

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente



TRABAJO DE DIPLOMA

“ Cuantificación del almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con sombra en la Hacienda Santa Maura, Jinotega, Nicaragua, 2002.”

Autores : Br. Edwin Antonio Vivas Soto.
: Br. Himel Anselmo Ramírez Hurtado.

Asesores : Ing. Claudio Calero González.
: Lic. Cristóbal Medina.

Managua, Nicaragua
Mayo, 2004

INDICE

Contenido	Pagina
INDICE DE CUADROS.....	i
INDICE DE FIGURAS.....	ii
INDICE DE GRAFICAS.....	iii
INDICE DE ANEXO.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN.....	vii
SUMMARY.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	3
II. REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1. Conceptos generales.....	4
2.2.El dióxido de carbono y el efecto invernadero.....	6
2.3. Reducción de emisión de gases de efecto invernadero.....	7
2.4. Importancia de los sistemas agroforestales en la Fijación de carbono.....	8
2.5. El café como sistemas agroforetales.....	10
2.6.Clasificaciónde los sistemas agroforestales.....	11
2.7. Definición del servicio ambiental de almacenamiento y Fijación de carbono....	12
2.8. Los mercados mundiales del carbono.....	12
2.9. Valoración económica de los servicios ambientales.....	13
2.9.1 La convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático.....	13
2.9.2 Nicaragua ante la convención marco de las naciones unidas sobre cambio climático (CMNUCC).....	14
2.9.3 Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero.....	15
2.9.4 Protocolo de Kyoto.....	16
III. MATERIALES Y METODOS.....	19
3.1. Localización.....	19
3.2. Características biofísicas	20
3.3. Estructuración del área de estudio.....	20
3.4. Resumen de la estructuración por tipología.....	21
3.5. Unidades de muestreo: tamaño y establecimiento.....	22
3.6. Componente café.....	27
3.6.1. Determinación de la densidad poblacional de las plantas de café.....	28
3.7. Determinación del porcentaje de humedad.....	29
3.8. Materia seca.....	29
3.9. Fracción de carbono.....	29
3.10. Evaluación de la vegetación arbórea.....	30
3.10.1. Especies de sombra	30
3.10.2. Medición de Volumen y biomasa.....	31
3.10.3 Carbono almacenado en los vegetales.....	33

3.11 Estimación de los ingresos potenciales en las tres tipologías.....	34
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1. Carbono almacenado en café.....	35
4.1.1. Carbono almacenado en las tres tipologías.....	35
4.1.2. Carbono almacenado por componente en las plantas de café.....	37
4.2. Carbono almacenado en los árboles de sombra.....	40
4.2.1. Carbono almacenado por componente de las especies arbóreas.....	43
4.3. Carbono almacenado (café y árboles) total por tipología.....	44
4.4. Valoración de los ingresos potenciales por la fijación de carbono.....	46
V. CONCLUSIONES	48
VI RECOMENDACIONES	49
VII. BIBLIOGRAFIA	50
VIII. ANEXOS	54

INDICE DE CUADROS

Cuadros	Pagina
Cuadro 1. Clasificación de las tipologías, hacienda Santa Maura (S.M.), Jinotega,2002.....	21
Cuadro 2. Método de equivalencia poblacional, 1998.....	28
Cuadro 3. Carbono almacenado por componente de cafeto, hacienda S.M., Jinotega, 2002.....	37
Cuadro 4: Separación de media del carbono almacenado en el componente tallo en las tres tipologías (según Duncan), hacienda Santa Maura 2002.....	40
Cuadro 5. Carbono almacenado total en los arboles de sombra, hacienda S.M. Jinotega2002.....	41
Cuadro 6. Valoración económica del secuestro de carbono, hacienda S.M., Jinotega, 2002.....	47

INDICE DE FIGURAS

Figuras	Pagina
Figura 1. Ubicación del área de estudio, hacienda S.M. Jinotega, 2002.....	19
Figura 2. Tipología I y distribución de parcelas, hacienda S.M. Jinotega, 2002...	23
Figura 3. Tipología II y distribución de parcelas, hacienda S.M. Jinotega, 2002..	24
Figura 4. Tipología III y distribución de parcelas, hacienda S.M. Jinotega, 2002.	25
Figura 5. Establecimiento de las parcelas de muestreo, hacienda S.M. Jinotega, 2002.....	26

INDICE DE GRAFICAS

Gráficas	Pagina
Gráfica 1. Carbono almacenado por tipología de café, hacienda S.M. Jinotega, 2002.....	36
Gráfica 2. Carbono almacenado por componente de las especies arbóreas, hacienda S.M. Jinotega, 2002.....	43
Gráfica 3. Carbono total almacenado por tipología, hacienda S.M. Jinotega, 2002.....	44

INDICE DE ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1. Calculo del IMA.

Anexo 2. Hoja de registro de datos de campo, S.M., Jinotega, 2002.

Anexo 3. Porcentaje de materia seca del café.

Anexo 4. Tabla de corrección de distancia horizontal, S.M., Jinotega, 2002.

Anexo 5. Perfiles de las tipologías.

Anexo 6. Biomasa seca por componentes de los arboles, S.M., Jinotega, 2002.

Anexo 7. Cuadro de ecuaciones alometricas, S.M., Jinotega, 2002.

Anexo 8. Análisis de varianza para el contenido de carbono del componente tallo en café para las tres tipologías de estudio.

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios, por la vida que me ha prestado hasta este momento, y todo lo que he logrado alcanzar en mi vida como persona.

A mis padres: Rosa Enma Soto González y José Dolores Vivas López, y hermanos por el apoyo económico y moral que me permitió terminar mis estudios con éxito.

Edwin Antonio Vivas Soto.

En primer instancia a Dios por darme la vida y formarme una persona digna y respetuosa.

A mis padres: Himel Ramírez Villalobos y Petrona Hurtado, esposa, hijo, hermanos y abuela por el apoyo económico y moral que me brindaron para poder terminar mis estudios y formarme un profesional.

Himel Ramírez Hurtado.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, que esta en los cielos por permitirnos culminar nuestros estudios de la carrera de ingeniería forestal.

Al proyecto PACI/UNA, por ser la fuente de financiamiento para realización del trabajo de investigación.

Al señor Jorge Chavez por permitirnos realizar la etapa de campo de la tesis en su propiedad y proporcionarnos todo el apoyo del personal técnico y administrativo de la hacienda Santa Maura.

A nuestros asesores: Ing. Claudio Calero y Lic. Cristóbal Medina por brindarnos todos sus conocimientos, consejos y amistad durante el tiempo de realización de la tesis.

A los ingenieros Emilio Pérez y Glenda Bonilla por su apoyo incondicional y dedicación para mejorar la tesis, al igual a todos los docentes de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, que contribuyeron a contestar nuestras consultas y facilitarnos su información y sugerencias.

Al equipo técnico del POSAF a través de la Ing. Georgiana Orozco y Lic. María Luisa Por su buena atención y amabilidad al momento de exponer todas nuestras inquietudes las cuales, fueron mejoradas y discutidas para mejorar la calidad del documento.

A nuestros amigos(a) : Cristhian Vallecillo, Olga Sánchez, Joan Ruiz y Marlon Pérez, por su apoyo al realizar nuestro trabajo de diploma.

RESUMEN

La presente investigación fue realizada en sistema agroforestales de café con sombra donde se identificaron tres tipologías que se diferencian por su variedad de café, edad, densidad, tipo de sombras, altitud que varía de 1000 – 1300 msnm y suelos Vertic aquic Argidolls, Thipic entic Hapludoll y Thipic cumulic Argidolls ubicada en la Hacienda Santa Maura, Jinotega.

Se utilizó la metodología de Márquez (1997) de forma modificada, la cual consistió en estimar, la cantidad de carbono que se encuentran en las diferentes partes de los componentes cafeto y árbol, como son: biomasa de fustes, ramas, follaje y frutos en el cafeto. La sumatoria de las partes dio como resultado la cantidad total de carbono (café+árbol).

Las muestras se tomaron utilizando un muestreo sistemático donde se establecieron las parcelas cada 150 metros apartir de una línea base trazada en el centro de la poligonal para evitar el efecto de borde de la misma, teniendo en cuenta las partes alta, media y baja, para tratar de que exista homogeneidad en las muestras y una mejor distribución de las parcelas, las cuales fueron circulares de 250 m², con una intensidad de muestreo del 2%, el área del primer sitio es de 17.57 ha, con un total de 14 parcelas, para el segundo sitio de 5.07 ha, con 6 parcelas en total y un tercero de 8.8 ha, con 8 parcelas para un total de 28 parcelas distribuida en tres diferentes variedades de café.

El carbono almacenado del cafeto se comportó de forma decreciente de la siguiente manera, la tipología III con 6.3 tC/ha, tipología II con 5.66 tC/ha, y la tipología I con 3.02 tC/ha, esto confirma que las especies vegetales van almacenando más carbono a través de los años, aunque la fijación se vea reducida conforme alcanza la etapa sénil. Con respecto a los árboles de sombra se encontró que la tipología III almacenó mas carbono con 44.63 t/ha, tipología I con 16.67 tC/ha y la tipología II con 12.34 tC/ha.

La mayor cantidad de carbono almacenado se encontró en la tipología III con 50.93 tC/ha, seguido por la tipología I con 19.70 tC/ha, y la tipología que almacenó menos fue la II con 18 tC/ha, para una media de 29.54 tC/ha, las diferencias de carbono almacenado entre las tipologías, están directamente ligadas al cambio de uso de suelo, densidad del café y árboles de sombra, edad, y manejo cultural de las diferentes tipologías.

SUMMARY

The present investigation was carried out in system forest agriculture of coffee with shade where three tipology was identified that differ for its variety of coffee, age, density, type of shades, altitude that varies of 1000 - 1300 msnm and floors Vertic aquic Argidolls, Thipic entic Hapludoll and Thipic cumulic Argiudolls located in the Treasury Santa Maura, Jinotega.

The methodology of Márquez was used (1997) in a modified way, which consisted on estimating, the quantity of carbon that you/they are in the different parts of the component coffee and tree, like they are: biomass of shafts, branches, foliage and fruits in the coffee. The sum of the parts gave the total quantity of carbon as a result (coffee + tree).

The samples took using a systematic sampling where the parcels settled down each 150 meters starting from a line it bases traced in the center of the polygonal one to avoid the effect of border of the same one, keeping in mind the parts discharge, he/she mediates and low, to treat that homogeneity exists in the samples and a better distribution of the parcels, which were circular of 250 m², with an intensity of sampling of 2%, the area of the first place is of 17.57 there is, with a total of 14 parcels, for the second place of 5.07 there is, with 6 parcels in total and a third of 8.8 have, with 8 parcels for a total of 28 parcels distributed in three different varieties of coffee.

The stored carbon of the coffee behaved in falling way in the following way, the tipología III with 6.3 tC/ha, tipology II with 5.66 tC/ha, and the tipología I with 3.02 tC/ha, this confirms that the vegetable species go storing more carbon through the years, although the fixation is reduced as it reaches the old stage. With regard to you hoist them of shade it was found that the tipología III stored but carbon with 44.63 t/ha, tipología I with 16.67 tC/ha and the tipología II with 12.34 tC/ha.

The biggest quantity in stored carbon was in the tipology III with 50.93 tC/ha, continued by the tipology I with 19.70 tC/ha, and the tipology that stored less it was the II with 18 tC/ha, for a stocking of 29.54 tC/ha, the differences of carbon stored among the tipology, are directly bound to the change of floor use, density of the coffee and hoist of shade, age, and cultural handling of the different tipology.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el rubro café ha sufrido una depresión debido a la baja del precio en el mercado internacional con tendencia a mantenerse estacionado. Una de las formas de contribuir a aliviar la problemática cafetalera es la de aprovechar la oportunidad que recientemente se está presentando, como es el pago por servicio ambiental que brindan los ecosistemas artificiales (café con sombra).

Uno de los problemas medio ambientales más discutidos actualmente es el calentamiento global el cual está causando un aumento de la temperatura media anual global en aproximadamente 0.45° C alterando todo los ecosistemas naturales lo que se resume en la desaparición de algunos ecosistemas por no adaptarse a tales temperaturas, al mismo tiempo con la ayuda de la deforestación se está permitiendo el avance de la frontera agrícola lo que impide una recuperación del recurso bosque a través de sucesiones naturales, por lo que surgen como alternativa los sistemas agroforestales (café con sombra), los que requieren de estudio de rentabilidad del café los cuales no se miran con mucho agrado por los cafetaleros los que cada año se les aumenta la deuda con los bancos ante las caídas del precio.

Las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto de invernadero producidos desde el periodo pre industrial (1750) ha alterado el balance de la energía de la tierra y la atmósfera. Entre los gases que causan el efecto de invernadero tenemos: el dióxido de carbono, dióxido nitroso y el metano. La diversidad de efectos que ocasiona el calentamiento global ha llevado a considerar ampliamente los beneficios que en forma de servicio ambiental podemos obtener de los sistemas agroforestales los que proporcionarán bases de mayor solidez al momento de presentar los resultados del almacenamiento de carbono en el café, así como también en asocio con los árboles de sombra que se encuentran dentro de la plantación de café, lo que facilitará en el futuro ofrecer la posibilidad de vender los servicios ambientales como una alternativa para incidir en la reducción del calentamiento global.

Se concluye que los sistemas de producción de café en Nicaragua, se caracteriza por tener árboles de uso múltiples asociados al cultivo, contribuyendo, de alguna manera, a reducir las emisiones de GEI, al evitar que el carbono almacenado en la biomasa vegetal y del suelo se emita a la atmósfera. Pese a la importancia que tienen los SAF en mitigar el exceso de CO₂ de la atmósfera, en Nicaragua son pocos los estudio sobre el potencial de fijación y almacenamiento de carbono en estos sistemas de producción, lo cual presenta una limitante tanto a los productores como al país para desarrollar mecanismos de compensación por los bienes y servicios ambientales que estos sistemas generan (Suárez, 2002).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- ◆ Generar información sobre la cantidad de carbono almacenado en tres tipologías de café con sombra, en la hacienda Santa Maura, Jinotega.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ◆ Cuantificar el carbono almacenado del cafeto en sus componentes (tallo, follaje, raíz y fruto) por hectárea en tres tipologías de café con sombra.
- ◆ Determinar el carbono almacenado en árboles de sombra (temporales y permanente) y en sus componentes (fuste, ramas grandes, ramas pequeñas, follaje) en las tres tipologías evaluadas.
- ◆ Dar a conocer cuál de las tres tipologías estudiadas presenta la mayor cantidad de carbono almacenado.
- ◆ Valorar los ingresos potenciales del servicio de fijación de carbono en las tres tipologías estudiadas en la hacienda Santa Maura, Jinotega.

HIPÓTESIS

- Existe diferencia en el almacenamiento de carbono y valor agregado entre las tipologías de café con sombra.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Conceptos generales

El objetivo de los conceptos que a continuación se presentan, tratan que el lector tenga una mejor comprensión de la información que se recopiló, lo cual facilitará su comprensión al momento de leer este documento y a la vez, se contribuiría al enriquecimiento de su vocabulario técnico.

- φ **Efecto invernadero:** Es el calentamiento adicional del planeta, producto de un flujo continuo de energía que proviene del sol, fundamentalmente en forma de luz visible, que llega a la tierra y la tierra manda de vuelta esta energía hacia el espacio (MARENA, 1999).
- φ **Dióxido de carbono:** Es un gas de efecto de invernadero y el segundo mayor responsable del efecto invernadero provocado por el hombre; este gas está naturalmente presente en la atmósfera y está formado por dos moléculas de oxígeno y por una molécula de carbono (MARENA, 1999).
- φ **Carbono fijado:** Se refiere al carbono que una unidad de área cubierta por vegetación tiene la capacidad de captar en un período determinado (Segura, 1997).
- φ **Carbono almacenado:** Se refiere al carbono que está acumulado en determinado ecosistema vegetal (Segura, 1997).
- φ **Parqueo de carbono:** es una forma temporal de almacenamiento de carbono (Segura, 1997).

- φ **Cambio climático:** Es el cambio del clima, el cual es atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera global y el cual es adicional a la variabilidad natural en periodos comparables de tiempo (MARENA, 2002a).
- φ **Flujo de carbono:** Se refiere a la transferencia de carbono de una reserva a otra, medidas en unidades Mg/ C/ ha (Segura, 1997).
- φ **Secuestro de carbono:** Es el almacenamiento del carbono o dióxido de carbono, por un largo periodo, en los bosques, suelos, océanos o en el subsuelo en reservorios de petróleo y gas, minas de carbono, y acuíferos salinos (MARENA, 2002a)
- φ **Almacenamiento de carbono:** Se refiere a la capacidad del bosque para mantener determinada cantidad promedio de carbono por hectárea, que nunca sera liberado a la atmósfera (Segura, 1997).
- φ **Servicio ambiental:** Son las funciones ecosistemicas que utiliza el hombre y le generan beneficios económicos tales como: fijación de carbono, belleza escénica y biodiversidad, a lo cual se le asigna un valor económico que la sociedad le da al bosque, dejando a un lado la tala y extracción de madera del mismo (MARENA, 2001).
- φ **Tipología:** Es la caracterización de un sitio que presenta diferencias con respecto a otro sitio y se clasifican según los criterios de; edad, variedad, altitud, densidad, tipo de suelo entre otras (comunicación personal; Medina, 2003).
- φ **Sistema agroforestal:** Es un sistema combinado de cultivos agrícolas y del bosque; mediante el uso múltiple del bosque (Padilla,1991).

φ **Biomasa:** Es un tipo de materia orgánica que a tenido su origen inmediatamente como consecuencia de un proceso biológico, ya sea de tipo autótrofo (fotosíntesis vegetal) o heterótrofo, y es producida directamente por las plantas en ecosistemas naturales ó agrarios (Fernández, 1991).

2.2- El dióxido de carbono y el efecto invernadero

El estudio del ciclo del carbono es importante para el entendimiento de su papel en el crecimiento de una planta, la cual conlleva la incorporación dentro de sus tejidos de carbono (proceso que se conoce como fijación de carbono). El carbono se encuentra en la atmósfera en forma de dióxido de carbono y es removido de está durante la fotosíntesis para la formación principalmente de carbohidratos (a esta acción se le conoce como captura, almacenamiento o secuestro). La tasa de producción de biomasa potencial de una planta; depende entre otras cosas, de su tasa de formación de carbohidratos, la velocidad de crecimiento y duración de su ciclo de vida. Tomando en cuenta que todas las plantas y animales realizan el proceso de respiración, este proceso causa una disminución de oxígeno y un incremento de dióxido de carbono atmosférico (Hall y Rao, 1994).

Cuando una planta o una parte de ella muere, la liberación del carbono fijado en tejidos vivos es liberado a la atmósfera en forma de dióxido de carbono por medio del proceso de descomposición (Finegan y Delgado, 1997). La deforestación contribuye al aumento de la concentración de dióxido de carbono de dos formas: disminuyendo la cobertura vegetal capaz de fijar carbono atmosférico y promoviendo la liberación de dióxido de carbono a la atmósfera a través de la quema y descomposición de biomasa, incluida la materia orgánica del suelo, (Finegan y Delgado, 1997).

La captura de carbono está asociada con la restauración de la vegetación después del abandono de las tierras deforestadas, el crecimiento de los bosques jóvenes, sean plantaciones o bosques secundarios, y el crecimiento neto de bosques primarios. Desde el punto de vista del cambio de uso de la tierra, la liberación de carbono a la atmósfera está asociada con la tala del bosque para la agricultura, la explotación comercial de los bosques y el incremento de la oxidación de la materia orgánica en los suelos (Erickson, *et al.*, 1993).

2.3- Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero

La actividad forestal orientada a la conservación, consiste en la aplicación de las mejores prácticas verificables para el manejo de los recursos forestales, inclusive zonas boscosas y árboles, de forma que sean ecológicamente racionales, económicamente viables, socialmente responsables y ecológicamente aceptables; y que conduzcan el potencial de estos recursos para producir múltiples beneficios en el presente y en el futuro (Ducan, *et al.*, 1999). Según Andrasko, (1999), la forestería ha recibido especial importancia en los últimos años, debido a la importancia que presenta como potencial para contribuir a la reducción del efecto invernadero mediante las siguientes posibilidades:

1. Reducir la emisiones de gases de efecto invernaderos (reducir y disminuir la tala de bosques y la quema).
2. Mantener los actuales depósitos de los gases invernadero, conservando el bosque natural, incluyendo los bosques localizados dentro de las áreas protegidas (bosques de propiedad pública), y en zonas de amortiguamiento (bosques en terrenos de propiedad privada).
3. Expandir los depósitos de gases invernaderos por medio de la creación de nuevas áreas forestales, mediante la regeneración natural en tierras abandonadas (bosques secundarios); mediante el establecimiento y manejo de plantaciones forestales y sistemas agroforestales (Alfaro, 1997; Finegan, y Delgado., 1997).

La deforestación y otros cambios en el uso de la tierra en el 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.

En Costa Rica, se han realizado estudios de fijación de carbono que han dado los siguientes resultados: en bosque tropical húmedo hasta 16,7 ton/C ha⁻¹ año⁻¹ (Tosi, 1995, citado por Carranza, *et al.*, 1996) y en bosque húmedo premontano 5,1tC ha⁻¹ año⁻¹. En bosques de altura Segura (1997), encontró que la cantidad de carbono almacenado para el *Quercus costarricensis*, con manejo silvicultural fue de 56 tC ha⁻¹ y la tasa de fijación anual para todo el bosque, considerando todas las especies fue de 1,87 tC ha⁻¹ año⁻¹.

Segura (1997), determinó que la fracción de carbono de algunas especies en la cordillera central de Costa Rica puede variar entre 0,43% y 0,47%, siendo no significativas las diferencias, la tasa de fijación anual de carbono varía entre 1,9 y 2,6 tC ha⁻¹ año⁻¹, dependiendo de la gravedad específica y de la fracción de carbono de las especies.

2.4 Importancia de los sistemas agroforestales en la fijación de carbono

La reforestación no incluye exclusivamente a las plantaciones forestales, sino las diferentes formas de cultivo según el fin primordial del establecimiento, así por ejemplo, existen las plantaciones en bloque y las utilizadas por medio de los sistemas agroforestales como puede ser el cultivo en linderos, sistema rompevientos, sistema taungya, entre otros. Los sistemas agroforestales tienden a incluir prácticas sostenibles de bajos insumos que minimizan la alteración de los suelos y plantas, por el contrario, aumenta los rendimientos de la madera sin elevar los costos, lo cual contribuye a crear sumideros para el carbono en forma de árboles y productos

maderables perdurables en el tiempo, a la vez ayuda a evitar el agotamiento de las reservas o almacenamientos naturales ya existentes reduciendo la presión sobre los bosques y en áreas donde la leña es escasa. Las masas forestales ubicadas 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, 50% de ella actúa como almacén de carbono hasta su descomposición (Dixon, *et al.*, 1994).

Según Kurstel y Burshel, (1993), la cantidad de carbono almacenado directamente por los árboles dentro de los diferentes sistemas agroforestales oscila normalmente de 3 a 25 tC ha⁻¹, en el caso de huertos caseros y taungya se logra superar los 50 tC ha⁻¹ de biomasa; las cortinas rompevientos, los linderos y las cercas vivas producen menor cantidad de materia seca. El potencial para el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales incluyendo el carbono del suelo, oscilan entre 12 y 228 tC ha⁻¹ (Dixon, *et al.*, 1994), siendo el potencial para el almacenamiento de carbono mayor en el trópico húmedo.

En algunos sistemas agroforestales en América Central, se han estimado tasa de fijación de carbono desde 0.1 a 3.6 tC ha⁻¹ año⁻¹. El almacenamiento de CO₂ dependerá de la especie arbórea y densidad de la siembra (Segura, M, 1999; Cubero y Rojas 1999), 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. Los sistemas agrosilviculturales, silvopastoriles y agrosilvopastoriles pueden en diversos grados, mantener y hasta aumentar las reservas de carbono en la vegetación y los suelos; de hecho, la agroforestería tiende a prácticas sostenibles de bajos insumos que minimicen la alteración de los suelos y plantas, enfatizando la vegetación perenne y el ciclaje de nutrientes, lo cual contribuye a almacenar bancos de carbono que son estables por décadas o siglos (Kurstel y Brushel, 1993).

2.5- El café como sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales proporcionan una gran variedad de climas, suelos, tipos de vegetación y sistemas de producción en los diferentes agro sistemas cafetaleros en Nicaragua, los cuales se pueden clasificar en cuatro tipos:

- Tradicional o rústico.
- Poli cultivo manejado
- Monocultivo(café con una especie de sombra)
- Monocultivo(café con varias especies de sombra)
- A pleno sol.

Debemos resaltar que en Nicaragua aproximadamente el 80 por ciento mas del café se encuentra bajo sombra. Esta tecnología para el cultivo del café ha constituido uno de los sistemas más exitosos del mundo de las tecnologías agroforestales. Actualmente se sigue promoviendo la combinación de manejo tradicional de sombra con tecnología moderna y reducción de los niveles de aplicación de agroquímicos, para lograr sistemas sostenibles y competitivos con tecnología limpias y café de calidad.

Varios estudios han demostrado el papel importante del café con sombra versus cafetales a pleno sol, como conservadores de la flora, fauna, microorganismos, agua y suelos y particularmente como fijadores de carbono. Desde un punto de vista permanente antrópico, el café bajo sombra representa, por lo tanto, una ventaja económica y ecológica, pues conserva paisajes tradicionales y genera un potencial importante de ecoturismo.

El café bajo sombra además de protegerlos de las lluvias y de los vientos fuertes, la sombra juega también un papel amortiguador contra cambios de temperatura o humedad relativa.

La ventaja de los sistemas agroforestales son varias. Solo dirigiéndonos a las ventajas de sombra, encontramos beneficios de varias procedencia. En términos de sombra las leguminosas, como el género Inga (Guaba), vemos que la capacidad de fijar nitrógeno del árbol, por medio de las micorrizas, reduce la demanda total para abono o fertilizante del cafetal.

Además del café, los árboles de sombra producen un gran rango de productos tales como; leña, material para la construcción de cercas, muebles o viviendas son unos de los usos de la madera que sale de un cafetal con una sombra diversa. Adicionalmente los árboles de sombra proveen sus propios frutos aguacates, cítricos, Sapotes, etc, que pueden aumentar los ingresos anuales del productor. (Jiménez y Vargas, 1998)

2.6- Clasificación de los sistemas agroforestales

La clasificación de sistemas agroforestales está basada en la función que desempeñan los árboles en asocio con los cultivos agrícolas, la cual puede ser de producción (leña, fruto, madera y forraje) y de servicios (sombra, protección y fertilización). Por el arreglo en el espacio y en el tiempo se dividen en: Sistemas agroforestales secuenciales y sistemas agroforestales simultáneos.

En los sistemas agroforestales secuenciales existe una relación cronológica entre los cultivos y los productos arbóreos, es decir que los cultivos y los árboles se suceden en el tiempo, ejemplo de estos es la agricultura migratoria y el sistema taungya.

En los sistemas agroforestales simultáneos se da una integración simultanea y continua de cultivos anuales o perennes con árboles maderables, frutales o de uso múltiple y/o ganadero.

El presente trabajo de investigación fue realizado en un sistema agroforestal simultáneo, por la combinación del cultivo perenne como es el café con los árboles de sombra como la guaba, Helequeme y búcaro.

2.7 -Definición del servicio ambiental de almacenamiento y fijación de carbono

El almacenamiento y fijación de carbono, es uno de los servicios ambientales de los ecosistemas forestales y agrícolas (Segura, 1997). La fijación de carbono se genera en el proceso de fotosíntesis realizado por las hojas de las plantas, que capturan el CO₂ de la atmósfera y lo desdoblan para liberar él oxígeno y tomar el carbono que se utiliza para formar la biomasa de la planta, o 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 (Cuellar, 1999). De otro lado, la liberación de carbono en la atmósfera se da por la respiración de las plantas y animales y por los procesos de descomposición de la materia orgánica causado por bacteria y hongos (Salomón, 1987).

2.8 - Los mercados mundiales del carbono

MARENA (1999), determina que el propósito de la venta internacional del carbono es en realidad la venta certificada de reducciones de emisiones de carbono. Consiste en que un emisor de gases que tiene compromisos de reducción pero que le cuesta caro, prefiere financiar en un país en desarrollo que no tiene estos compromisos. El país en desarrollo realizara reducciones de emisiones que de otra manera no hubiera realizado, a cambio de la transferencia de recursos financieros o tecnológicos.

El comercio de emisiones tiene sentido únicamente solo si los estados parte de la convención de cambio climático lo reconoce internacionalmente. Esta posibilidad esta contemplada en el protocolo de Kyoto. No obstante, este protocolo aun no está vigente, por lo tanto, ni los compromisos ni los mecanismos de venta de carbono existen realmente por ahora. Sin embargo, los intereses de los países que podrían

En la actualidad existen proyectos de “implementación conjunta” que dieron lugar a las reducciones de gases de efecto invernadero en países en desarrollo, con transferencia con países industrializados. Éstos proyectos tienen que considerarse como parte de una etapa preliminar del comercio del carbono, donde la forma de retribución del inversionista aun no existe. Las motivaciones de estos inversionistas están relacionadas con su imagen internacional (para grandes compañías de extracción de petróleo, por ejemplo, aquellas que tengan interés en una etiqueta verde) o con el apoyo desinteresados de algunos países, principalmente del norte de Europa, dispuestos a ayudar a otros en la reducción de sus emisiones MARENA (1999).

Centroamérica posee un gran potencial en el almacenamiento y fijación de carbono gracias a la presencia de amplias extensiones de ecosistemas forestales en la región, por lo que se vería favorecida en los beneficios que conllevaría la venta de carbono, para países desarrollados que emiten grandes cantidades de Gases de Efecto Invernadero (GEI) MARENA, (1999).

2.9 Valoración económica de los servicios ambientales

2.9.1 La Convención Marco de las Naciones unidas sobre el cambio climático

El efecto invernadero, fruto de la evolución de la vida, hizo posible mantener constante y aun nivel apropiado, las temperaturas medias en la tierra. Sin embargo, desde 1850 hasta el presente y particularmente en las últimas cuatro décadas, las emisiones antrópicas de GEI han comenzado a amenazar el Sistema Climático Mundial, definiendo consecuencias potencialmente catastróficas (Beaumont,1999) citado por Suárez, 2002.

En razón de ello, en 1988, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) creó el panel intergubernamental de Cambios Climáticos (IPCC). Dos años mas tarde la Asamblea General de las Naciones Unidas estableció el comité Intergubernamental de Negociación Convenio (CIN), que en mayo de 1992 aprobó el

texto de una Convención. En junio del mismo año durante la conferencia de las Naciones Unidas para el Ambiente y Desarrollo (CNUMAD), 165 países firmaron la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, la que entro en vigor el 21 de marzo de 1994 con la ratificación de los 50 países (Beaumont, 1999) citado por Suárez,2002.

El objetivo principal de la Convención es lograr la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antrópicas peligrosas en el sistema climático y el desafío que plantea es el de cumplir tal objetivo asegurando que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitiendo que el desarrollo económico prosiga de manera sustentable (Beaumont, 1999) citado por Suárez,2002.

2.9.2 Nicaragua ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambios Climáticos (CMNUCC)

Nicaragua como miembro de la (CMNUCC), desde octubre de 1995, así como la ratificación del Protocolo de Kyoto en junio de 1999, ha demostrado su voluntad política de participar y de contribuir en la medida de sus posibilidades al objetivo de reducir las concentraciones de los GEI MARENA, (2001). El hecho de participar en esta Priorizada iniciativa universal de reducción de emisiones de GEI, le permitirá a los nicaragüenses mejorar el nivel de la calidad de vida y sobre todo luchar de manera sostenible ante la pobreza que nos agravia, a través de la introducción de tecnologías limpias, la utilización de fuentes renovables de energía y uso eficiente de la energía, mediante planes de manejo realista orientados a la protección y reforestación de las zonas degradadas de las áreas protegidas; a través de la conservación de las cuencas hidrográficas y de sus acuíferos estratégicos; mejorando el proceso de tratamiento de los desechos sólidos y las aguas residuales, con el objetivo final de revertir el proceso de deterioro de nuestro medio ambiente (MARENA,2000) citado por Suárez, 2002.

2.9.3 Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero en Nicaragua

Las mayores emisiones de CO₂ fueron reportadas en el sector de Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultural (CUTS), la cual se caracterizo por una emisión de 57,632.67 Gg de CO₂ por conversión de bosques en praderas, actividad mediante la cual se tala el bosque para transformar la tierra en áreas de pastoreo o agrícolas, mas 12.97 Gg emitidos por la descomposición de material orgánico en los suelos, suman 57,645.64 Gg. Por el contrario, se cuantifico una fijación de 59,218.65 Gg de CO₂ por crecimiento del bosque, debido al proceso fisiológico de la fotosíntesis de las plantas, por abandono de tierras cultivadas se captó 13,211.08 Gg de CO₂ debido a la regeneración natural de los suelos que han sido abandonados de la actividad agrícola; dando como resultado un balance de 14,784.09 Gg de CO₂ fijados en el sector (MARENA, 2000) citado por Suárez, 2002.

Especial atención merece los sectores agricultura y energía, los cuales ocupan el segundo y tercer lugar en emisiones de CO₂ equivalente, con emisiones de 4,891.51 Gg y 2,733.99 Gg respectivamente. El sector energía es el segundo en orden de importancia con relación a la emisión de GEI, principalmente CO₂ proveniente en su mayor parte del subsector industrial energética y transporte; debido a que la producción y consumo de energía en Nicaragua es altamente dependiente de fuentes fósiles, petróleo y sus derivados (MARENA, 2000) citado por Suárez, 2002.

2.9.4 Protocolo de Kyoto

El protocolo de Kyoto (PK) negociado en diciembre de 1997 durante la tercera conferencia de las partes (COP-3) de la (CMCC), es el más importante hasta la fecha, incluye límites legalmente vinculantes para las emisiones de GEI de los países industrializados (países incluidos en el Anexo B del protocolo). El PK establece tres mecanismo para que los países comprometidos a reducir sus emisiones cumplan con sus compromisos, estos mecanismos son conocidos como Implementación Conjunta (IC), Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y Comercio de emisiones.

El concepto de Implementación Conjunta (IC) se refiere a la realización de acuerdos por medio de los cuales una entidad o un país cumple parcialmente sus

compromisos de reducir los niveles de emisión de GEIs, compensando alguna de sus emisiones domésticas con proyectos que financian en otro país (Beaumont, 1999) citado por Suárez, 2002. El artículo 12 define el Mecanismo de Desarrollo Limpio cuyo propósito es asistir a los países de Anexo 1 para alcanzar el desarrollo sostenible, al mismo tiempo asistir a los países Anexo 1 para lograr reducir sus emisiones cuantificadas y cumplir con sus compromisos en el artículo 3 (Brown, 1999) citado por Suárez, 2002.

El (MDL) para permitir a los países industrializados financiar, a través de un mercado internacional de reducción de emisiones certificadas (CRE), a proyectos en países en vías de desarrollo recibiendo así crédito. Los CERs pueden ser usados por los países desarrollados para cumplir con sus obligaciones de reducciones (UNFCCC, 1998). Cualquiera de las partes del Anexo 1 que ha rectificado el protocolo de Kyoto puede hacer uso de los mecanismo para ayudar a alcanzar sus metas de reducción de emisiones. Sin embargo las partes deben proveer evidencias que el uso de los mecanismos son complementario a las acciones domésticas en le cual deben de sustituir un significativo elemento de sus fuerzas por cumplir con sus compromisos.

Según (Stewrt y Sands, 2000) citado por Suárez, 2002. Hay cuatro importante beneficios que el sistema de comercio del MDL aportara a estos países:

- El comercio del MDL pudiera canalizar cantidades potencialmente elevadas de capital y tecnología hacia los países en desarrollo que le permita modernizar las plantas, equipos y que los desarrollen económicamente.
- Los países en desarrollo que limiten emisiones de GEI pudieran aportar beneficios sociales y ambientales. Por ejemplo proyectos que elevan la eficiencia energética, reducción de emisiones de azufre, y partículas de oxido de nitrógeno, lo que resulta beneficioso para la salud de la población.

- Sé generarían grandes ahorros adicionales en los costos por encima de los que pudiera lograrse utilizando un arreglo que permitiera sólo el comercio entre los países encluidos en el anexo 1. Como resultado a menudo pueden obtenerse grandes limitaciones en las emisiones con menor costo al invertir en la modernización y en nuevas tecnologías en países en desarrollo.
- Los créditos del MDL aportará incentivos para que los países incluidos en el anexo 1 realicen inversiones tempranas dirigidas hacia la reducción de emisiones de GEI a través de los MDL, produciendo efectivamente beneficios económicos y ambientales adicionales para los países en desarrollo y permitiendo posiblemente mayores reducciones.

En el caso de los servicios ambientales en Nicaragua son una iniciativa, aún por que no existen estándares técnicos Internacionales, y mucho menos a escala nacional para lograr medir diferente escenarios dentro de los sistemas agroforestales cafetaleros con servicio ambiental (situación para reducir emisiones) o sin servicio ambiental situación dada por no emitir grandes emisiones) y así, lograr comparar las cifras con lo que se hubiere fijado en toneladas métricas de carbono (Alvarado, 1999).

En la oficina de cambios climáticos del MARENA central se obtuvo la información personal de que no se maneja un precio definido para valorar el servicio ambiental, pero se tomo como parámetro un precio de 3 a 5 dólares, porque un precio mas elevado dependerá de las negociaciones entre el dueño y el oferente, o a través de otro mecanismo intermediario (gobierno). En una investigación llevada a cabo en Ciudad Colón, Costa Rica, se obtuvo que un sistema agroforestal de café (compuesto por árboles de sombra de *Erythrina sp* e *Inga sp*, cafetales, vegetación herbácea, hojarasca y la materia orgánica del suelo), contribuyen con 198 tMC ha⁻¹ (Fournier, 1996).

Según Márquez (1997), en la Unión de Zacapa, Guatemala, un sistema agroforestal compuesto por sombra de la especie *Inga sp* y café en Guatemala en un sistema con café utilizando estratos de bosque (bosque gimnospermas, bosque latifoliado, bosque secundario latifoliado) obtuvo un promedio de fijación de 91,64 tMC ha⁻¹ año⁻¹.

En Nicaragua hace siete meses que se aprobó la Ley Forestal No 462 la cual dice en él capítulo III: Manejo y Aprovechamiento Forestal, en la sección 7: " Producción de oxígeno y fijación de carbono". En el artículo.29 Dice que. "Se crea el Fondo para incentivar a los dueños de bosques que opten por la preservación y manejo del bosque, con la finalidad de producir oxígeno para la humanidad. El Fondo será alimentado con recursos que el Gobierno de la República gestione en el ámbito internacional, dentro de los programas de fijación de carbono y preservación del medio ambiente". Esta materia será reglamentada (Gaceta, 2003).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 -LOCALIZACIÓN

Este trabajo se realizó en la hacienda Santa Maura, ubicada a 30 kilómetros al noreste de la ciudad de Jinotega en la comarca Palo de Sombrero, departamento de Jinotega, dentro de las coordenadas 13° 05' de latitud norte y 86° 00' de longitud oeste. (Ver Fig. 1)

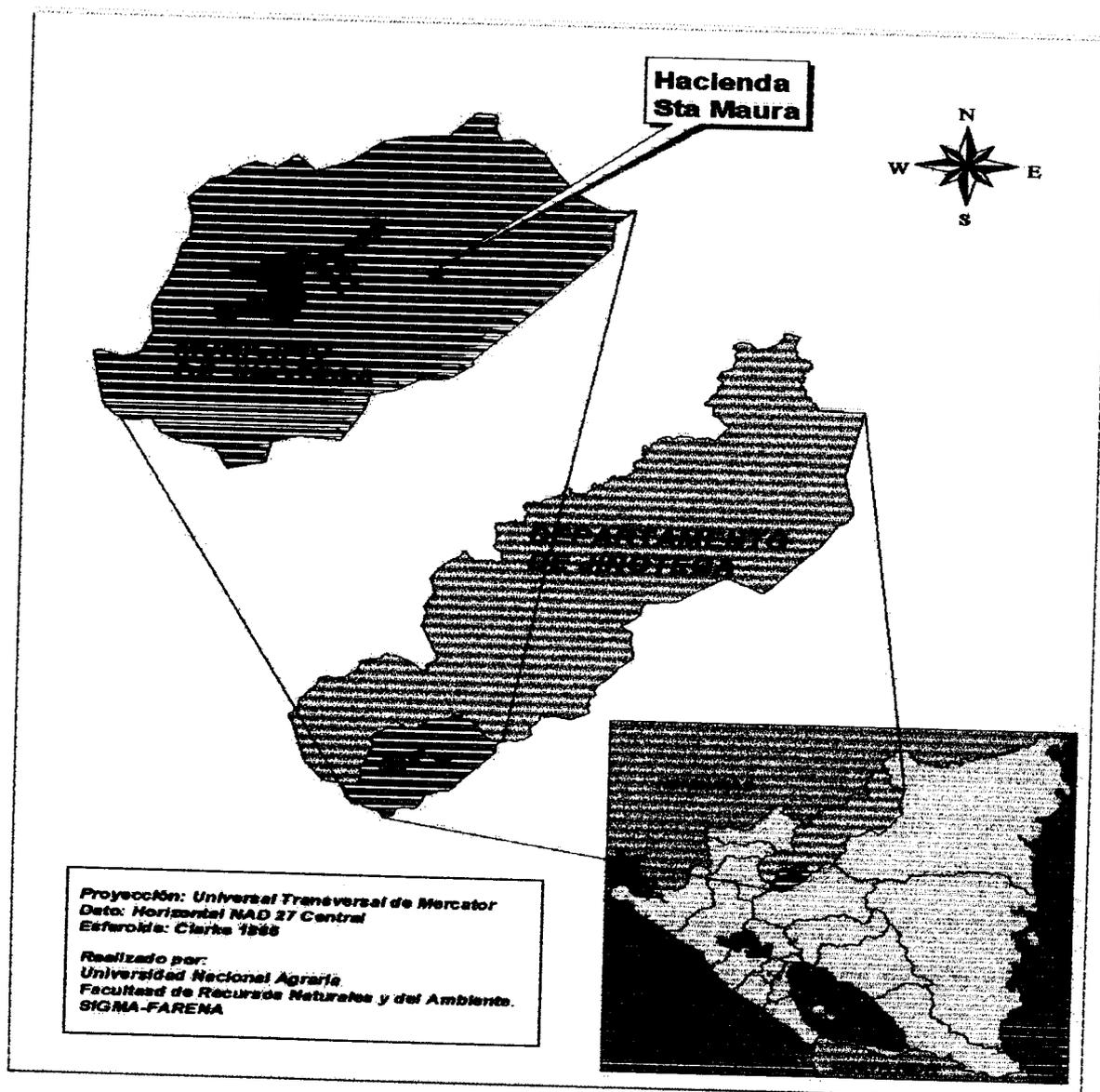


Figura 1 Ubicación del área de estudio hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.

3.2 -CARACTERISTICAS BIOFÍSICAS

Según Salas, (2002) el clima del área de estudio es de sabana tropical de altura, la temperatura media oscila entre los 19° y 21° centígrados, la precipitación pluvial varía entre los 1600 y 1800 mm, las lluvias permanecen de 7-8 meses al año con una interrupción de 8-15 días en el período canicular (15 julio al 15 agosto).

3.3- ESTRUCTURACION DEL ÁREA DE ESTUDIO

La hacienda Santa Maura tiene un área total de 643.7 ha, desmembradas según plano de trabajo interno de la siguiente manera:

- 442.7 ha de sistemas agroforestales (Café con sombra).
- 49.19 ha de infraestructura (incluye casa - hacienda, oficinas, beneficio de café, galerones habitacionales, corrales, pilas de agua etc).
- 84.3 ha de pasto para ganado.
- 67.5 ha de bosque.

El área de sistemas agroforestales está dividido en diferentes bloques según la variedad del café, las especies de sombra y el tiempo de establecimiento. Para realizar el presente trabajo de investigación se seleccionaron tres bloques, a los que se les llamaron tipologías (Anexo 5), estructurándolas y clasificándolas de la siguiente manera:

Tipología 1: Café Pacamara (plantada 1.41 * 1.73 m), altura promedio 1.65 m, edad de 4 años combinada con cinco especies arbóreas (*Inga vera*, *Erythrina fusca*, *Erythrina peoppigiana*, *Croton reflexifolius*, *Solanum sp*), distanciamiento (6 x 7 m), ubicado en el sitio conocido como las canoas. El suelo es un Vertic Aquic Argiudolls, textura arcillosa, drenaje imperfecto a moderado, pendiente de 4-16% y una área de 17.57 ha.

Tipología 2: Café Catimor (1.0 – 1.66 m), altura promedio 1.80 m, asociado con guaba (*Inga vera*), *distanciamiento de (9 - 6 m)* edad de 9 años, ubicado en el sitio conocido como Alemania. El suelo es un Thipicentic Hapludolls, textura arcillosa, drenaje de moderado a imperfecto, pendiente de 6 a 32 % y una área de 5.07 ha.

Tipología 3: Café Catuai (0.93 – 1.75 m) y guaba (*Inga vera*), *distanciamiento de (7.2 - 9 m)*, 9 - 10 años y nogal (*Juglan olanchanum*), más de 50 años. El café mas guaba tiene similar edad, ubicado en un sitio conocido como el infierno. El suelo es un Thipic cumulic Argiudolls, textura franco arenosa, pendiente de 45 a 70 % y una área de 8.8 ha.

3.4 - Resumen de la estructuración por tipología

En el cuadro 1 se presenta una clasificación de las tipologías encontradas en el área estudiada, las cuales fueron suministradas por la administradora de la hacienda Santa Maura.

Cuadro 1: Clasificación de las tipologías, Hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.

Tipología	Variedad de café	Densidad (planta/ha)	Area (ha)	Altitud (msnm)	arb/ha	Árboles de sombra
I	Pacamara	4103	17.57	1050	294 33 76 116 144	Guaba : <i>Inga vera</i> Helequeme : <i>Erythrina fusca</i> Búcaro : <i>Erythrina poeppigiana</i> Cuernavaca : <i>Solanum sp.</i> Copalchil : <i>Crotón reflexifolius</i>
II	Catimor	5970	5.07	1100	176	Guaba : <i>Inga vera</i>
III	Catuai	6145	8.8	1300	154 0.114 2	Guaba : <i>Inga vera</i> Cedro real : <i>Cedrela odorata</i> Nogal : <i>Juglan olanchanum</i>

3.5. Unidades de muestreo: Tamaño y establecimiento

Consistió en establecer parcelas circulares de 250 m² (0.025 ha.), con una intensidad de muestreo del 2%. El área de la primera tipología de 17.57 ha, con 14 parcelas en total (ver fig 2), 6 parcelas para la segunda tipología de 5.07 ha (ver fig 3), y la tercera de 8 parcelas en 8.8 ha (ver fig 4), para un total de 28 parcelas muestreadas, las diferencias de áreas se dieron por las características propias de la hacienda y criterios tales como: altitud, densidad, edad y variedad .

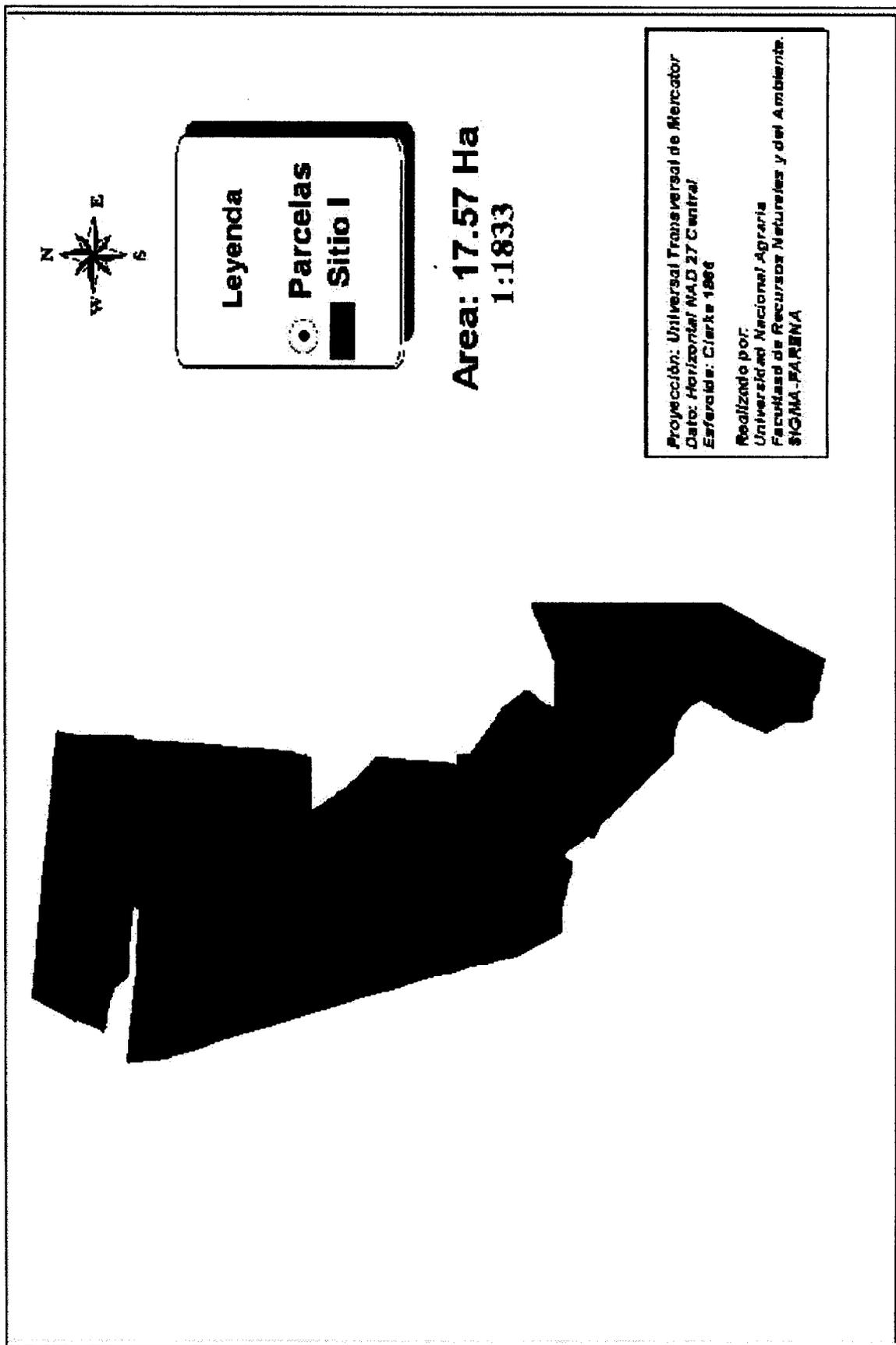
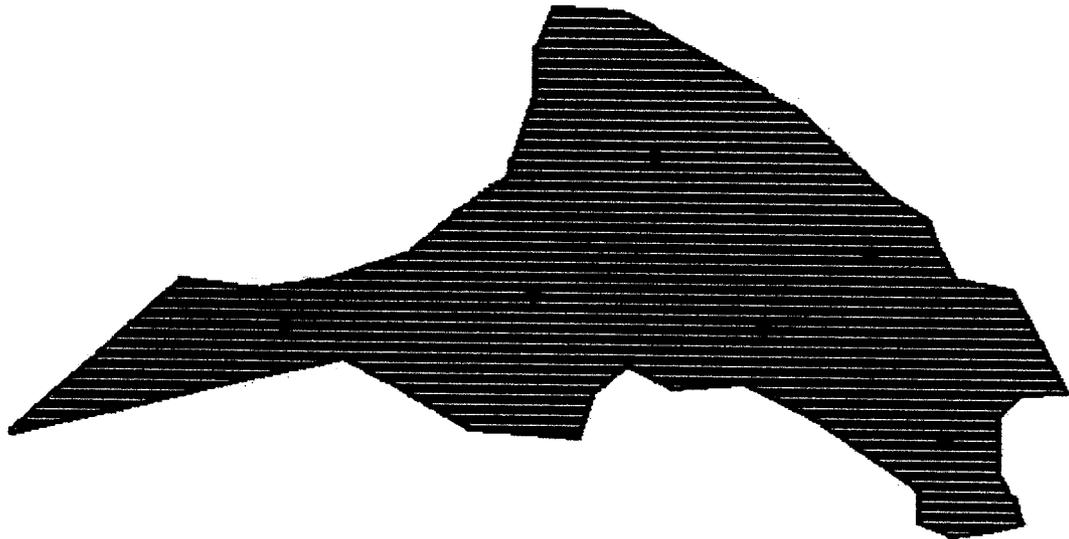


Figura 2 Tipología I y distribución de parcelas, Hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.



Leyenda

● Parcelas
▨ Sitio II

Area: 5.07 Ha
1:2903

Proyección: Universal Transversal de Mercator
Datum: Horizontal MAD 27 Central
Esférica: Cierke 1888

Realizado por:
Universidad Nacional Agraria
Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente
SIGIMA-PARENA

Figura 3 Tipología II y distribución de parcelas, Hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.

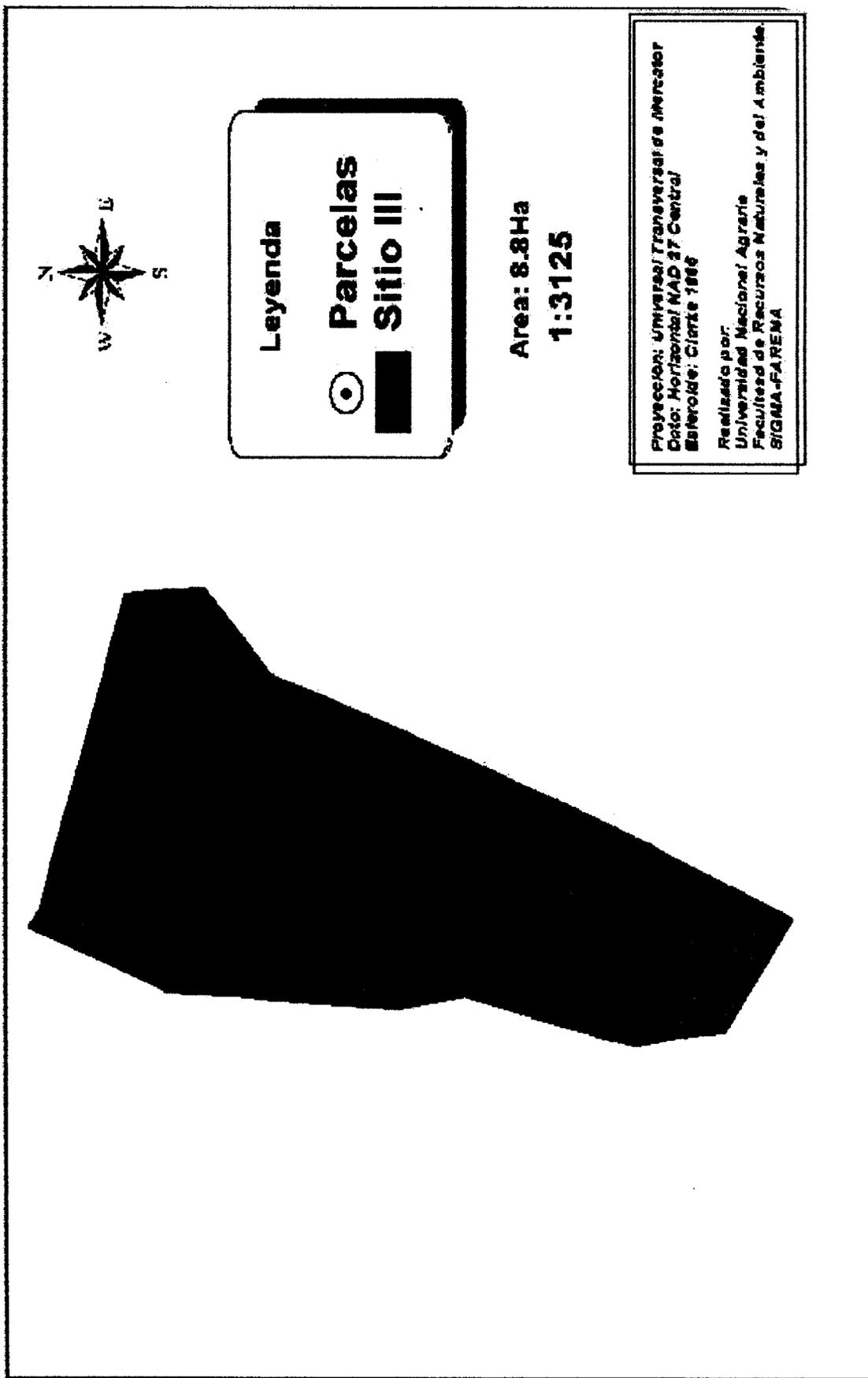


Figura 4 Tipología III y distribución de parcelas, Hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.

El diseño de muestreo utilizado es sistemático, donde se establecieron las parcelas cada 150 metros apartir de una línea base trazada en el centro de cada poligonal para evitar el efecto de borde de la misma teniendo en cuenta las partes alta, media y baja, para tratar de que exista homogeneidad y que toda la población tenga la oportunidad de participar. En las parcelas se procedió a ubicar un árbol de referencia, el mismo se tomo como eje central para delimitar la parcela mediante la señalización con un estaquillado. El radio de la parcela se midió con cinta métrica el cual era de 8.92 m (ver fig 5), al mismo tiempo que se corrigieron las distancias a causa de la pendiente. (Anexo 4)

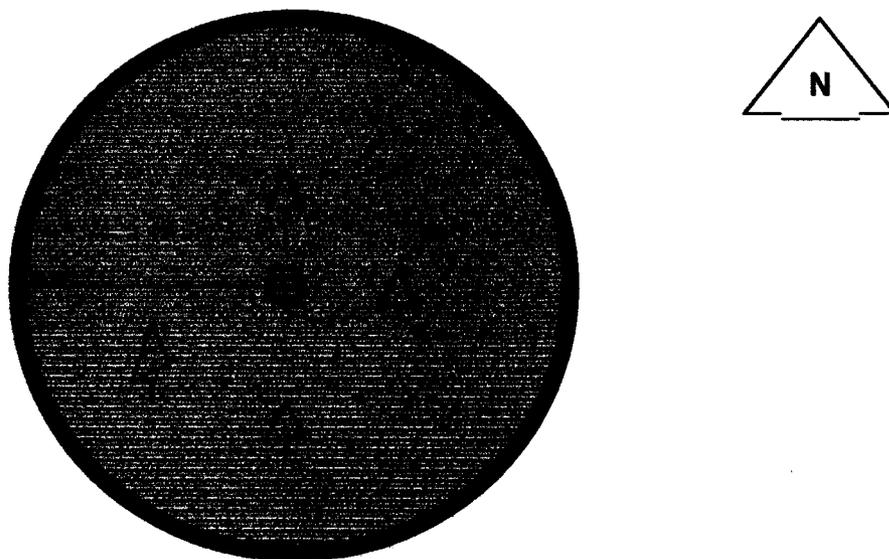


Figura 5 Establecimiento de parcelas de muestreo, hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.

Los componentes de muestreo son:

Cafeto: Altura total, distanciamiento, peso fresco por componentes. (anexo 2)

Árboles: densidad, altura total, diámetro a la altura del pecho. (anexo 2)

3.6. - Componente café

En el caso de la planta de café se tomaron las muestras siguiendo la metodología propuesta por Márquez, (1997) en forma modificada la cual consiste en ubicar cuatro puntos en dirección Norte, Sur, Este y Oeste, a partir de un árbol de referencia que sirvió como eje de la parcela circular extrayendo dos plantas a diferentes distancia y dirección y las otras dos plantas en las direcciones restante se realizado al azar, luego se tomó a cada planta el peso fresco en el momento de la extracción total y por complemento (tallo, ramas, frutos y raíz) liberando de piedrecillas y terrones como agregado que obstaculizaran la pesadas de la muestra fresca.

Cada muestra por planta se empacó en bolsa plástica bien normalizada, luego fueron llevada al laboratorio donde cada componente se homogenizó para obtener una sola muestra la cual se llevó nuevamente al horno, cabe señalar que el componente ramas y hojas se cortaron con sierra y tijera respectivamente para facilitar la secada y medición de la muestra.

La secada de la muestra lleva una secuencia:

- ❖ Primero homogeneización de la muestra.
- ❖ Segundo pesado de cada muestra antes de ingresar al horno donde las ramas y hojas se secaron a una temperatura de 75° C por 48 horas.

El componente tallo, raíz y fruto se seco por 72 horas en un horno con temperatura de 105 °C grados y una presión de 1 atmósfera diferenciándose del primer secado por el motivo que el agua que se encuentra en la parte leñosa retiene en sus paredes celulares mas fuertemente el agua higroscópica lo cual necesitaba mayor temperatura en un periodo mas largo. Luego esta muestra se sacó del horno se dejo enfriar para pasar al tercer paso. Las muestras de ramas y hojas se llevaron al molino para triturar la muestra al igual que la muestra de fruto pero antes de molerlos se tritura con un mortero para facilitar la molida.

De la muestra de tallo y raíz se extrajo con una sierra virutas pequeñas con el objetivo de un mejor secado. El segundo secado se pesó nuevamente las muestras de tallo, raíz en una cápsula de aluminio para ponerla a secar en un horno a 105 °C 24 horas. Las muestras de ramas, hojas y fruto se secaron por segunda vez en horno a 75°C por 24 horas con el objetivo de extraer el agua ligada que se encuentra dentro de la pared celular.

3.6.1. - Determinación de la densidad poblacional de plantas de café

Para calcular la densidad de siembra de los sistemas agroforestales se utilizó la metodología recomendada por CIAT, (1998), el cual consiste:

1. Se determinó la distancia entre hileras haciendo cinco mediciones al azar en distintas partes de la parcela calculando el promedio.
2. Se utilizó el Cuadro 3, para determinar la longitud de hilera equivalente a la milésima de una manzana.
3. Seleccionar al azar cinco secciones de hilera en la parcela, cada una que corresponda a la longitud indicada en el Cuadro 3. Se cuenta el número de plantas vivas encontradas en cada sección, se suma y divide entre cinco para obtener el promedio de plantas.
4. Multiplicar el resultado por 1000, para obtener la densidad de plantas por manzana.

Cuadro 2: Método de equivalencia poblacional, 1998.

Distancia entre hilera (cm).	Longitud de la hilera equivalente a la milésima de una manzana (m).
100	7.0
95	7.4
90	7.7
85	8.25
80	8.75

3.7. - Determinación del porcentaje de humedad

Se tomó el peso verde y peso seco de las muestras y se calculó el porcentaje de humedad que las muestras presentes al final del segundo peso seco lo que facilito conocer el porcentaje de humedad y al mismo tiempo el peso seco de las muestras. (Anexo 3)

$$\% \text{ HUMEDAD} = \frac{\text{P. verde} - \text{P seco} \times 100}{\text{P. verde}}$$

% Humedad : Porcentaje de humedad
P Verde : Peso verde de la muestra de café (g).
P Seco : Peso seco de la muestra de café (g).

3.8. - Materia seca

Se realizo el cálculo del porcentaje de materia seca, dividiendo el peso seco de la muestra después de ser ingresada al horno entre el peso fresco de la muestra multiplicado por cien.

$$\% \text{ Materia seca} = \frac{\text{PMS}}{\text{PMF}} * 100$$

Donde :

%MS = Porcentaje de materia seca
PMS = Peso de la muestra seca (g)
PMF = Peso de la muestra fresca (g)

3.9. - Fracción de carbono

Para la obtención de la fracción de carbono se llevó una muestra por componente de cafeto y árboles al laboratorio de suelo y agua de la Universidad Nacional Agraria, para ello se utilizó él (método schollenbeger), cuyos resultados están expresado en porcentaje.

3.10. - Evaluación de la vegetación arbórea

Se realizó un inventario en cada una de las parcelas dentro de cada tipología, con el objetivo de conocer cuántas especies se encuentran en cada una de ellas y se tomaron los datos de las distintas variables, tales como: dap, altura total, altura de fuste limpio, nombre común en cada tipología (Anexo 2).

3.10.1 - Especies de sombra

Las especies de sombra encontradas en las parcelas, se clasificaron en permanentes tales como: Guaba (*Inga vera*), Helequeme (*Erythrina fusca*) y Búcaro (*Erythrina poeppigiana*) y temporales; Cuernavaca (*Solanum sp*), Copalchil (*Croton schiediumum*), se les midió el dap, altura total y de fuste limpio procediendo al cálculo del volumen a través de la fórmula de Smalian.

También se tomó muestra de un cubo en el fuste de 1¼ x 1¼ pulgadas cuadradas de madera para determinar la densidad específica de las especies aproximadamente, para compararla con la literatura, luego se procedió con el método destructivo con las especies de sombra permanentes pasando a cortar la copa y seccionamiento del árbol, con el cuidado de no dañar las muestras.

Las ramas se clasificaron en ramas gruesas (dap > 2 cm) y pequeñas (dap < 2 cm) tomándoles el diámetro y la longitud, a las ramas gruesas y las ramas pequeñas su peso sin hojas para calcular la biomasa de dicha rama utilizando el porcentaje de materia seca.

Se pesó fuste, ramas grandes, ramas pequeñas y follaje para conocer el peso húmedo del campo y se extrajo una muestra de un 5% del peso total para secar al horno. El fuste y ramas se sometieron a una temperatura de 105° C por 72 horas y una presión de 1 atmósfera, el follaje a temperatura de 75°C por 48 horas y una presión de 1 atmósfera, con el objetivo de extraer el agua para el análisis de contenido de carbono.

Los árboles nativos de sombra de la tipología III, Nogal (*Juglan olanchanun*), Cedro real (*Cedrela odorata*) en el cultivo de café son propios de la zona y se dejaron dentro del sistema agroforestal para conservarlos, ya que estas zonas fueron grandes extensiones de bosques, en la actualidad solo quedan pocos árboles de grandes dimensiones y edades aproximadas de 50 años, por lo se extrajeron muestra del fuste para analizar su contenido de carbono, cabe señalar que se utilizó una ecuación alométrica propuesta por (Brown, 1997) para estos árboles de grandes dimensiones (Anexo 7).

3.10.2. - Medición de volumen y biomasa

Cada árbol se dividió en cuatro componentes: Fuste Limpio, Ramas (grandes y pequeñas) y Follaje con el fin de obtener el volumen y biomasa de cada uno respectivamente.

1- Fuste limpio: El volumen del fuste limpio se obtuvo utilizando la fórmula de Smalian la que toma en cuenta los diámetros en el extremo grueso y en el extremo delgado de la troza, así como la longitud de ésta (Segura, 1999).

$$V_{\text{fl}} = (d_1^2 + d_2^2) * (\pi / 4) / 2 * L$$

Donde: V_{fl} :Volumen del fuste limpio (m^3); d_1^2 :Diámetro del extremo grueso de la troza (cm); d_2^2 : Diámetro del extremo delgado de la troza (cm) ; L : Longitud de la troza (m).

2- Biomasa de fuste limpio: Se obtuvo apartir de la información de volumen y gravedad especifica de cada especie utilizando la ecuación descrita por (Segura, 1999).(anexo 6)

$$B_{\text{fl}} = V_{\text{fl}} * GE_{\text{fl}}$$

Donde : B_{fl} : Biomasa de fuste limpio (t); V_{fl} :Volumen del fuste limpio (m^3); GE_{fl} : Gravedad especifica del fuste limpio (t m^{-3})

3- Ramas: Las ramas en general serán divididas en dos categorías: Ramas grandes con diámetros >2 cm y ramas pequeñas <2 cm de diámetro. En las mediciones de las ramas lo primero que se realizó después del corte es la clasificación de las ramas según el diámetro para esto se realizó una medición de los dos extremos con una forcípula procediendo a la medición de la longitud de la misma con su respectivo peso.

El volumen de ramas grandes (V_{rg}) corresponde aquellas ramas con diámetro mayor o igual a 2 cm, se obtuvo por el método de cubicación (Smalian).

$$V_{rg} = (d_1^2 + d_2^2) * (\pi / 4) / 2 * L$$

Donde: V_{rg} : Volumen de ramas (m^3); d_1 : Diámetro del extremo grueso de la rama (cm); d_2 : Diámetro del extremo delgado de la rama (cm); L: Longitud de la rama (m) (Segura, 1999).

Biomasa de ramas grande: Se obtiene a partir de la información de volumen y gravedad específica de cada especie utilizando la ecuación descrita por Segura, (1999). (anexo 6)

$$B_{rg} = V_{rg} * GE_{rg}$$

Donde: B_{rg} : Biomasa de ramas grandes (t); V_{rg} : Volumen de ramas grandes (m^3); GE_{rg} : Gravedad específica de ramas grandes ($t m^{-3}$)

Biomasa de ramas pequeñas: Corresponde a las ramas con un diámetro menor o igual a 2 cm, se calcula directamente con el peso de las ramas pequeñas con ayuda de la balanza y el porcentaje de materia seca de los resultados del secado obtenido en el laboratorio. (anexo 6)

$$B_{rp} = [P_{rp} * MS(\%)] + 100$$

Donde: B_{rp} : Biomasa de ramas pequeña (ton); P_{rp} : Peso de ramas pequeñas (ton); MS (%): Porcentaje de materia seca.

Biomasa del follaje: Se calcula directamente con el peso de las hojas con ayuda de la balanza y el porcentaje de materia seca de los resultados obtenido en el laboratorio. (anexo 6)

$$B_h = [Pf \times MS (\%)] \div 100$$

Donde: B_h ; Biomasa del follaje (ton); (Pf): Peso del follaje (ton); MS (%): Porcentaje de materia seca.

Con la información ya procesada se obtiene la sumatoria de la biomasa seca de cada uno de los árboles para clasificarlos según las especies de interés con el objetivo de totalizar la cantidad de carbono almacenado por tipología.

3.10.3 - Carbono almacenado en los vegetales

Para la estimación del carbono almacenado en los vegetales se utilizó la fórmula que relaciona la biomasa calculada por la fracción de carbono del componente, cabe señalar que esta información fue proporcionada por el laboratorio de Suelo y Agua de la universidad Nacional Agraria

$$CA=BC \times Fc$$

Donde CA:Es el carbono almacenado por la fijación del vegetal en (t/C/ha); BC biomasa del componente del cafeto ó arboles en toneladas; Fc fracción de carbono orgánico encontrado en las muestras llevadas al laboratorio expresadas en porcentaje.

3.11. - Estimación de los ingresos potenciales por el carbono fijado en las tres tipologías estudiados

La técnica de valoración utilizada es la propuesta por MARENA, *et. al*, (2001) de forma modificada a la información disponible, que consiste en la clasificación por origen y disponibilidad de la información; "Método de valoración indirecta "donde la fórmula para su desarrollo se estimó primeramente la fórmula para el cálculo de tasa de fijación de carbono desarrollada por Brown, S ; Lugo, AE(1984) a través de la relaciona del incremento medio anual (IMA), el cual se facilitó por el conocimiento de la edad, tanto del café como de los árboles, seguido de la gravedad específica de la madera y la fracción de carbono orgánico en la biomasa (Anexo 1).

$$\text{TFC} = \text{IMA} * \text{Ge} * \text{FC}$$

TFC –Tasa de fijación de carbono (tC/ha/año).

IMA – Incremento medio anual(Dap/año).

Ge – Gravedad específica (ton/m³).

FC – Fracción de carbono (%).

Conocida la tasa de fijación de carbono se introdujo en la fórmula para la valoración del secuestro de carbono donde se relacionó el precio propuesto para los escenarios el cual esta entre U\$ 3, U\$ 5 y U\$ 10 dólares. El precio de U\$3 dólares es el manejado por los expertos del departamento de cambios climáticos del MARENA (Torres, 2002). El precio de U\$5 y U\$10 dólares fue tomado de Montoya *et al.* , 1995 de Jong *et al.* , 1998 citado por Ordoñez, (1999), considerados como precios que sean vendidos en el ámbito internacional por la captura de carbono almacenado como servicio ambiental.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

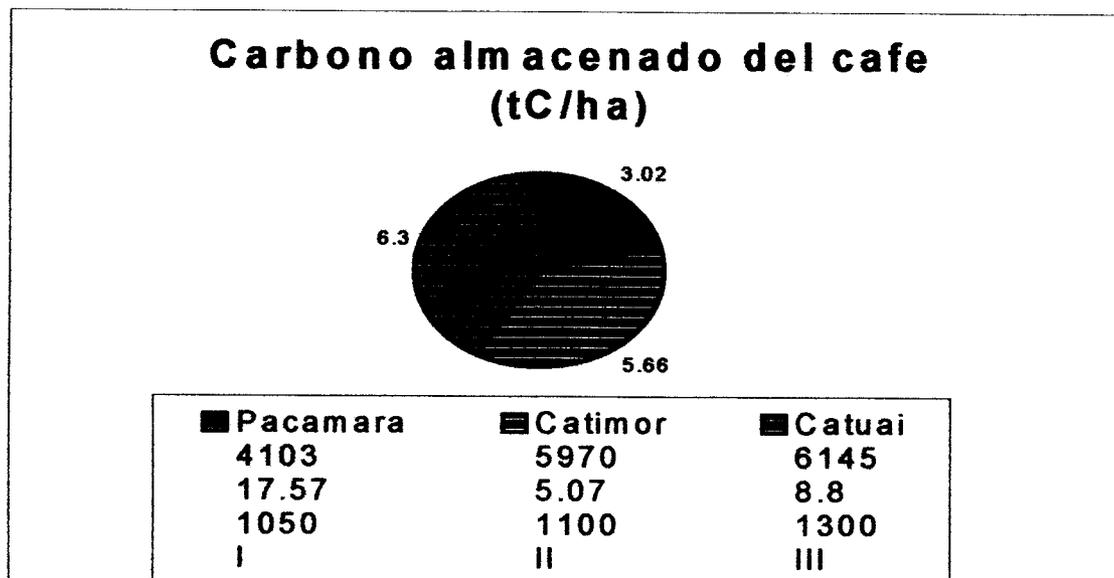
4.1- Carbono almacenado en café

4.1.1- Carbono almacenado en las tres tipologías

En la gráfica 1, se presenta que la tipología III presentó la mayor cantidad de carbono almacenado en el cafeto con 6.3 tC/ha de la variedad Catuai, el cual tiene una densidad de 6,145 plantas por hectáreas y una edad de 10 años,

Este resultado es superado al compararlo con lo reportado por Anacafé (1998), el cual tiene una media de 7.21 tC/ha y una edad de 3-5 años. En esta tipología la iluminación influyó de forma negativa en el almacenamiento de carbono siendo un factor limitante en la captura de carbono al ser comparado con lo reportado por Anacafé (1998), por que a medida que se incrementa la pendiente en dirección Oeste -Este los ángulos de la radiación incidente son mayores con respecto al sol, provocando que el bosque que se encuentra en la cima de la tipología perciba mayor luminosidad por las copas de los árboles, disminuyendo su gradiente en el cultivo de café, dónde inicia su proceso de fotosíntesis de forma más lenta (fase luminosa), siendo ésta la más importante fase que ocurre en el proceso de fijación de carbono y la producción de oxígeno apartir del agua, según Cernusca, (1975) y Kai-Riuskstis, (1967) citados Por Larcher, (1977).

La alta densidad de plantas de café por hectárea (6,145 plantas/ha) de la variedad Catúai y mayor edad en comparación con las otras dos variedades (Pacamara y Catimor), también influyeron en el almacenamiento de carbono, ya que dicha densidad y edad permite una mayor captación de carbono por medio de la fotosíntesis a través del tiempo. Debido a que las plantas de la variedad Catúai tienen hojas más grande que las otras variedades permitió el incremento de las concentraciones de carbono dentro de la tipología, otro factor que influye es la edad (10 años), la cual es mayor que las otras variedades, por ende tiene más capacidad de almacenar carbono.



Gráfica 1 Carbono almacenado por tipología de café, hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002

La tipología II almacenó 5.66 tC/ha correspondiente a la variedad Catimor, cuya edad es de 9 años, la cual tiene una densidad de 5,970 (plantas /ha) y presentó el más alto almacenamiento de hojarasca en el suelo, la raíz pivotante y laterales se vieron afectada para la captación agua del suelo, porque la superficie absorbente era pequeña además la obstrucción de las piedras en el área, Larcher (1977), dice que la cantidad de agua absorbida por las raíces en la unidad de tiempo, es proporcional a la superficie de Intercambio en el espacio ocupado por la superficie radical activa por unidad de volumen del suelo multiplicado por el volumen del suelo ocupado por las raíces, por lo tanto, un déficit de agua y nutrimento se refleja en el almacenamiento de carbono.

En la tipología I representado por la variedad Pacamara, se obtuvo menos carbono almacenado 3.02 tC/ha con una densidad de 4,103 plantas por hectáreas y una edad entre 3 - 4 años, esto se debió a que el relieve del área es regular y la influencia del viento es más notable por la forma irregular de los estratos de la vegetación,

permitiendo que el viento renueve la capa muy húmeda junto a la epidermis por el aire no saturado, gracias a esto se acentúa el gradiente de presión de vapor de agua y aumenta la transpiración y la ganancia de carbono de la planta, esto relacionado a través de la difusión de vapor de agua y de CO₂ Larcher (1977).

4.1.2 - Carbono almacenado por componente en las plantas de café

El cuadro 3, presenta la tipología I en el que se muestra el carbono almacenado en la biomasa aérea, dividida en cuatro componentes: tallo, raíz, follaje y fruto encontrándose que la mayor cantidad de carbono almacenado se reflejó en el tallo con 2.36 tC/ha, esto se debe a que la variedad de café Pacamara presentó una altura promedio de 1.65 m y la base del tallo hasta las primeras bandolas eran mas desarrollada, por lo que la mayor cantidad de biomasa se deposita en los tallos de los vegetales, encargados del soporte de ramas, follaje y frutos respectivamente.

Cuadro 3: Carbono almacenado por componente del cafeto, hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.

Tipología	Área (ha)	Componentes	Carbono almacenado (tC/ha)
I	17.57	Tallo	2.36*
		Follaje	0.51
		Raíz	0.14
		Fruto	0.01
		Total	3.02
II	5.07	Tallo	2.38*
		Follaje	1.2
		Raíz	1.03
		Fruto	1.05
		Total	5.66
III	8.8	Tallo	1.83
		Follaje	2.66*
		Raíz	1.76
		Fruto	0.05
		Total	6.3
		Promedio	4.99

El tamaño del fruto de esta variedad de café es pequeño con relación a las otras variedades, y el 50% al momento de la recolección de los datos no se encontraban maduros, por lo tanto, su peso no aportó considerablemente al peso total, como los frutos de las otras variedades, los cuales presentaban su madurez completa (anexo 3).

La tipología II presentó mayor almacenamiento de carbono en el tallo con 2.38 tC/ha, esto se debe a que la mayor cantidad biomasa seca se acumula en el tallo por su función de soporte. La diferencia que presentó con respecto a la tipología I, es que la raíz presenta un comportamiento diferente de 0.02 tC/ha menos y con respecto al fruto, esto se debe a que durante el proceso de extracción de las plantas de café se observó que las raíces laterales se desarrollaron más que la raíz pivotante, debido a que el suelo es pedregoso y húmedo, impidiendo que en la mayoría de los casos el desarrollo normal de las raíces no se realizó.

La altura promedio de la planta de café de la variedad Catimor es de 1.80 m superando la variedad Pacamara en 0.15 m, debido a que esta primera presentó una edad de 9 años, por lo tanto, se encontraron mas bandolas, por que la distancia del suelo al tallo era más corta esto se afirma por la apreciación visual.

En la tipología III se encontró la mayor cantidad de carbono almacenado, obteniendo 2.66 tC/ha en el follaje, diferenciándose de las otras variedades evaluadas por que la variedad de café Catuai presenta hojas mas grande que las otras variedades y una altura promedio de 1.90 m, donde con anterioridad al café se le aplicó poda apical para inducir a la planta al rebrote de nuevas bandolas, y obtener mejor producción de café, Anacafé, (1998), dice que la parte productiva después de 3 ó 4 cosechas se reduce considerablemente y que los brotes nuevos son cien por ciento productivos; La reducción del potencial productivo, es más lento a altitudes mayores.

La densidad de la tipología es de 6, 145 plantas por hectáreas, es el área donde se obtiene mejor producción de café por las condiciones propias del sitio, el que se encuentra rodeada por el costado Este y Sur por una montaña que protege el sitio,

para evitar que se reduzca la recarga de agua que abastece la hacienda, permitiendo un clima más fresco.

Según los estudios en meteorología se afirma que el aire que sube por una montaña su temperatura baja al momento de alcanzar la cima y ocurriendo lo contrario al momento de descender por la misma, favoreciendo que la temperatura sea baja con respecto las otras tipología, por que según (MARENA, 2002b), en estudios realizados dice que el incremento de la temperatura puede acelerar la tasa sobre la cual las plantas liberan CO^2 en el proceso de respiración, teniendo como resultado una reducción en sus condiciones optimas de crecimiento por que cuando la temperaturas exceden de la optima para los procesos biológicos, los cultivos generalmente responden de forma negativa con abrupta disminución en el rendimiento en biomasa.

Si la temperatura nocturna mínima se incrementa más que la diurna máxima ocasionaría una respiración incrementada y consigo una reducción de los rendimientos potenciales de los vegetales (MARENA, 2002b). Una mayor humedad en el suelo, es aprovechada por las plantas en la estación seca, para una mejor realización de la fotosíntesis, por que el agua es uno de los elementos que permite que las plantas no sufran de marchitez permanente por que un incremento en la evaporación del agua edáfica y la acelerada transpiración propia de las plantas puede causar un problema de humedad, por lo tanto se afirma que todas estas condiciones ecológicas su incidencia son menor en la tipología III, la cual es beneficiada por su ubicación geográfica.

Tomando en cuenta la información obtenida en los componentes del cafeto se realizo el análisis estadístico descriptivo atraves del análisis de varianza (anexo, 8) y la comparación de medias de Duncan a los datos sobresalientes del tallo en el cuadro 4.

Cuadro 4: Separación de media del carbono almacenado en el componente tallo en las tres tipologías (según Duncan), hacienda Santa Maura 2002.

Tipología	Nº. parcela	Media (ton/c/ha)	Agrupación Duncan
3	8	0.099	AA
2	6	0.078	A
1	14	0.014	B

Medias precedidas con letras iguales no difieren estadísticamente, según la prueba de rangos múltiples de Duncan.

El contenido de carbono de los tallos en cada uno de los sitios arrojó que con una significancia ($P < 0.01$) que los tipos 3 y 1 presentan diferencias significativas no siendo así con el tipo 2, esto afirma que el cafeto en las tipologías III y II la acumulación de carbono es similar, aunque en los análisis del contenido de carbono daban diferencias, las cuales obedecían a causa de otros factores como pudo ser la poda apical en la tipología III lo cual estimulo el desarrollo del follaje como se puede observar en el cuadro 3.

4.2- Carbono almacenado en los árboles de sombra

En el cuadro 4, se presenta la tipología I, aquí, la especie que almacena mayor cantidad de carbono es la Guaba (*Inga vera*) con 5.05 tC/ha, esto se debe a la mayor densidad de árboles de guaba en comparación con las otras especies, y por lo tanto, el almacenamiento de carbono es mayor por tener una edad de 4 años y la fijación de carbono se realiza plenamente por su facilidad para regenerarse y recuperar el carbono liberado cuando se ven sometidos a la poda, la cual se realiza, una a la entrada de la época lluviosa y la otra a la salida del mismo aproximadamente 6 meses después. Es seguido por Cuemavaca (*Solanum sp*) con 4.73 tC/ha, Copalchil (*Crotón reflexifolius*) con 3.17 tC/ha, y Búcaro (*Erythrina poeppigiana*) con 3.10 tC/ha.

La especie que almacenó menos carbono fue el Helequeme (*Erythrina fusca*) con 0.62 tC/ha, esto se debe que existe menor cantidad de árboles de Helequeme, y en comparación de las otras especies, presenta un fuste pequeño y bifurcado. Las especies de sombra temporales no superaron en almacenamiento de carbono a los

árboles de sombra permanente porque no se les realiza ningún control al momento de la poda, ya que cuando el cultivo de café esta establecido se reducirá con forme las plantas lo necesite.

En la tipología II (Cuadro 6), la especie guaba registró un almacenamiento de carbono de 12.34 tC/ha, la cual fue la más baja de los totales de las otras tipología. Esto se debe a que los árboles tienen 9 años de edad, por lo tanto, su almacenamiento tiende a disminuir por que las especies arbóreas en su estado senil captan menos CO₂ que en su estado joven, lo incrementado en el almacenamiento de las nuevas ramas (rebrote) en un intervalo de 6 meses. Se le aplicó las podas cíclicas y este incremento forma parte de la materia orgánica del suelo, esto se afirma porque en el estudio hecho en la parte del suelo se reportó 76 tC/ha en el suelo (Ruiz y Pérez, 2003) quedando solo lo aumentado en diámetro basal del fuste, otra observación en los árboles es que algunos presentaban partes secas en fuste y ramas debido a ataques de hongos que penetraron por los cortes de ramas y invadieron por la falta de mala aplicación del oxido de azufre (ver cuadro 4).

Cuadro 5: Carbono almacenado total en los árboles de sombra (temporales y permanente), hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.

Tipología	Área (ha)	Especies de sombra		Carbono almacenado (tC/ha)
		Permanente	Temporales	
I	17.57	Guaba		5.05
			Cuernavaca	4.73
			Copalchil	3.17
		Búcaro		3.10
		Helequeme		0.62
			Total	16.67
II	5.07	Guaba		12.34
III	8.8	Guaba		20.54
		Cedro real		5.46
		Nogal		18.63
			Total	44.63
promedio				24.55

El tamaño de la superficie de la tipología, también influyó al totalizar el almacenamiento, porque es de superficie más pequeña (5.07 hectáreas) que las otras dos, y presentó un suelo pedregoso, por lo cual, los árboles desarrollaban más sus raíces laterales para un mejor abastecimiento de agua, nutrientes y soporte de las mismas plantas.

La tipología III (Cuadro 6), presentó el mayor almacenamiento de carbono al comparar las tres tipologías (44.63 tC/ha), esto se debe a que los árboles tienen una edad de 10 años y los mayores diámetros, por otra parte la sombra que existe es menor al 30 % la cual es la que se maneja, esta diferencia permite que los pocos árboles (154 arb/ha) que existen obtengan un mejor desarrollo que los árboles de las otras tipologías, esta condición se da a una altitud aproximada de 1300 msnm, con una pendiente mayor al 50 % (anexo 5), la menor densidad de árboles por hectárea incide en una menor competencia entre árboles, la disposición del cultivo de café en contra de la pendiente y la existencia de barreras vivas bien establecidas inducen a una mínima erosión hídrica .

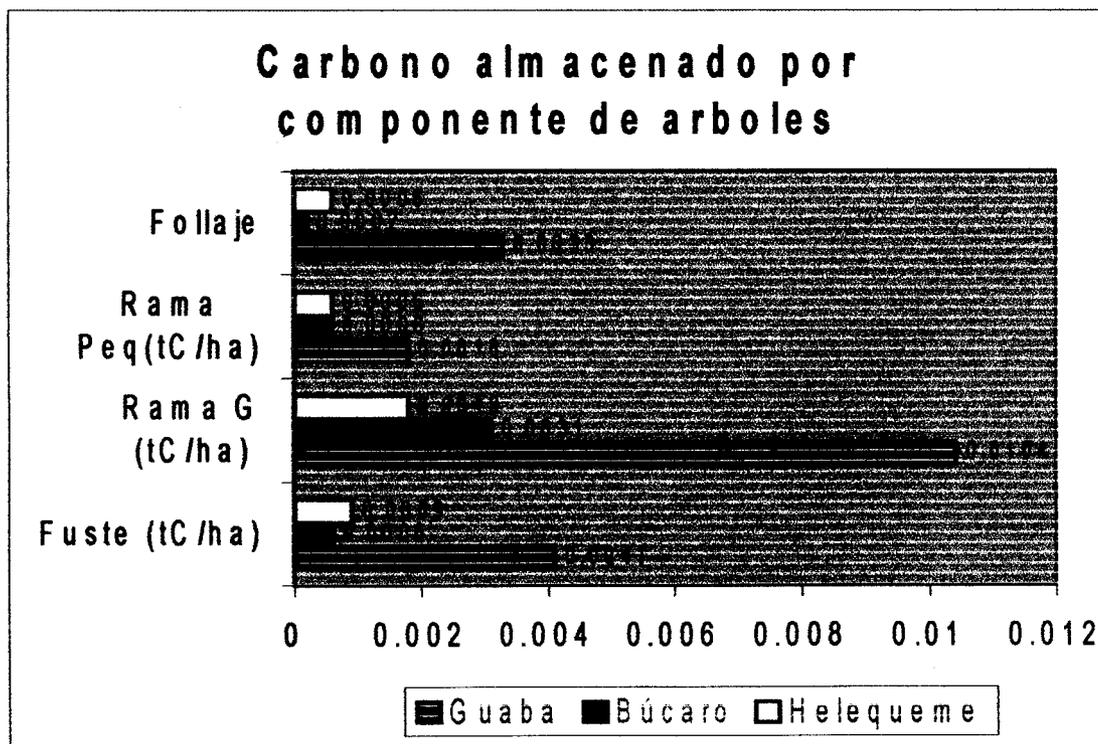
Se encontraron dos especies nativas en la tipología III, las cuales ya existían antes de la plantación del café, es por esta razón que estas especies se le determinó el carbono almacenado, utilizando la ecuación alométrica propuesta por (Brown, 1997),(anexo 7), donde el Cedro real (*Cedrela odorata*) presentó (5.46 tC/ha), el Nogal (*Juglan olanchanum*) que almacena (18.63 tC/ha).

Esto indica que el cedro real almacenó más carbono porque se encontró en toda la tipología un árbol de menor edad y el Nogal (*Juglan olanchanum*) a pesar que tiene la mayor densidad y los mayores diámetros cabe señalar que son los más viejos presentó la menor cantidad de carbono almacenado de forma individual y la fijación tiende a disminuir conforme transcurren los años, su capacidad de conducción y transporte de los nutrientes y agua que son esenciales para el proceso de fotosíntesis cada día se irán reduciendo. Según Ciesla, (1996), afirma que las especies forestales en un bosque difieren en su capacidad de absorber y almacenar carbono, principalmente

influenciados por factores como: temperatura, precipitación, densidad de masa, tipo de suelo, pendiente, altura, condiciones topográficas, índices de crecimiento y edad.

4.2.1 Carbono almacenado por componente de las especies arbóreas

En la gráfica 2, se presentan los datos por componente de los árboles basándose en el método destructivo realizado en los árboles de sombra permanente, de estos se encontró que las ramas gruesa mayor de 2 cm de diámetro almacenan (0.0104 tC/ha), la más alta fue la especie de guaba (*Inga vera*), seguido por el búcaro (*Erythrina poeppigiana*) con (0.0031 tC/ha) y helequeme (*Erythrina fusca*) con (0.0018 tC/ha) para un total de (0.0153 tC/ha), este total se debe a que las especies de sombra se les aplica una poda cíclica cada seis meses, una en la época lluviosa y la otra en el mes de noviembre (época seca), con el fin de regular el porcentaje de sombra en un 30 % con una altura promedio de 7 m.

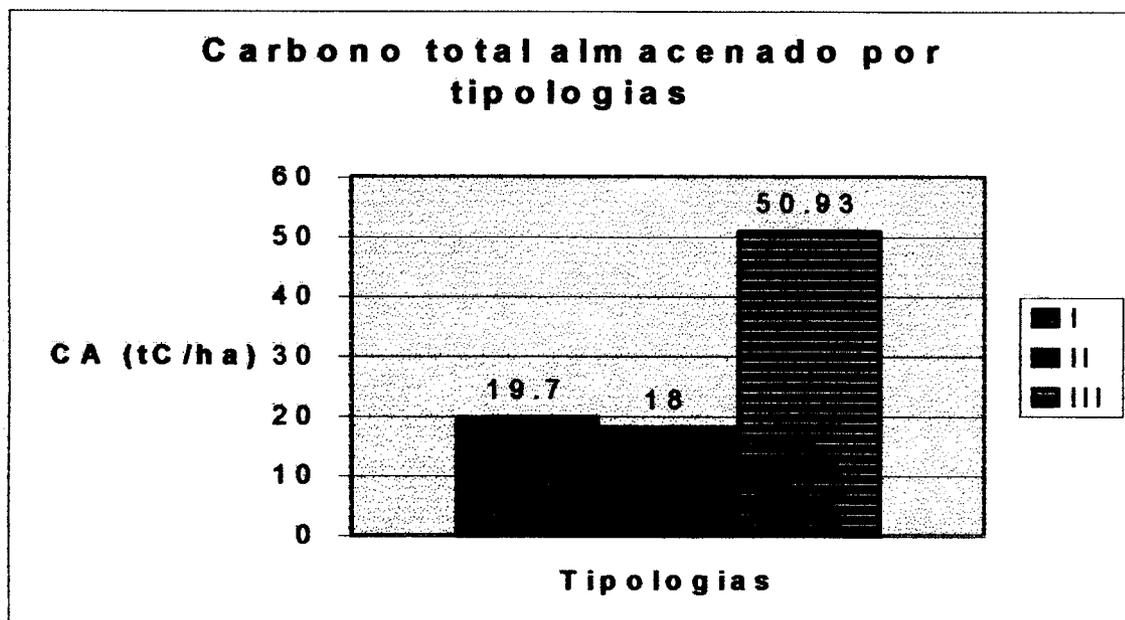


Gráfica 2. Carbono almacenado por componente de las especies arbóreas, hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.

La especie guaba sobresalió en el almacenamiento de carbono esto se debe a que presenta una densidad de 294 plantas / ha⁻¹, el Búcaro con 76 plantas / ha⁻¹ y el helequeme con 33 plantas / ha⁻¹, la fracción de ramas grandes con diámetro >2cm, presentó el mayor almacenamiento de carbono, debido a la poda dirigida a regular el porcentaje de sombra extendida sobre el cafetal, lo que provoca una bifurcación en los fustes a poca altura permitiendo el mayor desarrollo en las ramas grandes laterales por el efecto de la poda cíclica cada seis meses al año.

4.3 Carbono almacenado(caf e y árboles) total por tipología

En la gráfica 3, se observó que en la tipología III se encontró el mayor almacenamiento total de Carbono atmosférico (448.18 tonelada de carbono), en una área de 8.8 hectáreas esto corresponde a una mayor captación de carbono por parte de los estomas, los cuales regulan su aberturas para que las plantas puedan controlar al mismo tiempo el flujo de entrada del CO₂ a las hojas y la pérdida de agua por transpiración.



Gráfica 3. Carbono total almacenado por tipología, con relación a su altitud y área, en la Hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002

El manejo que se le aplicó a las plantas de café consistió en realizar podas que tienen como fin mantener el rendimiento productivo, sanitario y estimular la emisión de rebrote de bandolas y por consiguiente una mayor producción de biomasa seca, con lo cual el café hace un aporte de 6.3 tC/ha al peso total de carbono almacenado en la tipología III. Los árboles aportaron más carbono almacenado con 44.63 tC/ha, debido a que se encontraron árboles con los mayores diámetros, aunque con densidades más bajas (154 plantas / hectáreas). La competencia por espacio es menor y el porcentaje de sombra no excede el 30%, lo requerido en dicha tipología, porque está a una altitud de 1 300 msnm aproximadamente por que a medida que el cultivo de café se encuentra a mayor altura se disminuye la sombra para el café y se aumenta la densidad del mismo, por esta razón la poda en los árboles se realiza en menor escala.

La tipología III obtuvo un total de 50.93 tC/ha en la parte vegetal y 96 tC/ha en el suelo dato facilitado por el estudio en el suelo (Ruiz y Pérez), en las misma áreas que al ser comparado con un sistema agroforestal que se encuentra dentro del rango de 40 - 70 tC/ha para la parte vegetal 30 - 50 tC/ha reportado por MARENA, (2001) se puede observar que la parte vegetal se encuentra dentro del rango comparado y con respecto al suelo se puede ver que fue sobresaliente, superando el rango, porque el aporte de materia orgánica es mayor a través de la poda de los árboles y café, en la cual los materiales vegetales son dejados en el área por su difícil extracción debido a la pendiente inclinada promedio de 56 % en dirección Éste – Oeste, perpendicular al cultivo de café, la incidencia de los rayos solares directamente se proyecta más tardado favoreciendo un suelo húmedo, en el año por las condiciones propias que se encuentran alrededor del bosque de neblíselva donde hay una mayor descomposición de la materia orgánica y de nutrientes para las plantas.

La tipología I, almacenó un total de 346.13 toneladas de Carbono, superando a la tipología II con 91.26 toneladas de carbono; simplemente por que el área era mayor en 12.5 hectáreas y estaban presente mayor numero de especies de sombra, las

cuales aportaron al total de carbono almacenado, pero no se reconoce la tipología I como la segunda más productiva en biomasa desde el punto de vista individual, por que al hacer los cálculos la tipología I arrojó que el almacenamiento por hectárea es de 1.1212 ton/ha y la tipología II es de 3.55 ton/ha superando en 2.43 toneladas de carbono por hectáreas; Pero aun presentando estas diferencias y limitantes las tipologías I y II superan en el proceso de almacenamiento de carbono a los pastizales que tienen un promedio de 15 tC/ha según Brown y Lugo, (1989).

4.4. - Valoración de los ingresos potenciales por la fijación de carbono

La cantidad de carbono que puede captar el sistema agroforestal café con sombra en la Hacienda Santa Maura de la tipología I es de 1.2 tC/ha/año, seguido por las tipología III y II con 0.54 tC/ha/año respectivamente; esto indica que la tipología I fijó más carbono porque las plantas de café y árboles son de menor edad en una área de 17.57 hectáreas, y los vegetales entre mas jóvenes, su capacidad de fijación es mayor, esto se debe a que la fijación de carbono esta en función directa del crecimiento en biomasa en cada tipología por unidad de área, el cual es aceptado que un 50% de la biomasa seca en los vegetales está constituido por carbono (Brown y Lugo,1984).

El promedio de la tasa de fijación de carbono es de 0.87 tC/ha/año que se encuentran por debajo del rango, que varia desde 0.1-3.6 tC/ha/año, realizadas en sistemas agroforestales en Centroamérica. (Andrade,1999) se debe mencionar que los sistemas agroforestales no solo actúan como sumidero de carbono, sino que también evitan el agotamiento de los sumideros ya existente, al reducir la presión sobre los bosques (ver cuadro 6).

Cuadro 6: Valoración de los ingresos potenciales por la fijación de carbono en los diferentes escenarios propuesto, hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.

Tipología	TFC T/ha/año	Carbono almacenado tC/ha	precio de captación U\$ t ⁻¹ ha ⁻¹		
			3	5	10
II	1.2	18	54	90	180
I	0.54	19.7	59.1	98.5	197
III	0.54	50.93	152.8	254.7	509.3
Promedio	0.87	29.54	88.63	147.73	295.43

TFC; tasa de fijación de carbono por tipología, (toneladas de carbono por hectárea en un año).

De acuerdo con el cuadro 5, tomando como ejemplo el escenario donde el precio es de U\$ 3 dólares este servicio ambiental generaría un promedio de U\$ 88.63 dólares por tonelada, en un área total de 31.44ha; Si se extrapolara a toda el área donde se encuentra establecido el sistema agroforestal en la hacienda daría un aproximado de U\$ 1248 lo cual ayudaría a suplir un poco los ingresos del productor, haciendo más atractivo el sistema agroforestal de café con sombra, aunque se debe tomar en cuenta que existen requisitos y unos de los tantos requisitos para optar a vender el servicio ambiental por la captura del CO₂ es que las áreas hallan sido deforestadas antes de 1990 y que se debe tomar en cuenta que el pago por el servicio se pagara solo una vez según la lógica y que solo se continuara pagando lo capturado apartir de la venta. Sin embargo, se considera el aporte de la naturaleza a la economía al fijar gratuitamente esta cantidad en beneficio a los seres humanos a través de la producción de oxígeno.

Es un potencial que podría beneficiar la economía nacional si se llegara a formular Proyectos capaces de vender esta capacidad de captura de CO₂ que tiene Nicaragua como un potencial que en los últimos cinco años el gobierno de Nicaragua, a través

del MARENA, ha venido fortaleciendo y desarrollando capacidades, tanto para enfrentar el paradigma del cambio climático, como para ingresar en las oportunidades económicas que aparecen en el mercado de los certificados de reducción de emisiones con la creación del Mecanismo de desarrollo limpio (MDL). El tema de "mercado de carbono" ha despertado el interés de los negocios ambientales en Nicaragua, por su atractivo económico, turístico y su potencial de generar inversiones sostenibles, principalmente para el sector privado.

V. CONCLUSIONES

- La tipología que presenta mayor cantidad de carbono almacenado en plantas de café, es la III, con 6.3 tC/ha, seguido por la tipología II con 5.66 tC/ha y luego la tipología I con 3.02 tC/ha.
- El componente del café que presenta mayor cantidad de carbono almacenado es el follaje con 2.66 tC/ha de la tipología III, seguido por el componente tallo con 2.38 tC/ha de la tipología II y 2.36 tC/ha del mismo componente en la tipología I y con respecto al análisis estadístico con ($Pr < 0.01$) se afirma que el follaje salió más alto en la tipología III por la estimulación de la poda apical por que no fue significativo con la tipología II en el análisis pero sí con la tipología I.
- En los árboles de sombra (temporal y permanente), la tipología III es la que presenta mayor cantidad de carbono almacenado con 44.63 tC/ha, seguido por la tipología I con 16.67 tC/ha y luego la tipología II con 12.34 tC/ha y los componentes que almacenan mayor cantidad de carbono son las ramas gruesas con 0.0104 tC/ha de la especie guaba, seguido por el búcaro con 0.0031 tC/ha y por último el helequeme con 0.0018 tC/ha.
- La tipología que presenta mayor cantidad de carbono total almacenado es la III (50.93 tC/ha), seguido por la tipología I (19.70 tC/ha) y la que menos carbono almaceno fue la tipología II (18 tC/ha), encontrándose un promedio de carbono almacenado de 29.54 tC/ha en las tres tipología evaluados.
- En caso de pagarse el servicio ambiental propuesto en el ejemplo con un precio de tres dólares, el productor aumentaría sus ingresos promedios según este escenario en 88.63 dólares por tC/ha/año, siendo más atractivo el sistema agroforestal para el productor, siendo un alivio por la disminución del precio del café en el mercado internacional.

VI. RECOMENDACIONES

- Es necesario dar a conocer a los productores de café a través de capacitaciones, la importancia ecológica que presenta la cuantificación de carbono en sistemas agroforestales para promover la iniciativa de desarrollo de programas y proyectos encaminados a reconocer la valoración del servicio ambiental y tener una remuneración de hacerse leyes que la promuevan.
- En futuras estimaciones de biomasa en sistemas agroforestales se recomienda aplicar la ecuación alométrica desarrollada en esta investigación siempre y cuando estén presente las especies y características ecológicas similares a las del sitio en estudio.
- Realizar estudios investigativo en la generación de gravedades específicas de las especies arbóreas utilizadas como sombra en los cultivos de café por zonificación, para un mejor aporte a la investigación de la estimación de carbono atmosférico.
- Reducir la intensidad de la poda en la tipología I a la entrada de la época seca para evitar claros grande en el cultivo de café los cuales, causan el crecimiento de especies oportunista y consigo una mayor competencia por agua, luz y nutrientes.
- Diversificar las especies de sombra en los perímetros de las tipologías con árboles frutales ó maderables los cuales representaran un capital disponible en poco tiempo.
- Se recomienda que la mejor condición de sitio, climática y de manejo se encontró en la tipología III donde obtiene los más altos rendimientos productivos y de almacenamiento de carbono en la parte ambiental siempre y cuando se ponga en practica las rigurosas practicas de conservación de suelo y agua.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en ecosistemas forestales. Revista forestal Centro Americana No 19, Abril – junio 1997.
- Andrade Castañeda Hernán J. 1999. Dinámica Productiva De Sistema Silvopastoriles Con *Acacia mangium* y *Eucaliptus deglupta* en el trópico Húmedo. Escuela de Postgrado, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 68 p.
- Andrasko, K, 1999. El recalentamiento del globo terráqueo y los bosques, estado actual de los conocimientos. UNASYLVA, 41; 163 p.
- ANACAFE, 1998. Cuantificación estimada del dióxido de carbono fijado por el agrosistema café en Guatemala, Boletín, 9º Congreso de Caficultura Nacional, Guatemala. 16 p.
- Brown, S., 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. Primer. FAO, Montes 134. Roma. 55 p.
- Brown, S; Lugo, A. E. 1989, Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. Forest science 35(4): 381- 902 p.
- Carranza, C. F; Bruno, A. A; Echeverría, J; Mejía, R, 1996. Valoración de los servicios Ambientales de los Bosques de Costa Rica. Centro Científico Tropical /ODA/ MINAE. San José, Costa Rica, 77 p.
- Ciesla, W. M, 1996. Cambio climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto, Estudios FAO Montes. 126 Roma, 147 p.
- CIAT. 1998. Manual práctico de manejo de suelo en laderas, primera edición, Honduras, C.A., Septiembre. 9 p.
- Cubero, J, Rojas, S. 1999. Fijación de carbono en plantaciones (*Gmelina arborea*), Teca (*Tectona grandis*, L, F.) y pochote (*Bombacopsis quinata*. Jacq) en los cantones de Hojancha y Nicoya, Guanacaste , Costa Rica.
- Cuellar, N. 1999. Los servicios ambientales del agro; El caso del café de sombra en el Salvador, PRISMA, 34 p.
- Dixon, A. Scura, F; Corponter, A. Sherma, B, 1994. Análisis económico de impactos ambientales en desarrollo ambiental y el papel del análisis económico, Turrialba, Costa Rica, CATIE, 244 p.

- Duncan, P; Jorgen, B; Bruenig, F ; Burguess, 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 habrán bosques sin manejo; Sustentación de ecosistemas forestales bajo condiciones iniciales. *Actualidad forestal tropical*, G, (4).10 p.
- Erickson, G. G. Namkoong y J.H. Roberds, 1993. Dynamic gene conservation for uncertain futures forest ecology and management, 62 p.
- Finegan y Delgado, 1997. Efecto del aprovechamiento forestal y el tratamiento silvicultural en un bosque húmedo del noreste de Costa Rica: Cambios en la riqueza y composición de la vegetación, Informe técnico No 298, unidad de manejo de Bosques Naturales, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 43 p.
- Fernández, W. 1991. Cambios climáticos: El calentamiento global, tecnología en marcha, 11- 22 p.
- Fournier, L. 1996. Fijación de carbono y diversidad biológica en el agro ecosistema cafetalero, Boletín PROMECAFE (IICA).
- Gaceta, 2003, Ley forestal,Managua,4 de septiembre, No 168, leg No462. Asamblea Nacional de la República de Nicaragua. pp 20.
- Hall, D, O; Rao, K, K, 1994. Photosynthesis Cambridge University Press 5ª edición, 1 – 4 p.
- Jiménez, F. Vargas, A. 1998, Sistemas Agroforestales, Tuurialba, Costa Rica, CATIE/GTZ, manual técnico/CATIE No. 32, 360 P.
- Kursten, E and P, Burschel, 1993. Co2 – Mitigation by Agroforestry Water, Air and Soul. Pollution, 70: 533-544 p.
- Larcher, W. 1977. Ecofisiología vegetal; Traducido del Alemán por Lahucat, J. Barcelona, España, ediciones Omega, 305 p.
- Márquez, L .1997. Valoración de campo de los métodos del instituto WINROCK para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo para cuantificar carbono en sistemas agroforestales, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala, 45 p.
- MARENA.1999. Guía para aprender el cambio climático en Nicaragua; Programa de apoyo a la implementación de la convención marco de cambios climático y protocolo de Montreal; Proyecto de apoyo a la implementación de la convención marco de cambios climáticos y del protocolo de Montreal, Managua, Nicaragua, 69 p.

- MARENA, 2001. Impacto del cambio climático en Nicaragua, PANIF, programa ambiental Nicaragua - Finlandia , Managua, Nicaragua, 79 p.
- MARENA, 2001. Valoración económica de los bienes y servicios ambientales de biodiversidad y sus aportes a la economía nacional, Primera edición, Managua, Nicaragua, 91 p.
- MARENA,2002a. Guía metodológica para la formulación, monitoreo y verificación de Proyectos de mitigación de gases de efecto invernaderos, Primera edición, Managua, Nicaragua, 82pp.
- MARENA,2002b. Marco de indicadores para evaluar la vulnerabilidad del cultivo de Maíz y Frijol ante el cambio climático, Edición IMPRIMATUR, Managua, Nicaragua, pp 80.
- Ordoñez, j. 1999. Captura de carbono en bosque templado: El caso de San Juan Nuevo, Michoacán: primera edición, pp 81.
- Padilla, H, 1981. Glosario practico de términos forestales, primera edición, México, 99 p.
- Pérez, Z; Ruiz, J. 2003. Cuantificación del carbono almacenado en suelo de café (*Coffea arábica*)con sombra en la Hacienda Santa Maura, Jinotega, Nicaragua. pp 48.
- Salas, Estrada, Juan Bautista, 2002. Biografía de Nicaragua, 1ª ed, Managua; INAFOR, 543pp.
- Salomón, E; Villa, C; Davis, P, 1987. Biología, México, DF, Editorial Interamericana, 13 – 25 p.
- Segura, M, A, 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus Costaricensis* en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica, Tesis Licenciatura Universidad Nacional, Heredia. Costa Rica, 114 p.
- Segura Madrigal, Milena, A. 1999. Valoración del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privado en el área de conservación, cordillera volcánica central, Costa Rica. Escuela de postgrado, CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Suárez, Pascua, Damaris, A. 2002. Cuantificación y valoración del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la Comarca Yassica sur, Matagalpa,Nicaragua. Escuela de Posgrado, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Turrialba, Costa Rica, pp 117.
- Torres, Mario,2002. Presentación del ciclo de los proyectos MDL, Oficina de cambios climáticos. MARENA. Pp27.

ANEXOS

Anexo 1.

Datos generales de las especies de sombra

Tipología	Tipo de sombra	Especies	Rango de altura (M)	Rango de dap (Cm)	IMA (dap/edad)	Ge	Fc promedio (%)
I	R	Guaba	4 – 7.5	2 – 11	1.73	0.58	0.4549
	I	Helequeme	3.5 – 5	1.3 – 8	1.6	0.23	0.4243
	I	Copalchil	3 – 4.5	2 – 4	1.2	0.48	0.412
	I	búcaro	4 – 6	4 – 7.8	1.6	0.23	0.4233
	R	Cuernavaca	5 - 6	6.5 – 16.5	2.6	0.43	0.424
II	R	Guaba	6 – 15	7 – 42	1.73	0.58	0.4549
III	B	cedro	25	117	-	0.45	0.40
	B	Nogal	8 - 35	9.5 - 238	-	0.38	0.368
	B	Guaba	5 - 13	6.37 - 36	1.73	0.58	0.4549

Criterios de tipos de sombra

Buena (B): Copa bien extendida sobre el cultivo de café, sombra uniforme en su proyección.

Regular (R): Copa semi extendida sobre el cultivo de café, con pocos claros en su proyección de sombra por el diámetro de copa.

Irregular (I): Copa extendida en partes del cultivo por su proyección de sombra .

Anexo 3.

Secado de los componentes del cafeto. Tipología I. S.M., Jinotega, 2002

Peso de rama y hoja de la primera y segunda socada

Parcela	Peso H 1(g)	Peso Seco1(g)	Húmeda %	Peso H 2(g)	Peso Seco 2(g)	Húmeda %
1	500	179	64	175	169	3.43
2	500	181	64	180	175	2.78
3	500	179	64	174	168	3.45
4	500	177	65	175	168	4.00
5	500	163	67	160	155	3.13
6	500	172	66	168	151	10.12
7	500	165	67	160	156	2.50
8	500	170	66	160	155	3.13
9	500	154	69	135	130	3.70
10	994	632	36	600	582	3.00
11	675	243	64	240	233	2.92
12	844	300	64	286	277	3.15
13	965	615	36	605	586	3.14
14	816	238	71	280	270	3.57
Total	8794	3568	864	3498	3375	52.00

Peso de Raíz de la primera y segunda socada

Parcela	Peso H 1(g)	Peso Seco 1(g)	Húmeda %	Peso H 2(g)	Peso Seco 2(g)	Húmeda %
1	397	164	58.69	8	6	25
2	457	203	55.58	12	10	16.67
3	491	237	51.73	14	11	21.43
4	510	244	52.16	20	16	20
5	500	330	34.00	25	20	20
6	500	230	54.00	12	9	25
7	500	236	52.80	15	11	26.67
8	500	239	52.20	20	16	20
9	500	245	51.00	10	8	20
10	500	223	55.40	12	9	25
11	500	256	48.80	13	10	23.08
12	500	283	43.40	18	14	22.22
13	500	235	53.00	10	7	30
14	560	234	58.21	16	13	18.75
Total	6915	3359	720.97	205	160	313.81

Peso de Tallo de la primera y segunda secada

Parcela	Peso H 1(g)	Peso Seco 1(g)	Húmeda %	Peso H 2(g)	Peso Seco 2(g)	Húmeda %
1	500	257	48.6	10	9	10.00
2	500	234	53.2	13	12	7.69
3	500	225	55	10	8	20.00
4	500	233	53.4	18	16	11.11
5	500	224	55.2	22	20	9.09
6	500	285	43	21	19	9.52
7	500	239	52.2	13	12	7.69
8	500	246	50.8	18	16	11.11
9	500	228	54.4	15	13	13.33
10	500	230	54	11	9	18.18
11	500	245	51	14	13	7.14
12	500	265	47	13	12	7.69
13	500	248	50.4	13	11	15.38
14	576	305	47.05	7	5	28.57
Total	7076	3464	715.25	198	175	176.53

Peso de Fruto de la primera y segunda secada

Parcela	Peso H 1(g)	Peso Seco 1(g)	Húmeda %	Peso H 2(g)	Peso Seco 2(g)	Húmeda %
1	94	30	68.09	25	22	12
2	259	78	69.88	70	63	10
3	500	150	70	140	127	9.29
4	500	138	72.4	130	118	9.23
5	500	144	71.2	143	130	9.09
6	500	215	57	200	182	9.00
7	500	154	69.2	140	128	8.57
8	500	156	68.8	150	136	9.33
9	196	57	70.92	46	41	10.87
10	87	28	67.82	20	18	10
11	500	195	61	180	163	9.44
12	775	359	53.68	300	273	9
13	500	190	62	180	162	10
14	198	60	69.70	70	63	10
Total	5609	1954	931.68	1794	1626	135.83

Anexo 3 (Cont.).

Secado de los componentes del cafeto Tipología II

Peso de rama y hoja de la primera y segunda socada

Parcela	Peso H 1(g)	Peso Seco 1(g)	Húmeda %	Peso H 2(g)	Peso Seco 2(g)	Húmeda %
1	500	168	66.4	165	158	4.24
2	500	151	69.8	148	142	4.05
3	500	145	71	140	134	4.29
4	500	163	67.4	155	149	3.87
5	500	162	67.6	158	150	5.06
6	500	163	67.4	155	148	4.52
Total	3000	952	409.6	921	881	26.03

Peso de Raíz de la primera y segunda socada

Parcela	Peso H 1(g)	Peso Seco 1(g)	Húmeda %	Peso H 2(g)	Peso Seco 2(g)	Húmeda %
1	500	265	47	13	12	7.69
2	500	301	39.8	12	11	8.33
3	500	282	43.6	13	12	7.69
4	500	274	45.2	7	6	14.29
5	500	225	55	8	7	12.50
6	500	309	38.2	18	16	11.11
Total	3000	1656	268.8	71	64	61.61

Peso de Tallo de la primera y segunda socada

Parcela	Peso H 1(g)	Peso Seco 1(g)	Húmeda %	Peso H 2(g)	Peso Seco 2(g)	Húmeda %
1	500	320	36	13	11	15.38
2	500	318	36.4	19	17	10.53
3	500	305	39	15	13	13.33
4	500	295	41	12	11	8.33
5	500	278	44.4	10	9	10.00
6	500	295	41	8	7	12.50
Total	3000	1811	237.8	77	68	70.08

Peso de Fruto de la primera y segunda socada

Parcela	Peso H 1(g)	Peso Seco 1(g)	Húmeda %	Peso H 2(g)	Peso Seco 2(g)	Húmeda %
1	500	165	67	160	141	11.88
2	500	170	66	159	139	12.58
3	500	173	65.4	165	145	12.12
4	500	178	64.4	170	150	11.76
5	500	169	66.2	160	141	11.88
6	500	172	65.6	170	149	12.35
Total	3000	1027	394.6	984	865	72.57

Anexo 3 (Cont.). Secado de los componentes del cafeto, Tipología III

Peso de rama y hoja de la primera y segunda secada

Parcela	Peso H 1(g)	Peso Seco1(g)	Húmeda %	Peso H 2(g)	Peso Seco 2(g)	Húmeda %
1	866	416	51.96	400	395	1.25
2	1240	670	45.97	600	565	5.83
3	1128	588	47.87	544	498	8.46
4	656	322	50.91	246	231	6.10
5	790	405	48.73	312	300	3.85
6	820	345	57.93	300	294	2.00
7	668	403	39.67	240	235	2.08
8	702	502	28.49	300	293	2.33
Total	6870	3651	371.54	2942	2811	31.90

Peso de raíz de la primera y segunda secada

Parcela	Peso H 1(g)	Peso Seco 1(g)	Húmeda %	Peso H 2(g)	Peso Seco 2(g)	Húmeda %
1	1332	506	62.01	16	14	12.50
2	1570	1154	26.50	18	16	11.11
3	1262	906	28.21	26	22	15.38
4	1616	938	41.96	18	17	5.56
5	1792	1054	41.18	16	15	6.25
6	2066	1078	47.82	14	13	7.14
7	2228	522	76.57	20	18	10.00
8	2344	1294	44.80	14	13	7.14
Total	14210	7452	369.04	142	128	75.09

Peso de Talle de la primera y segunda secada

Parcela	Peso H 1(g)	Peso Seco 1(g)	Húmeda %	Peso H 2(g)	Peso Seco 2(g)	Húmeda %
1	1144	646	43.53	22	20	9.09
2	1738	990	43.04	16	15	6.25
3	2058	1152	44.02	14	13	7.14
4	1404	716	49.00	14	13	7.14
5	1980	1206	39.09	12	11	8.33
6	1984	1266	36.19	12	11	8.33
7	2704	724	73.22	10	9	10.00
8	2062	1248	39.48	12	11	8.33
Total	15074	7948	367.58	112	103	64.63

Peso de Frute de la primera y segunda secada

Parcela	Peso H 1(g)	Peso Seco 1(g)	Húmeda %	Peso H 2(g)	Peso Seco 2(g)	Húmeda %
1	46	18	60.87	18	16	11.11
2	164	34	79.27	34	32	5.88
3	54	18	66.67	18	16	11.11
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
Total	264	70	206.80	70	64	28.10

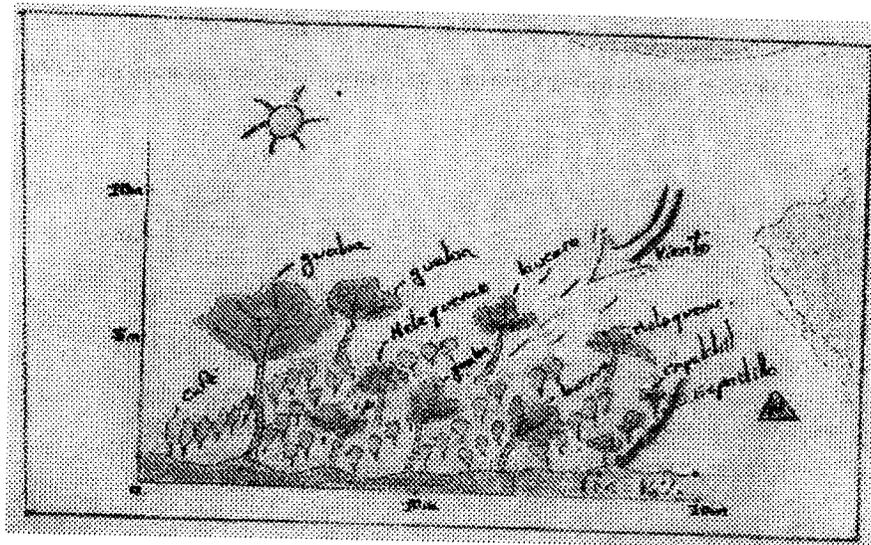
Anexo 4.

Tabla de Corrección Distancia Horizontal, H. S.M., Jinotega, 2002.

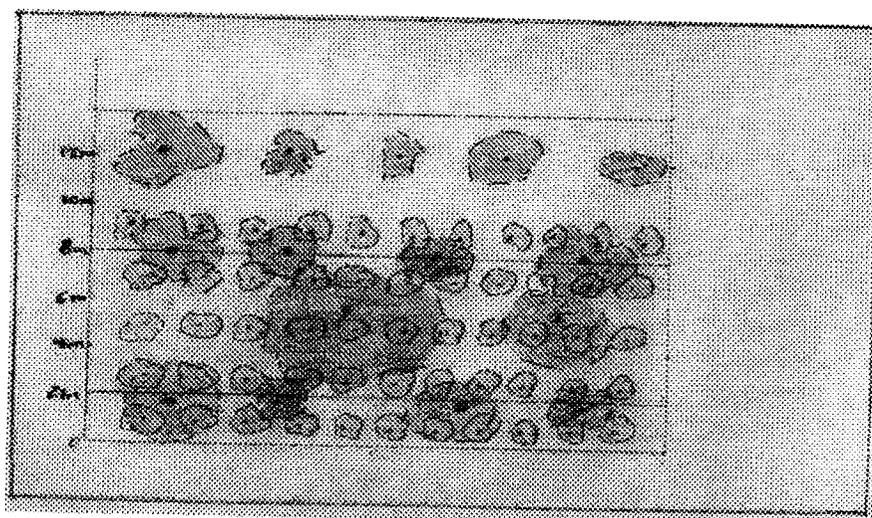
Pendiente		Distancia en terreno (m)						
°	%	5	10	15	20	25	30	35
5	9	5.02	10.04	15.06	20.08	25.10	30.11	35.13
6	11	5.03	10.06	15.08	20.11	25.14	30.17	35.19
7	12	5.04	10.08	15.11	20.15	25.19	30.23	35.26
8	14	5.05	10.10	15.15	20.20	25.25	30.29	35.34
9	16	5.06	10.12	15.19	20.25	25.31	30.37	35.44
10	18	5.08	10.15	15.23	20.31	25.39	30.46	35.54
11	19	5.09	10.19	15.28	20.37	25.47	30.56	35.66
12	21	5.11	10.22	15.34	20.45	25.56	30.67	35.78
13	23	5.13	10.26	15.39	20.53	25.66	30.79	35.92
14	25	5.15	10.31	15.46	20.61	25.77	30.92	36.07
15	27	5.18	10.35	15.53	20.71	25.88	31.06	36.23
16	29	5.20	10.40	15.60	20.81	26.01	31.21	36.41
17	31	5.23	10.46	15.69	20.91	26.14	31.37	36.60
18	32	5.26	10.51	15.77	21.03	26.29	31.54	36.80
19	34	5.29	10.58	15.86	21.15	26.44	31.73	37.02
20	36	5.32	10.64	15.96	21.28	26.60	31.93	37.25
21	38	5.36	10.71	16.07	21.42	26.78	32.13	37.49
22	40	5.39	10.79	16.18	21.57	26.96	32.36	37.75
23	42	5.43	10.86	16.30	21.73	27.16	32.59	38.02
24	45	5.47	10.95	16.42	21.89	27.37	32.84	38.31
25	47	5.52	11.03	16.55	22.07	27.58	33.10	38.62
26	49	5.56	11.13	16.69	22.25	27.82	33.38	38.94
27	51	5.61	11.22	16.83	22.45	28.06	33.67	39.28
28	53	5.66	11.33	16.99	22.65	28.31	33.98	39.64
29	55	5.72	11.43	17.15	22.87	28.58	34.30	40.02
30	58	5.77	11.55	17.32	23.09	28.87	34.64	40.41
31	60	5.83	11.67	17.50	23.33	29.17	35.00	40.83
32	62	5.90	11.79	17.69	23.58	29.48	35.38	41.27
33	65	5.96	11.92	17.89	23.85	29.81	35.77	41.73
34	67	6.03	12.06	18.09	24.12	30.16	36.19	42.22
35	70	6.10	12.21	18.31	24.42	30.52	36.62	42.73
36	73	6.18	12.36	18.54	24.72	30.90	37.08	43.26
37	75	6.26	12.52	18.78	25.04	31.30	37.56	43.82
38	78	6.35	12.69	19.04	25.38	31.73	38.07	44.42
39	81	6.43	12.87	19.30	25.74	32.17	38.60	45.02
40	84	6.53	13.05	19.58	26.11	32.64	39.16	45.79
41	87	6.63	13.25	19.88	26.50	33.13	39.75	46.38
42	90	6.73	13.46	20.18	26.91	33.64	40.37	47.10
43	93	6.84	13.67	20.51	27.35	34.18	41.02	47.86
44	97	6.95	13.90	20.85	27.80	34.75	41.70	48.66
45	100	7.07	14.14	21.21	28.28	35.36	42.43	49.50

Anexo 5.

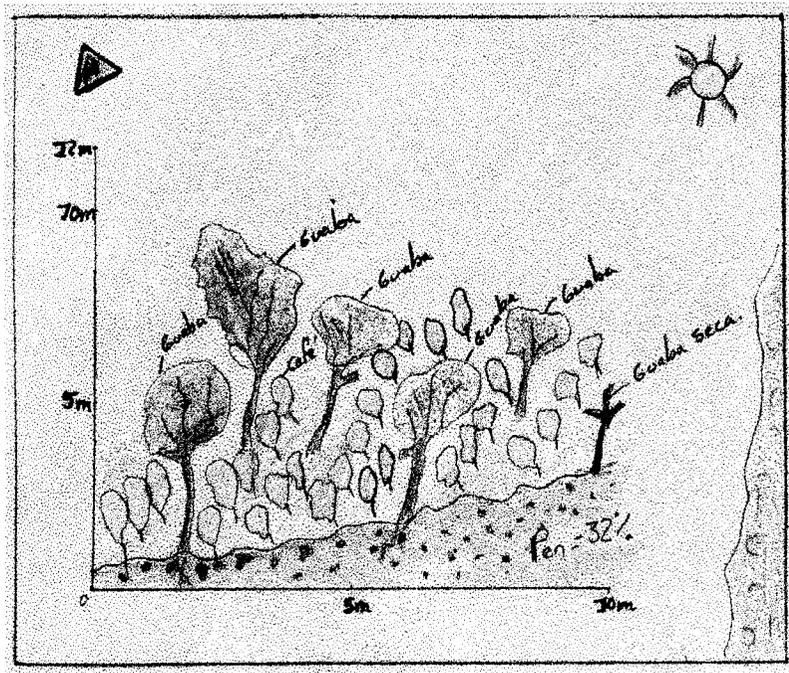
Perfil vertical de la tipología I en la hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.



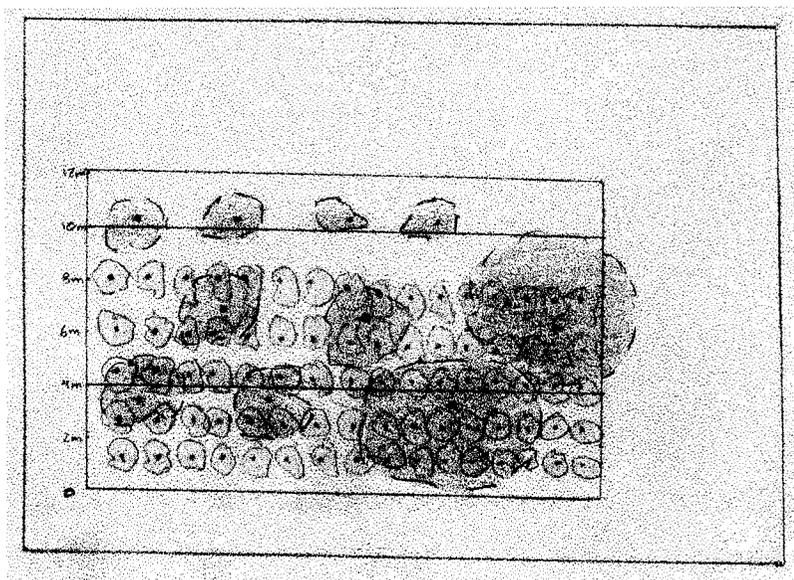
Perfil horizontal de la tipología I en la hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.



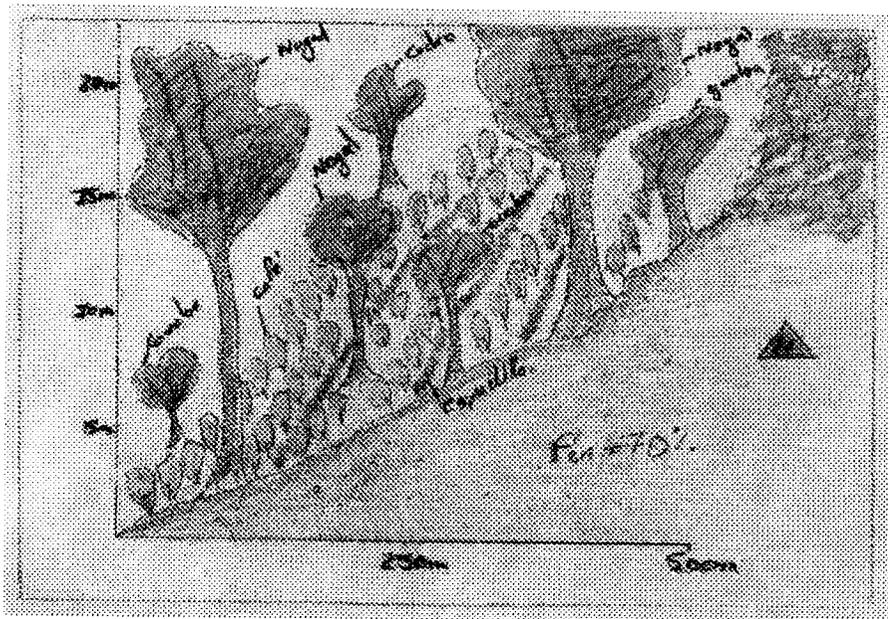
Perfil vertical de la tipología II en la hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.



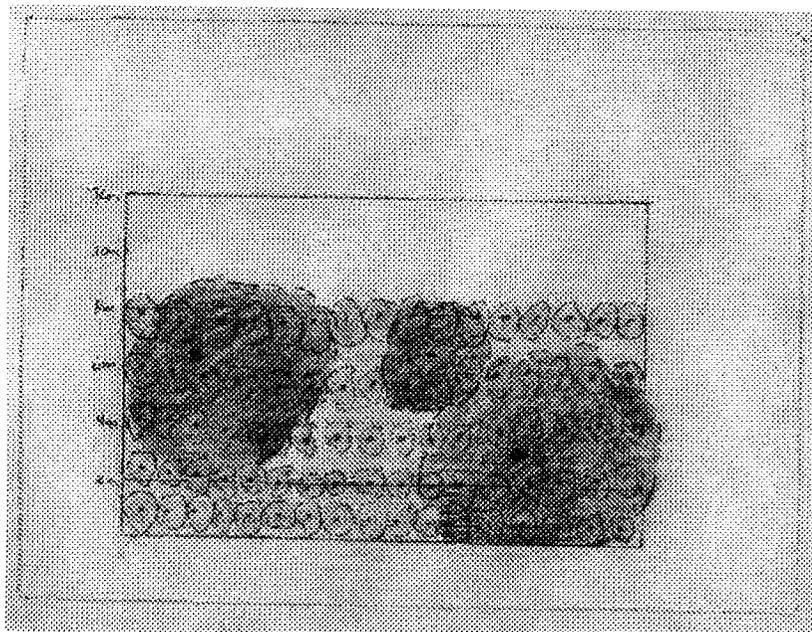
Perfil horizontal de la tipología II en la hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.



Perfil vertical de la tipología III en la hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.



Perfil horizontal de la tipología III en la hacienda Santa Maura, Jinotega, 2002.



Anexo 6.

**Biomasa seca por componente (Fuste, Ramas grandes, Ramas pequeñas, Follaje)
de los árboles extraídos, H. S.M., Jinotega, 2002.**

SP	DAP	BIOMASA DE FUSTE (TON)	BIOMASA DE RAMAS GRANDES (TON)	BIOMASA DE RAMAS PEQUEÑAS (TON)	BIOMASA DE FOLLAJE (TON)	BIOMASA TOTAL (TON)
Guaba	5	0.0027	0.0024	0.0012	0.0008	0.0071
Helequeme	5.1	0.0013	0.0008	0.0010	0.0008	0.0039
Búcaro	5.5	0.003	0.0006	0.0005	0.0004	0.0018
Guaba	6.5	0.0018	0.0047	0.0023	0.0031	0.0119
Helequeme	7	0.0017	0.0014	0.0032	0.0014	0.0077
Búcaro	7	0.0004	0.0075	0.0007	0.0011	0.0098
Guaba	7.2	0.0027	0.0065	0.0016	0.0035	0.0143
Guaba	9	0.0024	0.0163	0.0062	0.0133	0.0322
Helequeme	10	0.0032	0.0107	0.0004	0.0026	0.0169
Búcaro	10	0.0011	0.0139	0.0032	0.0005	0.0187
Guaba	10.7	0.0102	0.0226	0.0062	0.0077	0.0467
Guaba	11.2	0.0126	0.0322	0.0036	0.0006	0.0543
Guaba	12	0.0112	0.0253	0.0007	0.0127	0.0499
Guaba	12.8	0.0170	0.0155	0.0057	0.0070	0.0452
Guaba	14.5	0.0148	0.0359	0.0068	0.0061	0.0636
Guaba	17	0.0247	0.0947	0.0101	0.0108	0.1403

Anexo 7.

Ecuaciones alo métrica, H. S.M., Jinotega, 2002.

Modelo	R	R2	Es	
$Y = -2.99 + 0.134 * DAP$	0.91	0.83	0.22	
$Y = 42.69 - 12.800(D) + 1.242(D)^2$	0.92	0.84	-	Brown, S. 1997

Nota : La ecuación desarrollada en este trabajo se recomienda para las especies propias de la hacienda en los sistemas agroforestales para evitar errores en la estimación de la cantidad de carbono almacenado por la variabilidad del clima de una zona a otra.

Anexo 8.

Análisis de varianza para el contenido de carbono del componente tallo en café para las tres tipologías de estudio.

Variables dependientes: Componente tallo

	DF	Suma/cuadrado	Media/cuadrado	F Value	Pr > F
Modelo	2	0.04133043	0.02066522	48.95	<.0001 **
Error	25	0.01055446	0.00042218		
Total	27	0.05188489			

R ²	CV	Raíz MSE	Media /Raíz
0.80	39.42	0.020547	0.052125