimales (Panshin y Zeeuw 1970).

Para determinar la gravedad específica de la madera se tomó una muestra máxima de tres árboles para las siete especies mas importantes encontradas en el estudio y se tomo una muestra de fuste, ramas gruesas y delgadas de los árboles seleccionados. Cada trozo de madera se llevó a dimensiones de 5x5x15 cm. Para determinar la gravedad específica se utilizo el método de Buoyancy o inmersión en agua destilada.

2.4.3 Fracción de carbono en la madera

Las muestras para determinar la fracción de carbono fueron tomados del fuste, ramas gruesas y delgadas de los árboles talados por especie. Se procedió a extraer una muestra de aserrín del fuste y ramas, se mezcló todo el aserrín, luego se tomó una muestra de la

mezcla por especie (siete muestras en total), y se llevó al laboratorio de suelos y aguas de la Universidad Agraria de Nicaragua (UNA) para determinar la fracción de carbono.

El carbono fue determinado utilizando el método de Schollemberger. Este método fue adaptado por el Laboratorio del Instituto Colombiano Agropecuario ICA-Tibsitaté, para determinar carbono total en material vegetal. El principio de este método es la oxidación del carbono orgánico por medio del dicromato de potasio ($K_2 Cr_2 O_7$) en presencia de ácido sulfúrico concentrado.

Para facilitar la digestión se calienta la muestra hasta obtener una temperatura de $155\text{ }^\circ\text{C}$ en aproximadamente 90 segundos. El exceso de Cr_2O_7 es determinado por titulación con solución estándar de $FeSO_4$. La cantidad de carbono orgánico es calculado cuantificando el Cr_2O_7 reducido.

2.4.4 Medición de volumen y biomasa en la muestra destructiva

Cada árbol de la muestra destructiva (árboles talados), fue dividido en tres componentes: fuste, ramas y hojas, con el fin de obtener el volumen y biomasa de cada una de estas partes. A continuación se detalla el procedimiento para calcular los volúmenes y la conversión de estos a biomasa:

a) Fuste

- a.1 Volumen de Fuste (V_f) en m^3 : Se obtuvo el volumen utilizando los métodos de cubicación de (Smallian y/o Huber)
- a.2 Biomasa de fuste (B_f) : se estimó con la información de volumen y la gravedad específica de la especie . La ecuación utilizada es la siguiente.

$$B_f = V_f \times G_{ef}$$

Donde: B_f = Biomasa de fuste (t); V_f = Volumen de fuste (m^3); G_{ef} = Gravedad Específica del fuste ($t\ m^{-3}$)

b) Ramas

- b.1 Volumen de ramas gruesas (V_r): Se obtuvo con la fórmula de Smalian que considera los diámetros de los extremos de la troza y la longitud de la misma.

$$V_r = \frac{(D_1^2 + D_2^2) \times (\pi) \times (L)}{4}$$

Donde: V_r = Volumen de ramas (m^3); D_1 = Diámetro en el extremo grueso (m);
 D_2 = al Diámetro en el otro extremo (m) ; L = longitud de la rama (m)

- b.2 Biomasa de ramas gruesas (Br): Se estimó con la información de volumen y la gravedad específica.

$$Br = V_r \times GEr$$

Donde: V_r = Volumen de ramas (m); GEr = Gravedad Especifica de ramas ($t\ m^{-3}$).

- b.3 Biomasa seca de ramas delgadas (B_{rd}): Se obtuvo con el peso en campo de todos los trozos de ramas delgadas y aquellas ramas de mal formación que no ameritaban mediciones de longitud y diámetros y con el % de materia seca de los resultados de laboratorio.

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

Donde: B_{rd} = Biomasa de ramas delgadas; P_{rd} = Peso de ramas delgadas;
 MS = Materia Seca (%).

c) Hojas

- c.1 Biomasa de hojas (B_h): 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 : P_h = Peso de las hojas

d) Biomasa total (B_t)

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

$$B_t = B_f + B_r + B_h$$

2.5 Factor de expansión de biomasa

El factor de expansión de biomasa aérea se obtiene dividiendo la biomasa total de cada árbol entre la biomasa del fuste.

$$FEB = B_t \div B_f$$

Donde:

FEB = Factor expansión de la biomasa

B_t = Biomasa total

B_f = Biomasa del fuste

2.6 Estimación de biomasa y carbono almacenado en las parcelas temporales de muestreo

2.6.1 Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en fuste, ramas, hojas y total en el componente forestal

Para la estimación de la biomasa y el carbono almacenado en árboles se probaron algunos modelos que estiman la biomasa y carbono a partir del diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (ht) , biomasa de fuste (Anexos 4). Los modelos probados fueron desarrollados por: Kopesky; Berkhout; Spur; Husch (1952); Stoate & Meyer (1953); Bruce y Shumacher (1949), citados por Segura (1999). Los demás modelos son modificaciones de los anteriores, Segura (1999).

Para correr los modelos fue utilizado el programa Statistical Analysis System (SAS). El modelo que mejor ajustó los datos fue seleccionado en base a los siguientes criterios:

- a) El coeficiente de determinación (R^2).
- b) El coeficiente de determinación ajustado (R^2 –ajustado).
- c) Coeficiente de variación (CV%).
- d) Prueba de F (análisis de variancia): $Pr > F$ para el modelo y la prueba de significancia para cada parámetro del modelo.
- e) 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 y 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 sobre estimación, en tanto los valores positivos de la DA indican subestimación.

2.6.2 Cálculo de la biomasa total, carbono almacenado y fijación de carbono

La estimación de la biomasa total por árbol, parcela y hectárea, se obtuvo a partir de la base de datos de los inventarios en las cincuenta parcelas temporales de muestreo. Para tal efecto se utilizó el modelo que mejor estimó la biomasa, de los 39 modelos probados (Anexo).

2.6.3 Cálculos de biomasa en la pastura

Con base en los muestreos de pastura residual después de pastoreo, se obtuvo el % de materia seca en laboratorio y con los pesos frescos de campo se procedió a estimar la biomasa seca utilizando la siguiente fórmula.

$$B = Pf \times \% MS / 100$$

Donde:

B = Biomasa (Kg)

Pf = Peso fresco

% MS = Materia seca

2.6.4 Estimación del carbono de suelo

Se obtuvo en laboratorio el % de carbono orgánico del suelo, la densidad aparente ($t\ m^{-3}$), con estos resultados se estimó el contenido de carbono en el suelo por cada nivel de profundidad evaluado (0-20, 20-40 y 40-80 cm), para tal efecto se utilizó la siguiente fórmula.

$$\text{Carbono en el suelo (tC/ha)} = CC \times DA \times P \times 100$$

Donde:

P = Profundidad de muestreo en (m)

CC = Contenido de Carbono (%)

DA = Densidad aparente en ($t\ m^{-3}$)

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

3. RESULTADOS y DISCUSIONES

3.1 Biomasa y carbono en las muestras destructivas del componente arbóreo

3.1.1 Gravedad específica de las especies estudiadas

La gravedad específica (GE) promedio de la madera de seis especies provenientes de sistemas silvopastoriles y tacotales de regeneración natural oscilan entre 0.47 y 0.67. La especie que presentó el valor mas alto fue *Cassia grandis* con un promedio en el fuste de 0.74 y en las ramas de 0.59; en cambio la especie que presento el menor valor fue *Cordia alliodora* con 0.45 en fuste y 0.48 en las ramas gruesas (Cuadro 6).

La literatura reporta valores de GE de la madera para especies forestales creciendo en bosques tropicales entre 0.36 a 0.96 (OFI 1997). Segura (1999), reporta valores de GE de la madera de seis especies provenientes de un bosque natural en el trópico húmedo de Costa Rica entre 0.50 a 0.72 utilizando árboles con DAP > 60 cm. En este estudio hemos encontrado resultados similares 0.47 a 0.67, utilizando árboles con DAP entre 20 a 40 cm.

Cuadro 6. Gravedad específica promedio para el fuste y rama de seis especies forestales creciendo en potrero, Matiguás, Nicaragua.

Nombre común	Nombre científico	Gravedad específica t m ³		
		Fuste	Ramas	Promedio
Carao	<i>Cassia grandis</i> L.f	0.74	0.59	0.67
Coyote	<i>Platymiscium pleiostachyum</i> J.D. Smith	0.53	0.65	0.59
Roble	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	0.55	0.47	0.51
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	0.65	0.66	0.66
Laurel	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz y Pav.) Oken	0.45	0.48	0.47
Genízaro	<i>Pithecellobium saman</i> (Jacq.) Benth.	0.55	0.40	0.48

3.1.2 Fracción de carbono para seis especies leñosas estudiadas

En promedio la fracción de carbono encontrada para las seis especies estudiadas fue de 0.43 en el fuste y ramas gruesas y de 0.42 en hojas. El mayor contenido de carbono almacenado en la biomasa, se presentó en la especie *P. plejostachyum* con 0.46 y él más bajo lo presentó *C. alliodora* con 0.42 (cuadro 7).

La relación biomasa carbono utilizada como referencia teórica es 0.5 (Ciesla 1996; IPCC 1996). Sin embargo, varios autores han encontrado valores próximos a los encontrados

en esta investigación. Segura (1999), reporta valores promedios de 0.46. Solís (1998), encontró una fracción de carbono de 0.43 para 12 especies provenientes de un bosque subhúmedo de Santa Cruz, Bolivia.

Para sistemas silvopastoriles se han reportado valores similares. Andrade (1999), encontró 0.46 y 0.47 para *Eucalyptus deglupta* y *Acacia mangium* respectivamente. Mora (2001), estudiando sistemas silvopastoriles en fincas lecheras intensivas de Pacayas, Cartago, Costa Rica, reporta valores entre 0.44 y 0.47.

Cuadro 7. Fracción de carbono en fustes y ramas para seis especies arbóreas creciendo en potreros, Matiguás, Nicaragua.

Nombre común	Nombre científico	Fracción de carbono en fuste y ramas (%)	Carbono en hojas (%)
Carao	<i>Cassia grandis</i> L.f	0.42	0.45
Coyote	<i>Platymiscium pleiostachyum</i> J.D. Smith	0.46	0.40
Genízaro	<i>Pithecellobium saman</i> (Jacq.) Benth.	0.43	0.46
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	0.43	0.45
Laurel	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz y Pav.) Oken	0.42	0.34
Roble	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	0.44	0.41
Promedio		0.43	0.42

3.1.3 Factor de expansión de biomasa

En promedio el factor de expansión de biomasa (FEB) fue 1.62 ± 0.41 , variando entre 1.07 y 2.57, el menor valor se presentó en *C. alliodora* y *T. rosea* y el valor más alto se encontró en la especie de guanacaste (*E. cyclocarpum*). Esta variabilidad de los datos parece responder a la estructura de copa de los árboles, caso de *C. alliodora* y *T. rosea*, tienen copas pequeñas y poco densa.

Los resultados de expansión de biomasa, tienen una correlación negativa al DAP (Figura-5); esto significa que el Factor de Expansión de Biomasa (FEB) disminuye respecto al DAP. En los árboles de la clase diamétrica entre 5-10 fue de 1.98 ± 0.32 , en cambio las clases diamétricas entre 10.1 a 30 cm y las > 30.1 cm de DAP presentaron valores de 1.58 ± 0.34 y 1.37 ± 0.32 respectivamente (Cuadro 8).

Segura (1999) y Brown (1984), coinciden con estos valores; ellos reportan valores de expansión de biomasa promedio para un bosque maduro en zonas húmedas tropical de

1.6 y los valores oscilan entre 1.3 y 2.2. Sin embargo aún cuando ellos reportan valores similares, hay que tener en cuenta que sus resultados provienen de árboles creciendo en ecosistemas de bosque y en esta investigación son árboles creciendo en potrero y los mismos tienen un comportamiento de crecimiento muy diferente, las copas de árboles creciendo en espacios abiertos, generalmente son mas anchas y la altura tiende a ser menor, estas características influyen en el factor de expansión de biomasa.

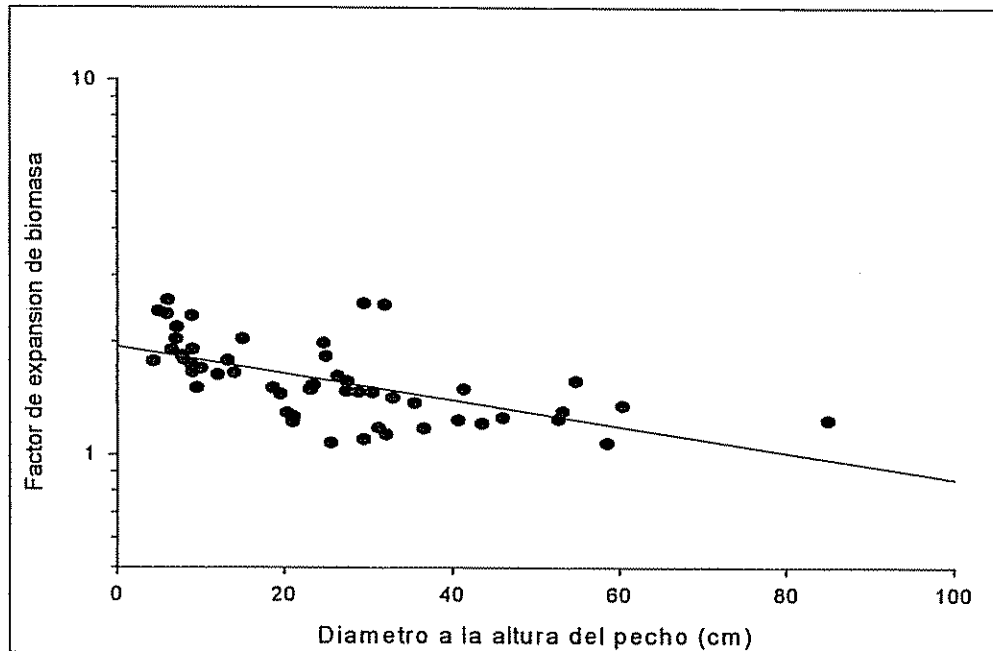


Figura 5. Relación entre el DAP y el factor de expansión de biomasa de las especies estudiadas, Matiguás, Nicaragua.

Cuadro 8. DAP, altura y factor de expansión de biomasa (FEB) según clases diamétricas para las especies estudiadas, Matiguás, Nicaragua.

Clase diamétrica (cm)	DAP promedio (cm)	Altura promedio (m)	FEB
5-10	7.51 ± 1.73	6.72 ± 0.92	1.98 ± 0.32
10.1-30	22.25 ± 5.50	11.39 ± 3.89	1.58 ± 0.34
>30.1	45.10 ± 14.39	15.89 ± 3.79	1.37 ± 0.32

3.2 Biomasa, carbono almacenado y modelos de estimación

3.2.1 Estimaciones de biomasa en el componente leñoso de las parcelas de muestreo

El componente arbóreo considerado en la investigación están asociados con pastos naturales y pastos mejorados, cuyas densidades promedios de árboles con DAP > 10 cm, son 100 y 110 árboles ha⁻¹ respectivamente y tacotal con densidad de 260 árboles ha⁻¹ (Cuadro 9).

Cuadro 9. Densidades de árboles por sistema y clase diamétrica consideradas en el estudio, Matiguás, Nicaragua

Sistema	Densidad de árboles ha ⁻¹ según clase diamétrica			Total árboles ha ⁻¹
	2-5 cm	5.1-10 cm	>10.1 cm	
Árboles y pasto natural	240 (52%)	120 (26%)	100 (22%)	460
Árboles con pasto mejorado	400 (70%)	64 (11%)	110 (19%)	574
Tacotales	560 (43%)	478 (37%)	260 (20%)	1,298

(): Valores entre paréntesis es % del total en las filas.

La cantidad de biomasa y carbono estimado en el componente arbóreo indica que existe una alta correlación entre biomasa de fuste, el DAP y la biomasa total; la altura total y biomasa total, presentan una correlación más débil (Cuadro 10 y Figura 6). Contrario a lo que afirman otros autores, los resultados obtenidos en esta investigación permite tener una estimación de biomasa y carbono total de la masa arbórea bastante confiable utilizando el DAP como variable independiente.

Cuadro 10. Coeficientes de correlación de Pearson de la biomasa total con el DAP, altura total, biomasa de fuste, biomasa de ramas y biomasa de hojas para las especies estudiadas (n = 53), Matiguás, Nicaragua.

Variable	DAP (cm)	Altura total (m)
Biomasa total	0.79**	0.69**
Carbono total	0.80**	0.70**

* = p > 0.05 ; ** = p > 0.01

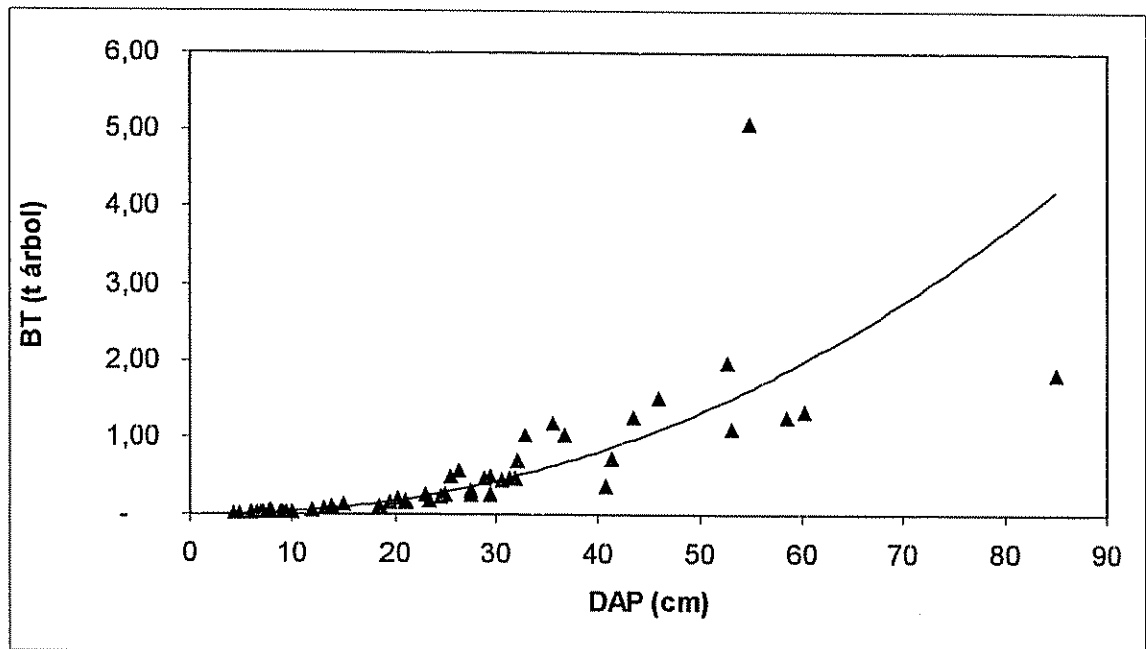


Figura 6. Relación del diámetro a la altura del pecho (DAP, cm) y la biomasa total (BT, t árbol⁻¹) de las especies estudiadas, Matiguás, Nicaragua (n = 51)

En la Figura 6 se puede observar como a medida que el DAP incrementa, los puntos se alejan de la línea, sin embargo en este estudio el número de árboles con DAP >50 cm fue muy limitado por tanto estos resultados pueden no ser muy representativos para los árboles con diámetros mayores.

Para la estimación de la biomasa se probaron 21 modelos de regresión a partir de las variables independientes del DAP y altura total, 14 de ellos presentaron R^2 menor a 0.8. Los restantes 7 modelos presentaron R^2 entre 0.86 a 0.95. El modelo que mejor estimó la biomasa es un modelo logarítmico con $R^2 = 0.94$. Además de presentar un coeficiente de variación bajo (24%), presentó un sesgo de estimación de 0.5% respecto a la biomasa real medida en campo (Cuadro 11 y Anexo 1 y 2).

Cuadro 11 Modelos de mejor ajuste para estimar biomasa total en función de diámetro a la altura del pecho (cm) y altura total (m).

#	MODELOS BIOMASA	R ²	C.V %	Prob>F	Índice de sesgo (DA)
4	$\text{LNbt} = -5.02010^{**} + 0.1844^{**}(\text{D}) - 0.00144^{**}(\text{D}^2)$	0.94	24	**	0.007
5	$\text{LNbt} = -8.2189^{**} + 2.1796^{**}\text{LN}(\text{D})$	0.94	23	**	0.015
7	$\text{LBt} = -2.18062^{**} + 0.08012^{**}(\text{D}) - 0.0006244^{**}(\text{D}^2)$	0.94	24	**	0.005
8	$\text{LBt} = -3.5694^{**} + 2.1796^{**}\text{L}(\text{D})$	0.94	23	**	0.015
14	$\text{LNbt} = -6.0519^{**} + 0.9190^{**}r(\text{D})$	0.89	-32	**	-0.142
15	$\text{LBt} = -2.6283^{**} + 0.3991^{**}r(\text{D})$	0.89	-32	**	-0.141
19	$\text{LNt} = -8.83^{**} + 1.8973^{**}\text{LN}(\text{D}) + 0.6191^{**}\text{LN}(\text{ht})$	0.95	-22	**	0.009

** Significativo $P < 0.01$; * Significativo $P < 0.05$; DA diferencia agregada, LN = logaritmo natural; LBt = logaritmo base 10 de la biomasa total, r = raíz cuadrada

El modelo que utilizo el diámetro y la altura total, aunque presento un R² muy alto y estima la biomasa con un sesgo de 0.9%, no fue el que presentó el menor sesgo en la estimación de la biomasa. Esto advierte que no es conveniente escoger un modelo teniendo como único criterio el R². Ortiz (1997a), indica que las ecuaciones que incluyen el DAP como única variable independiente tienen un uso limitado y las estimaciones de biomasa son validas solo para ese tipo de bosque. Estas afirmaciones se sustentan en los parámetros logrados por estos modelos, tanto Ortiz (1997a), como Segura (1999), encontraron en los modelos que utilizaron el DAP como única variable independiente, R² entre 0.71 y 0.73. En el caso de esta investigación los modelos utilizados alcanzaron R² entre 0.86 y 0.95, además de haber presentado coeficientes de variación entre 22 y 24 %, se aplicaron pruebas de sesgos de estimación y el mejor modelo presentó un sesgo de estimación de 0.5% por debajo de los valores reales medidos en el campo.

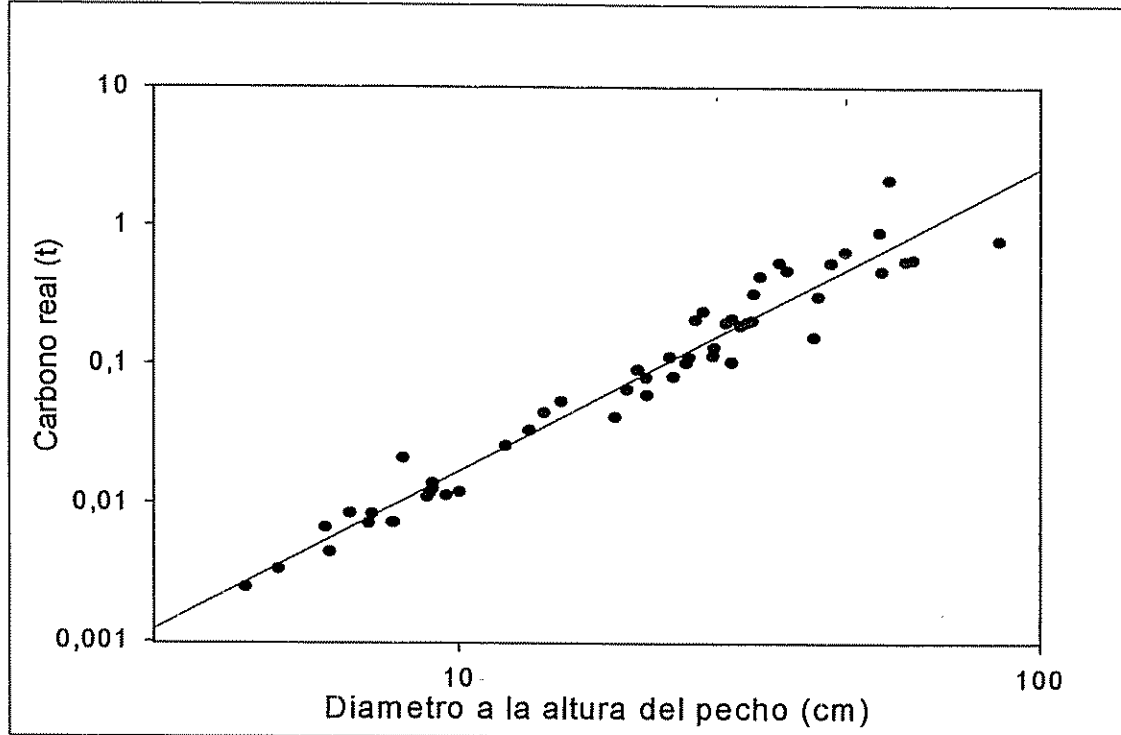


Figura 7. Relación de la biomasa, carbono real y el diámetro a la altura del pecho (dap) para las especies muestreadas, Matiguás, Nicaragua (n = 51)

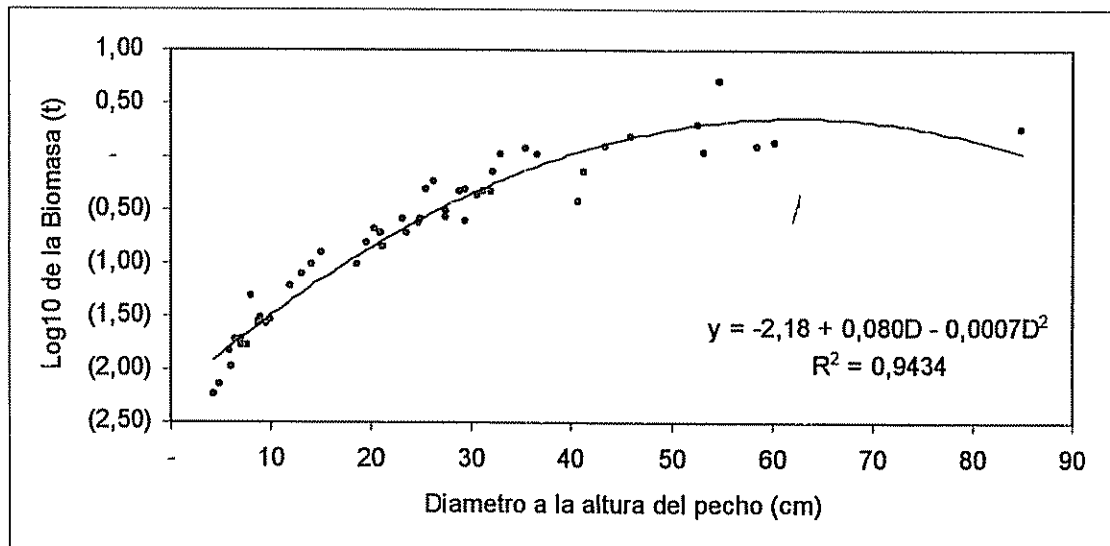


Figura 8. Predicción de la biomasa por el modelo (Log 10) y el diámetro a la altura del pecho (dap) para las especies muestreadas, Matiguás, Nicaragua (n = 51)

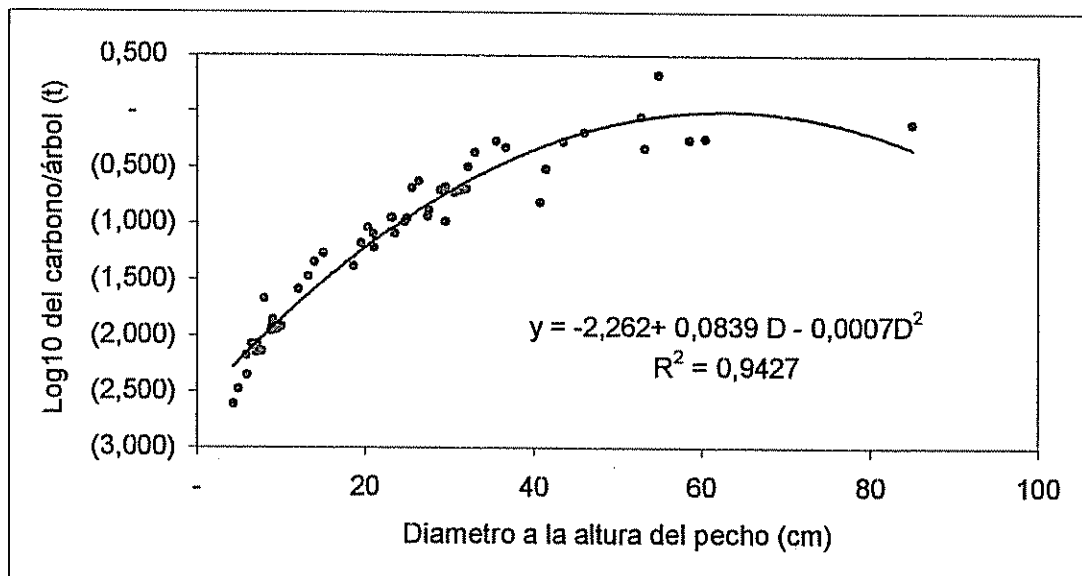


Figura 9. Predicción del carbono por el modelo (Log 10) y el diámetro a la altura del pecho (dap) para las especies muestreadas, Matiguás, Nicaragua (n = 51)

3.2.2 Biomasa en el componente leñoso, pastura residual y el mantillo en tacotales

3.2.2.1 Biomasa arbórea

El análisis de variancia mostró que la biomasa en el componente leñoso fue diferente estadísticamente entre sistemas ($p > 0.05$). El componente leñoso alcanzó un promedio de $40.7 \pm 8.5 \text{ t ha}^{-1}$ en los tacotales, $29.1 \pm 8.3 \text{ t ha}^{-1}$ en el sistema de árboles con pasto mejorado, y $19.0 \pm 7.1 \text{ t ha}^{-1}$ en el componente leñoso de pasto naturales con árboles (Figura 10 y Cuadro 12).

Estadísticamente el componente leñoso en los sistemas silvopastoriles no resultó diferente ($P > 0.05$), aun cuando en el pasto mejorado hubo un 30 % más biomasa que en el caso de los árboles creciendo en potreros de pastos nativos. Esta diferencia puede originarse, primero, a la existencia de mayor densidad de árboles en los pastos mejorados ($574 \text{ árboles ha}^{-1}$ en pastos mejorados y $460 \text{ árboles ha}^{-1}$ en pastos nativos), y segundo por una mayor compactación de los suelos en las pasturas nativas, las que generalmente son sometidas a un sobre-pastoreo, afectándose la capacidad de crecimiento de los árboles y por tanto la producción de biomasa.

En promedio los árboles creciendo en tacotal almacenaron 0.031 t de biomasa árbol⁻¹, mientras que los árboles creciendo en potrero alcanzaron $0.039 \text{ t árbol}^{-1}$ en asocio con

pasto mejorado y $0.035 \text{ t árbol}^{-1}$ cuando estaban asociados con pastos nativos; a pesar de que los sistemas de pastos nativos tenían en promedio mayor edad (9.5 años) y menor densidad de árboles ha^{-1} ($470 \text{ árboles ha}^{-1}$). La producción de biomasa promedio de los árboles es afectada por la densidad de árboles. Es el caso de los tacotales con una alta densidad y aunque fue el sistema de mayor edad promedio (13.5 años) este alcanzó una menor productividad. Es interesante en el caso de pastos mejorados, aunque el sistema en promedio tuvo mas árboles que pasto nativos la biomasa promedio por árbol fue mayor, esto se debe probablemente a efectos de fertilidad de los suelos en los pastos mejorados, los cuales pueden estar aportan una mayor cantidad de materia orgánica al suelo. Análisis de fertilidad de suelos aplicadas por técnicos de Nitiapán en la época de realización de esta investigación en los mismos sitios, refleja que los contenidos de Nitrógeno (N) fueron superior en los sitios de pastos mejorados con árboles.

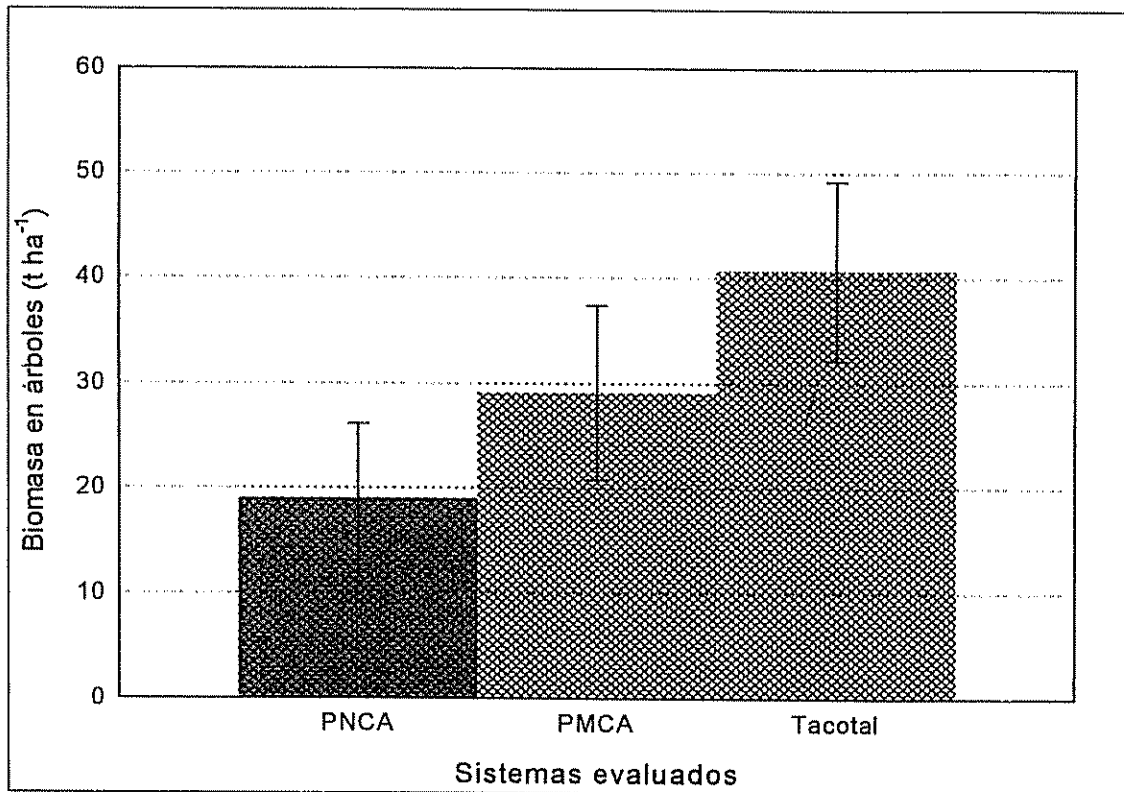


Figura 10. Biomasa total en el componente arbóreo en sistemas de pasto natural mas árboles (PN. Árboles), pastos mejorados mas árboles (PM. Árboles) y tacotales en Matiguás, Matagalpa. (Líneas verticales representan desviaciones standard)

3.2.2.2 Biomasa en pastos y mantillo

La biomasa aportado por las gramíneas en los diferentes sistemas resultó diferente estadísticamente ($P > 0.05$), no se encontró diferencias estadísticas a nivel de pendiente y la edad del sistema fue significativa ($P > 0.05$). La biomasa en este componente varió entre 3.11 y 7.68 t MS ha⁻¹ (Figura 11 y Cuadro 12), en los pastos y de 45.6 t MS ha⁻¹ en el mantillo, hojarasca y herbáceas de los tacotales. La biomasa en la pastura residual de los pastos mejorados con árboles (*P. maximum*, *B. brizantha*) superó en un 146% a la producción de biomasa de los pastos naturales con árboles que resultó ser el valor mas bajo.

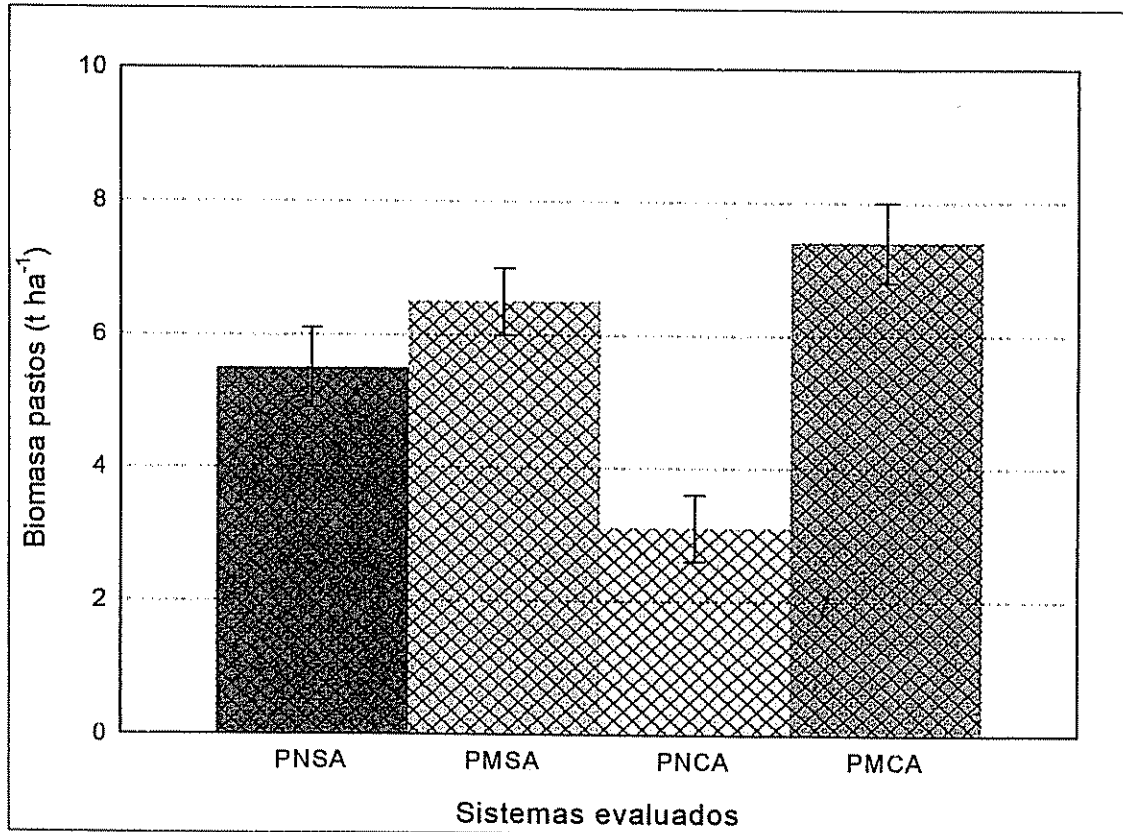


Figura 11 Biomasa en el componente herbáceo de los sistemas de pasto nativos y mejorados con árboles, pastos a pleno sol, Matiguás, Nicaragua. (Líneas verticales representan desviación standard)

Cuadro 12. Producción de biomasa por componente y sistema, Matiguás, Nicaragua

Sistema	Biomasa árboles (t ha ⁻¹)	Biomasa pasto (t ha ⁻¹)	Biomasa Hojarasca (t ha ⁻¹)	Biomasa aérea (t ha ⁻¹)
PN sol	0.00	5.5± 0.6 (b)		5.5± 0.6 (d)
PN con árbol	19.0± 7.1 (b)	3.1± 0.5 (c)		22.1± 6.6 (c)
PM sol	0.00	6.4± 0.5 (ab)		6.4± 0.5 (d)
PM con árbol	29.1± 8.3 (b)	7.4± 0.6 (a)		36.5± 7.6 (b)
Tacotal	40.7± 8.5 (a)	ND	45.6 ± 4.0	86.30± 8.8 (a)
Fuente de variación	B. árboles	B. pasto		B. aérea
Pendiente	0,68	<0.31		0,70
Tratamiento	<0.01	<0.01		<0.01
Pend*Trat	0,16	0,81		0,21
densidad de árboles	0,07	0,26		0,20
Edad del sistema	0,30	<0.01		<0.05
R ²	0,56	0,91		0,87
CV%	31	20		24,0

() = letras diferentes significa que son diferentes estadísticamente p > 0.05

Los pastos nativos a pleno sol produjeron un 70% más de biomasa que estos mismos cuando se asocian con árboles. En cambio los pastos mejorados fueron superiores en un 19% cuando estaban asociados con árboles que cuando estaban a pleno sol. Sin embargo esta diferencia no es significativa estadísticamente (p>0.05). Los resultados encontrados en este estudio reflejan el efecto que tiene la sombra de los árboles sobre gramíneas nativas, las cuales no toleran mucha sombra. En el Cuadro 13 se pueden observar como las especies nativas fueron invadidas por malezas de hojas ancha cuando estaban bajo sombra, encontrándose en el estudio en promedio un 31.5% de malezas de hoja ancha en pastos nativos con árboles, diferenciándose sustancialmente con estas mismas especies a pleno sol y más aun con los pastos mejorados.

Cuadro 13. Cobertura de gramíneas y hoja ancha según sistema, Matiguás, Nicaragua

Sistema	Gramíneas (%)	Hoja ancha (%)
Pasto nativo a sol	86.06	13.94
Pasto mejorado al sol	91.92	8.08
Pasto nativo con árboles	68.50	31.50
Pastos mejorados con árboles	91.37	8.63

Es importante recalcar que los contenidos de biomasa en mantillo de tacotal incluye hojas, ramas pequeñas y especies leñosas de diámetros menores de 1.5 cm, esto hace que los valores sean tan altos.

3.2.2.3 Biomasa total arriba del suelo

La biomasa total arriba del suelo (árboles, gramíneas y hojarasca en el mantillo en el caso de tacotal) de los sistemas silvopastoriles y tacotales resultó estadísticamente diferente ($p > 0.05$). Los valores de biomasa variaron entre 5.30 y 6,4 t ha⁻¹ en los sistemas de pasturas sin árboles y entre 22.1 – 86.3 en los sistemas con árboles; el componente arbóreo aportó el 84% en el sistema de árboles con pasto nativo, el 74% en árboles con pasto mejorado y cerca del 50% en los tacotales (Cuadro 16, Figura 17). Los valores de biomasa encontrados son altos, comparados con los encontrados por Andrade (1999), quien encontró 8.0 a 10.1 t ha⁻¹ estudiando sistemas silvopastoriles de *A. mangium* y *E. deglupta* con densidades de 370 árboles ha⁻¹. Mora (2001), encontró aproximadamente 6,8 t de biomasa ha⁻¹ en promedio y los valores máximos hasta de 24 t biomasa ha⁻¹ en el componente leñoso de árboles dispersos en potreros con densidades menores a 100 árboles ha⁻¹. Considerando las altas densidades de árboles en la zona de estudio y la diversidad de especies arbóreas; estos valores son muy aceptables y bastante cerca de los reportados por Mora (2001).

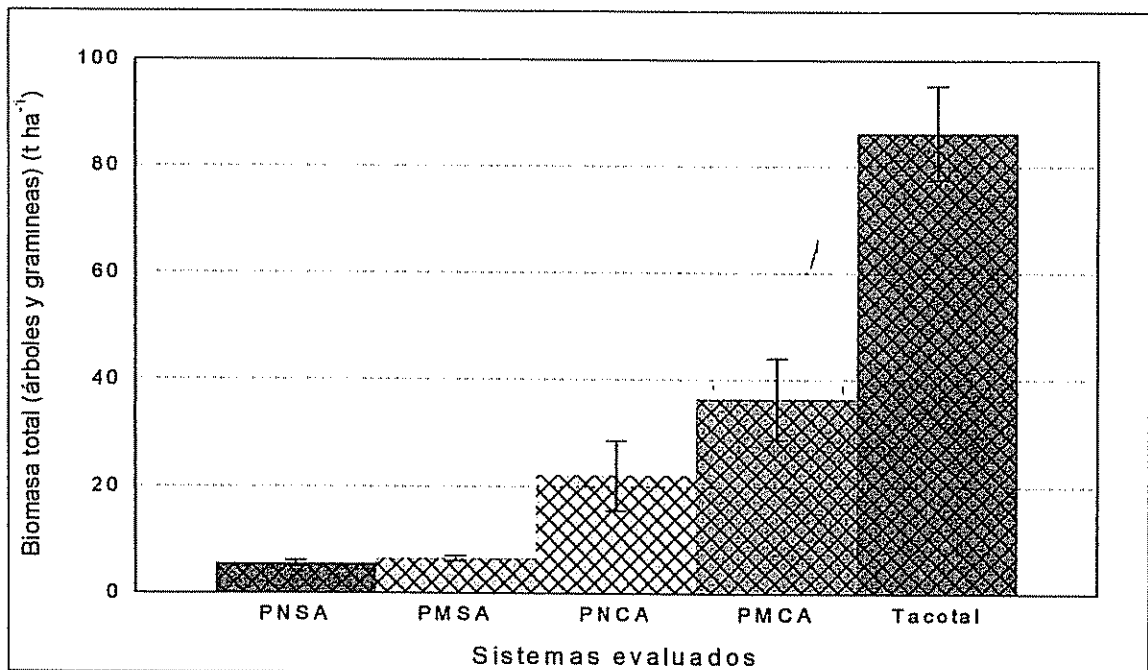


Figura 12 Biomasa total sobre el suelo (gramíneas y árboles), Matiguás, Nicaragua. (Líneas verticales representan desviaciones standard)

3.3 Carbono almacenado sobre y bajo el suelo

3.3.1 Carbono almacenado en el componente leñoso

El carbono almacenado por el componente leñoso resultó diferente estadísticamente entre los sistemas de tacotal vs. los sistemas silvopastoriles de árboles dispersos en potrero ($p > 0.05$). En promedio el componente leñoso de los sistemas de pastos nativos y mejorados almacenó 8.18 y 12.54 t C ha⁻¹ respectivamente; en cambio los tacotales alcanzaron un valor promedio de 17.55 t C ha⁻¹, superando en 114 y 40% a los dos sistemas anteriores (Cuadro 14 y Figura 13).

Cuadro 14. Carbono almacenado en el componente leñoso de sistemas silvopastoriles y tacotales (t C ha⁻¹), Matiguás, Nicaragua.

Sistema	Densidad de árboles (dap > 10 cm)	Medias observadas (t C ha ⁻¹)
Pasto nativo con árboles	100	8.18 ± 3.0 b
Pasto mejorado con árboles	110	12.54 ± 3.5 ab
Tacotales	260	17.55 ± 3.6 a

*Medias con la misma letra no son diferentes estadísticamente ($p > 0.05$)

Los valores promedios de carbono encontrados en esta investigación son superiores a los encontrados por Mora (2002) y por Andrade (1999), quienes reportaron 3.06 t C ha⁻¹ y 3.7 a 4.7 t C ha⁻¹ para un sistema silvopastoril de *A. mangium* y *E. deglupta* asociados con *B. brizantha*, *B. decumbens* y *P. maximum*, de la misma manera, Avila (2000) reportó 6 t C ha⁻¹ en sistemas de *brizantha* en asocio con *A. mangium* y de 2.2 t C ha⁻¹ en *B. Brizantha* y *E. deglupta*.

Los contenidos de carbono en los sistemas depende de la densidad de árboles y la composición diamétrica de estos en los sistemas. Las diferencias reportadas pueden estar explicadas por las densidades de árboles ha⁻¹ y la edad de los mismos. Mora (2002), reporta densidades de 95 árboles ha⁻¹ y Andrade (1999), reporta densidades de 370 árboles ha⁻¹. En esta investigación, las densidades de árboles con DAP > 2 cm fueron de 460 y 574 árboles ha⁻¹, para pastos nativos con árboles y pastos mejorados con árboles respectivamente y de 1298 árboles ha⁻¹ para tacotales; de estas densidades entre el 19 y 22 % de los árboles tenían DAP > 10 cm.

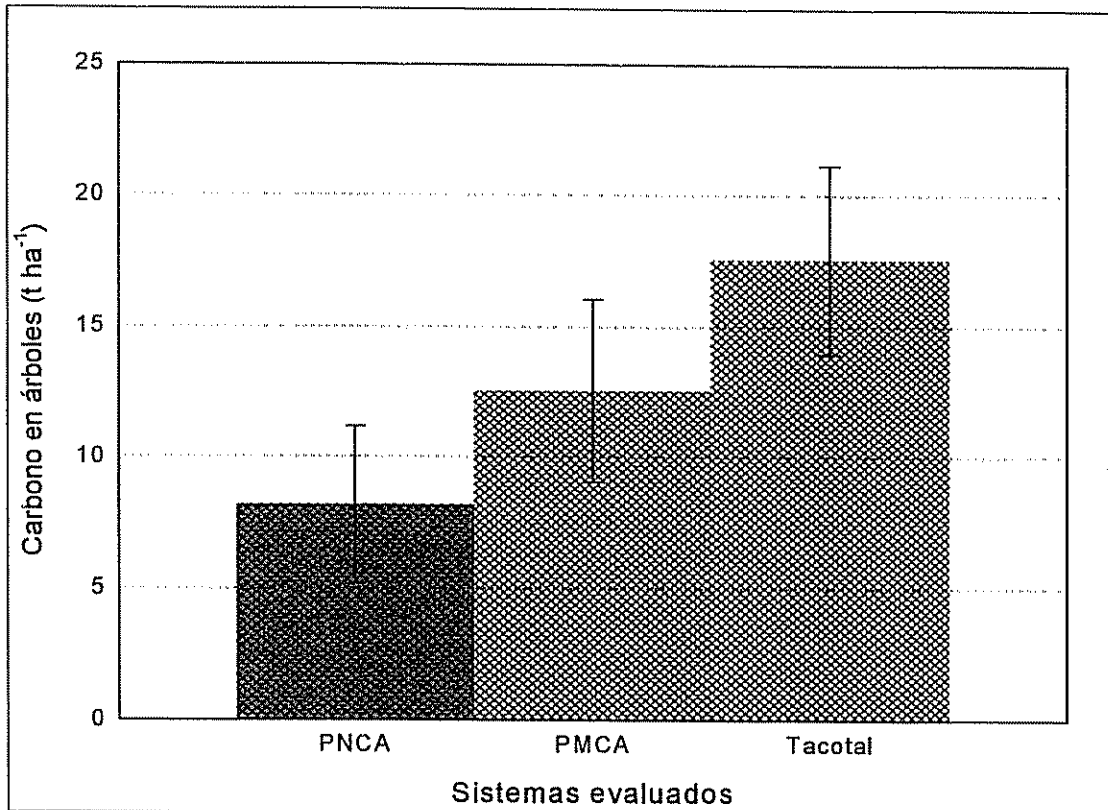


Figura 13. Carbono almacenado por el componente leñoso de árboles en potrero y tacotales, Matiguás, Nicaragua. (Líneas verticales representan desviaciones standard)

3.3.2 Carbono almacenado en la pastura residual y mantillo

3.3.2.1 Carbono almacenado por las gramíneas y mantillo según los sistemas evaluados

El contenido de carbono en la pastura residual resulta ser diferente estadísticamente entre los sistemas ($p > 0.05$). Los pastos en monocultivo tanto mejorados como nativos, resultaron ser iguales estadísticamente ($p > 0.05$), 1.66 ± 0.17 y 1.37 ± 0.19 t C ha⁻¹ respectivamente, en cambio los pastos mejorados con árboles resultaron ser superiores (2.51 ± 0.2 t C ha⁻¹) a pastos en monocultivo (mejorado y nativos) y superior a pastos nativos con árboles (0.96 ± 0.17 t C ha⁻¹); estos últimos almacenaron la menor cantidad de carbono por hectárea (Cuadro 15 y Figura 14).

El aporte de carbono de las pasturas nativas con árboles fue solo un 11.7% del contenido de carbono sobre el suelo, el 21% en los pastos mejorados y fue el 45% del mantillo en el caso de tacotales. La relación de carbono almacenado es directa con los contenidos de biomasa. En el caso de mantillo, los contenidos de biomasa sobre el suelo fue muy alta, y en el caso de los pastos fue relativamente baja. El caso extremo lo representan los pastos nativos el cual fue muy sobre pastoreado en la época de levantamiento de datos de campos, en muchos casos era casi el suelo descubierto.

Cuadro 15. Carbono total almacenado arriba del suelo (leñosas y gramíneas) en sistemas silvopastoriles y tacotales en matiguás ($t C ha^{-1}$), Matiguás, Nicaragua.

Sistema	CA en pastos ($t C ha^{-1}$)	CA en árboles ($t C ha^{-1}$)	CA arriba del suelo ($t C ha^{-1}$)
Pasto nativo en monocultivo	1.37 ± 0.19 (c)	0.0	1.37 ± 0.19 (c)
Pasto mejorado en monocultivo	1.66 ± 0.17 (c)	0.0	1.65 ± 0.17 (c)
Pasto nativo con árboles	0.96 ± 0.17 (d)	8.18 ± 3.0 (b)	9.1 ± 2.7 (b)
Pasto mejorado con árboles	2.51 ± 0.2 (b)	12.54 ± 3.5 (b)	15.0 ± 3.0 (a b)
Tacotales	15.63 ± 1.6 (a)	17.55 ± 3.6 (a)	33.10 ± 3.6 (a)

**Se trata de mantillo; valores con la misma letra en la misma columna no son diferentes estadísticamente $p > 0.05$.

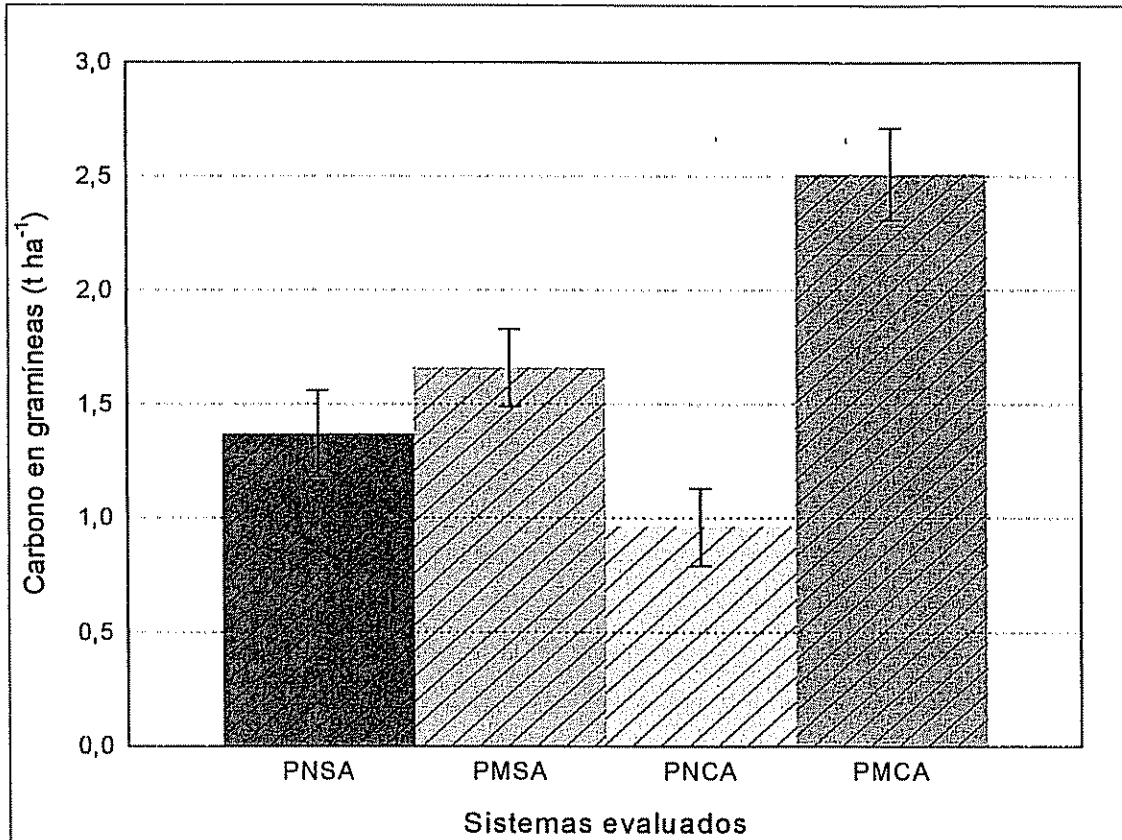


Figura 14. Carbono almacenado por las gramíneas nativas y mejoradas en Matiguás, Nicaragua. (Líneas verticales representan desviaciones standard)

3.3.3. Carbono en el suelo

La cantidad promedio de carbono acumulado en el suelo no fue estadísticamente diferente ($p > 0.05$) bajo ninguno de los sistemas, en ninguna de las tres profundidades (Cuadro 16). Sin embargo, el sistema de tacotal acumuló entre 8 y 11 % más carbono en el suelo que los sistemas de pastos a pleno sol y con árboles. Es probable que las pruebas estadísticas no detectan diferencia debido a la alta variabilidad en los datos, un incremento en el número de observaciones podría disminuir la variabilidad de los datos y marcar diferencias estadísticas.

Cuadro 16. Cantidad de carbono almacenado en el suelo ($t\ ha^{-1}$), a tres profundidades en sistemas de pasturas sin y con árboles, y tacotales, Matiguás, Nicaragua

Profundidad	PNSA	PNCA	PMSA	PMCA	Tacotal
0.0 – 0.2	84,3 ± 6.7 (a)	73,5 ± 6.1 (a)	83,6 ± 6.7 (a)	83,8 ± 7.0 (a)	89,5 ± 8.2 (a)
0.2 – 0.4	34,1 ± 4.7 (a)	33,8 ± 4.3 (a)	33,6 ± 4.7 (a)	35,1 ± 4.9 (a)	29,9 ± 5.7 (a)
0.4 – 0.8	31,4 ± 7.8 (a)	48,0 ± 7.1 (a)	39,7 ± 7.8 (a)	35,7 ± 8.1 (a)	50,2 ± 9.5 (a)
TOTAL SUELO	150,0 ± 14.7 (a)	155,2 ± 13.3 (a)	157,7 ± 14.7 (a)	155,1 ± 15.2 (a)	168,0 ± 41.5 (a)

Filas con letras iguales no difieren estadísticamente ($p > 0.05$).

La interacción entre especies gramíneas y arbóreas, no mostró diferencias estadísticas en el carbono almacenado en el suelo. Mora (2001), estudiando pastos Kikuyo (*P. clandestinum*) y Estrella Africana (*C. nlemfuensis*) en asocio con árboles y en monocultivo, encontró diferencias estadísticas a diferentes profundidades, siendo superior el pasto Estrella en monocultivo que en el caso de asocio con árboles y el pasto Kikuyo fue superior cuando estaba en asocio con árboles, sin embargo los resultados de Mora (2001) tiene un sesgo hacia arriba producto de errores de cálculos, ya que los contenidos que él estimó en la siguiente profundidad contabiliza nuevamente el carbono almacenado en la profundidad anterior.

Los contenidos de carbono en los primeros 20 cm no fueron superiores en los tacotales. A pesar de los altos aportes de materia orgánica por la descomposición de la hojarasca. La concentración de carbono en el suelo se redujo con la profundidad (Cuadro 16), sin embargo en los pastos nativos con árboles y tacotales, se dio una disminución después de los 20 cm y luego se incrementa de los 40-80 cm, sin embargo esta última profundidad representa dos veces la del primer y segundo perfil. López (1999), encontró una tendencia decreciente respecto a la profundidad estudiando sistemas que asocian *P. maximum* con *C. alliodora* en las zonas bajas del Atlántico en Costa Rica. La cantidad de carbono acumulado en el suelo a más de 20 cm de profundidad fue en general superior al 44% respecto al total almacenado en el suelo. El sistema que más carbono en el suelo almacenó en profundidades de 20-80 fue pasto nativo con árboles 53%; le siguió el tacotal con 48 %, pastos mejorados en monocultivos y asociados con árboles 46%, y pastos nativos en monocultivo sin árboles resulto con el porcentaje más bajo 44%. Los sistemas

que más carbono almacenaron en las capas más profundas fueron los sistemas de mayor edad, también las raíces de los árboles podrían jugar un papel importante.

3.3.4 Carbono total almacenado en los sistemas silvopastoriles, pastos en monocultivo y tacotales

El carbono total almacenado en los sistemas silvopastoriles, pastos en monocultivo y tacotal resultó ser diferente estadísticamente ($p > 0.05$), solamente para el caso de tacotales ($201 \pm 18 \text{ t C ha}^{-1}$). Los valores promedios de los sistemas de pastos nativos y mejorados en monocultivo fue de $151 \pm 15 \text{ t C ha}^{-1}$, y 159 ± 15 respectivamente, 164 ± 14 y 170 ± 16 para los pastos nativos y mejorados con árboles dispersos respectivamente, las pruebas estadísticas no encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$), para ninguno de estos cuatro sistemas (Cuadro 17).

Numerosos estudios reflejan la superioridad de las pasturas mejoradas, respecto a los pastos nativos para secuestrar carbono. En esta investigación no es muy evidente tal superioridad, al menos las diferencias no son significativas estadísticamente. Sin embargo debemos admitir que el estudio presenta la debilidad de no contar con datos exhaustivos de las prácticas de quemas en los potreros y es muy probable que los datos de las pasturas nativas y principalmente aquellas en monocultivo estén afectadas por la quema, ya que la práctica de quema en los potreros es muy común en la zona. Las quemas en los potreros alteran los contenidos de carbono en las capas superficiales del suelo.

Se ha demostrado que, a diferencia de las gramíneas nativas, las gramíneas africanas introducidas en las sabanas de Sudamérica pueden incrementar la materia orgánica de los suelos y acumular más carbono en el suelo (Fisher et al 1994; 1995; 1998). López et al. (1998), encontró que los pastos de *P. maximum* almacenaron más carbono en el suelo que cuando éste estaba asociado con *C. alliodora*. Este autor concluyó que este comportamiento podía deberse a diferencias de fertilidad de suelo de los diferentes sitios comparados, ya que el suelo en pasturas puras presentó contenidos más altos de nitrógeno. Pastos bien manejados influyen sobre el contenido de carbono en el suelo (Fisher et al., 1994).

Mora (2002), estudiando sistemas silvopastoriles de pastos Kikuyo y Estrella africana en asocio con árboles y a pleno sol, encontró que los pastos estrella almacenan mas carbono en el suelo que kikuyo, así mismo reporta diferencias entre pastos a pleno sol y los pastos asociados con árboles, siendo mayor el primero.

Cuadro 17. Carbono almacenado en la biomasa de gramíneas forrajeras y componente leñoso, el suelo y total por sistema, Matiguás, Nicaragua.

Sistemas	Carbono almacenado en pasto y mantillo	Carbono almacenado en árboles	Carbono almacenado en el suelo	Carbono total
PN. Monocultivo	1.37 ± 0.19 (c)	0,00	150.0 ± 14.7 (a)	151,4 ± 15.6 (b)
P.N con árboles	0,96 ± 0.17 (d)	8,18± 3,0 (b)	155,2 ± 13.3 (a)	164,4 ± 14.2 (b)
P.M Monocultivo	1,6 ± 0.17 (c)	0,00	157,7 ± 14.7 (a)	159,4 ± 15.7 (b)
P.M con árboles	2,5 ± 0.2 (b)	12,54± 3.5 (b)	155,1± 15.3 (a)	170,2 ± 16.2 (b)
Tacotal**	15,6 ± 1.6 (a)	17,55± 3.6 (a)	168,0± 17.8 (a)	201,1 ± 18.8 (a)

** Se trata de mantillo; medias en la misma columna con la misma letra no hay diferencia significativa ($p > 0.05$), PN = pasto nativo o natural, PM = pasto mejorado..

Del total de carbono almacenado en el sistema, más del 80 % se encuentra en los suelos. Sin embargo, con excepción de los tacotales no hay mayor diferencia entre sistemas. La diferencia en los tacotales se debe mas que todo a la contribución de los árboles con su biomasa. Los sistemas de tacotales almacenaron el 81% del carbono total en el suelo, mientras que los sistemas silvopastoriles mas del 95% (Figura 15). López et al., 1998, menciona que en los sistemas silvopastoriles de pastos guinea con *C. alliodora* almacenó seis veces más carbono en el suelo que en la parte sobre el suelo. En contraste, en un bosque o una plantación, la mitad del C del ecosistema se encuentra en la parte aérea (Dixon et al., 1994).

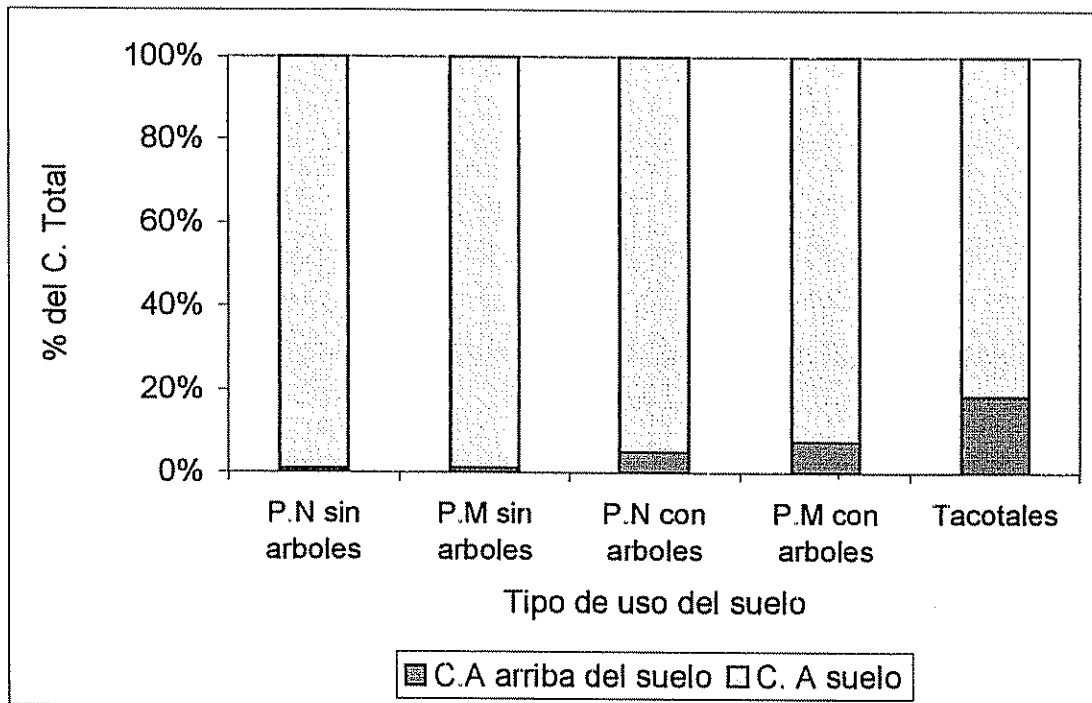


Figura 15. Distribución del carbono total de los sistemas (suelo y parte aérea), Matiguás, Nicaragua.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Los modelos que mejor ajustaron la biomasa total de los árboles fueron los modelos con transformaciones logarítmicas y/o cuadráticas que están en función del DAP. Los modelos que consideraron la altura además del DAP, aunque presentan un buen ajuste de los datos, los sesgos de estimación fueron superiores a los dos anteriores y son menos prácticos sin aportar un mejoramiento significativo en precisión.
- Se presentaron diferencias significativas en los contenidos de biomasa de los componentes arbóreo y de las pasturas en los diferentes sistemas. La cantidad de biomasa en los tacotales fue superior a los presentados en los sistemas silvopastoriles, superando casi cuatro veces la biomasa de los sistemas silvopastoriles. Los tacotales presentaron 50% de la biomasa aérea en el componente leñoso con $DAP > 2$ cm y el otro 50% en la hojarasca, ramitas sobre el suelo y especies leñosas con $DAP < 2$ cm. Mientras en los sistemas silvopastoriles el componente leñoso aportó la mayor proporción de la biomasa sobre el suelo, las pasturas residuales aportan una pequeña parte del total.
- El factor de expansión de biomasa (FEB) del componente leñoso coincide con los reportados por la literatura 1.62. Este mostró una correlación negativa respecto al DAP, esto significa que el factor de expansión fue menor a medida que incrementaron los diámetros.
- El carbono almacenado en el componente leñoso fue diferente entre los tacotales y los sistemas silvopastoriles. Los tacotales presentaron $17.55 \text{ t C ha}^{-1}$, mientras los dos sistemas silvopastoriles produjeron valores 8.18 y $12.54 \text{ t C ha}^{-1}$ respectivamente. Los pastos mejorados almacenaron mas carbono que los pastos nativos, tanto en monocultivo como en asocio con árboles.
- El carbono total almacenado en el suelo, no fue diferente para ninguno de los sistemas; sin embargo los tacotales lograron un promedio superior a los otros sistemas. Los contenidos de carbono presentan una tendencia decreciente respecto a la profundidad, sin embargo se encontró entre el 44 al 53 % de carbono total en el suelo, almacenado a profundidades de 20 a 80 cm.
- El carbono total en el sistema (aérea y bajo el suelo), fue diferente solamente para el caso de tacotales. Este sistema logro el máximo de almacenamiento, sin embargo no

es una opción competitiva para los finqueros por los bajos niveles de ingreso que estos producen.

4.2 Recomendaciones

- Los contenidos de carbono en el suelo no fue diferente estadísticamente para ninguno de los sistemas, sin embargo hay la tendencia a ser mas alto en tacotales. Los pastos mejorados son de menor edad en relación a los otros sistemas; se podría suponer que están fijando carbono a una tasa mayor que los otros sistemas, pero todavía no han tenido ninguna influencia en el carbono del suelo. Por tanto es recomendable realizar investigaciones que permitan determinar rigurosamente las tasas de fijación por estos sistemas a largo plazo.
- Estudios de las dinámicas del carbono en sistemas de tacotales clasificados por edades (tratamientos), seria de mucha utilidad para entender los procesos de cambio, almacenamiento y fijación del carbono en sistemas tradicionales y ligados a cambio de usos del suelo de bosque-pasto-regeneración natural (tacotal).
- El fomento de sistemas silvopastoriles con pasturas mejoradas de alta productividad deben ser probadas en las condiciones de Matiguás, e incentivar aquellas que ya son de reconocida adaptabilidad a la zona. Una estrategia articulada al emergente mercado del carbono puede producir recursos muy valiosos para fomentar cambios técnicos en las líneas antes mencionadas.
- La búsqueda de recursos para fomentar el cambio tecnológico no debe estar centrada solamente en la cooperación internacional, sino que también en mercados nacionales, tales que impuestos para los que contaminan pueden apoyar inversiones para los propietarios que producen servicios ambientales.

5. Referencias Bibliográficas

- Andrade, H.J. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 83 p.
- Brown S.; Lugo, A.E. 1984a. Biomass of tropical forest: a new estimate based on forest volume. *Science* 223: 1290-1293.
- Ciesla, W.M. 1996. Cambio climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. Estudio FAO Montes No 126. 147 p.
- Dixon, J.; Carpenter, R.; Fallón, L.; Sherman, P. 1995. Economic analysis of the environmental impacts of development projects. London. Asian Development Bank. 210 p.
- Fischer, M.J; Rao, I.M; Ayarza, M.A; Lascano, C.E; Saenz, J.I; Thomas, J.R; Vara, R.R. 1994. Carbon storage by introduced deep rooted grasses in the South American Savannas. *Nature* 371: 236-238
- Fischer, M.J; Trujillo, W. 1999. Fijación de carbono en pastos tropicales en sabanas de suelos ácidos neotropicales. In Seminario Internacional intensificación de la Ganadería Centroamericana: Beneficios Económicos y Ambientales. (1999, Turrialba, Costa Rica). Turrialba, Costa Rica; FAO - CATIE, SIDE. p.115 -135.
- IPCC. 2000. Uso de la tierra, cambio del uso de la tierra. Informe especial. Resumen para responsables de políticas. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Montreal, Canada. 24 p.
- Kursten, E; Burschel; P. 1993. CO₂-mitigation by agroforestry. *Water, Air and Soil. Pollution* 70: 533-544.
- Kyrilunk, B.1990. Cómo pueden contribuir los bosques y las industrias forestales a reducir el exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera. *Unasylva* 41(163): 2-15.
- Lohmann, L. 2000. El Mercado del carbono: Sembrando más problemas. Movimiento mundial por los bosques tropicales. Naturskydds foreningen. Montevideo, Uruguay. 31p.
- López, A. 1998. Aporte de los sistemas silvopastoriles al secuestro de carbono en el suelo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 50 p.

- Levard, L; Pérez, F y Marín, L. 2001. Limitantes y potencialidades del desarrollo agropecuario en el Municipio de Matiguás. Managua, Nicaragua, Nitalapán-UCA. 120 p.
- Locatelli B.; Leonard S. 2001. Un método para medir el carbono almacenado en los bosques de Malleco. BOIS ET FORETS DES TROPIQUES. No. 267 (1). P 69-81.
- Ortis, E. 1997a. Relaciones alométricas entre altura y diámetro en árboles de un bosque húmedo tropical. Instituto tecnológico de Costa Rica. P: 22-24. In III congreso Forestal Nacional (1997, San José Costa Rica). Morales E. Y Cartin, F. (Editores). 318 p.
- Segura, M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costaricensis*, en un bosque de altura en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis Lic. Cs. For. Heredia, Costa Rica., UNA. 127 p.
- Schlegel B; Gayoso J; Guerra J. 2001. Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 14 p.

Artículo 2

**EVALUACIÓN ECONÓMICA Y VALORACIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES DE
ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN FINCAS GANADERAS EN MATIGUÁS,
NICARAGUA.**

Por : Alfredo Ruiz García.

Palabras claves: Tipos de productores, fincas ganaderas, sistemas de producción, desarrollo sostenible, competitividad económica, costo de oportunidad, ingresos netos, beneficios netos, productividad, costos de producción, inversión en capital, modelo lineal, función de ingresos, empleo.

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar el impacto del almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y tacotales en la competitividad de fincas ganaderas de Matiguás, Nicaragua. Se seleccionaron 34 productores, propietarios de fincas con tamaños entre 10-300 ha¹, todos tienen como actividad principal la ganadería y además producen granos básicos (*Zea mays* y *Phaseolus vulgaris* y *Musa* sp), principalmente para el autoconsumo.

Con los datos de las encuestas, primeramente se establecieron tipos de productores, los cuales fueron seleccionados en función del tamaño de la finca, valor de tierra, número de vacas promedios, capital invertido ha⁻¹, las características y cantidad de fuerza de trabajo disponible. Se estimó los costos de producción y los ingresos en el ámbito de la finca, así mismo se analizaron algunos indicadores técnicos productivos de la finca tales que: la producción de leche en verano e invierno, la carga animal ha⁻¹ año⁻¹, se relacionaron los costos con ingresos y niveles de capital invertido en el ámbito de finca e ingresos netos total de la finca. Se identificaron tres tipos de productores: Campesinos ganaderos (Tipo I), los finqueros ganaderos (Tipo II) y los medianos ganaderos (Tipo III).

Con los resultados de las encuestas se definió un modelo lineal para estimar la función de ingresos de cada uno de los sistemas que combinan las fincas y los cuales han sido evaluados en esta investigación (pastos nativos a pleno sol, pastos mejorados a pleno sol, pastos nativos con árboles, pastos mejorados con árboles y tacotales). Los resultados del modelo resultaron altamente significativos ($p > 0.01$), de la misma manera cada uno de sus parámetros. Se correlacionó el nivel de costos y de capital invertido con los beneficios familiares netos, resultando una correlación de 0.54 y 0.78 respectivamente, lo que indica que los productores con más inversión y costos operativos están logrando incrementos en los ingresos, esto es debido a un mejor manejo del hato y una mayor dotación de infraestructura de la finca mejorando así la eficiencia.

Los sistemas de pastura mejorada con árboles resultó ser la que maximiza el ingreso (optimo económico), y el sistema de tacotal es el que más carbono almacena (optimo ecológico), sin embargo, este ultimo sistema generó bajos ingresos al finquero. El modelo, estimo diversas opciones de uso de las fincas que pueden permitir incrementar hasta 12 veces el ingreso actual y a la vez almacenar mas carbono, incrementando a una tasa de $2.8 \text{ t C ha}^{-1} \text{ años}^{-1}$.

El costo de oportunidad de incrementar $1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en una finca en la zona resultó ser de $13,2 \text{ \$ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para el Tipo III, $15 \text{ \$ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para el Tipo II y de $22.2 \text{ \$ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para el tipo I, estos resultados resultaron relativamente bajos en comparación a los encontrados en otras valoraciones en bosques tropicales.

Se estimo que el cambio de usos de suelo de ganadería extensiva a bosques secundarios puede tener un impacto en reducción del empleo en un 47% respecto a los empleos actuales en la zona. Por otro lado, un cambio o mejora de los sistemas actuales a uno más intensivos con pastos mejorados y árboles, con áreas en tacotales puede tener un impacto de incrementar la demanda de trabajo en un 74% respecto a los empleos actuales. De la misma manera estos cambios irían en detrimento de la seguridad alimenticia de las poblaciones rurales del Municipio de Matiguás.

Key words: Types of farmers, cattle properties, production systems, sustainable development, economic competitiveness, opportunity cost, net revenues, net profits, productivity, production costs, investment in capital, lineal model, function of revenues, employment.

ABSTRACT

The objective of the investigation was to evaluate the impact of carbon storage in silvopastoral systems and natural regeneration (tacotal) on the competitiveness of cattle farms of Matiguás, Nicaragua. 34 farmers were selected, the size of the farm oscillates among 10-300 ha⁻¹, all of them have the cattle raising as main activity and they also produce basic grains (*Zea mays* and *Faseolus vulgaris* and *Muse sp*), mainly for the self-consumption.

With the surveys data, first it was established the types of producers, which were selected according to the size and value of the farm, number of cows average, invested capital ha⁻¹, the characteristics and quantity of available labour. The production costs and revenues on the farm were estimated, some productive technical indicators such as: the production of milk in summer and winter, the animal load ha⁻¹ were analyzed; the costs with revenues and capital levels invested in the farm and the total net revenues of the farm were related. Three types of producers were identified: cattle Peasants (Type I), they have 18,8 ha⁻¹ of land on average, their yields of milk are of 3-4 liter cow⁻¹; The cattle farmers (Type II), they have 60 ha⁻¹ on average and their milk yields oscillate among 3 - 5 liters cow⁻¹; and the medium farmers (Type III) they have 128 ha⁻¹ on average and their milk yields averages oscillate among the 2.5-4 liters cow⁻¹.

With the surveys results, a lineal model was defined to estimate the function of revenues of each one of the systems evaluated (unshaded natural grasses, unshaded improved grasses, natural grasses with trees, improved grasses with trees and natural regeneration). The results of the model were highly significant ($p > 0.01$). The level of costs and invested capital with the net family benefits was correlated, a correlation of 0.54 and 0.78 respectively was found, which indicates that producing with more investment and operative costs are achieving incremental revenues, this is due to a better handling of the herd and better infrastructure, improving the farm efficiency.

// The improved pasture systems with trees, resulted in maximum revenues (good economic) and natural regeneration system stores more carbon (good ecological), however it is the system with less revenues to the farmers. The systems averages for type of producers are located in the middle of those two extreme respect to stored carbon, however they are very far from the economic optimum. The model estimated different options of land uses which could allow to increase the actual revenues up to 12 times and at the same time increasing storage carbon to rate of $2.8 \text{ t C ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$. //

// The opportunity cost to increasing 1 t C ha^{-1} on a farm in the zone were \$ 13,2 for the Type III, \$ 15 for the Type II and \$ 22.2 for the type I, these results were relatively lower that estimated made in other studies of valuation in tropical forests. //

// It was estimated that the land use change from extensive cattle raising to secondary forests can have an impact in reduction of the employment in 47% regarding the current employments in the area. On the other hand a change or improvement of the current systems to more intensive one with improved grasses and trees, with areas in natural regenerations can have an impact of increasing the work demand in 74% regarding the current employments. In the same way these changes would go in detriment of the nourishing security of the rural populations of the Municipality of Matiguás. //

1. INTRODUCCIÓN

La degradación de los recursos naturales y el ambiente puede ser causada tanto por poco, como por demasiado desarrollo económico. La pobreza rural y el acelerado crecimiento poblacional a menudo se combinan para presionar sobre los recursos naturales. Un estudio de la CEPAL señala que en 1994 la pobreza en el medio rural de América Latina representó una magnitud de 73,9 millones de pobres, 46 millones de ellos se encontraban en extrema pobreza. En Nicaragua más del 70% de su población rural es pobre. El deterioro de los recursos naturales de ladera y en las zonas bajas del trópico húmedo en América Central evidencian los efectos del crecimiento de la población y la incapacidad de mantener el potencial productivo de los recursos naturales. La presión ejercida por una población creciente que demanda más alimentos, ha traído como consecuencia el avance de la frontera agrícola, incrementando las tasas de deforestación, erosión de suelos, deterioro de fuentes de agua, pérdida de biodiversidad y la emisión de gases de efecto invernadero (Serrao y Toledo, 1992; French, 1994).

En los países de América Central, donde la pobreza y las desigualdades sociales acentúan la presión sobre los recursos naturales, los intentos por proteger grandes reservas de la Biosfera resulta muy difícil. Diversos grupos de pobladores pobres y no pobres "invaden" estas áreas para explotar los recursos y sobrevivir. Los gobiernos carecen de la fuerza, los recursos e incluso el interés necesarios para reasentar estas poblaciones fuera de las reservas y garantizar su conservación. (Ulling 1993; Barraclough y Ghimire 1995; Barahona 2002). Paralelo a esta problemática, se ha dedicado poca atención al potencial para la conservación que tienen las pequeñas áreas de bosques en fincas y los sistemas agroforestales. El manejo y la ampliación de estos sistemas no solo pueden contribuir a la conservación de la biodiversidad, sino que también pueden contribuir al mejoramiento de condiciones productivas de la finca, diversificación de la producción y generación de ingresos y empleo a las familias rurales.

Con el objetivo de proteger los recursos, diversos mecanismos ha sido implementado en las últimas décadas; sin embargo ni las leyes que han buscado regular y/o prohibir algunos usos, ni los incentivos económicos han sido lo suficientemente eficaces para detener el avance de la frontera agrícola y evitar el deterioro de los recursos naturales.

Ante la ineficacia de los incentivos forestales, recientemente se busca crear mecanismos de mercado que mejore el efecto en la conservación de los recursos. Surge entonces, el concepto de pago de servicios ambientales en los cuales se reconocen varios servicios, entre otros, el almacenamiento y secuestro de carbono, calidad de agua y biodiversidad.

Existen diversos problemas para establecer un mercado de los servicios ambientales. En primer lugar, es un mercado emergente, es decir aún no existe como tal; en segundo lugar, los servicios ambientales todos los consumimos, pero no los vemos ni tocamos en el mercado, esto los hace difícil de ser demandados, se requiere de un proceso de educación y mercadeo muy fuerte. Finalmente es difícil cuantificar la producción y el monto a pagar por estos servicios. Los esfuerzos de cuantificación y valoración de los servicios ambientales hasta ahora desarrollados son muy diversos y existe una gran disparidad de criterios entre los expertos (Carranza et al. 1996).

El objetivo de la presente investigación fue cuantificar el carbono almacenado en cinco sistemas de uso del suelo en una zona ganadera de Nicaragua y evaluar el efecto económico a nivel de las fincas ante una eventual venta de servicios ambientales por almacenamiento y secuestro de carbono.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Evaluar el impacto de diferentes usos del suelo en el almacenamiento de carbono, la rentabilidad y competitividad de fincas ganaderas en Matiguás, Nicaragua.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estimar los costos de producción y los beneficios familiares de las fincas ganaderas de Matiguás.
- Determinar la función de ingresos de cada sistema de uso del suelo dentro de las fincas estudiadas.
- Estimar a partir de un modelo de optimización, el óptimo económico y ecológico de las fincas estudiadas y comparar con la situación actual.
- Estimar el costo de oportunidad de incrementar en una tonelada el carbono secuestrado en las fincas estudiadas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización del sitio de investigación.

La investigación se realizó en la micro cuenca del Río Bul-Bul en el municipio Matiguás, al norte del departamento de Matagalpa, (85° 27' L N y 12° 50' L O). El sitio presenta una temperatura media anual de 26 °C y precipitaciones medias anuales de 1400 mm; distribuidas en ocho meses del año (mayo-diciembre), y con una altitud de la zona entre los 200-450 msnm. Los suelos son de baja fertilidad (Ph = 5.5; N = 48.07 kg ha⁻¹ P = 93.46 kg ha⁻¹ K = 291.57 kg ha⁻¹) y las texturas arcillosas.

El sistema natural de la zona, se ha establecido por procesos de regeneración natural en áreas que anteriormente habían estado ocupado por bosque tropicales húmedos. La composición de estos sistemas comprende una diversidad de especies arbóreas y gramíneas forrajeras, sobresaliendo en las especies arbóreas el guácimo (*Guazuma ulmifolia*); laurel (*Cordia alliodora*); guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*); genízaro (*Pithecellobium saman*); Coyote (*Platymiscium pleiostachyum*); comizuelo (*Acacia hindsii*); y en las gramíneas forrajeras el: guinea (*Panicum maximum*), zacatón o zacate amargo (*Paspalum virgatum*), grama (*Paspalum notatum*), jaragua (*Hyparrhenia rufa*) y *Brachiaria brizantha*.

Los sistemas de producción de la zona son predominantemente ganaderos, con un manejo extensivo de las pasturas y de los hatos, expresado en los bajos niveles de inversión en capital y trabajo. El tamaño de las fincas oscila entre 10-300 hectáreas y en su mayoría los productores carecen de títulos de propiedad, lo que incide en la lógica de explotación extensiva de los recursos naturales.

2.2 Encuesta a nivel de finca.

Previo a esta investigación se había aplicado una encuesta socioeconómica en el año 2001 a un total de 27 productores que habitan o tienen sus fincas en la micro cuenca del Río Bul Bul. Durante el proceso de esta investigación se completo un censo de los productores que habitan en el área de estudio (60 en total). Se seleccionaron al azar 34

productores, de los cuales 22 ya había sido encuestados y 12 restantes se les aplicó la misma encuesta durante el proceso de la investigación (Mayo-Junio 2002).

La encuesta recoge información sobre: características básicas de la finca, tenencia de la tierra, la familia, mano de obra, equipos e infraestructura de la finca, uso del suelo, cambios de usos, manejo técnico de los pastos y animales, costos, niveles de producción y mercados (ver anexos).

2.3 Tipología de productores y el uso del suelo dentro de la finca.

La historia de los programas y proyectos de desarrollo agropecuarios en América Latina ha mostrado que no puede haber acciones eficaces en la agricultura sin un previo conocimiento de las realidades agrarias sobre las cuales se piensa trabajar (Dufumier 1995).

El fracaso de un gran número de proyectos se deriva del hecho de que no siempre se consideran, en el momento de la concepción de sus actividades, las necesidades y problemas de los productores. Las técnicas sugeridas provienen a menudo de supuestos no demostrados que de la comprensión rigurosa de la realidad. Es evidente que no son solo las condiciones ecológicas las que se toman en cuenta cuando los campesinos escogen las técnicas agrícolas o pecuarias a implementar. Las condiciones económicas y sociales tienen un gran peso en sus decisiones, y sería en vano proponer a los productores técnicas inadecuadas a sus intereses o a los medios tanto materiales como financieros a los que tienen acceso (Dufumier 1995)

A menudo los productores de una zona, no tienen ni los mismos recursos, ni están integrados a los circuitos económicos y sociales de la misma manera. Estas condiciones hacen que no tengan los mismos comportamientos en cuanto al uso de los recursos, formas y tipos de productos a producir y técnicas a aplicar. Por estas razones es crucial poder identificar y agrupar a los productores en tipos más o menos homogéneos en cuanto a su lógica técnica y económica y poder entender sus limitantes y potencialidades, lo que permite formular estrategias de desarrollo más apropiadas a sus intereses individuales y los intereses colectivos (sociedad).

Para la realización de la tipología de productores en esta investigación se han priorizado los criterios de: área física y valor de la finca, el nivel de capital invertido por hectárea en la finca y el capital animal representado por las hembras por ser estas consideradas por el productor como capital productivo (Cuadro 1).

Con la información generada por las encuestas y las visitas a las fincas se procedió a identificar los diferentes tipos de uso del suelo en las fincas, para lo cual se construyó una base de datos con los diferentes usos y áreas ocupadas por cada tipo de uso. Se identificaron cinco tipos de usos predominantes : pasturas nativas y mejorados a pleno sol, pasto nativo y mejorado con árboles, y tacotales; también se identifican sistemas agrícolas tales que el maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), musáceas (*Musa sp*).

2.4 Estimación de costos y beneficios a nivel de finca sin venta de servicios ambientales de secuestro de carbono.

Con la información recopilada no fue posible obtener los costos ni los ingresos a nivel de cada actividad productiva, solo se logro obtener a nivel finca los costos operativos anuales y los niveles de producción y los precios de ventas, información que fue útil para estimar los ingresos brutos totales y por hectárea, los cálculos se hicieron en dólares utilizando las tazas de cambio de las fechas de obtención de la información (2002).

2.4.1 Costos operativos

$$CO = \sum (Q_i * P_i)$$

Donde:

CO = costos operativos, Q = es la cantidad de insumos y mano obra, P= son los precios de insumos y mano de obra.

2.4.2 Producto Bruto Total

$$PBT = \sum (P_p * P_1 + P_a * P_2 + \dots \dots \dots i)$$

Donde:

PBT = producto bruto total; Pp = producto pecuario; Pa = Producto agrícola; P₁ y P₂ son los precios correspondientes de cada producto.

2.4.3 Producto bruto total por hectárea

$$PB \text{ ha}^{-3} = PBT / A$$

Donde:

PB ha⁻³ = Producto bruto por hectárea; A = área de la finca

2.4.4 Beneficio neto familiar

$$BNF = PBT - CO$$

Donde:

BNF = beneficio neto familiar (\$ UUSS); CO = costos operativos; PBT = producto bruto total.

2.5 Modelación de las combinaciones de sistemas que optimizan el ingreso y el potencial de almacenamiento de carbono.

A partir de los datos de campo colectados en 34 fincas ganaderas en la zona de estudio, se realizaron los cálculos básicos de costos e ingresos a nivel de la finca. Con el objetivo de estimar cual era la función del ingreso de cada una de las cinco combinaciones de sistemas usos, se utilizó el siguiente modelo.

Modelo lineal:

$$Y = b_0 + b_1*(A_PNSA) + b_2*(A_PNCA) + b_3*(A_PMSA) + b_4*(A_PMCA) + b_5*(A_Tacotal)$$

Donde:

Y = Beneficio neto familiar (\$ US)

b = son los parámetros estimados por el modelo, (\$ ha⁻¹ por cada tipo de uso)

A_PNSA = área de pasto nativo a pleno sol en la finca, (ha)

- A_PNCA = área de pasto nativo con árboles en la finca, (ha)
 A_PMSA = área de pasto mejorado sin árboles, (ha)
 A_PMCA = área de pasto mejorado con árboles, (ha)
 A_tacotal = área de tacotal en la finca, (ha)

Con los datos generados por el modelo y los datos de áreas por sistema de las fincas se realizaron simulaciones para encontrar un óptimo económico (máximo ingreso) y óptimo ecológico (máxima producción de carbono), además se estimó los ingresos promedios por tipos de productores utilizando la función de ingresos generada por el modelo (situación actual de la finca). Para encontrar el máximo potencial de almacenamiento de carbono ha^{-1} de la finca, se utilizaron como parámetros para el modelo, las estimaciones de carbono almacenado en cada sistema en este estudio (t C ha^{-1}), pasto natural sin árboles (PNSA) = 151.4; pasto natural con árboles (PNCA) = 164.4; pasto mejorado sin árboles (PMSA) = 159.4; pasto mejorado con árboles (PMCA) = 170.2; Tacotal = 201.1.

Con estos datos se analizó y compararon las fincas simulando cuatro situaciones: A) cuando logra el óptimo económico (sistemas y cuales ingresos); B) Óptimo ecológico (sistemas y cuales ingresos); C) situación actual de la finca donde se ubica respecto a estas dos situaciones extremas; D) escenarios para mejorar la situación actual buscando incrementar el ingreso y el carbono.

2.6 Estimación del costo de oportunidad de aumentar el almacenamiento de carbono en la finca.

Con el objetivo de identificar cual sería el costo de oportunidad de incrementar el almacenamiento de carbono en las fincas de Matiguás se utilizó la siguiente ecuación.

Costo de oportunidad (\$ USA t C ha^{-1}) = - (Beneficios Netos en el Óptimo Ecológico - Beneficio Netos en la Situación Real) / (Carbono almacenado en el Óptimo Ecológico - Carbono almacenado en la Situación Real).

Óptimo Económico: para esta investigación se entenderá como el máximo ingreso o beneficio neto familiar posible de alcanzar con las actividades económicas desarrolladas actualmente en las fincas ganaderas de Matiguás.

Optimo Ecológico: Se entenderá como el máximo potencial para almacenar carbono, el cual se logra con el sistema que alcanza el valor máximo de carbono ($t\ ha^{-1}$).

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

3.1 Tipología de productores y características de las fincas ganaderas en Matiguás

La tipología nos permite agrupar a la diversidad de productores según su lógica técnica y económica, la cual es expresión de sus niveles de recursos, y las limitaciones y potencialidades agroecológica de la zona. La identificación de tipos en espacios territoriales específicos puede ser clave en la definición de políticas o para la orientación de proyectos que procuran transformaciones técnicas y económicas priorizando ciertos sectores productivos. Para la definición de los tipos se han utilizado las siguientes variables: El tamaño de la finca, el valor de la tierra, capital promedio invertido por ha⁻¹, número de vacas promedio, las características y cantidad de fuerza de trabajo, el sistema de producción.

El análisis de las encuestas aplicadas a los productores de la zona, nos ha permitido identificar tres tipos de productores, los cuales los denominaremos: campesinos ganaderos semi-intensivos (tipo_1); campesinos finqueros (tipo_2); finqueros (tipo_3) (cuadro 1).

Cuadro 1. Características básicas de las fincas ganaderas, según tipos de productores, Matiguás, Nicaragua.

Tipos de productores	Numero de fincas	Área promedio (ha)	Valor de la tierra (\$USA)	Capital ha ⁻¹ (\$ USA)	Vacas promedio
Tipo_1	21	18.8 ± 6.2	4,468.6	61.0±35.0	14.5±9.0
Tipo_2	15	60.0 ± 25.5	13,027.0	174.3±184.5	31.7±21.5
Tipo_3	10	128.0 ± 52.5	42,883.0	213.6±210.0	63.8±34.9
Total	46	56.8 ± 50.9	15,858.1	132.9±157.5	31.2 ±28.3

Las variables de capital total de la finca permiten tener una idea de los niveles económicos de los propietarios de las fincas y las variables de capital ha⁻¹, permite observar los niveles de intensificación de la finca, a mayor capital invertido la finca es más intensiva (infraestructura, cercas, tecnología etc.). El tipo_1 es el más numeroso, tiene un nivel de capital en tierras menor a 5,000 dólares, y es también el que presenta los niveles de capital ha⁻¹ mas bajo de los grupos, esta situación refleja la baja capacidad de inversión de capital en la finca, la mayoría de los productores de estas zonas presentan

bajos niveles de inversión y por tanto adoptan estrategias extensivas en la explotación de los recursos (Levard 2001, Ruiz 1994).

Del total de la fincas estudiadas 57.8 % (26 fincas) tienen potreros con pastos nativos *P. notatum* (grama natural), *P. virgatum* (zacate amargo), *H. rufa* (jaragua) etc., el 91.1% (41 fincas) tenía pasto mejorado (principalmente *P. maximun* y *Panicum sp*), el 80 % (36 fincas) tienen áreas de tacotal y un 82.2 % (37 fincas) tenían cercas vivas. Sin embargo aunque un numero alto de fincas tiene pastos mejorados, las áreas de la fincas ocupadas por estos son relativamente pequeñas en relación al total de las áreas en pasturas. Estos datos muestran una tendencia de los productores por establecer pastos mejorados en sus fincas, sustituyendo así las áreas de pastos nativos, los que suelen ser de menor productividad. La tendencia de sustitución de pastos nativos por mejorados, es diferenciada según el tipo de finca. Las fincas más pequeñas (productor tipo_1), presentan una proporción mayor de pastos mejorados (46 % del área total), las fincas de los productores tipo_2 (42%) y las del tipo_3 (29% del área). (Cuadro 2). Las fincas más pequeñas suelen tener un balance mas equilibrado entre cultivos y ganado, su objetivo primario es seguridad familiar (garantizar alimentos a los menores riesgos), en cambio las fincas más grandes son mas articuladas al mercado y tienden a la especialización ganadera de doble propósito.

Cuadro 2. Promedio de uso de los suelos de las fincas en cada tipo de productores (tipo_1, tipo_2 y tipo_3), Matiguás, Nicaragua

Tipos de fincas	Area total (ha)	P.N sin árboles (ha finca ⁻¹)	P.N con árboles (ha finca ⁻¹)	PM_sin árboles (ha finca ⁻¹)	PM_con árboles (ha finca ⁻¹)	Cultivos agrícolas (ha finca ⁻¹)	Tacotal (ha finca ⁻¹)	Cercas vivas (m)
Tipo_1	18.8	2.7±3.3	1.8±2.2	3.9±3.0	4.7±3.8	2.4±1.6	3.2±2.7	782
Tipo_2	60.0	14.1±13.2	9.4 ±8.8	11.4±11.5	13.9±14.1	3.6±2.9	7.7±6.6	3795
Tipo_3	128.0	30.9±45.5	20.6±30.3	17.0±15.3	20.6±30.3	4.5±4.9	33.8±47.9	2596
Promedio general	56.8	12.7±24.6	8.5±16.4	9.3±11.0	12.7±24.6	3.3±3.1	11.5±25.2	2605

(P.N = pastos naturales, P.M = pastos mejorados)

3.1.1 Producción y productividad pecuaria en las fincas ganaderas de Matiguás

El número de vacas promedio en ordeño es variable por tipo de productor y por época del año, las fincas pequeñas del tipo_1, ordeñan en promedio 5 vacas indistintamente de la época, el tipo_2 ordeña un promedio de 11 en verano y 13 vacas en invierno, y el tipo_3

ordeña 25 en verano y 35 vacas en invierno (Cuadro 3). El numero de vacas en ordeño se disminuye en un 30% para las fincas más grandes, mientras los estratos menores se mantienen entre invierno y verano casi constantes, la tendencia puede deberse al manejo diferente de los hatos por los distintos tipos de productores, o por la escasez de alimentos durante el verano. Las fincas pequeñas que mantienen constante el número de vacas en ordeño, puede ser que tengan una mayor disponibilidad relativa de alimento en la finca ya que son los que tienen mas pasto mejorado y por tanto mayor capacidad de carga.

Las fincas más grandes generalmente de doble propósito (leche y desarrollo de novillos), tienen interés de sacar terneros de buen tamaño y por tanto en las épocas de baja producción de leche (verano), priorizan alimentar el ternero en lugar de la venta de leche de las vacas de baja productividad. Generalmente suelen dejar de ordeñar las vacas que han bajado la producción o dejar una parte de la leche en una época en donde hay una carencia muy marcada de alimento en las fincas.

La producción de leche es alto en invierno y disminuye sustancialmente en el verano (Cuadro 3), este comportamiento se explica, por un lado, por la baja disponibilidad de alimentos en las fincas durante el verano y el poco uso de suplementos alimenticios para el ganado, en los casos de usos estos son productos de baja calidad proteica y energética (rastros). En general las fincas producen mas leche en invierno, debido principalmente a la mayor disponibilidad de alimento en esta época. Las fincas pequeñas presentaron mas estabilidad de la producción entre las dos épocas (Invierno y Verano), esto puede deberse a una mayor disponibilidad de forraje por tener una proporción mayor de áreas con pastos mejorados y el uso de rastros en verano ayuda a solventar la demanda de alimentos.

Los precios de la leche mostraron un comportamiento similar al de la producción, en época lluviosa cuando hay una mayor producción los precios bajan sustancialmente afectando de esta manera el ingreso de los productores. Los precios también fueron ligeramente diferentes según los tipos de productores, estos están determinados por la capacidad de negociación de los productores, lo cual esta a su vez determinado por los contactos y la capacidad de ofertar una cantidad y calidad de producto de manera estable.

Los productores más grandes de la zona, pueden ofrecer un mayor volumen de leche durante todo el año, establecen contratos de comercialización estables con las acopiadoras, esto hace que los precios a los que accede son bastante estables. En cambio los pequeños productores, generalmente venden a las queseras locales y estos establecen precios en función de la oferta, en verano la oferta es baja y los precios suben, en invierno hay mayor oferta de leche y los precios son bajos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Numero de vacas, rendimiento de leche y precios de la leche en invierno y verano, según tipos de productores en Matiguás, Nicaragua (Precios en dólares)

Tipos	Variable	Invierno	Verano
<u>Campe</u> sino ganadero	No de vacas en ordeño	5	5
	Rendimiento (litros / vaca)	3,5	4,7
	Precio de leche (US\$/litro)	0,22	0.17
<u>Campe</u> sino finquero ganadero	No de vacas en ordeño	11	13
	Rendimiento (litros / vaca)	3,4	5,4
	Precio de leche (US\$/litro)	0,25	0,18
<u>Finquero ganadero</u>	No de vacas en ordeño	25	35
	Rendimiento (litros / vaca)	2,76	5
	Precio de leche (US\$/litro)	0,22	0,2

3.1.2 Costos de producción y los beneficios familiares de las fincas ganaderas de Matiguás.

Los costos de producción por hectárea son muy bajos y oscilando entre 26 y 66 dólares para las actividades agrícolas y de 14 a 153 dólares ha⁻¹ para las actividades pecuarias (Cuadro 4). Las actividades agrícolas presentan un valor bruto de producción y beneficio netos ha⁻¹ mayor que las actividades pecuarias excepto para el tipo-3. En las actividades agrícolas los productores con fincas de tamaño mediano presentaron los mayores ingresos, en cambio en las actividades pecuarias, las fincas de mayor tamaño presentan los más altos ingresos netos ha⁻¹, es importante destacar que en ambos casos los ingresos estuvo asociada a mayores costos de producción, lo que sugiere un mejor manejo y uso de insumos en las actividades, permitiendo niveles de producción e ingresos altos (Figura 1 y 2).

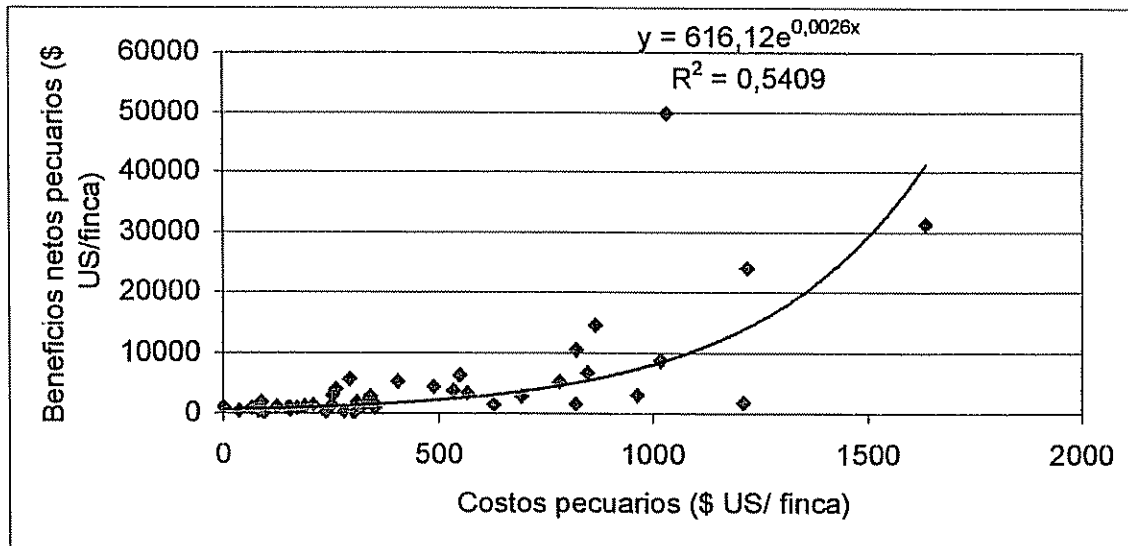


Figura 1. Relación entre los costos pecuarios por finca y los ingresos netos de los productores, Matiguás, Nicaragua.

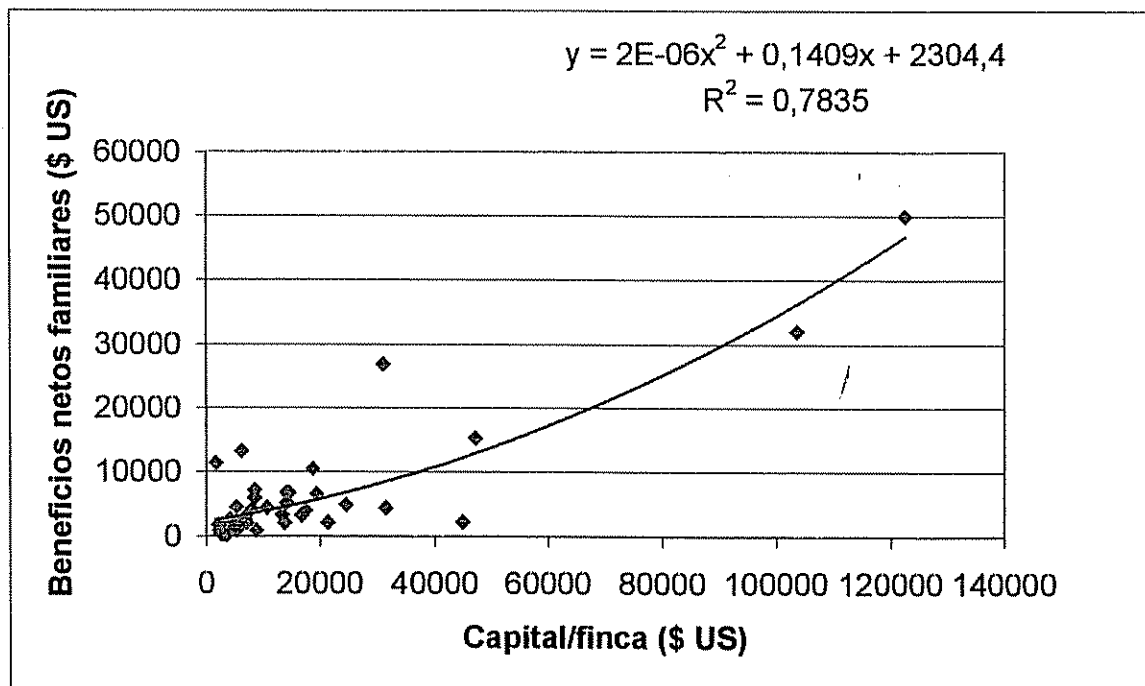


Figura 2. Beneficios netos pecuario por finca vs. capital invertido, Matiguás, Nicaragua.

De la misma manera, que los costos se correlacionan con los ingresos, el capital invertido en la finca presenta una correlación significativa con los niveles de ingreso, esto significa que las fincas más capitalizadas muestran mayores niveles de ingresos netos.

Aun que las actividades agrícolas generalmente presentan los ingresos ha^{-1} más altos, estas no son las que tienen la mayor remuneración por el trabajo invertido en la actividad. Las actividades agrícolas requieren de una alta inversión en trabajo, la que osciló entre 28 a 58 días hombres ha^{-1} (dh ha^{-1}), y presentan una menor remuneración del trabajo (3.5-6.9 \$US dh^{-1}), mientras las actividades pecuarias son actividades más extensivas en trabajo (10 a 14 dh ha^{-1}), presenta una remuneración del trabajo más alta excepto para el Tipo-2. Estos resultados explican el comportamiento de los productores de una zona, en donde, el recurso tierra es abundante, la fuerza de trabajo es relativamente limitante en las fincas y si no lo fuese, su uso para expandir las áreas de cultivos agrícolas incrementaría significativamente los costos de producción y el capital financiero sería una limitante para la contratación de trabajadores.

Los propietarios de las fincas pequeñas y medianas (tipo_1 y tipo_2), tienen menos acceso a capital para la contratación de trabajadores, ellos dependen de la fuerza de trabajo familiar, en este caso el número de personas en edad promedio de trabajar en la familia se convierte en una limitante para una mayor intensificación de las fincas. Las estrategias productivas de los productores es diseñada en función del recurso más escaso en la unidad de producción o en la zona, para unos el factor escaso es trabajo o capital, para otros es tierra. De manera general en la zona la tierra es un factor relativamente abundante, esto explica de alguna manera las estrategias extensivas de los finqueros, ya que es más barato invertir en ampliar las áreas en fincas que hacer inversiones de intensificación (tecnología, equipos, infraestructura). Las fincas más pequeñas que tienen alta disponibilidad de trabajo hacen sus mejoras en base a un incremento de trabajo en la finca.

Otro dato que refleja las estrategias de los finqueros, es el beneficio neto total de la finca, cuando estos productores tienen superficies grandes, su lógica no es sacar el máximo ingreso por hectárea, ellos buscan un volumen de ingresos que logran explotando mucha tierra de manera extensiva, es así como los finqueros del tipo_3 logran beneficios totales

por el orden de los 12,500 \$ US año⁻¹ finca⁻¹, lo que equivale a un ingreso neto mensual aproximado de 1000 \$ (Cuadro 4 y 5).

Cuadro 4. Producción bruta, costos y beneficios familiares por hectárea, día hombres de trabajo y actividad productiva, Matiguás, Nicaragua

Agrícola					
Tipos	Días de trabajo ha ⁻¹	Producto bruto ha ⁻¹ (\$ US)	Costos de producción ha ⁻¹ (\$ US)	Beneficio neto familiar ha ⁻¹ (\$ US)	Margen neto dh ⁻¹ (\$)
Tipo_1	58.0	231.0	26.0	205.0	3.5
Tipo_2	55.0	420.7	65.7	355.0	6.5
Tipo_3	28.0	116.4	27.0	139.0	6.9
Promedio general	48.6	301.5	44.2	257.0	5.2
Pecuario (leche y carne)					
Tipo_1	14.0	105.0	15.0	89.0	6.4
Tipo_2	13.0	100.0	14.0	86.0	6.6
Tipo_3	10.0	489.0	153.0	335.0	33.5
Promedio general	12.3	208.0	52.0	155.0	16.9
Forestal (leña, madera, postes)					
Tipo_1	Nd	16.0	0.0	16.0	Nd
Tipo_2	Nd	26.0	2.0	26.0	Nd
Tipo_3	Nd	6.3	0.0	6.3	Nd
Promedio general	Nd	17.7	0.0	17.7	Nd

Cuadro 5. Producción bruta, costos y beneficios familiares por finca y actividad productiva, Matiguás, Nicaragua

Producción agrícola			
Tipos	Producto bruto (\$ US)	Costos de producción (\$ US)	Beneficio neto familiar (\$ US)
Tipo_1	415.5	51.15	364.38
Tipo_2	1280.4	184.15	1096.24
Tipo_3	720.8	123.30	597.53
Promedio general	881.3	129.50	751.82
Producción pecuaria			
Tipo_1	1,703.03	215.35	1,487.68
Tipo_2	2,913.09	352.87	2,560.21
Tipo_3	13,460.51	883.93	12,576.58
Promedio general	5,376.16	454.76	4,921.40
Producción Forestal			
Tipo_1	157.26	0.00	157.26
Tipo_2	428.68	10.87	417.81
Tipo_3	340.74	0.00	340.74
Promedio general	326.82	4.83	321.99

3.2 Función de ingresos de cada sistema de uso del suelo dentro de las fincas estudiadas.

Con el objetivo de determinar cual es la función del ingreso de cada uno de los sistemas que los productores tienen en su finca, se probó un modelo lineal, las variables que entran en el modelo corresponden a las áreas actualmente ocupadas por cada uno de los sistemas estudiados, los cuales corresponden con los tipos de uso del suelo mayoritario de la zona y de las fincas estudiadas. Los sistemas fueron: pastos nativos sin árboles (PNSA), pastos nativos con árboles (PNCA), pastos mejorados sin árboles (PMSA), pastos mejorado con árboles (PMCA) y tacotales.

El modelo fue altamente significativo en el ajuste de los datos, presentando un $R^2 = 0.82$ y un $CV = 37\%$, los parámetros estimados por el modelo en su mayoría resultaron significativos ($P > 0.01$), (cuadro 6).

Cuadro 6. Los parámetros estimados por el modelo fueron los siguientes:

Fuente de variación	Parámetros	P > t
Intercepto	1600.0	P > 0.05
PNSA	145.0	0.350
PNCA	44.0	0.410
PMSA	-2875.0	P > 0.01
PMCA	3829.0	/ P > 0.01
TACOTAL	-126.0	P > 0.10
R^2	0.82	P > 0.01
CV (%)	37	

El sistema con la mejor rentabilidad estimado por el modelo resultó ser pastos mejorados con árboles, el cual es también el de mayor producción de biomasa estimada en los análisis realizados para cuantificar el carbono almacenado por la pastura en cada sistema. Las estimaciones realizadas son confiables para las fincas estudiadas, lo cual nos permitió estimar con precisión los resultados a nivel de finca y encontrar los puntos en donde los productores logren el máximo ingreso posible con estas combinaciones de sistemas (óptimo económico), una opción en donde la finca logra el máximo potencial de

almacenamiento de carbono (optimo ecológico) y evaluar la situación actual de la finca, usando los parámetros del modelo y las combinaciones de áreas reales en las fincas. Estos resultados se discuten en el siguiente acápite.

3.3 Estimaciones del optimo económico y ecológico de las fincas estudiadas y comparación con la situación actual.

Utilizando los parámetros estimados por el modelo se ha determinado un optimo económico para una finca de tamaño promedio (Figura 3 y Cuadro 7) el cual se logra cuando la totalidad de la finca es ocupada por pasto mejorados con árboles, los resultados son coherentes técnica y económicamente con los niveles de productividad mostrados por este sistema en la zona estudiada. Este tipo de sistema alcanzó la más alta producción de biomasa residual de las pasturas y a la vez resultó ser el segundo en capacidad de almacenar carbono solo superado por la regeneración natural (tacotal) con 13 años de edad en promedio, sistema que se ha denominado optimo ecológico puesto que es lo que más carbono almacena.

La comparación entre estos dos puntos de referencia (optimo económico y optimo ecológico), permite identificar en primero lugar, que tan cerca o lejos están de su potencial económico y ecológico los productores, segundo, permite identificar las oportunidades de mejorar los sistemas actuales hacia uno que busque el mejor balance entre lo económico y lo ecológico.

Las opciones de combinación son muchas y los costos para implementar estos, depende de los mismos sistemas a implementar y de la situación particular de cada finca, aquí solo nos limitamos a identificar cuales sistemas y combinaciones de ellos logran los mejores resultados en cuanto a carbono almacenado e ingresos potenciales a generar y hemos estimado cual seria el valor mínimo que habría que pagar a los productores si se quisiera que ellos conviertan sus fincas en un bosque. Los resultados muestran que existen opciones productivas, tan ventajosas ecológicamente como los tacotales (regeneración natural), pero con impacto a nivel de los ingresos de los productores mucho mayor, esto significa que se puede adicionar carbono a bajos costos, con menos riesgos y con niveles altos de sostenibilidad económica, ecológica y de gran impacto social.

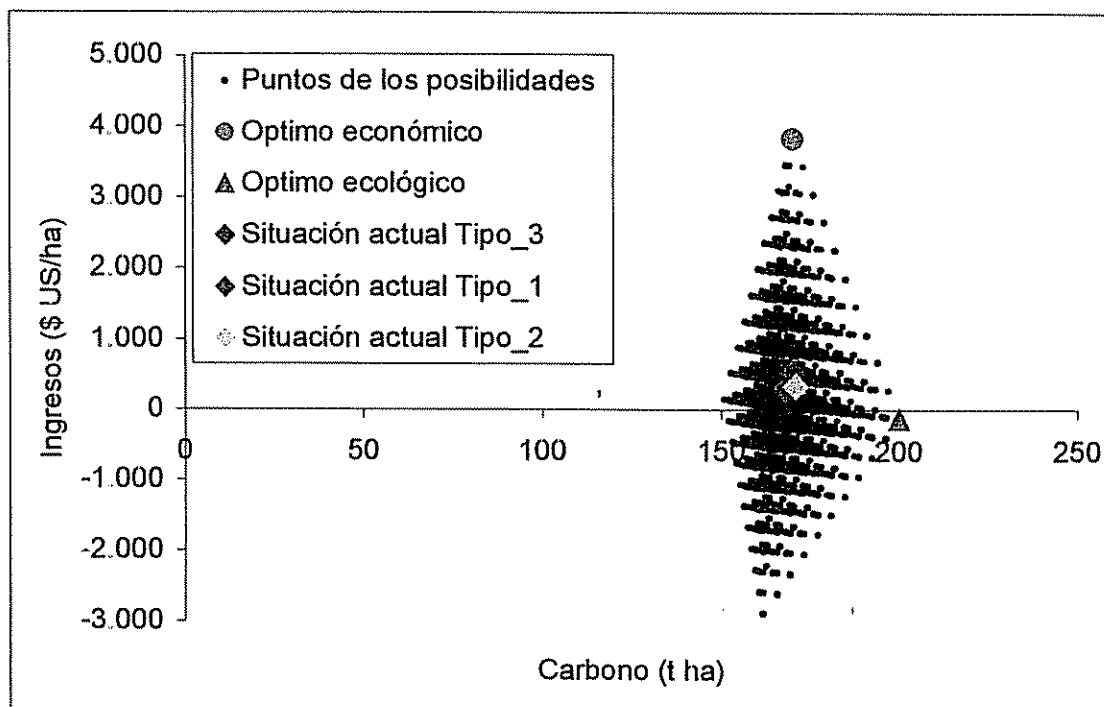


Figura 3. Ubicación de fincas ganaderas, según el optimo económico, máxima capacidad de almacenamiento de carbono y situación actual, Matiguás, Nicaragua

Cuadro 7. Simulación de ocupación del suelo en una finca ganadera de Matiguás, los resultados económicos esperados y cantidad de carbono almacenado

Opciones de ocupación del suelo	Usos del suelo (% del área total ocupada por cada sistema)					Ingresos esperado (\$US ha ⁻¹)	Carbono almacenado (t C ha ⁻¹)
	PN_SA	PN_CA	PM_SA	PM_CA	Tacotal		
1				30%	70%	1.060	191
2				50%	50%	1.851	185
3			10%	50%	40%	1.500	181
4		10%	10%	50%	30%	1.593	177
5	10%	10%	10%	40%	30%	1.220	176
Optimo Econ.				100%	0%	3,800	170
Situación actual	25%	17%	13.8%	17%	27.5%	294	168
	30,96	20,64	17,0	20,6	33,8		
Optimo ecológico.					100%	-126	200
Area	122,9						

3.4 Costo de oportunidad de incrementar una tonelada de carbono en las fincas estudiadas

Los enfoques objetivos de valoración de impactos ambientales utiliza entre otras, la técnica de costo de oportunidad para evaluar los impactos ambientales generados por un proyecto. Este enfoque se basa en la pérdida de producción resultante de usos alternativos de un determinado recurso o capital. En tal sentido, el costo de oportunidad esta referido directamente a la teoría de la productividad del capital (Dixon 1994). En el caso de esta investigación, el objeto de análisis no es el capital, sino el uso de las tierras privadas en una zona ganadera, la cual hace algunas décadas estuvo ocupada por bosques tropicales.

Las metodologías de estimación de costos de fijar o almacenar carbono, han sido desarrolladas bajo hipótesis muy simples que no reflejan las realidades de las economías rurales y principalmente de aquellas realidades que no son el bosque en tierras nacionales. Generalmente se han estimado a través de la comparación de la actividad más rentable versus el uso deseable del recurso. Este enfoque supone que los productores cambiarán el uso del suelo a la actividad que genera el más alto ingreso neto ha^{-1} , lo cual no siempre es cierto, puesto que existen otros factores que determinan el uso productivo de los recursos, esto también supone que el interés de los productores es maximizar el ingreso neto ha^{-1} , lo cual tampoco es siempre cierto. Existen productores que bajo ciertas condiciones, su interés es maximizar el uso de la fuerza de trabajo por que esta es escasa respecto a la tierra, o maximizar el capital invertido, esto significa que los productores buscan maximizar el recurso escaso y no el recurso abundante, esta es la razón por la cual en las fronteras agrícolas los productores son extensivos, puesto que, la tierra es abundante y los demás recurso respecto a este es limitado.

Por los argumentos anteriormente planteados y aún cuando hemos encontrado algunas actividades agrícolas que pueden generar beneficios netos más altos que la ganadería, no hemos utilizado como punto de comparación esa actividad, porque estamos seguros que los productores no cambiaran sus sistemas hacia estos, debido a que la remuneración del trabajo producto de las actividades agrícolas es más baja que la pecuaria.

La mejor opción de uso del suelo desde el punto de vista económico que han encontrado los productores es la actividad agropecuaria, principalmente pastizales para la explotación

ganadera de leche y carne (mejor remuneración por ha⁻¹ y por día de trabajo invertido). El desarrollo de otras actividades económicas, tales que la agricultura, la forestería tienen una remuneración por hectárea y por día hombre de trabajo muy bajo.

Hoy día se discute que el cambio del uso de la tierra es una fuente importante de incremento de gases de efecto invernadero, dentro de las actividades más cuestionadas se encuentra la deforestación y sustitución de estas tierras por pastizales. Se estima que cada año se emiten entre 0.42 a 1.62 Pg de carbono, producto de la deforestación (Veldkamp 1993). El pago de servicios ambientales de almacenamiento y fijación de carbono puede convertirse en un mecanismo que incentiven a los productores a buscar sistemas de uso del suelo que permitan, producir sin afectar las capacidades de almacenamiento de carbono por la biomasa sobre y bajo el suelo. Sin embargo, sin la existencia de un mercado o mecanismo que permita remunerar el servicio ambiental, el sistema de mayor potencial para almacenar carbono (bosque natural o regeneración), es inversa a una estrategia de maximizar el ingreso. En esta investigación queda demostrado que el sistema con más alta capacidad de almacenar carbono, al que hemos denominado opción ecológica (tacotales o regeneración natural de 5-20 años de edad), son los sistemas que generaron los más bajos ingresos al productor.

Por otro lado hemos encontrado que los sistemas que han logrado los más altos beneficios económicos son las pasturas mejoradas con árboles dispersos y ellos se ubican en el otro extremo de la curva (Figura 3). El uso de sistemas simples en una finca, no es la mejor opción en términos económico-ecológico. Hemos encontrado entre las prácticas de los productores sistemas y/o combinación de ellos que logran un mejor equilibrio entre el óptimo económico y el óptimo ecológico; esto nos permite, entonces sugerir que existe un gran potencial para mejorar la productividad técnica y económica de los sistemas sin detrimento y más bien mejorando la calidad ambiental.

Los costos para fomentar los cambios hacia un sistema más sostenible económica, ecológica y socialmente, difieren de una finca a otra, el costo de oportunidad de incrementar 1 t C ha⁻¹ año⁻¹ está determinada por los niveles de productividad técnica y económica de cada sistema, es así que será más alto el costo en aquellas fincas en donde los ingresos por hectárea son mayores y será más bajo cuando la finca tenga menos desarrollo técnico, baja productividad, y por tanto más bajos ingresos (Figura 4).

La oportunidad de inducir transformaciones técnicas a bajos costos, tendientes a mejorar la calidad ambiental es mayor en aquellas fincas con más bajos ingresos, es decir el poco desarrollo tecnológico de las fincas agropecuarias se convierte en una oportunidad para hacer cambios técnicos competitivos económicamente y con alto potencial para almacenar carbono a bajos costos.

Los valores estimados por los modelos oscilan entre 13.2 a 22.2 \$ US t⁻¹ C año⁻¹ (Figura 4 y Cuadro 8), estos valores son mas altos que los utilizados para evaluar proyectos internacionales de valoración de servicios ambientales de almacenamiento y fijación de carbono, los que oscilan entre 5 y 10 US \$ t⁻¹ año⁻¹ (IPCC 2000). Segura (1999), encontró que los valores estimados a pagar por t C fijado en los bosques en dos zonas del trópico húmedo en Costa Rica fueron de 18 a 43.5 US \$ t⁻¹ C año⁻¹. Estos valores son muy altos, reflejando lo costoso que seria mantener 1 t C en un ecosistema no intervenido. Los resultados encontrados en nuestra investigación muestra que se pueden almacenar cantidades de carbono muy similares a los encontrados en un bosque a más bajos costos.

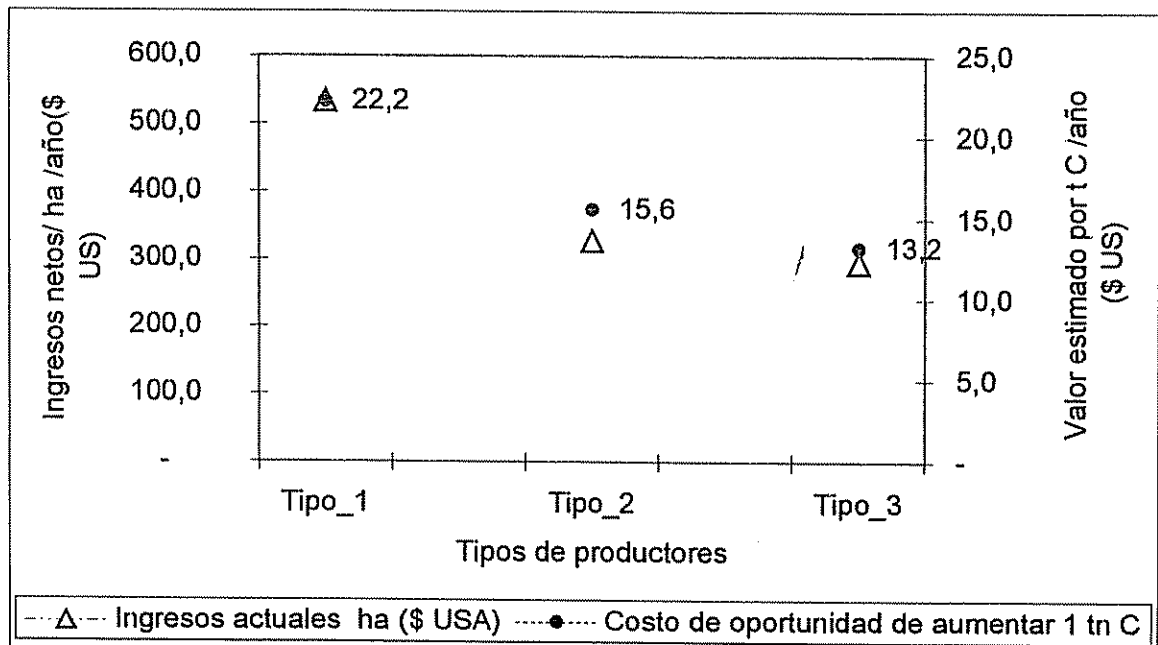


Figura 4. Costos de oportunidad de 1 t C vs. el ingreso actual por tipo de productores Matiguás, Nicaragua.

Cuadro 8. Ingresos actuales y costo de oportunidad de incrementar 1 t C en fincas ganaderas, según el tipo de productor en Matiguás, Nicaragua.

Finca	Ingreso neto actual estimado por el modelo (\$ US ha ⁻¹ año ⁻¹)	Diferencia de C óptimo ecoló.- situac. Actual (t C ha ⁻¹)	Costo de oportunidad de incrementar 1 t C (\$ US t C año ⁻¹)
Tipo_1	533,4	29.72	22.2
Tipo_2	327,2	29.10	15.6
Tipo_3	294,7	31.95	13.2

3.5 Beneficios potenciales del servicio ambiental de almacenamiento y fijación de carbono en las unidades económicas rurales.

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kioto permite a los países industrializados cumplir con parte de sus compromisos financiando proyectos que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero en países que no tienen el compromiso de reducción. Esto ofrece el potencial para transferencias internacionales de fondos y tecnologías que apoyen actividades de reducción de gases de efecto invernadero en países en desarrollo (Scherr et al. 2000).

En las cláusulas del MDL, incluye el concepto de Desarrollo Sostenible según la definición de la Comisión Brundland, esto quiere decir que tiene el mandato de fomentar un desarrollo sostenible económica, ecológicamente y aceptable socialmente. Estos objetivos pueden ser alcanzados siempre y cuando se fomenten actividades generadoras de ingresos, conservadoras del ambiente y que contribuyan al bienestar de las poblaciones locales (Scherr et al. 2000, Espinoza et al. 1999).

Los principios y lineamientos del MDL, han sido pensados y diseñado desde el norte y para beneficios de los países "Desarrollados". El problema número uno para los habitantes en estos países en la actualidad, puede ser el problema ligado al ambiente y cambio climático, en cambio el problema para miles de familias pobres en los países "en desarrollo" es tener que llenar sus necesidades básicas alimenticias para seguir sobreviviendo. Aquí hay una contradicción de fondo, la cual es crucial para definir como y en donde se deben hacer reducciones de gases de efecto invernadero, obviamente los países "desarrollados" no quieren reducir sus emisiones industriales, las cuales son muy

costosas. Por otro lado, han descubierto la opción de reducir emisiones a costos más bajos en los países "en desarrollo", pero no nos dejan decidir sobre el producto que les podemos ofrecer para reducir sus emisiones. Muchas de las actividades elegibles por el MDL, son contradictorias con los problemas y objetivos de los pobres rurales en nuestros países (Ruiz et al. 2001).

El bosque por ejemplo, aunque algunos afirman que son fuente de alimento e ingresos importante para los pobres, esta verdad no cubre a la gran mayoría de pequeños propietarios privados en extensas zonas cercanas a las fronteras agrícolas de los países latinoamericanos, ellos también son pobres, pero su sobre vivencia no es basado en la recolección de frutos, leña etc. provenientes del bosque, sino de la explotación "insostenible" de la tierra que antes fue bosque. Existen dos opciones a este problema: 1. La reforestación de estas tierras, en muchos casos degradada (la vuelta al bosque), es bueno desde la lógica del MDL; 2. Reconvertir técnicamente estos sistemas, (sistemas agroforestales y agro silvicultura), esta opción podría ser más cercana al "Desarrollo Sostenible" y a los objetivos y sueño de un finquero. A continuación algunos argumentos empíricos sobre estas afirmaciones.

3.5.1 El impacto en el empleo y la seguridad alimenticia

Las actividades agropecuarias de las zonas en estudio, principalmente sistemas ganaderos silvopastoriles y mono pasturas de baja productividad, son muy extensivos en el uso de mano de obra, generan de 11-38 días hombre $ha^{-1} año^{-1}$ ($dh ha^{-1} año^{-1}$), las fincas productoras de carne tienden a utilizar menos trabajo, y las fincas más diversificadas y/o lecherías utilizan mas trabajo. Un trabajador puede manejar entre 7 y 42 ha de tierra $año^{-1}$, en correlación con el tamaño de fincas. En contraste un bosque sin intervención utilizaría casi cero días de trabajo y el manejo de plantaciones son generalmente extensivas.

Una plantación o la regeneración natural (tacotales), puede reducir en un 47% las fuentes de empleo en la zona (cuadro 9). En cambio si las fincas actuales de esta zona son sustituidas por un sistema mejorado de pastos con árboles manejados, puede tener un impacto positivo en el empleo incrementando la demanda de trabajo en la zona hasta en un 74% de los empleo actuales (Cuadro 9). Los países de la región a excepción de Costa

Rica tienen un enorme problema para absorber la fuerza de trabajo disponible. En el caso de Nicaragua la migración hacia este último país es por el orden de 300 mil trabajadores. El efecto de un incremento de la demanda de trabajo por parte de los finqueros que cambiarían hacia un sistema mejorado, pueden contribuir, no solo a estabilizar las poblaciones en las áreas rurales y podría incrementar los niveles de salarios mínimos en estas zonas los cuales son inferiores a los 2 \$ US por día actualmente, impactando positivamente los ingresos y así el bienestar de las familias sin tierra que representan casi el 40% de los pobladores de esta zona. La afectación del empleo se expande hasta los niveles de las industrias procesadoras, si hacemos una proyección de cambio total de estos sistemas, se afectan las empresas procesadoras de carne y lácteos, cuyo impacto no podemos cuantificar con esta investigación.

Cuadro 9. Tipos de productores, tamaño de fincas, tierra total, empleos generados por el sistema actual y el impacto en el empleo producto del cambio a pasto mejorado + árboles y a un sistema de bosque, en Matiguás, Nicaragua.

Tipo	Numero de familias	Familias por estrato (% del total)	Tamaño de finca (ha)	Tierra total (ha)	Empleos generados, y los que generaría el cambio de uso del suelo		
					Actual ₁	Árboles + pasto mejorado ₂	Tacotal o bosque ₃
Asalariados	1,000	38.5	0	0.0	0.0	0.0	0.0
Campeñinos pobres	900	35.0	10-30	25,000	3,124	5,000	1785
C. finqueros	500	19.2	30-70	25,000	1,250	2,500	625
Medianos	200	7.6	70-250	32,000	773	1,454	400
Total	2,600	100		82,000	5,135	8,954	2,810

Fuente. Elaboración propia sobre la base de datos de campo 2002 y de Levard (2001), Ruiz (1995). ₁ Son empleos estimados a partir de la encuesta con productores, ₂ Son estimados sobre la base de los días de trabajo para manejar 1 ha¹ de pasto mejorado con árboles y los animales, ₃ Estimados sobre la base de los días de trabajo que genera 1 ha¹ de árboles con fines ambientales.

Además del impacto en el empleo, el cambio de uso de los suelos de los sistemas actuales por usos forestales, tiene un impacto negativo en la producción local de alimentos, lo cual no solo afectaría en los niveles locales, sino que también otros sectores en los niveles nacionales.

3.5.2 Ingresos

De la misma manera que para el caso del empleo se puede y debe discutir como los proyectos del MDL pueden afectar el ingreso de las empresas y familias pobres, y así poder evaluar las contribuciones de estos al desarrollo sostenible. La sostenibilidad económica, no-solo es función del ingreso, muchas familias pobres están dispuestos a seguir teniendo ingresos muy bajos pero seguros (es entonces función del riesgo). El mercado de los servicios ambientales es aun inexistente y no se sabe que probabilidad tiene de establecerse permanente. A estas condiciones hay que agregar, que en muchos casos las alternativas de reducción de emisiones son muy costosas y en muchos casos no compiten con las opciones tradicionales que tienen actualmente muchos propietarios privados.

¿Que será más sostenible en el largo plazo?, apostar por un mercado de pago de servicios ambientales sobre la base de conservar ecosistemas puros, expandir los ecosistemas ya existentes sobre la base de plantaciones y regeneración natural, o buscar sistemas alternativos multifuncionales, que impactan significativamente los ingresos de las familias, permiten aumentar el stock de carbono, logrando así un impacto en el bienestar social y ambiental. Existen oportunidades muy grandes para mejorar los sistemas actuales y los fondos de proyectos ambientales en el marco del MDL podrían contribuir enormemente a ello.

En nuestra investigación hemos logrado identificar sistemas de uso del suelo que combina pasturas mejoradas con árboles y otras partes de las fincas en regeneración natural del bosque que permiten lograr incrementos en el ingreso por el orden de 12 veces a los ingresos actuales y almacenar carbono en cantidades muy cercanas a las que almacenaría el sistema de bosque de regeneración natural.

3.5.3 Formación y conciencia ambiental

Un eventual apoyo de los sistemas agroforestales por parte de los proyectos del MDL, tendrían la oportunidad de contribuir significativamente a formar recursos locales y nacionales en los países y crear progresivamente una conciencia ambiental que debe ser internalizada en los procesos productivos y esta sería la mejor garantía de la

sostenibilidad del sistema. Los proyectos de mejoramiento de sistemas con una lógica (ganar-ganar), requerirán de un fuerte componente de formación y capacitación, técnica, económica y ecológica.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- En términos generales los ingresos de los productores en la zona son bajos, estos reflejan una baja productividad, la que a su vez es producto de los bajos niveles de inversión para un manejo más productivo y sostenible de las fincas. Los costos operativos y los niveles de capital invertidos por hectárea en las fincas ganaderas de Matiguás son muy bajos, y no permiten un manejo adecuado de los animales y las pasturas. Técnicamente estos sistemas se basan en la explotación del recurso natural, principalmente, del bosque y de la fertilidad de los suelos, esto los hace sumamente frágiles, debido a que los productores no adoptan practicas que les permita mantener o restaurar la fertilidad del suelo.
- De los sistemas evaluados en la zona, los pastos mejorados con árboles resultan ser el de mayor productividad, tanto técnica como económica. Estos sistemas logran sostener una carga animal cercana a $2 \text{ UA ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, mientras que las pasturas nativas logran mantener cargas menores de $0.7 \text{ UA ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. La combinación de pastos mejorados con árboles, resultó también ser el segundo mejor en almacenamiento de carbono con 170 t C ha^{-1} , siendo superado solamente por los sistemas de tacotal que almacenaron 201 t C ha^{-1} , sin embargo este último sistema no es de interés económico para los finqueros puesto que no genera muchos ingresos.
- En las simulaciones realizadas a nivel de finca utilizando los parámetros generados por el modelo lineal, los sistemas silvopastoriles con pastos mejorados representan el óptimo económico de los finqueros y los tacotales el óptimo ecológico. Esto significa que si un finquero quiere tener el máximo ingreso debe tener toda su finca con sistema de pasto mejorado con árboles y si quiere tener el óptimo ecológico debe tener toda su finca en bosque de regeneración natural (tacotal). Esta situación refleja claramente la contradicción existente entre el interés individual del finquero que sería

producir el máximo ingreso y el interés colectivo que es tener un ambiente sano. Ninguno de las dos opciones es acorde al objetivo del desarrollo sostenible. La combinación de sistemas ha mostrado ser superior a estos dos extremos ya que ellos pueden mejorar la situación actual de la finca, tanto ecológica como económicamente, esta sería la búsqueda de una producción sostenible que mejora el ingreso y reduce el impacto ambiental (ganar-ganar).

- Existen muchas combinaciones de sistemas que permiten mejorar sustancialmente la situación actual de los productores de la zona. En esta investigación se estimó que un finquero que libere el 50% de su finca para tacotales y convierta el otro 50% de la finca en pastos mejorados con árboles (pastoreo y corte) puede mejorar sus ingresos en el orden de 12 veces el ingreso actual y a la vez incrementar el carbono almacenado por el orden de 17 t C ha^{-1} en un período promedio de 6 años, esto equivaldría a una tasa de fijación aproximada de $2.8 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, lo cual le generaría un ingreso adicional a los ya altos ingresos generados por las mejoras del sistema.
- Los resultados encontrados en esta investigación, nos permiten concluir, que el cambio de uso de suelo de pasturas degrada a pastos de alta productividad con árboles, y la liberación de áreas para la regeneración natural en las fincas, permite avanzar en el esfuerzo por alcanzar el doble objetivo del MDL: la mitigación del cambio climático y el desarrollo sostenible con beneficios significativos para los productores. La venta de certificados de carbono para apoyar la reconversión de fincas ganaderas es una excelente estrategia que permitiría combatir la pobreza rural en zonas ganaderas y a la vez producir un beneficio ambiental de almacenamiento de carbono.
- El costo de oportunidad de incrementar 1 t C en las fincas ganaderas de Matiguás osciló entre los 13 a 22 \$US $\text{t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, este sería el costo para los productores de hacer un cambio de uso del suelo de ganadería extensiva a un sistema que busca el óptimo ecológico sobre la base del manejo de fincas con cobertura boscosa. Estos costos son relativamente bajos comparados con estimaciones realizados para mantener el carbono almacenado en bosque o para reconvertir tierras de uso agropecuario en plantaciones.

4.2. Recomendaciones

- El cambio de los pastos de baja productividad, por otro de alta productividad (Brachiaria, P. maximum) con árboles es deseable, ya que contribuye sustancialmente al mejoramiento de los ingresos de las familias rurales y contribuye a un incremento de almacenamiento de carbono.
- El manejo de los árboles en potrero, puede ayudar a incrementar la capacidad de almacenamiento de carbono, y a la vez mejorar la productividad de las pasturas, existen fincas con densidades de árboles muy altas, pero a su vez son especies de baja productividad de biomasa lo que no contribuye mucho al almacenamiento de carbono. Las practicas de manejo, (raleos) y el enriquecimiento de los tacotales con especies arbóreas de rápido crecimiento y deseables por los productores puede mejorar la productividad de los sistemas y las fincas.
- El uso de metodologías de valoración económica más integral que las técnicas de valoración tradicional permiten hacer un análisis apropiado a los intereses y estrategias de los productores y por tanto permiten brindar información aplicables para la formulación de proyectos y de estrategias de fomento o reconversión de las fincas
- En futuras investigaciones de valoración económica de estos sistemas, debe tomarse en consideración la degradación de los suelos producida por el uso intensivo o por el mal uso de los recursos (internalizar los costos de degradación). Esta sería una manera mas justa de evaluar los verdaderos costos de producir y con ello podría también incentivarse a producir con técnicas más sostenibles.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Barahona T. 2002. El bosque y la gente, ¿pueden coexistir?. El manejo del Bosque Tropical seco en la Reserva Natural "Chonco-San Cristóbal-Casitas". Instituto de Investigación y Desarrollo, Nitalapán-UCA. 127 p.
- Dixon, A; Scura, F; Carpenter. A; Sherman, B. 1994 Análisis económico de impactos ambientales. In: Desarrollo ambiental y el papel del análisis económico. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 249 p.
- Howitt E. R. 1994. Nuevos métodos de modelización económica para medir la interacción entre agricultura y medio ambiente. Revista de estudios agro-sociales No. 168. p 11-29.
- Hitzhusen J. F. 1994. Valoración económica medioambiental del uso de la tierra y crecimiento agrario sostenible. Revista de Estudios Agro-sociales. No. 168. p 30-48.
- Johansson, Per-Olov. 1994. Cost-Benefit Analysis of Environmental Change. Cambridge University. 228 p.
- Romero C. 1997. Economía de los recursos ambientales y naturales. Alianza editorial, S.A., Madrid. 205p.
- Ruiz A. 1994. Tenencia y uso de la tierra en Matiguás – Matagalpa, Nicaragua. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. 78p.
- Scherr J S. 2000. Captando el valor del carbono del bosque para las comunidades locales. Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR). 15 p.