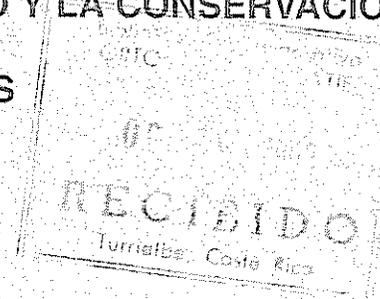


CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION
ESCUELA DE POSGRADUADOS



ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN BOSQUES SECUNDARIOS
EN EL MUNICIPIO DE SAN CARLOS, NICARAGUA

POR

CHELSIA MORAES FERREIRA

CATIE

Turrialba, Costa Rica
2001

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA

PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN

ESCUELA DE POSGRADO



**ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN BOSQUES SECUNDARIOS EN EL MUNICIPIO
DE SAN CARLOS, NICARAGUA**

POR

CHELSIA MORAES FERREIRA

CATIE

Turrialba, Costa Rica

2001

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

**ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN BOSQUES SECUNDARIOS EN EL MUNICIPIO
DE SAN CARLOS, NICARAGUA**

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

Magíster Scientiae

Por:

CHELSIA MORAES FERREIRA

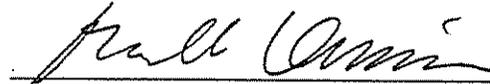
Turrialba, Costa Rica

2001

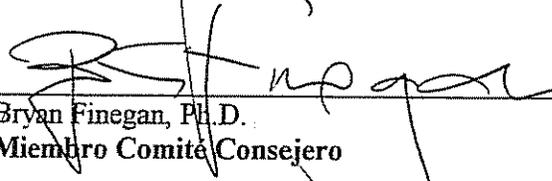
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

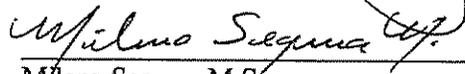
FIRMANTES:



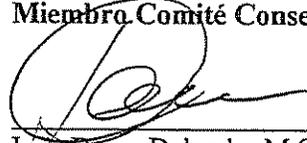
Markku Kanninen, Ph.D.
Consejero Principal



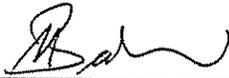
Bryan Finegan, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



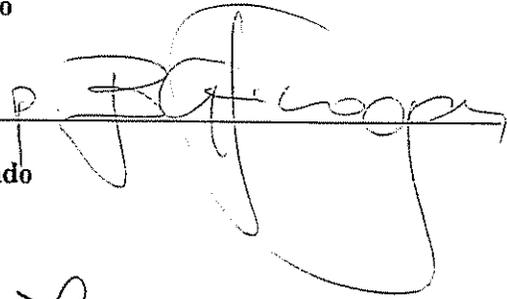
Milena Segura, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



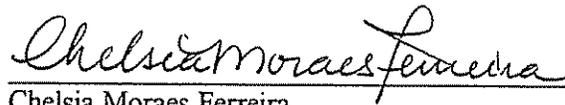
Luis Diego Delgado, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Lucio Pedroni, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Ali Moslemi, Ph.D.
Director Escuela de Posgrado



Chelsia Moraes Ferreira
Candidata

DEDICATORIA

Dedico esta tesis,

Especialmente a mi querido esposo, Eduardo Somarriba Chávez, que supo soportar mis crisis, irritación, tristeza, llanto, frustración e ira, así como compartir la alegría, la risa, éxito, el logro y la felicidad.

A todos los amigos y amigas que siempre estuvieron presentes, aún cuando no físicamente, y que siempre tuvieron palabras de aliento y ánimo para proseguir.

A todos los amigos y amigas que conquisté acá en el CATIE, a quienes desde ya extraño.

A Hilda Lezcano, Daniele Campos, Catarina Amaral, Maria da Penha Padovan, Luisa Trujillo, Paulo Amaral y Fernando Bermúdez, amigos muy especiales.

A todos, les dejó un mensaje:

“ a ausencia não invalida o afeto e nem sei se o convívio permanente não será, antes, um elemento perturbador das relações do que um modo de fortalecê-las.”

Maria Julieta Drummond de Andrade, 1986

AGRADECIMIENTO

Agradezco,

Primeramente a Markku Kanninen, mi profesor consejero, por todo el apoyo brindado durante la realización de este estudio. También agradezco al Proyecto Cambio de Uso de la Tierra y Flujos de Carbono en Centroamérica (Universidad de Helsinki/CATIE), por el soporte financiero sin el cual no podría haber realizado la tesis.

Al Profesor Bryan Finegan, miembro de mi comité asesor, por toda la paciencia y ayuda prestados en los momentos cruciales de la jornada, incluyendo el incentivo y la confianza en mí.

A International Tropical Timber Organization (ITTO) por la beca que me permitió cubrir parcialmente los costos de la maestría.

A IDEA WILD, el equipo donado para la realización de las actividades de campo.

A Luis Diego Delgado, excelente profesional y especial amigo, por todas las horas dedicadas al enriquecimiento de mi trabajo y a la tranquilización de mi espíritu; agradezco a Hugo Brenes por el apoyo logístico en el procesamiento de los datos, por la comprensión y presteza en los pedidos de última hora y por el cariño de su amistad.

A Milena Segura Madrigal por sus consejos y enseñanzas en el campo forestal, por su compañerismo en el trabajo y amistad.

A todo el personal de la Biblioteca Orton, tan amables y siempre prontos a ayudarme con las búsquedas de libros y informaciones.

A Don Cristóbal Góngora, Candelario Altamirano Pichardo, Gabriela Amador, Glenda Rayo y Don Orestes Medina por toda la ayuda que me brindaron en las actividades de campo en Nicaragua. A Dona Coco Teerán por hacer mi estadía en San Carlos mucho más agradable.

Y agradezco especialmente a Dios, por haberme dado la fortaleza, la salud, la tenacidad y la paciencia para alcanzar los objetivos propuestos al inicio de la jornada.

FERREIRA, CM. 2001. Almacenamiento de carbono en bosques secundarios en el Municipio de San Carlos, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 100 p.

Palabras claves: biomasa aérea, bosques tropicales, carbono en suelos, composición florística, cronosecuencia, diversidad, estructura, hojarasca, modelos alométricos, riqueza, sucesión forestal.

RESUMEN

Se estudiaron 12 bosques secundarios de edades entre 6 y 25 años, en el municipio de San Carlos, Nicaragua, con el objetivo de evaluar su potencial como mitigadores del efecto invernadero. Para esto se determinó y evaluó parámetros florísticos como densidad, estructura, composición, riqueza y diversidad; se estimó el carbono almacenado la biomasa aérea total, en la hojarasca y en el suelo en bosques de diferentes edades y caracterizó la condición de sitio de los bosques. El análisis de la condición de sitio evaluó variables como pH, % de arcilla, saturación de bases y contenido de materia orgánica. Seis de estos bosques tenían la agricultura como uso anterior del suelo, mientras que en los demás este era desconocido. Se instalaron seis parcelas temporales de muestreo de 250 m² y 45 de 450 m², procurando un mínimo de 15 fustales por parcela. Para estimar el contenido de carbono almacenado en los árboles individuales de estos bosques se utilizaron modelos alométricos de biomasa de los árboles de diámetro ≥ 5.0 cm, elaborados con base en métodos destructivos. Se cortaron 160 árboles, 133 de dap ≤ 9.9 cm y 27 árboles de dap ≥ 10 cm, estos últimos distribuidos en 18 especies con diámetros entre 12.7 y 66.6 cm. Se evaluaron doce modelos para la estimación de la biomasa total arriba del suelo y sus fracciones (fuste, ramas y hojas).

Los resultados de composición florística son presentados solamente para los individuos leñosos de dap ≥ 10.0 cm mientras que los resultados de biomasa y carbono almacenados son presentados para individuos leñosos de dap ≥ 5.0 cm. La densidad, área basal, riqueza y diversidad de especies fueron diferentes en los bosques estudiados, aumentando sus valores conforme incrementaba la edad. Los más diversos, ricos, densos y de mayor área basal fueron los de mayor edad (≥ 16 años). Las familias más importantes, en cuanto al número de individuos fueron: Sterculiaceae, Rubiaceae, Fabacea/Papilionoidea, Cecropiaceae, Ulmaceae, Tiliaceae y Anacardiaceae, las cuales comúnmente se

encuentran en bosques secundarios neotropicales. De acuerdo a la importancia de ciertas especies, se lograron establecer tres diferentes grupos florísticos de bosques; factores como la edad y la cercanía podrían ser consideradas como algunas de las causas de la similitud. Las variables de sitio evaluadas fueron diferentes en los bosques estudiados exceptuando la materia y el carbono orgánicos. Se observó una relación entre los contenidos de P y Mg del suelo y la composición florística de los bosques.

El modelo de mejor ajuste para la estimación de la biomasa total, fue $\log_{10}Y = -4.4661 + 2.707 \log_{10} D_{ap}$, con un $R^2 = 0.90$, $CME = 0.2561$ e Índice de Furnival = 0.000008675. El carbono almacenado arriba del suelo varió de 7.3 Mg ha^{-1} en el bosque de 6 años de edad a 66.8 Mg ha^{-1} en el bosque de 10 años de edad; estos valores fueron semejantes a los reportados en otros estudios (Saldarriaga *et al.* 1988, Johnson *et al.* 2001). Los valores de biomasa de hojarasca y el carbono almacenado en ella, variaron entre 2.77 y 1.27 Mg ha^{-1} a 9.17 y 4.22 Mg ha^{-1} , respectivamente. El carbono almacenado en el suelo varió de 45.12 a $100.96 \text{ Mg ha}^{-1}$ en la profundidad de 0-30 cm y de 25.04 a $106.21 \text{ Mg ha}^{-1}$ en la profundidad de 30-60 cm, en bosques de 25, 16, 8 y 16 años de edad, respectivamente. Aparentemente, la edad está relacionada al contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea de estos bosques pero no con las cantidades de carbono aportadas por la hojarasca y por la materia orgánica del suelo.

FERREIRA, CM. 2001. Carbon storage in secondary forests in the Municipal District of San Carlos, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 100 p.

Key words: aboveground biomass, allometric models, chronosequence, diversity, floristic composition, forest succession, litter, richness, soil carbon, structure, tropical forests.

ABSTRACT

The potential for accumulating organic carbon and thus contribute to mitigate global warming was evaluated in twelve secondary forests with ages between 6 and 25 years old in the municipal district of San Carlos, Nicaragua. Tree density, basal area, plant species richness, diversity and the floristic composition, stored carbon in biomass, leaf litter and soil characteristics (pH, % clay, base saturation and organic matter content) were evaluated in all forests. Six of these forests had previously been used as crop lands whereas; previous use was unknown in the remaining forests. Trees were measured in 51 temporary plots, including six of 250 m² and 45 of 450 m², each having a minimum of 15 individuals of dbh \geq 10cm per plot. Allometric models were developed based on destructive measurement of 160 trees, including 18 tree species and dbh ranging between 12.7 and 66.6 cm; a total of 12 models were tested and the one with best fit selected to estimate tree biomass fractions (total, stem, branches and leaves) based on dbh measurements.

Tree density, basal area, richness and species diversity differed among the 12 secondary forests studied; all figures increased as forest aged. The most important botanical families in terms of number of individuals were Sterculiaceae, Rubiaceae, Fabacea/Papilionoidea, Cecropiaceae, Ulmaceae, Tiliaceae and Anacardiaceae. All these families are common to most neotropical secondary forests. Forests were grouped in three classes based on their species composition; similar age and closeness between forest may explain within group similarities. Although soil and site variables differed between forests, soil organic matter and organic carbon did not differed between forests. No relationship was detected between these variables and botanical composition or forest structure, with exception of P and Mg contents.

Total tree biomass can be estimated by $\log_{10}Y = -4.4661 + 2.707 \log_{10} \text{dbh}$, with $R^2 = 0.90$, CME = 0.2561 and Furnival Index = 0.000008675. Above ground carbon stored in tree biomass varied between 7.3 Mg ha⁻¹ in a six year old forest up to 66.8 Mg ha⁻¹ in a ten year old forest; these values were similar to other reported in previous studies (Saldarriaga et al. 1988, Jonson et al. 2001). Biomass and the stored carbon in the leaf litter varied between 2.77 and 1.27 Mg ha⁻¹ up to 9.17 and 4.22 Mg ha⁻¹, respectively. Soil carbon varied between 45.12 to 100.96 Mg ha⁻¹ in top 30 cm of soil and from 25.04 to 106.21 Mg ha⁻¹ at 30-60 cm in the soil. Stored carbon in above ground biomass seemed to be related to forest age while carbon in both soil and litter were not directly related to it.

CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vii
ÍNDICE GENERAL	ix
LISTA DE CUADROS	xii
LISTA DE FIGURAS	xiii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 General	3
1.2.2 Específicos	3
1.3 HIPÓTESIS DEL ESTUDIO	3
✓ 1.4 BIBLIOGRAFÍA	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA	8
2.1 La dinámica de los bosques secundarios y su influencia en los patrones de producción de biomasa	8
2.2 La producción de biomasa, el almacenamiento y la fijación de carbono de los bosques secundarios.	9
2.2.1 Condiciones de sitio	9
2.2.2 Edad de la vegetación	10
2.2.3 Producción de biomasa en los diferentes componentes	11
✓ 2.3 BIBLIOGRAFIA	12
3 COMPOSICIÓN FLORÍSTICA Y ESTRUCTURA DE UNA CRONOSECUENCIA DE BOSQUES SECUNDARIOS DEL MUNICIPIO DE SAN CARLOS, NICARAGUA	15
RESUMEN	15
ABSTRACT	16
3.1 INTRODUCCIÓN	17
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.2.1 Descripción del área de estudio	19
3.2.1.1 Ubicación	19
3.2.1.2 Características del clima, topografía, suelos y vegetación	21

3.2.2	Definición de la población, selección de parches de bosques secundarios y tipo de muestreo utilizado	21
3.2.3	Ubicación, tamaño y forma de la unidad de muestreo	24
3.2.4	Colecta de datos de campo	25
3.2.4.1	Vegetación	25
3.2.4.2	Condición de sitio	25
3.2.5	Análisis de los datos	25
3.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
3.3.1	Estructura	28
3.3.2	Composición florística	30
3.3.3	Riqueza y diversidad	31
3.3.4	Similitud florística entre bosques	34
3.3.5	Caracterización de las condiciones de sitio y su relación con la composición florística de los bosques.	37
3.4	CONCLUSIONES	39
✓ 3.5	BIBLIOGRAFÍA	41
4.	ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN BOSQUES SECUNDARIOS DEL MUNICIPIO DE SAN CARLOS NICARAGUA	46
	RESUMEN	46
	ABSTRACT	47
4.1	INTRODUCCIÓN	48
4.2	MATERIALES Y MÉTODOS	49
4.2.1	Descripción del área de estudio	49
4.2.1.1	Ubicación	49
4.2.1.2	Características climáticas y topográficas	50
4.2.1.3	Suelos	50
4.2.2	Definición de la población, selección de bosques secundarios y tipo de muestreo utilizado	50
4.2.3	Descripción de los bosques estudiados	54
4.2.4	Ubicación, tamaño y forma de la unidad de muestreo	55
4.2.5	Colecta de datos de campo	56
4.2.5.1	Vegetación	56
4.2.5.2	Suelos	57
4.2.5.3	Muestreo de los árboles	57

4.2.5.5	Construcción de modelos alométricos	58
4.2.5.6	Análisis de los datos	60
4.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
4.3.1	Caracterización de los suelos	61
4.3.2	Biomasa de los árboles muestreados	62
4.3.3	Construcción de modelos alométricos	64
4.3.4	Biomasa y carbono almacenados en el ecosistema	67
4.3.4.1	Biomasa y carbono aéreo total	67
4.3.4.2	Biomasa y carbono de hojarasca	70
4.3.4.3	Carbono almacenado en el suelo	71
4.3.4	Almacenamiento de carbono por tipos de bosques	73
4.3.5	Los grupos ecológicos y el carbono almacenado	73
4.3.6	Relación del carbono almacenado con las variables de sitio	75
4.4	CONCLUSIONES	78
4.5	BIBLIOGRAFÍA	80
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
	ANEXOS	86

LISTA DE CUADROS

ARTICULO 1

Cuadro 1. Ubicación, edad, uso anterior y número de parcelas temporales de muestreo establecidas en los bosques secundarios estudiados en San Carlos, Nicaragua.	24
Cuadro 2. Índices de diversidad de Shannon, Simpson y Fisher, sus desviaciones estándares (STD) y comparaciones de Tukey*, para los bosques de San Carlos, Nicaragua.	32
Cuadro 3. Valores promedios, mínimos y máximos y desviaciones estándares de algunas variables de suelo de los 12 bosques secundarios del municipio de San Carlos, Nicaragua.	37

ARTICULO 2

Cuadro 1. Ubicación, edad, uso anterior y número de parcelas temporales de muestreo establecidas en los bosques secundarios estudiados en San Carlos, Nicaragua.	54
Cuadro 2. Especies, número de individuos y Dap de los árboles de Dap \geq 5.0 cm muestreados.	59
Cuadro 3. Valores promedios, mínimos y máximos y desviaciones estándares de algunas variables de suelo de los 12 bosques secundarios del municipio de San Carlos, Nicaragua.	61
Cuadro 4. Modelos alométricos seleccionados para la estimación de la biomasa aérea total y sus fracciones.	66
Cuadro 5. Distribución de la biomasa aérea total y hojarasca (Mg ha^{-1}) de los bosques secundarios de San Carlos, Nicaragua	69
Cuadro 6. Distribución del carbono almacenado (Mg ha^{-1}) en la biomasa aérea total, en la hojarasca y en el suelo de los bosques secundarios de San Carlos, Nicaragua.	70

LISTA DE FIGURAS

ARTICULO 1

Figura 1. Localización del municipio de San Carlos, departamento de Río San Juan, Nicaragua.	19
Figura 2. Detalle del municipio de San Carlos y de algunas de las unidades de muestreo departamento de Río San Juan, Nicaragua. Fuente: Unidad de SIG/CATIE (2001).	20
Figura 3. Número de individuos por hectárea en bosques secundarios de diferentes edades, San Carlos, Nicaragua.	28
Figura 4. Área basal por hectárea en función de la edad, bosques secundarios, San Carlos, Nicaragua. Cada punto representa el área basal de una parcela de 250 ó 450 m ² .	29
Figura 5. Número de especies arbóreas (S) en función de la edad de los bosques secundarios, San Carlos, Nicaragua. Cada punto representa el número de especies en parcelas de 450 m ² .	31
Figura 6. Curvas de acumulación de especies (S) a) por número de individuos muestreados, b) por área muestreada, bosques secundarios, San Carlos, Nicaragua.	33
Figura 7. Análisis de ordenación DECORANA de los bosques según su composición florística.	36

ARTICULO 2

Figura 1. Localización del municipio de San Carlos, departamento de Río San Juan, Nicaragua.	49
Figura 2. Detalle del municipio de San Carlos y de algunas de las unidades de muestreo departamento de Río San Juan, Nicaragua. Fuente: Unidad de SIG/CATIE (2001).	51
Figura 3. Distribución de la biomasa aérea total en las fracciones por clases diamétricas, a) para árboles de $5.0 \leq Dap \leq 9.9$ cm; b) para árboles de $Dap \geq 10$ cm.	63

Figura 4. Factor de expansión de biomasa (FEB) en función de la biomasa de fuste para, a) árboles de Dap < 10 cm, b) árboles de Dap ≥ 10 cm.	63
Figura 5. Relación del Factor de Expansión de Biomasa (FEB) con el Dap de los 160 árboles muestreados, a) para árboles de Dap < 10 cm, b) para árboles de Dap ≥ 10 cm.	64
Figura 6. Relación entre la altura total y el Dap de los árboles muestreados.	65
Figura 7. Relación entre la biomasa aérea total (real) y la estimada, para los 160 árboles muestreados, a) $\text{Log}_{10} Y = - 4.4661 + 2.707 \log_{10} \text{Dap}$, b) $\text{lnDW} = - 1.9968 + 2.4128 \text{ln}(\text{DBH})$ Nelson <i>et al.</i> (1999).	66
Figura 8. a) Biomasa aérea total y b) carbono aéreo almacenado en función de la edad para bosques secundarios de San Carlos, Nicaragua. Los números representan los bosques descritos en el Cuadro 1.	68
Figura 9: a) Biomasa aérea total y área basal, b) Carbono almacenado en la biomasa aérea total en función del área basal en cada una de las 51 parcelas de muestreo.	68
Figura 10. Carbono almacenado (Mg ha^{-1}) en la hojarasca en función de la edad de los para a) en cada uno de los 12 bosques secundarios, b) en cada una de las 51 parcelas, San Carlos, Nicaragua.	70
Figura 11. Distribución del carbono total almacenado (Mg ha^{-1}) entre los diferentes componentes del sistema en función de la edad.	71
Figura 12. Carbono promedio almacenado en el suelo (Mg ha^{-1}), a) a una profundidad de 0-30 cm, b) a una profundidad de 30-60 cm.	72
Figura 13. Contribución de los grupos ecológicos al almacenamiento de carbono en función de la edad de bosques secundarios en el municipio de San Carlos, Nicaragua.	74
Figura 14. Contribución de los grupos ecológicos al área basal a lo largo de la cronosecuencia de bosques secundarios.	75
Figura 15. Relación entre los porcentajes de arcilla y carbono orgánico de suelos en los bosques secundarios, San Carlos, Nicaragua.	76
Figura 16. Relación entre la biomasa de hojarasca y el contenido de calcio en los suelos.	77

1. INTRODUCCION

La mayoría de las estrategias de mitigación del efecto invernadero tienen como objetivo la reducción de la concentración de CO₂ en la atmósfera, el principal gas de efecto invernadero. Como los árboles, durante su crecimiento actúan como sumideros de carbono al absorber el CO₂ y almacenar carbono en la madera (Ciesla 1996, Dabas y Bhatia 1996), el mantenimiento y el incremento de reservas de carbono, como por ejemplo en los bosques naturales o plantaciones forestales, se ha convertido en un servicio ambiental de potencial valor económico en países en vías de desarrollo (Araya 1998, Ramírez *et al.* 1999, Tattenbach y Pedroni 1999, Castro 1999, Ortíz y Kanninen 1999, Segura 2000, Campos *et al.* 2000). Además, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) recomienda la utilización de los bosques para la mitigación del aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero (Watson *et al.* 2000).

La producción y consumo de combustibles fósiles, la utilización de la madera como fuente de energía, el cambio de uso de la tierra (deforestación), la agricultura de tala y quema y la renovación de potreros por el uso de fuego, entre otros, emiten una gran cantidad de gases a la atmósfera terrestre, contribuyendo al fortalecimiento del efecto invernadero (Sedjo 1989, Houghton *et al.* 1991, Dabas y Bhatia 1996, Fujisaka *et al.* 1998, Malhi y Grace 2000, Watson *et al.* 2000). Este efecto ocurre naturalmente desde el comienzo de la vida en la Tierra y no causaría mayores preocupaciones si las cantidades de gases liberados a la atmósfera, principalmente CO₂, no hubiesen aumentado considerablemente (Bazzaz y Fajer 1992, Watson *et al.* 2000). Las concentraciones de carbono atmosférico aumentaron cerca de 15-25% en los últimos 100 años, principalmente por la quema de combustibles fósiles (Houghton *et al.* 1983, Bekkering 1992) y esto aumentó la temperatura promedio de la Tierra cerca de 0.4° C en el siglo pasado (Hansen *et al.* 1981).

Los bosques secundarios pueden ser sumideros del carbono ya que ellos rápidamente acumulan biomasa durante las fases sucesionales (Brown y Lugo 1990, Vieira *et al.* 1996, Hughes *et al.* 1999, Guariguata y Ostertag 2000), especialmente si la presión humana sobre esas áreas es reducida, lo que garantiza su permanencia a largo plazo (Lugo y Brown 1992). El potencial de sumidero de carbono de un bosque secundario depende de muchos factores bióticos y abióticos, como la zona de vida donde se encuentra el bosque,

las condiciones de sitio, la composición florística, entre otros. Además, la habilidad de un árbol o un bosque para secuestrar el carbono atmosférico no es solamente una función de factores climáticos o edáficos, regionales o locales, sino que también es una función de la edad o etapa de desarrollo (Dabas y Bhatia 1996).

Los bosques secundarios cubren en América Latina 165×10^6 ha (FAO 1990 citado por Carazo y Zapata 1997) y, estos están rápidamente transformándose en una cobertura bastante común en las regiones tropicales y subtropicales (Brown y Lugo 1990, Weaver *et al.* 1997, Wadsworth 1987, Hughes *et al.* 1999, Guggenberger y Zech 1999, Hashimoto *et al.* 2000). En Nicaragua, en el municipio de San Carlos, departamento de Río San Juan, los bosques secundarios o barbechos forestales ocupan cerca de 16.03% del territorio, lo que significa 226 km^2 (PMIRH 2000). Según, Smith *et al.* (en prensa) muchos de esos bosques son resultado del abandono de tierras agrícolas durante el período de guerra. Además, en el departamento de Río San Juan, los bosques secundarios han sido conservados principalmente para la producción de *Cephaelis ipecacuana* (raicilla), una planta medicinal y para la protección de fuentes de agua y para la producción de forraje (Smith *et al.* en prensa).

Según Skog y Nicholson (1998) los aumentos en las concentraciones de CO_2 pueden ser compensados, con ciertas limitaciones, por la acumulación de carbono por la biomasa vegetal y por los océanos. Sin embargo, conocer el potencial de fijación de carbono de los ecosistemas terrestres es todavía un gran desafío para los investigadores.

Esta investigación, parte del Proyecto Cambio de Uso de la Tierra y Flujos de Carbono en Centroamérica (CATIE-Universidad de Helsinki), contribuye al estudio de los bosques secundarios, en cuanto a su papel como sumidero de carbono, estimando el valor de esa contribución. Los resultados de esta investigación son presentados en dos artículos; el primero acerca de la composición florística y estructura de los bosques secundarios y el segundo de la capacidad de almacenamiento de carbono. Aún que la investigación se hizo para cuatro diferentes clases de vegetación, los resultados de composición florística son presentados solamente para los individuos leñosos de $\text{dap} \geq 10 \text{ cm}$ mientras que los resultados de biomasa y carbono almacenados son presentados para individuos leñosos de $\text{dap} \geq 5 \text{ cm}$.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 General

Evaluar la capacidad de los bosques secundarios para almacenar carbono orgánico, contribuyendo así a la mitigación del efecto invernadero.

1.2.2 Específicos

Determinar y evaluar la densidad, estructura, composición, riqueza y diversidad de bosques secundarios de diferentes edades.

Estimar la biomasa aérea total y de las fracciones de ramas y fuste de árboles individuales en bosques secundarios por medio de modelos alométricos.

Estimar el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea total, en la hojarasca y en el suelo en bosques secundarios de diferentes edades en el municipio de San Carlos.

Establecer la relación entre la composición florística, estructura y el almacenamiento de carbono de bosques secundarios diferentes edades en el municipio de San Carlos.

1.3 HIPOTESIS DEL ESTUDIO

La densidad, estructura, composición, riqueza y diversidad difieren en los bosques secundarios de diferentes edades en el municipio de San Carlos.

La distribución de la biomasa del árbol entre las fracciones de fuste y ramas varía en función de su diámetro.

El almacenamiento de carbono en la biomasa aérea total, en la hojarasca y en el suelo difiere en bosques secundarios de diferentes edades en el municipio de San Carlos.

La composición florística y la estructura influyen en el almacenamiento de carbono de los bosques secundarios de San Carlos, Nicaragua.

1.4 BIBLIOGRAFIA

Araya, MV. 1998. Financiamiento de bosques y plantaciones forestales: pago por servicios ambientales. *Revista Forestal Centroamericana* 22:13-20.

Bazzaz, F; Fajer, ED. 1992. La vida de las plantas en un mundo enriquecido en CO₂. *Investigación y Ciencia* Marzo 1992: 6-13.

Bekkering, TD. 1992. Using tropical forests to fix atmospheric carbon: the potential in theory and practice. *Ambio* 21(6):414-419.

Brown, S; Lugo, AE. 1990. Tropical secondary forests. *Journal of Tropical Ecology* 6:1-32.

_____; Lugo, AE. 1992. Tropical forests as sinks of atmospheric carbon. *Forest Ecology and Management* 54:239-255.

Campos, JJ; Ortiz, R; Smith, J. 2000. Almacenamiento de carbono y conservación de biodiversidad por medio de actividades forestales en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central, Costa Rica. Turrialba, C.R., CATIE/CIFOR. 27 p. (Serie Técnica. Informe Técnico N° 314).

Carazo, VR; Zapata, JB. eds. Propuesta de Pucallpa sobre el Desarrollo Sostenible del Bosque Secundario Tropical en América Latina. 1997. *In Taller Internacional sobre el Estado Actual y Potencial de Manejo y Desarrollo del Bosque Secundario Tropical en América Latina (1997, Pucallpa, Perú). Memorias, Pucallpa, Perú, TCA/Consejo Centroamericano de Bosques y Áreas Protegidas/GTZ/Ministerio de Cooperación Técnica del Reino de los Países Bajos/IKC Natur Beheer. p. 3-10.*

- Castro Salazar, R. 1999. Los servicios ambientales de los bosques: el caso de cambio climático. México, D.F, PNUD. 142 p.
- Ciesla, WM. 1996. Cambio climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. Roma, FAO.147 p. (Estudios FAO Montes n° 126).
- Dabas, M; Bhatia, S. 1996. Carbon sequestration through afforestation: role of tropical industrial plantations. *Ambio* 25(5):327-330.
- Fujisaka, S; Castilla, C; Escobar, G; Rodríguez, V; Veneklaas, EJ; Thomas, R; Fisher, M. 1998. The effects of forest conversion on annual crops and pastures: estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 69:17-26.
- Guariguata, MR; Ostertag, R. 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management* 148:185-206.
- Guggenberger, G; Zech, W. 1999. Soil organic matter composition under primary forest, pasture, and secondary forest succession, Región Huetar Norte, Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 124:93-104.
- Hansen, J; Johnson, D; Lacis, A; Lebedeff, S; Lee, P; Rind, D; Russel, G. 1981. Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide. *Science* 213(4511):957-966.
- Hashimoto, T; Cojima, K; Tange, T; Sasaki, S. 2000. Changes in carbon storage in fallow forests in the tropical lowlands of Borneo. *Forest Ecology and Management* 126:331-337.
- Houghton, RA; Hobbie, JE; Melillo, JM. 1983. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: a net release of CO₂ to the atmosphere. *Ecological Monographs* 53(3): 235-262.

- _____; Skole, DL; Lefkowitz, DS. 1991. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985, 2. Net release of CO₂ to the atmosphere. *Forest Ecology and Management* 38:173-199.
- Hughes, RF; Kauffman, JB; Jaramillo, VJ. 1999. Biomass, carbon, and nutrient dynamics of secondary forests in a humid tropical region of Mexico. *Ecology* 80(6):1892-1907.
- Malhi, Y; Grace, J. 2000. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Trends in Ecology and Evolution* 15(8):332-336.
- Ortíz, R; Kanninen, M. 1999. Evaluación económica del servicio de sumidero de carbono en diferentes ecosistemas forestales. *In Semana Científica CATIE* (4, 1999, Turrialba, Costa Rica). *Actas. Turrialba, Costa Rica, CATIE*. p. 401-408.
- Proyecto Manejo Integrado de los Recursos Hídricos y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Río San Juan y su Zona Costera (PMIRH). 2000. *Atlas Ambiental San Carlos, Río San Juan*. Managua, Ni. OEA; MARENA. s.p.
- Ramírez, OA; Rodríguez, L; Finegan, B; Gómez, M. 1999. Implicaciones económicas del secuestro de CO₂ en bosques tropicales. *Revista Forestal Centroamericana* 27:10-16.
- Sedjo, RA. 1989. Forests to offset the greenhouse effect. *Journal of Forestry* p. 12-15.
- Segura, O. 2000. El sistema de pago de servicios ambientales peligra. *Ciencias Ambientales* 18:9-20.
- Skog, KE; Nicholson, GA. 1998. Carbon cycling through wood products: the role of wood and paper products in carbon sequestration. *Forest Products Journal* 48(7/8):75-83.

- _____; Finegan, B; Sabogal, C; Ferreira, MSG; Gonzales, GS; Kop, P van de; Barba, AD. Secondary forests and integrated resource management in colonist swidden agriculture in Latin America. 24 p. (en prensa).
- Tattenbach, F; Pedroni, L. 1999. Implementación conjunta y desarrollo limpio: la experiencia de Centroamérica. Manejo Forestal Tropical n° 11:1- 6.
- Vieira, ICG; Salomao, R de P; Rosa, N de A; Nepstad, DC; Roma, JC. 1996. O renascimento da floresta no rastro da agricultura. Ciencia Hoje 20(119):38-44.
- Wadsworth, FH. 1987. A time for secondary forestry in Tropical America. In Management of the forests of Tropical America: prospects and technologies. Washington, DC., USDA, US Forestry Service. p. 189-197.
- Watson, RT; Noble, IR; Bolin, B; Ravindranath, NH; Verardo, DJ; Dokken, DJ. eds. 2000. Land use, land-use change, and forestry. Cambridge, University Press. p. 3-20.
- Weaver, P L, Birdsey, R A; Lugo, A. 1987. Soil organic matter in secondary forests of Puerto Rico. Biotropica 19(1):17-23.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 *Dinámica en bosques secundarios y producción de biomasa*

Finegan (1992) presenta un modelo descriptivo general para la sucesión de los bosques secundarios, que se adapta a situaciones no extremas de condición de sitios. La recuperación del área basal en los trópicos es un proceso complejo, con una tendencia ascendente marcada por puntos máximos y disminuciones posteriores; esas variaciones están relacionadas al ciclo de vida de las especies de árboles dominantes (Finegan 1992).

El modelo de la dinámica de la sucesión propuesto por Finegan (1992) considera tres diferentes etapas. La primera, es dominada por arbustos y hierbas que colonizan rápidamente el sitio abandonado. La segunda es dominada por especies de árbol pioneras o heliófitas efímeras y la última etapa es dominada por especies de árbol heliófitas durables, muchos con cierto valor comercial. Esta etapa se prolonga hasta que las heliófitas durables inician el proceso de senescencia y las especies de árbol esciófitas empiezan a dominar el sitio (Finegan 1992). Este modelo de sucesión es el de la composición florística inicial, donde todos los grupos ecológicos están presentes en o cerca del inicio de la sucesión. Esta se da por diferencias entre el patrón de crecimiento de cada uno de los grupos ecológicos (Egler 1954 citado por Peña-Claros 2001).

La velocidad de acumulación de especies o la riqueza de un bosque secundario puede darse rápidamente y el bosque secundario tropical puede acumular, por lo menos, el mismo número de especies vegetales existentes en un bosque maduro en un período de 80 años, pero en parcelas de pequeñas dimensiones (Brown y Lugo 1990). Sin embargo, la composición del bosque secundario puede mantenerse relativamente estable por muchas décadas debido a la dominancia de un pequeño grupo de especies pioneras o heliófitas de larga vida, raras en los bosques maduros (Finegan 1996). Las condiciones de los sitios pueden favorecer la dominancia de ciertas especies de árboles (Poulsen 1996, Finegan y Delgado 2001), lo que podría influir en la cantidad de biomasa de bosques de la misma edad, dentro de una misma zona de vida.

2.2 *Producción de biomasa, el almacenamiento y la fijación de carbono de los bosques secundarios.*

El bosque secundario fija más carbono que un bosque primario porque tiene una mayor tasa de productividad primaria neta (Brown y Lugo 1990). Sin embargo, la velocidad en que los bosques secundarios secuestran el carbono varía grandemente (Anderson y Spencer 1991, Nelson *et al.*, 2000). La producción de biomasa y la capacidad de almacenamiento de carbono por las plantas es determinada por las zonas de vida, los sitios, las especies y la etapa de desarrollo en que se encuentre, el manejo (por ejemplo, periodo de rotación para plantaciones forestales), uso anterior de la tierra, grado o intensidad de la intervención, edad desde el abandono del sitio, entre otros (Uhl *et al.* 1988, Anderson y Spencer 1991, Smith *et al.* 1997, Mesquita 2000).

2.2.1 *Condiciones de sitio*

Los factores de sitio son las variables ambientales que determinan la calidad del terreno y el potencial productivo del sitio para un determinado cultivo, sea agrícola o forestal (Donoso citado por Herrera 1996). La clasificación de los sitios es de extrema importancia dentro del manejo forestal, pues permite estimar la productividad por ejemplo, cantidad de biomasa (Herrera y Alvarado 1998).

Las características físicas y químicas de suelo de cada sitio también influyen en la tasa de regeneración del bosque (Moran *et al.* 1996). La disponibilidad de nutrientes, la presencia o ausencia de elementos tóxicos, la permeabilidad, la presencia de capas compactadas, la profundidad, entre otros factores, pueden determinar el potencial productivo de un sistema, forestal (Carmean 1975). Además, la presencia de un gradiente de nutrientes en el suelo puede afectar la cantidad y biomasa de raíces del bosque así como la composición (Jordan 1985). La disposición de las partículas o la estructura afecta el crecimiento de las plantas, por la influencia que ejercen en la porosidad, contenido y movimiento de agua y las relaciones de temperatura (Fassbender 1993). En un paisaje pueden existir abruptas discontinuidades de las condiciones edáficas (Clark *et al.* 1998) lo que podría conducir a distintas respuestas por parte de la regeneración natural.

Con relación al tipo del terreno, estudios como el de Clark *et al.* (1998) revelan que algunas especies se encuentran asociadas a ciertas clases de pendientes, dentro de una misma clase de suelo. A escala local, variaciones en la topografía de los sitios podrían estar relacionadas con variaciones de las características químicas de los suelos, como el contenido de materia orgánica (Weaver *et al.* 1987, Finegan y Delgado 2001).

La materia orgánica influye en las propiedades físicas del suelo especialmente sobre la estructura, afectando directamente el movimiento y retención del agua (Fassbender 1993). Suelos de los estadios tardíos de la sucesión (> 20 años) presentaron más materia orgánica (93.4 Mg ha⁻¹) que los estadios más jóvenes, (85 Mg ha⁻¹) dentro de una misma zona de vida (Weaver *et al.* 1987). En cuanto a la composición de la materia orgánica, suelos de un bosque secundario mostraron mayor concentración de carbono, 71-81 g Kg.⁻¹, que aquellos bajo potreros, 58 g Kg.⁻¹ (Guggenberger y Zech 1999).

En muchas situaciones el fuego es utilizado como práctica de manejo y este afecta la calidad y la velocidad de la sucesión, ya que en sitios con sucesivas quemas puede contribuir a la formación de pastizales, matorrales o bosques abiertos (Fontaine *et al.* 1980). Además, el fuego calienta la superficie del suelo destruyendo parte del mantillo y alterando propiedades físicas y químicas así como la fauna microbiana (Fassbender 1993).

2.2.2 Edad de la vegetación

En México, bosques húmedos de 10 meses y de siete años de edad presentaron valores de biomasa acumulada de 5,3 Mg ha⁻¹ para la sucesión joven y 52,68 Mg ha⁻¹ para la de siete años. De manera general, la biomasa de hojas aumentó con la edad pero se encontró diferencias en cuanto a contribución de los diferentes componentes (hojas, ramas, fuste, raíces) en las dos etapas sucesionales con predominancia de biomasa de ramas y raíces en la sucesión de siete años de edad y de hojas en la de 10 meses de edad (Williams-Linera 1983).

En Puerto Rico, un bosque secundario de 35 años de edad, desarrollado en un área de potrero abandonado, mostró un valor de 100 Mg ha⁻¹ de biomasa leñosa (Aide *et al.*

1995). La riqueza de especies leñosas mostró una correlación positiva con la edad, y en los primeros 15 años hubo una rápida acumulación de especies, semejante a la observada en los locales más antiguos (Aide *et al.* 1995). Algunas áreas de regeneración natural, con bosques secundarios jóvenes de menos de 20 años, mostraron tasas de fijación carbono en la biomasa aérea de 2-3.5 Mg ha⁻¹ año⁻¹ (Brown y Lugo 1990).

2.2.3 Producción de biomasa en los diferentes componentes

Los diferentes componentes del bosque, ramas, fuste, hojas, hojarasca y suelo, contribuyen de manera diferente a la cantidad total de biomasa. Un estudio en un bosque secundario en Panamá mostró que en menos de dos años la biomasa de hojas representó casi 50% de la biomasa de un bosque maduro en esa área (Ewel 1981). La acumulación de biomasa leñosa ocurre en un periodo de tiempo más largo, pero tiene un crecimiento inicial en los primeros 15-20 años, seguido por un periodo con una tasa de acumulación más lenta, hasta la fase de madurez (Ewel 1981).

Sánchez y Álvarez-Sánchez (1995), estimaron la contribución de diferentes especies vegetales en la caída y acumulación de hojas en dos bosques primarios y uno secundario en México. Se encontró que las hojas representaron la mayor fracción de la hojarasca en todos los sitios y tipos de bosques, con valores porcentuales promedios de 53 a 59%. Las ramas pequeñas contribuyeron entre 15 a 18% y, las partes reproductivas (flores, frutos y semillas) con 3,5-9,1% de la hojarasca total producida. En los bosques secundarios se identificó que la especie pionera *Cecropia obtusifolia* fue la que más contribuyó a la caída de hojas, con cerca de 25% (0.43 Mg ha⁻¹ año⁻¹), seguida de *Robinsonella mirandea*, *Trichospermum mexicanum*, *Lonchocarpus quatemalensis* todas con 10% (cerca de 0.30 Mg ha⁻¹ año⁻¹) y *Ficus yoponensis* con 9% (0.28 Mg ha⁻¹ año⁻¹). En ese estudio, la cantidad de hojarasca de los bosques primarios (5.77 y 7.33 Mg ha⁻¹ año⁻¹) fue significativamente diferente del bosque secundario (5.18 Mg ha⁻¹ año⁻¹).

2.3 BIBLIOGRAFIA

- Aide, TM; Zimmerman, JK; Herrera, L; Rosario, M; Serrano, M. 1995. Forest recovery in abandoned tropical pastures in Puerto Rico, *Forest Ecology and Management* 77(1-3):77-86.
- Anderson, J; Spencer, T. 1991. Carbon, nutrient and water balances of tropical rain forest ecosystems subject to disturbance. *MAB-Digest/FAO-Unesco*. 55 p.
- Brown, S; Lugo, A E. 1990. Tropical secondary forests. *Journal of Tropical Ecology* 6:1-32.
- Clark, DB; Clark, DA; Read, JM. 1998. Edaphic variation and the mesoscale distribution of tree species in a tropical rain forest. *Journal of Ecology* 86:101-112.
- Carmean, WH. 1975. Forest site quality evaluation in the United States. *Adv. Agro.* 27, 209-269.
- Ewel, J. 1971. Biomass changes in early tropical sucesion. *Turrialba* 21:110-112.
- Fassbender, HW. 1993. Modelos edafológicos de sistemas de producción agroforestal. 2°ed. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 530 p.
- Finegan, B. 1992. El potencial de manejo de los bosques húmedos secundarios neotropicales de las tierras bajas. Turrialba, C.R., CATIE/COSUDE. 28 p. (Serie Técnica. Informe Técnico. N°188)
- _____. 1996. Pattern and process in neotropical secondary forests: the first 100 years of succession. *Trends in Ecology and Evolution* 11(3):119-124.
- _____; Delgado, D. 2000. Structural and floristic heterogeneity in a 30-year-old Costa Rican rain forest restored on pasture through natural secondary succession. *Restoration Ecology* 8(4):380-393.

- Fontaine, R; Gomez-Pompa, A; Ludlow, B. 1980. Sucesiones secundarias. In UNESCO/PNUMA/FAO. Ecosistemas de los bosques tropicales. Madrid, España. p.245-264.
- Guggenberger, G; Zech, W. 1999. Soil organic matter composition under primary forest, pasture, and secondary forest succession, Región Huetar Norte, Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 124:93-104.
- Herrera, BF. 1996. Evaluación del efecto del sitio en la productividad de las poblaciones de dos especies dominantes en un bosque tropical de la tercera fase de sucesión secundaria en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 152 p.
- Herrera, B; Alvarado, A. 1998. Calidad de sitio y factores ambientales en bosques de Centro America. *Agronomía Costarricense* 22(1):99-117.
- Mesquita, Rde CG. 2000. Management of advanced regeneration in secondary forests of the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management* 130:131-140.
- Moran, EF; Brondizio, ES; Tucker, JM; Silva-Fosberg, MC da; McCracken, S; Falesi, I. 2000. Effects of soil fertility and land-use on forest succession in Amazonia. *Forest Ecology and Management* 139:93-108 p.
- Nelson, RF; Kimes, D S; Salas, WA; Routhier, M. 2000. Secondary forest age and tropical forest biomass estimation using thematic mapper imagery. *BioScience* 50(5):419-431.
- Parrota, JA; Turnbull, JW; Jones, N. 1997. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management* 99:1-7.
- Peñas-Claros, M. 2001. Secondary forest succession. Riberalta, Bolivia, PROMAB. 170p. (Scientific Series 3).
- Poulsen, AD. 1996. Species richness and density of ground herbs within a plot of lowland rainforest in the north-west Borneo. *Journal of Tropical Ecology* 12:177-190.

- Proyecto Manejo Integrado de los Recursos Hídricos y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Río San Juan y su Zona Costera. 2000. Atlas Ambiental San Carlos, Río San Juan. Managua, Ni. OEA; MARENA. s.p.
- Sánchez, GR; Álvarez-Sánchez, J. 1995. Litterfall in primary and secondary tropical forests of Mexico. *Tropical Ecology* 36(2):192-201.
- Smith, J; Sabogal, C; Jong, W; Kaimowitz, D. 1997. Bosques secundarios como recurso para el desarrollo rural y la conservación ambiental en los tropicos de América Latina. CIFOR. Ocasional Paper n° 13. 31 p.
- Uhl, C; Buschbacher, R; Serrao, EAS. 1988. Abandoned pastures in Eastern Amazonia, 1. Patterns of plant sucesion. *Journal of Ecology* 76:663-681.
- Weaver, PL, Birdsey, R A; Lugo, A. 1997. Soil organic matter in secondary forests of Puerto Rico. *Biotropica* 19(1):17-23.
- Williams-Linera, G. 1983. Biomass and nutrient content in two successional stages of tropical wet forest in Uxpanapa, Mexico. *Biotropica* 15(4):275-284.

3. COMPOSICIÓN FLORÍSTICA Y ESTRUCTURA DE UNA CRONOSECUENCIA DE BOSQUES SECUNDARIOS EN EL MUNICIPIO DE SAN CARLOS, NICARAGUA

RESUMEN

Se estudiaron 12 bosques secundarios de edades entre 6 y 25 años, en el municipio de San Carlos, Nicaragua, con el objetivo de determinar y evaluar parámetros florísticos como densidad, estructura, composición, riqueza y diversidad. Seis de estos bosques tenían la agricultura como uso anterior del suelo, mientras que en los demás este era desconocido. Se instalaron seis parcelas temporales de muestreo de 250 m² y 45 de 450 m², procurando un mínimo de 15 fustales por parcela. Los resultados presentados son únicamente para especies leñosas ≥ 10 cm de dap. La densidad, área basal, riqueza y diversidad de especies fueron diferentes en los bosques estudiados, aumentando sus valores conforme incrementaba la edad. Los más diversos, ricos, densos y de mayor área basal fueron los de mayor edad (> 16 años). Las familias más importantes, en cuanto al número de individuos fueron: Sterculiaceae, Rubiaceae, Fabacea/Pap., Cecropiaceae, Ulmaceae, Tiliaceae y Anacardiaceae, las cuales comúnmente se encuentran en bosques secundarios neotropicales. De acuerdo con la importancia de ciertas especies, se lograron establecer tres diferentes grupos florísticos de bosques; factores como la edad y la cercanía podrían ser considerados como algunas de las causas de la similitud. Las variables de sitio evaluados fueron diferentes en los bosques estudiados exceptuando la materia y el carbono orgánicos. Se observó una relación entre los contenidos de P y Mg del suelo y la composición florística de los bosques.

Palabras claves: bosques secundarios, bosques tropicales, composición florística, condición de sitio, diversidad, estructura, Nicaragua, riqueza, San Carlos, sucesión forestal.

FLORISTIC COMPOSITION AND STRUCTURE OF A CRONOSEQUENCE OF SECONDARY FORESTS IN THE MUNICIPAL DISTRICT OF SAN CARLOS, NICARAGUA

ABSTRACT

Twelve secondary forests with ages between 6 and 25 years old were studied to determine density, basal area, richness, diversity and floristic composition in San Carlos, Nicaragua. Six of these forests have recently been used as crop lands whereas; previous use was unknown in the remaining forests. Six temporary plots of 250 m² and 45 of 450 m² were laid out, each having a minimum of 15 individuals of dbh \geq 10cm per plot. The results presented here are only for woody species with dbh \geq 10cm. The density, basal area, richness and diversity differed among the 12 secondary forests; all figures increased as forest aged. The richest, most diversified, densest and with the greatest basal area were those older than 16 years. The most important botanical families in terms of number of individuals were Sterculiaceae, Rubiaceae, Fabacea/Pap., Cecropiaceae, Ulmaceae, Tiliaceae and Anacardiaceae. All these families are common to most neotropical secondary forests. Three different floristic groups of forests were identified based on species composition; similar age and closeness between forests may explain within group similarities. Although soil and site variables differed between forests, soil organic matter and organic carbon did not differ between forests. No relationship was detected between these variables and botanical composition or forest structure, with exception of P and Mg contents.

Key words: richness, diversity, floristic composition, structure, secondary forests, tropical forests, forest succession, Nicaragua, San Carlos, site condition.

3.1 INTRODUCCIÓN

Actualmente, muchos de los paisajes tropicales son un mosaico formado por bosques primarios, secundarios, cultivos agrícolas, ganadería y plantaciones forestales. En ese mosaico, los bosques secundarios se presentan distribuidos en un gradiente sucesional, variando entre las áreas de potreros y/o agrícolas y el bosque primario (Tabarelli *et al.* 1994).

En muchos países de América Tropical, los bosques secundarios revisten cada vez mayor importancia como proveedores de los productos y servicios tradicionalmente prestados por los bosques primarios (Berti 1999). Los bosques secundarios favorecen la recuperación de áreas degradadas y la restauración de la cobertura forestal (Vieira *et al.* 1996; Parrota *et al.* 1997, Lamb *et al.* 1997, Guggenberger y Zech 1999), producen madera (Finegan 1992, Guillén 1993, Picado 1992), conservan la biodiversidad (Lamb *et al.* 1997), acumulan carbono (Fearnside y Guimaraes 1996, Hughes *et al.* 1999), regulan los flujos de agua y permiten la explotación de productos no maderables (frutos, semillas, fibras, forraje, medicinas) (Picado 1992, Vieira *et al.* 1996, Caniago 1997, Berrocal 1998, Chazdon y Coe 1999). Muchas especies arbóreas de valor comercial que dominan los bosques secundarios neotropicales son heliófitas durables de rápido crecimiento; algunas de estas son *Simarouba amara* (Simaroubaceae), *Samanea saman*, *Dalbergia glomerata*, (Fabaceae/Pap.), *Cedrela odorata* (Meliaceae), *Cordia alliodora* (Boraginaceae), *Tabebuia guayacan* y *T. rosea* (Bignoniaceae) (Finegan 1992, Guillén 1993).

Los bosques secundarios pueden ser sumideros de carbono ya que ellos rápidamente acumulan biomasa durante las fases sucesionales (Brown y Lugo 1990, Vieira *et al.* 1996, Hughes *et al.* 1999, Fearnside y Guimaraes 1996, Fearnside 1996, Guariguata y Ostertag 2000). La velocidad y cantidad de biomasa acumulada en el tiempo en bosques secundarios está muy relacionadas a las condiciones del sitio en que estos se desarrollan, siendo el uso anterior del suelo uno de los factores más importantes a considerar. Aquellos sitios donde no se desarrollaron actividades productivas o donde su intensidad, duración y frecuencia fueron leves, no ocasionando un deterioro significativo del recurso suelo, tenderán a ser ocupados por bosques secundarios más productivos en términos de biomasa que sitios con suelos degradados (Fearnside y Guimaraes 1996,

Fearnside, 1996). La vegetación secundaria originada en áreas de agricultura migratoria, por ejemplo, crece mucho más rápido que la vegetación secundaria establecida en áreas de potreros abandonados (Fearnside y Guimaraes 1996, Fearnside, 1996). La producción de biomasa en bosques secundarios podría también variar de acuerdo a su composición florística, tal y como lo demuestran Finegan y Delgado (2000) en la caracterización de parámetros estructurales de la vegetación leñosa de dap \geq 10 cm de dos tipos de bosques húmedos secundarios en Costa Rica.

La producción de biomasa de los bosques secundarios tropicales, es caracterizada por una rápida acumulación inicial de biomasa que disminuye después de los 15 años de edad (Brown y Lugo 1990). Según algunos estudios, la producción de biomasa de los bosques secundarios es más elevada que la de los bosques primarios maduros. Phillips *et al.* (1998) reportan valores promedios de acumulación de biomasa de menos de 1 Mg ha⁻¹ año⁻¹ en tanto para bosques secundarios los valores pueden variar de 2 a 3.5 Mg ha⁻¹ año⁻¹ (Brown y Lugo, 1990).

En Centroamérica, los bosques secundarios representan una opción importante -y hasta única en ciertos casos-, para la extracción de productos maderables y no maderables en áreas casi totalmente deforestadas. A pesar de su gran importancia económica, social y cultural, países como Nicaragua presentan pocos estudios detallados sobre la ecología de estos bosques, lo que impide identificar el potencial productivo de los mismos.

El propósito de la presente investigación fue caracterizar la estructura, composición y diversidad florística de bosques secundarios, con diferentes edades, dentro de un paisaje. Una característica importante de este estudio fue que los bosques se escogieron mediante criterios técnicos, eliminando la posibilidad de selección subjetiva o sesgada, muchas veces utilizada en estudios ecológicos de bosques secundarios. También se pretendió identificar algunos factores que puedan influir en las características de los bosques y que puedan explicar la existencia de patrones para las variables estudiadas. Este artículo tratará solamente de la caracterización de bosques secundarios en cuanto a las especies leñosas de dap \geq 10 cm.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Descripción del área de estudio

3.2.1.1 Ubicación

El trabajo se desarrolló en el municipio de San Carlos, Departamento de Río San Juan, República de Nicaragua (Figuras 1 y 2). El Municipio posee una extensión de 1462 km² y se ubica entre las coordenadas 10° y 11°25' Latitud Norte y 84°25' y 85°11' Longitud Oeste (UCA *et al.* 2000).



Figura 1. Localización del municipio de San Carlos, departamento de Río San Juan, Nicaragua.

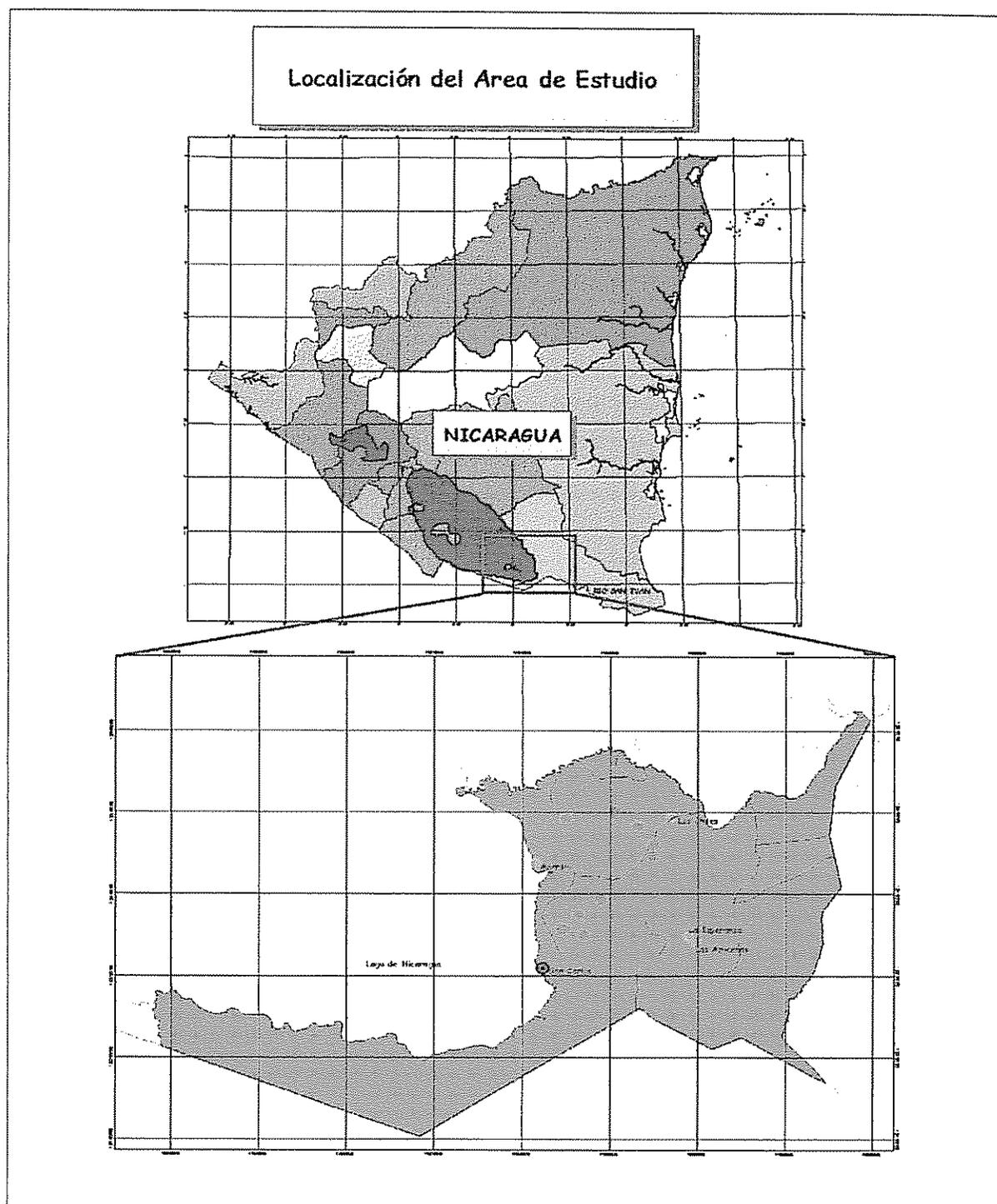


Figura 2. Detalle del municipio de San Carlos y de algunas de las unidades de muestreo departamento de Río San Juan, Nicaragua. Fuente: Laboratorio de SIG/CATIE (2001).

3.2.1.2 *Características del clima, topografía, suelos y vegetación*

La información disponible acerca de las zonas de vida presentes en San Carlos es contradictoria. UCA *et al.* (2000) y PMIRH (2000) describen cuatro zonas de vida: bosque húmedo tropical (bh-T); bosque muy húmedo subtropical (bmh-ST); bosque seco tropical (bs-T) y bosque pluvial subtropical (bp-ST).

San Carlos presenta dos tipos de clima: el tropical de selva monzónico que abarca casi todo el municipio y el tropical de selva (PMIRH 2000). La precipitación promedio anual es aproximadamente de 1927 mm con un rango anual entre 2000 y 3000 mm; la temperatura promedio anual es de 26°C y la humedad relativa anual es de 85% (Larson y Barahona 1999). La época seca se prolonga de uno a cuatro meses (Larson y Barahona 1999). En la zona se registran elevaciones entre 50 y 300 msnm (PMIRH 2000).

Por lo general los suelos son ácidos, de baja fertilidad, textura arcillosa con una delgada capa de materia orgánica (Larson y Barahona 1999). El orden predominante es Ultisol, seguida de Inceptisol y Alfisol que ocurren en aproximadamente 27%, 16.5% y 15% del municipio, respectivamente (PMIRH 2000). Normalmente las tierras bajas presentan problemas de drenaje mientras que las tierras altas presentan problemas de erosión (Larson y Barahona 1999).

Un análisis preliminar de la vegetación secundaria en cinco fincas del Departamento del Río San Juan, realizado por la UCA *et al.* (1998), estableció que las familias botánicas más comunes fueron: Fabaceae, Euphorbiaceae y Arecaceae. Sin embargo, entre las especies más frecuentes se pueden destacar: *Cecropia* spp. (Cecropiaceae), *Spondias mombim* (Anacardiaceae), *Guazuma ulmifolia* (Sterculiaceae), entre otras.

3.2.2 *Definición de la población, selección de parches de bosques secundarios y tipo de muestreo utilizado*

Debido a la gran extensión del municipio de San Carlos, el estudio se restringió a la Zona de Vida y Desarrollo definida por el Proyecto SI-A-PAZ (Larson y Barahona 1999),

principalmente en el entorno de la principal vía de acceso entre San Carlos y San Miguelito.

Como no se contaba con informaciones precisas de cuáles eran y donde se encontraban las fincas con bosques secundarios, se seleccionaron al azar 100 productores de diferentes comarcas para la aplicación de una encuesta. Esta selección se realizó con base en un listado suministrado por la Unión Nacional de Agricultores y Ganaderos-UNAG, Prosur, Auxilio Mundial y Comités Regionales, proyectos e instituciones actuantes en el municipio. Sin embargo, se seleccionaron otros agricultores propietarios de bosques secundarios que no estaban en la lista, para la aplicación de la encuesta con el objetivo de optimizar los recursos invertidos y aumentar así la probabilidad de contar con más unidades de muestreo. En total se aplicaron 82 encuestas en 16 distintas comarcas.

Los objetivos de la encuesta fueron identificar los propietarios con bosque secundario, obtener información del historial y manejo de estos y caracterizar socioeconómicamente a los agricultores del municipio de San Carlos. Entre la información recopilada se encuentra: área de la finca, tenencia de la tierra, distribución del área entre los diferentes usos de la tierra, existencia de bosque secundario (tacotal), manejo, uso anterior del terreno ahora con tacotal, tiempo de uso, usos y productos derivados del bosque secundario, biodiversidad de fauna y flora y uso futuro del bosque secundario (Anexo 1).

Es importante destacar que en algunos casos la edad del bosque es incierta ya que los agricultores desconocían el dato real o establecían la edad dentro de rangos. Los bosques con edad más precisa fueron aquellos de menos de 10 años, con usos relativamente recientes.

Para seleccionar los bosques secundarios se estableció una serie de requisitos como: área mínima de 1.4 ha (dos manzanas), áreas de bosques no sujetas a anegamiento y edad mínima de cinco años. En cuanto al uso anterior se seleccionaron aquellos bosques que habían tenido un uso agrícola, aunque para algunos bosques el uso anterior no pudo ser establecido. Con la información levantada en las encuestas, se procedió a agrupar las fincas en dos grupos: a) fincas con bosque secundario y b) fincas sin bosque secundario.

El grupo de las fincas sin bosque secundario fue constituido por aquellas cuyos bosques secundarios no cumplían con todos los requerimientos para su muestreo o que simplemente no poseían parches de bosques secundarios. El grupo de las fincas con bosque secundario fue conformado por aquellas que presentaban bosques secundarios que reunían los requisitos para su muestreo. Dentro de este grupo se ordenaron los bosques según su edad y con base en las informaciones de la encuesta, se desecharon aquellos que aparentemente eran fragmentos de bosques primarios intervenidos o que habían sufrido algún tipo de enriquecimiento. Una vez pasada esta fase, se realizaron visitas a las fincas para corroborar las informaciones acerca de los bosques y verificar si su forma permitía la instalación de las parcelas de muestreo. Este paso permitió eliminar aquellos bosques riparios, ya que en general, estos eran apenas franjas angostas ubicadas a ambos lados de quebradas o ríos, y que también eran florísticamente diferentes dada la presencia de especies con mayor requerimiento de humedad en el suelo.

Al final del anterior proceso, se encontró que menos del 35% de los encuestados poseían bosques secundarios que cumplieron con los requisitos necesarios para su inclusión dentro del marco muestral. Finalmente, se seleccionaron para este estudio, 12 bosques secundarios, con edades que varían entre 6 a 25 años, en siete diferentes comarcas.

De los bosques seleccionados, seis de ellos tenían el uso agrícola como el uso de la tierra anterior a la cobertura de bosque secundario, y en los seis restantes el uso anterior era desconocido por el propietario del bosque (Cuadro 1).

La actividad agrícola en la zona no es tecnificada y la aplicación de fertilizantes o herbicidas no es frecuente dada la escasez de recursos financieros de los agricultores. Los principales cultivos agrícolas son los granos básicos como el arroz y maíz, sembrados de primera (primera época de siembra), entre mayo y junio y el frijol, que es sembrado de postrera (segunda época de siembra), entre septiembre y octubre. La utilización de maquinaria o animales en la siembra de estos granos es mínima y comúnmente se utiliza el espeque como herramienta manual. La preparación del terreno se realiza de manera rudimentaria mediante la tumba y quema de la vegetación (rastraje).

Cuadro 1. Ubicación, edad, uso anterior y número de parcelas temporales de muestreo establecidas en los bosques secundarios estudiados en San Carlos, Nicaragua.

Bosque n°	Comarca	Edad	Uso anterior	N° parcelas
1	Ojo de Agua	12	Desconocido	5
2	México	20-25	Desconocido	6
3	México	18-20	Desconocido	2
4	México	15-17	Desconocido	2
5	Quinta Lidia	16	Desconocido	6
6	Santa Isabel	8-10	Desconocido	5
7	Santa Isabel	7-8	Agrícola	2
8	Cruz Verde	6	Agrícola	5
9	El Danubio	25	Agrícola	4
10	Laurel Galán	6-7	Agrícola	6
11	Laurel Galán	7-8	Agrícola	4
12	Ojo de Agua	10	Agrícola	4
TOTAL				51

3.2.3 *Ubicación, tamaño y forma de la unidad de muestreo*

Al momento de iniciar el muestreo en un bosque se procedió primeramente a verificar el perímetro del parche y a la vez estimar, de acuerdo a su forma, la línea de mayor longitud, la cual se denominó línea madre. La longitud de estas líneas en los bosques muestreados varió entre 80 y 400 m, y sirvió para determinar las distancias entre parcelas y su cantidad a instalar dentro de cada parche.

Las parcelas temporales de muestreo (PTM) establecidas fueron rectangulares y sus dimensiones variaron de 10 x 25 m (250 m²) a 15 m x 30 m (450 m²) en función de la existencia o no, de un mínimo de 15 individuos leñosos de dap \geq 10 cm, dentro de la misma. Este criterio tenía como objetivo garantizar una representatividad mínima de la población de árboles de los parches. En total fueron establecidas 51 parcelas - 6 de 250 m² y 45 de 450 m². Cuando las parcelas debían ser instaladas en áreas de poca o

ninguna pendiente, éstas se establecieron con brújula; en áreas de mayor pendiente las parcelas se instalaron de acuerdo a una curva de nivel trazada con clinómetro SUUNTO.

3.2.4 *Colecta de datos de campo*

3.2.4.1 *Vegetación*

En cada una de las PTM, se realizó un censo de la vegetación leñosa de dap ≥ 10 cm, midiendo e identificando cada uno de los individuos. Todos los individuos fueron identificados a nivel de nombre común según un identificador experimentado. Los diámetros fueron medidos a la altura del pecho (1.30 m), con cinta diamétrica de fibra (SUUNTO) de vidrio y las alturas fueron tomadas con clinómetro y cinta métrica.

Se colectaron muestras botánicas para la identificación taxonómica. Esta fue realizada por el Ing. Nelson Zamora del Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), Costa Rica. Se logró identificar con nombre científico cerca del 80% de las especies identificadas por nombre común y muestreadas en campo. Los individuos no identificados por Zamora, por razones de insuficiencia de material colectado, deterioro del mismo o imposibilidad de colecta, fueron considerados en los análisis por su nombre común. Aquellos que no pudieron identificarse del todo fueron registrados como de especie desconocida.

3.2.4.2 *Condición de sitio*

En cada una de las parcelas grandes de muestreo (250 ó 450 m²) se colectaron tres submuestras de suelo para cada una de dos profundidades: 0-30 cm y 30-60 cm. Para cada profundidad se mezclaron las tres submuestras y se obtuvo una muestra compuesta por parcela. En ambas profundidades se determinó el pH, acidez extraíble, P, K, Ca, Mg, la textura (considerada solamente por el porcentaje de arcilla del suelo), el contenido de materia orgánica y carbono orgánico. Se seleccionaron algunas de las parcelas para la extracción, por medio de anillos de metal, de muestras para determinar la densidad aparente de estos suelos. Los resultados de estas variables expresados en este artículo son un valor promedio para un rango de profundidad de 0-60 cm.

Los análisis químicos y físicos de las muestras de suelo fueron realizados en el Laboratorio de Suelos de CATIE, de acuerdo a metodologías estándares:

- MO% y % CO: Método de Walkley y Black;
- K: Espectroscopia de Absorción Atómica;
- Ca, Mg: extracción con Oxido de Lantano al 1% y lectura con Absorción Atómica;
- P: determinación por método colorimétrico;
- PH: extracción con agua y lectura en pHímetro;
- Textura: Método de Bouyoucos;
- Acidez extraíble: extracción con KCl.

3.2.5 *Análisis de los datos*

Los bosques estudiados se evaluaron con respecto a las siguientes variables: densidad, área basal, riqueza, diversidad, composición florística y condición de sitio. Para establecer la diversidad de estos bosques se calcularon los índices de Shannon-Wiener, Simpson y el Alfa de Fisher (Magurran 1988). Algunos de los datos recopilados en este estudio tuvieron que ser transformados aritméticamente para lograr así una evaluación por medio del análisis de varianza (ANOVA). Los datos de área basal, magnesio, materia orgánica y carbono orgánico se transformaron con raíz cuadrada y los de potasio, fósforo y el índice de Simpson con logaritmo. Los árboles de $dap \geq 90$ cm fueron excluidos de los análisis de densidad y área basal con el objetivo de evitar que estos árboles remanentes del bosque original pudiesen sesgar los valores de estas variables.

Para cada especie de fustales se calculó, por bosque, el % del Índice de Valor de Importancia (IVI, Curtis y MacIntosh 1950). Para el análisis de los patrones de composición florística en los bosques, se utilizó el Análisis de Correspondencia DECORANA, mediante el Programa MVSP (Kovach 1994) empleando los valores de las cinco especies más importantes por bosque, según el criterio del % de IVI. Las especies desconocidas o que estuvieron presentes en un solo bosque no fueron consideradas en el análisis de DECORANA. Este análisis permitió identificar distintos grupos de bosques secundarios en función de la variabilidad de composición florística existente entre ellos.

Solamente las parcelas de 450 m² fueron consideradas para los análisis de riqueza y diversidad ya que para este tipo de análisis las parcelas deben ser todas de un solo tamaño. Para la comparación de densidad y área basal se utilizaron tanto las parcelas de 450 m² como las de 250 m² debido a que estos resultados pueden ser extrapolados a una misma unidad de área. Además, se elaboraron curvas área-especie y área-individuos para cada uno de los bosques mediante el Programa Estimates Versión 5.0 (Colwell 1997). Para las curvas área-individuos se tomaron grupos de 10 individuos aleatorios en cada uno de los bosques, hasta el máximo de individuos existente.

Todos los datos fueron sometidos a pruebas estadísticas, con el Programa SAS (SAS Institute 1999), para evaluar la existencia de variación entre los bosques de diferentes edades. Para los Análisis de Varianza (ANOVA) y Pruebas de Tukey se consideró un alfa de 0.05.

Para la identificación de relaciones entre las variables de sitio y la composición florística se realizaron análisis de correlación de Pearson entre los valores promedios de las variables acidez extraíble, % de arcilla, pH en agua, Mg, Ca, P, materia orgánica, carbono orgánico, % de saturación de bases y capacidad de intercambio de cationes para cada uno de los bosques (0-60 cm de profundidad) y los valores Eigen del eje uno generados por la ordenación DECORANA (Kovach 1994).

3.3 RESULTADOS Y DISCUSION

3.3.1 Estructura

El análisis de la distribución relativa del número de individuos (N) por clases diamétricas de los bosques, indica un comportamiento semejante al patrón de "J" invertida, con un mayor porcentaje de individuos en las clases diamétricas más pequeñas.

Se encontraron diferencias significativas en densidad entre los bosques estudiados ($p < 0.05$). La densidad promedio de árboles (N) por bosque varió de 152 a 870 individuos ha^{-1} entre las edades de 6 a 25 años, mostrando una tendencia creciente conforme aumentaba la edad (Figura 3), semejante a la reportada por Aide *et al.* (1996) para bosques secundarios menores de 60 años de edad. La distribución porcentual del número de individuos por clases diamétricas reveló porcentajes promedios de 70% para valores de dap de 15 cm, en la gran mayoría de los bosques.

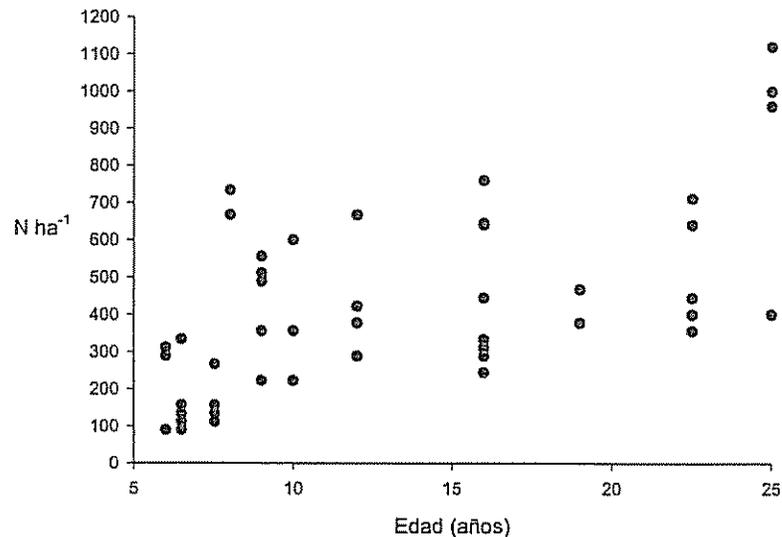


Figura 3. Número de individuos por hectárea en bosques secundarios de diferentes edades, San Carlos, Nicaragua.

De igual manera, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los valores de área basal (G) así como una tendencia hacia el aumento a medida que los bosques se hacían más viejos, variando de $1.9 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en el bosque de 6 años de edad a $35.7 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en el bosque de 23 años (Figura 4). Comportamiento semejante ha sido reportado por otros estudios en bosques secundarios (Werner 1984, Saldarriaga *et al.* 1988, Aide *et al.* 1996, Grau *et al.* 1997, Steininger 2000), lo que se podría decir que es bastante predecible ya que el diámetro de los árboles aumenta con el pasar de los años. El dato de $35.7 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ encontrado en uno de los bosques se muestra muy superior al encontrado por Finegan y Delgado (2000) en dos bosques secundarios húmedos de 30 años de edad en Costa Rica; e incluso superior al reportado por Finegan y Camacho (1999) para un bosque húmedo primario del noreste de Costa Rica.

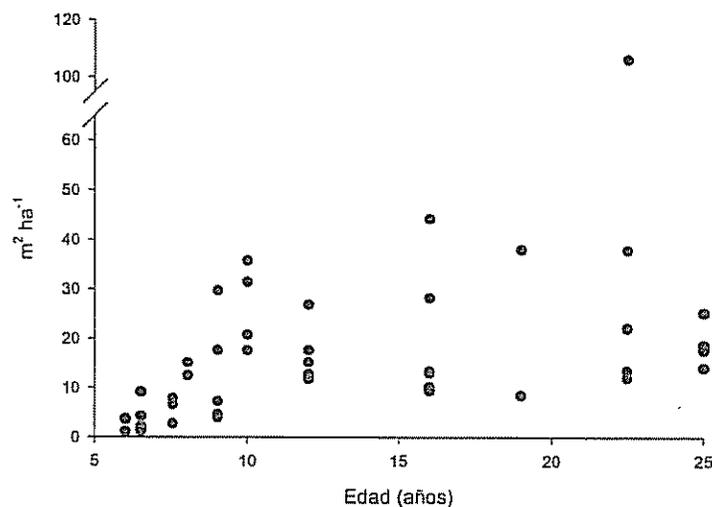


Figura 4. Área basal por hectárea en función de la edad, bosques secundarios, San Carlos, Nicaragua. Cada punto representa el área basal de una parcela de 250 ó 450 m^2 .

La distribución relativa del área basal no es semejante en todos los bosques, ya que los bosques más maduros tienden a poseer mayor porcentaje de individuos de mayor diámetro. Además, el reducido tamaño de las parcelas de muestreo, la baja densidad de árboles de grandes diámetros - algunos de los cuales eran remanentes -, y las mismas leyes probabilísticas contribuyen a la variabilidad de los resultados.

3.3.2 Composición florística

Las familias botánicas más importantes en este estudio según el criterio de número de individuos fueron: Sterculiaceae con 153 individuos, todos de la especie *Guazuma ulmifolia*; Rubiaceae con 148 individuos, 75 de la especie *Coussarea* sp. y 67 de *Calycophyllum candidissimum*; Fabaceae/Pap. con 60 individuos, 48 del género *Lonchocarpus*; Cecropiaceae con 49 individuos, 39 de la especie *Cecropia peltata*; Ulmaceae con 39 individuos de la especie *Ampelocera macrocarpa*; Tiliaceae con 30 individuos, 25 de la especie *Luehea seemannii* y Anacardiaceae con 28 individuos, siendo 20 de la especie *Spondias mombin*. Las familias con mayor número de especies fueron: Fabaceae/Mim. (6), Rubiaceae (5), Moraceae (4), Meliaceae (4), Fabaceae/Pap. (4) y Bombacaceae (4).

Las familias y géneros botánicos identificados en este estudio son típicos de bosques secundarios tropicales (Finegan 1996) y muchos estudios corroboran su ocurrencia en este tipo de bosques (Finegan 1992, Tabarelli *et al.* 1994, Sevegnani y Baptista 1996, Finegan 1996, Steininger 2000, Finegan y Delgado 2000). Algunas familias aparecen representadas por solamente una especie como la Sterculiaceae con *Guazuma ulmifolia*, cuyo principal agente de dispersión de semillas es el ganado, ampliamente utilizado para el mantenimiento y control de malezas del terreno en los primeros años de la sucesión. Otras familias representadas por una única especie fueron Ulmaceae con *Ampelocera macrocarpa*, y Combretaceae con *Terminalia oblonga*, entre otras.

Muchas de las familias identificadas presentan especies maderables y de alto valor comercial (Finegan 1992, Guillén 1993), como es el caso de *Simarouba amara* (Simaroubaceae), *Samanea saman*, *Dalbergia glomerata*, (Fabaceae), *Cedrela odorata* (Meliaceae), *Cordia alliodora* (Boraginaceae), *Tabebuia guayacan* y *T. rosea* (Bignoniaceae). Algunas especies como *Tetragastris panamensis*, *Bursera simarouba* (Burseraceae), *Cordia alliodora* (Boraginaceae), *Lonchocarpus* sp., *Dialium guianensis* (Fabaceae/ Mim.), *Brosimum alicastrum* (Moraceae), *Tabebuia rosea*, *Luehea seemannii* (Tiliaceae), entre otras, también ocurren en bosques primarios húmedos intervenidos por el aprovechamiento forestal, en el municipio del Castillo, del departamento de río San Juan (Sabogal *et al.* 2001). También se observó la presencia de *Miconia argentea*

(Melastomataceae) reportada por Finegan y Delgado (2000) como una especie propia de la Costa Pacífica, de Costa Rica.

Las especies más abundantes fueron *Guazuma ulmifolia*, *Coussarea* sp., y *Calycophyllum candidissimum* con 153, 75 y 67 individuos, respectivamente. Estas especies se destacaron por sus altos % de IVI, en muchos de los bosques estudiados. En la mayoría de los casos, los que se observó fue la dominancia de pocas especies en cada uno de los bosques (Werner 1984, Herrera *et al.* 1999). El detalle de las especies y sus IVI se encuentra en el Anexo 2.

3.3.3 Riqueza y diversidad

El número de especies encontradas en parcelas de 450 m² fue generalmente menor en los bosques jóvenes que en los bosques más viejos (Figura 5), resultados similares a los encontrados por otros autores (Saldarriaga *et al.* 1988, Finegan 1996, Grau *et al.* 1997) aún con parcelas de diferentes dimensiones.

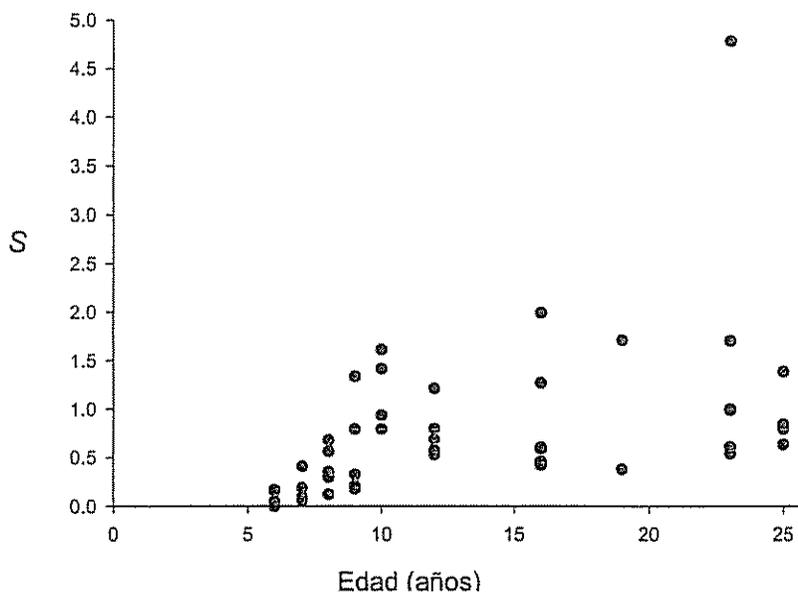


Figura 5. Número de especies arbóreas (S) en función de la edad de los bosques secundarios, San Carlos, Nicaragua. Cada punto representa el número de especies en parcelas de 450 m².

El análisis de la acumulación de especies por área muestreada (Figura 6a) indica una progresión en función del aumento del área (Saldarriaga *et al.* 1988, Guariguata *et al.* 1997). El comportamiento del número de especies registrados según el número de individuos muestreados también posee el mismo comportamiento (Figura 6b). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para la riqueza entre los 12 bosques secundarios ($p < 0.05$) así como para dos de los índices de diversidad evaluados. El análisis de riqueza permitió observar que los bosques 4, 2 y 1, de 16, 23 y 12 años de edad respectivamente presentaron mayor número de especies (Figura 6).

De los índices de diversidad evaluados, el de Shannon-Wiener ($p < 0.05$) y el Alfa de Fisher ($p < 0.05$) presentaron diferencias estadísticamente significativas entre bosques. Los bosques más diversos según Shannon-Wiener fueron el 4, 9, 2 y el 3 (bosques con edades superiores a 12 años) en tanto que el bosque 8 (seis años de edad) fue el menos diverso según los índices de Shannon-Wiener y Alfa de Fisher (Cuadro 2).

Cuadro 2. Índices de diversidad de Shannon, Simpson y Fisher, sus desviaciones estándares (STD) y comparaciones de Tukey*, para los bosques de San Carlos, Nicaragua.

Bosque	Edad	Shannon-Wiener	STD	Simpson	STD	Alfa de Fisher	STD
8	6	0.7c	0.5	0.323a	0.466	1.9b	2.4
10	7	0.9bc	0.5	0.228 a	0.296	3.9 ab	3.4
7	8	1.3bc	0.1	0.353 a	11.7851	2.5 ab	0.3
11	8	1.3abc	0.2	0.139 a	0.285	5.7 ab	3.4
6	9	1.6 ^a	0.5	0.187 a	0.302	4.8 ab	2.9
12	10	1.6abc	0.5	0.161 a	0.227	5.9 ab	3.5
1	12	1.6 ^a	0.6	0.130 a	0.128	8.1 ab	6.4
4	16	2.3 ^a	0.3	0.066 a	10.879	12.8a	2.7
5	16	1.4 ^a	0.2	0.209 a	0.441	4.0ab	1.5
3	19	1.9 ^a	0.5	0.089 a	0.087	8.1 ab	3.0
2	23	2.0 ^a	0.3	0.136 a	0.313	9.1 ab	3.2
9	25	2.01ab	0	0.105 a	0	7.2 ab	0

*Valores con la misma letra no difieren estadísticamente.

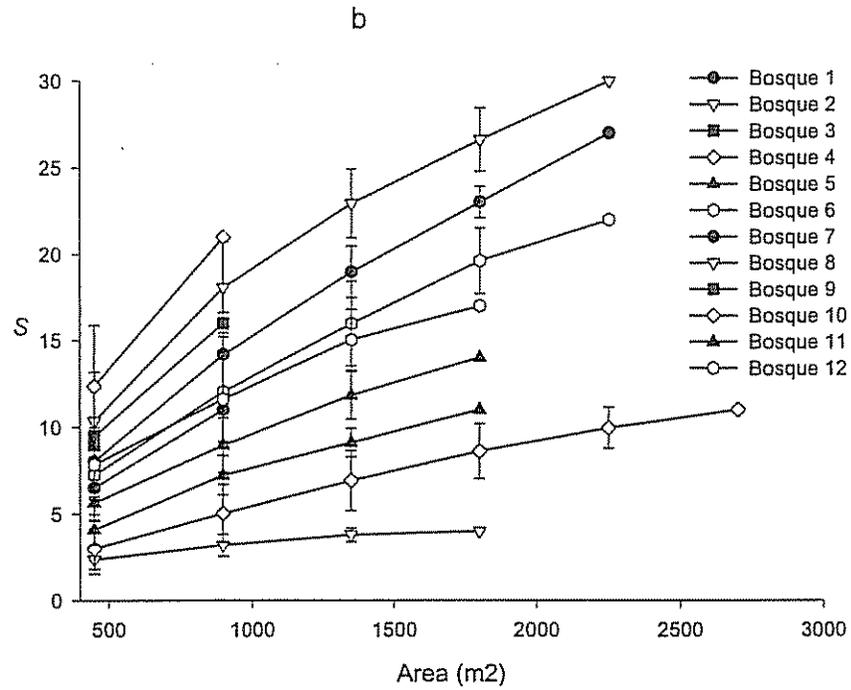
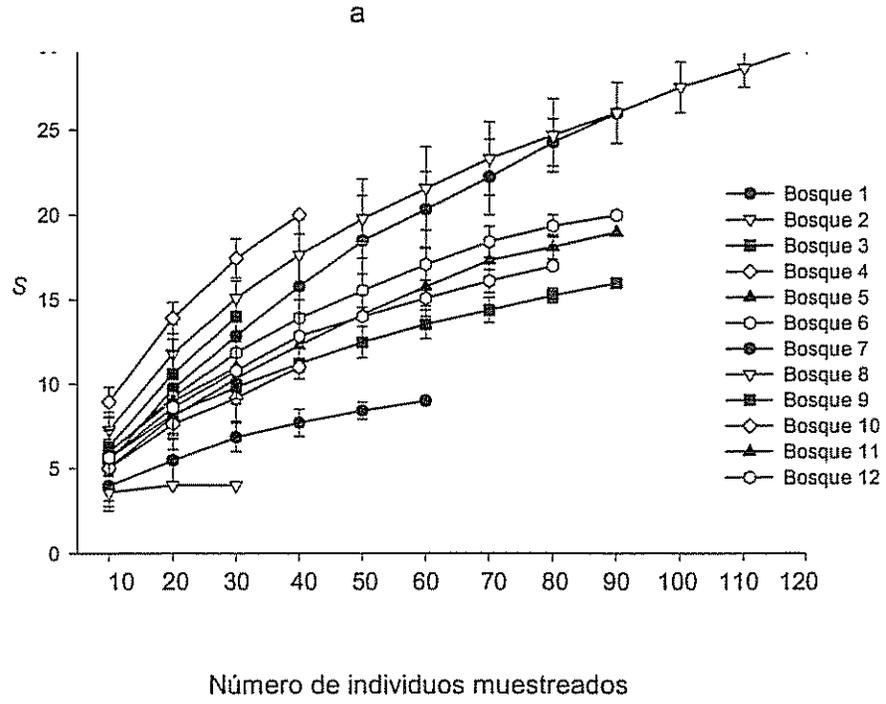


Figura 6. Curvas de acumulación de especies (S) a) por número de individuos muestreados, b) por área muestreada, bosques secundarios, San Carlos, Nicaragua.

Todos los bosques secundarios compartieron en mayor o menor grado diferente número de especies siendo que la similitud más marcada entre ellos fue la presencia de especies heliófitas durables, grupo ecológico dominante en estos bosques. Sin embargo, la dominancia de ciertos grupos ecológicos y la composición del bosque secundario varió con las diferentes edades (Guillén 1993). Este hecho parece estar relacionado a la fase o estadio sucesional en el cual se encuentran estos bosques ya que la gran mayoría de ellos, particularmente los más ricos y diversos, se ubican en la segunda etapa del proceso de sucesión (Finegan 1992).

El entorno puede afectar la diversidad del bosque por la existencia o ausencia de fuentes semilleras cercanas, como los árboles remanentes. La cacería es una actividad bastante común en la zona de estudio y su presión sobre los pequeños mamíferos y aves afecta directamente la dispersión de semillas y el flujo genético, disminuyendo la diversidad vegetal. No obstante, la mayoría de las especies reportadas es dispersada por vertebrados (Anexo 2).

3.3.4 Similitud florística entre bosques

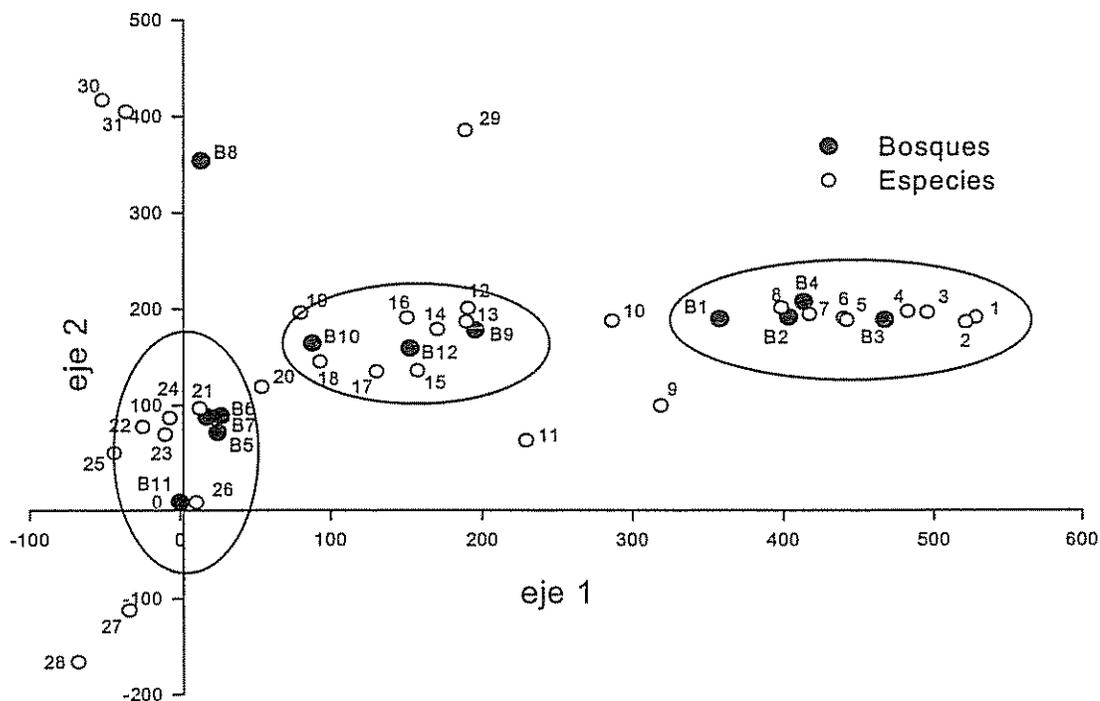
El análisis de los bosques mediante la técnica de ordenación DECORANA (Kovach 1994) permitió observar la relación entre los bosques y su composición florística. Los ejes 1 y 2 de este análisis (Figura 7), explican cerca de 37% de la variación florística entre los 12 bosques secundarios estudiados, con valores de Eigen de 0.832 y 0.501. Los resultados del eje 1 fueron los que permitieron la separación de los bosques en tres diferentes grupos.

En el grupo número uno están los bosques 1, 2, 3 y 4, de 12, 23, 19 y 16 años respectivamente, con valores de 358 a 467 para el eje uno. Este grupo representa los bosques secundarios cuyas especies relacionadas fueron principalmente *Coussarea sp.*, *Ampelocera macrocarpa*, *Brosimum alicastrum* y *Tetragastris panamensis* estas dos últimas típicas de bosques tropicales húmedos (Guariguata *et al.* 1997, Sabogal *et al.* 2001) y *Trichilia palida* (Meliaceae). El grupo dos reúne los bosques 5, 6, 7 y 11, de 16, 9, 8 y 8 años respectivamente. Este grupo, con valores del eje uno entre 0 y 89, puede ser asociado especialmente a la presencia de *Guazuma ulmifolia* aunque esta especie

aparece con importancia variada en los bosques 8, 10 y 12. La especie *Lonchocarpus* sp01, también está relacionada al grupo dos pero en menor proporción y con excepción del bosque cinco, donde no sobresale ni entre las 10 primeras especies en relación con el IVI. Aparentemente, este grupo posee características intermedias entre los demás grupos. El grupo tres está definido por los bosques 9, 10 y 12, de 25, 7 y 10 años de edad respectivamente y donde la especie asociada es la pionera *Cecropia peltata*. Además, las especies *Calycophyllum candidissimum* y *Luehea seemannii* también están presentes en algunos de estos bosques. Este grupo obtuvo valores muy cercanos en el eje uno, de 159 a 178 en el eje uno.

El eje número dos de la ordenación DECORANA fue responsable por 14% de la variación entre los bosques, lo que representa el 60% de la variación aportada por el eje uno, que fue de 23%. En este eje se ubicaron valores de 417 para la especie *Cochlospermum vitifolium* (Cochlospermaceae), 78 para *Cinnamomum* sp. (Lauraceae), 51 para *Samanea saman* (Fabaceae/Mim.) y 405 para *Cecropia insignis* (Cecropiaceae). El bosque 8, de seis años de edad, no fue incluido en ninguno de los tres grupos, aunque presentó un % de IVI de 16.4 para la especie *Guazuma ulmifolia* y 23.4 para *Cecropia peltata*. Sin embargo, este bosque estaba dominado fuertemente por *Cochlospermum vitifolium*, con un % de IVI de 43.6, lo que no ocurrió en los demás bosques.

Con base en el análisis anterior y considerando las especies características de los bosques, se decidió nombrarlos como: grupo uno, bosque de *Coussarea/Ampelocera/Brosimum*; grupo dos, bosque de *Guazuma/Lonchocarpus* y el grupo tres, bosque de "Especies Mixtas" ya que este posee especies que también aparecen en otros bosques con altos valores de IVI.



1. 1. *Dialium guianense*, 2. *Trophis racemosa*, 3. *Brosimum alicastrum*, 4. *Trichilia pallida*, 5. *Tetragastris panamensis*, 6. *Ampelocera macrocarpa*, 7. *Coussarea* sp., 8. *Hura crepitans*, 9. *Spondias* sp., 10. *Terminalia oblonga*, 11. *Coccoloba belizensis*, 12. *Bursera simarouba*, 13. *Calycophyllum candidissimum*, 14. *Cedrela odorata*, 15. *Luehea seemannii*, 16. *palo de leche*, 17. *Cordia alliodora*, 18. *Spondias mombin*, 19. *ceibo lucio*, 20. *guanacaste blanco*, 21. *Miconia argentea*, 22. *Cinnamomum* sp., 23. *Enterolobium cyclocarpum*, 24. *Guazuma ulmifolia*, 25. *Samanea saman*, 26. *Lonchocarpus* sp., 27. *Psidium guajava*, 28. *Dalbergia glomerata*, 29. *Cecropia peltata*, 30. *Cochlospermum vitifolium*, 31. *Cecropia insignis*.

Figura 7. Análisis de ordenación DECORANA de los bosques según su composición florística.

La variabilidad florística existente entre los bosques estudiados, y que permite establecer tres distintos grupos, puede estar relacionada a diferentes factores como la edad de los bosques, el uso anterior, las prácticas de manejo utilizadas en los cultivos agrícolas, el manejo selectivo de la regeneración como fuente semillera o la condición de sitio. Sin embargo, lo más probable es que estas diferencias se deban a eventos relacionados al proceso de colonización, como por ejemplo, variaciones en cuanto a las especies que colonizaron los sitios. La matriz representa un papel importante en la composición inicial

de los bosques secundarios. Especies como *G. ulmifolia*, *Lonchocarpus* sp y *Cordia alliodora* están más asociadas a matrices agrícolas, en tanto *Coussarea* sp y *Tetragastris panamensis* están más relacionadas a fragmentos de bosques primarios. Esto podría explicar el hecho de que bosques muestreados en una misma comarca, como el 2, 3 y 4 con edades de 23, 19 y 16 años respectivamente, presentaron una composición florística bastante similar.

3.3.5 Caracterización de las condiciones de sitio y su relación con la composición florística de los bosques.

Los bosques presentaron suelos fértiles, eutróficos, con pH tendiendo a alcalino y alto contenido de calcio y magnesio, bajos niveles de acidez extraíble y textura generalmente arcillosa (Cuadro 3). La alta saturación de bases de estos bosques, podría ser consecuencia del tipo de material original y su proceso de formación. Los niveles de fósforo no aparentan ser una limitación así como los de acidez extraíble (Bertsch 1987). El anterior contradice la información de que los suelos de esta zona son poco fértiles y ácidos (Larson y Barahona 1999).

Cuadro 3. Valores promedios, mínimos y máximos y desviaciones estándares de algunas variables de suelo de los 12 bosques secundarios del municipio de San Carlos, Nicaragua.

Variable	Promedio	Desviación Estándar
% de arcilla	44.29 (15.8-59.8)	10.23
pH en agua	6.69 (5.75-8.1)	0.58
Acidez extraíble	0.139 (0.075-0.845)	0.14
Calcio	20.57 (7.47-41.20)	8.71
Magnesio	8.11 (1.96-24.46)	4.43
Potasio	0.25 (0.05-0.605)	0.16
Fósforo	1.75 (0.33-8.74)	1.80
% Materia orgánica	3.34 (1.81-5.79)	0.83
% de Carbono orgánico	1.94 (1.05-3.36)	0.48

De las variables de sitio evaluadas, la materia orgánica fue la única cuyos promedios no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los bosques ($p>0.05$). Los niveles de materia orgánica son considerados medianos según la escala utilizada por Bertsch (1987) y por la clasificación de Fassbender y Bornemisza (1987) citado por Fassbender (1993) aparentemente no están correlacionados ($p>0.05$) con la edad del bosque, contrario de lo se podría esperar (Guggenberger y Zech 1999). Según Werner (1984) el patrón de acumulación de materia orgánica depende mucho de la abundancia y descomposición de la hojarasca del bosque. El Anexo 3, presenta el detalle de los resultados de los análisis de suelo para las profundidades de 0-30 y 30-60 cm para los 12 bosques secundarios.

En la mayoría de los casos la transición entre los primeros horizontes fue casi imperceptible. También se observó la presencia de pequeñas piedras calizas o concreciones en los horizontes superficiales.

El análisis de correlación de Pearson, entre la composición florística de los bosques y las variables acidez extraíble, % de arcilla, pH en agua, Mg, Ca, P, materia orgánica, carbono orgánico, % de saturación de bases y capacidad de intercambio de cationes, reveló solamente una relación positiva ($r = 0.70$ y $p<0.05$) para el contenido de P; y una relación negativa en cuanto al contenido de Mg ($r = - 0.51$ y $p<0.05$).

3.4. CONCLUSIONES

Hubo diferencias significativas entre la densidad, el área basal, la riqueza y la diversidad entre los 12 bosques secundarios estudiados. Sin embargo, la ausencia de un diseño experimental y el tipo de muestreo realizados no permitieron identificar con precisión el origen de estas diferencias. Un mayor número de repeticiones para cada una de las edades hubiera sido el deseable para así establecer con mayor seguridad, el comportamiento florístico de la vegetación a lo largo de los años.

La variabilidad e incertidumbre con relación a las edades no impidió identificar su relación positiva con la densidad, área basal, riqueza y diversidad de los 12 bosque secundarios. Sin embargo, la edad por si sola, no garantiza ciertas características de la vegetación ya que otros factores como el uso anterior de la tierra, y la fuente de semillas podrían estar influyendo en la regeneración de una determinada área. Además, prácticas de manejo como la limpieza, soca y raleo, la extracción de productos maderables y no maderables, la presencia de ganado, el fuego, entre otros pueden favorecer o desfavorecer ciertas especies, alterando la diversidad natural del bosque secundario.

En cuanto a la existencia de relaciones entre la composición florística y la condición de sitio, expresada por sus diferentes variables, se identificaron relación entre los contenidos de P y Mg del suelo y la composición florística de los bosques aunque no se estableció un patrón de comportamiento para esta relación. Además, los bosques secundarios presentaron diferencias estadísticamente significativas para todas las variables de sitio, exceptuando la materia y el carbono orgánico.

Las diferencias entre la composición florística permitió identificar tres grupos de bosques secundarios. Aparentemente, la similitud florística dentro de cada grupo parece estar relacionada a los procesos y especies colonizadoras del sitio después de su abandono y no a diferencias de edad ya que fue posible encontrar en un mismo grupo, bosques con edades variadas.

Las familias y géneros encontrados son típicos de bosques secundarios neotropicales. Generalmente, un reducido número de especies dominó en cada uno de los bosques. Muchas de las especies identificadas también ocurren en bosques primarios intervenidos

de la zona. Algunos de los bosques presentan especies típicas de bosques muy húmedos, aún cuando se ubican dentro de la zona de vida de bosque seco tropical.

Este estudio no contempló un testigo o control para aceptar o refutar las conclusiones hechas sobre los 12 bosques secundarios. La inclusión de un parche de bosque primario o de un bosque secundario maduro hubiera sido útil para validar ciertas tendencias, ya que a pesar de las diferencias existentes para las variables no fue posible aislar los efectos de la edad.

3.5 BIBLIOGRAFÍA

- Aide, TM.; Zimmerman, JK; Rosario, M.; Marcano, H. 1996. Forest recovery in abandoned cattle pastures along an elevational gradient in northeastern Puerto Rico. *Biotropica* 28(4a):537-548.
- Berrocal, AJ. 1998. Estudio etno-botánico y de mercado de productos no maderables de bosques secundarios en la Región Chorotega, Costa Rica. Informe de práctica de especialidad. Cartago, CR, ITCR. 135 p.
- Berti, CGL. 1999. Transformaciones recientes en la industria y la política forestal costarricense y sus implicaciones para el desarrollo de los bosques secundarios. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 99 p.
- Bertsch, F. 1987. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica, San José, Escuela de Fitotecnia, Programa de Comunicación Agrícola. Universidad de Costa Rica. 78p.
- Brown, S; Lugo, A.E. 1990. Tropical secondary forests. *Journal of Tropical Ecology* 6:1-32.
- Caniago, I. 1997. The diversity of medicinal plants in secondary forest post-upland farming in West Kalimantan. In Sist, P; Sabogal, C; Byron, Y. eds. Management of secondary and logged-over forests in Indonesia. Proceedings of an International Workshop, 1997. Indonesia, CIFOR/ CIRAD/ USAID. p.13-20.
- Chazdon, RL; Coe, FG. 1999. Ethnobotany of wood species in second-growth, old-growth, and selectively logged forests of Northeastern Costa Rica. *Conservation Biology* 13(6):1312-1322.
- Colwell, RK. 1997. EstimateS Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 5 User's Guide and application (On line). Disponible en: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.
- Curtis, JF.; McIntosh, RP. 1950. The interrelations of certain analytic and synthetic phytosociological characters. *Ecology* 31:434-450.

- Fassbender, HW. 1993. Modelos edafológicos de sistemas de producción agroforestal. 2ª ed. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 530 p.
- Fearnside, PM. 1996. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and Management* 80(1-3): 21-34.
- _____ ; Guimaraes, WM. 1996. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 80:35-46.
- Finegan, B. 1992. El potencial de manejo de los bosques húmedos secundarios neotropicales de las tierras bajas. Turrialba, C.R., CATIE/COSUDE. 28 p. (Serie Técnica. Informe Técnico. N°188).
- _____. 1996. Pattern and process in neotropical secondary forests: the first 100 years of succession. *Trends in Ecology and Evolution* 11(3):119-124.
- _____ ; Camacho, M. 1999. Stand dynamics in a logged and silviculturally treated Costa Rican rain forest, 1988-1996. *Forest Ecology and Management* 121: 177-189.
- _____ ; Delgado, L.D. 2000. Structural and floristic heterogeneity in a 30-year-old Costa Rican rain forest restored on pasture through natural secondary succession. *Restoration Ecology* 8(4): 380-393.
- Grau, HR; Arturi, MF; Brown, AD; Aceñolaza, PG. 1997. Floristic and structural patterns along a chronosequence of secondary forest succession in Argentinean subtropical montane forests. *Forest Ecology and Management* 95:161-171.
- Guariguata, MR.; Chazdon, RL.; Denslow, JS.; Dupuy, JM. 1997. Structure and floristics of secondary and old-growth forest stands in lowland Costa Rica. *Plant Ecology* 132:107-120.
- _____ ; Ostertag, R. 2000. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management* 5292:1-22.

- Guggenberger, G; Zech, W. 1999. Soil organic matter composition under primary forest, pasture, and secondary forest succession, Región Huetar Norte, Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 124:93-104.
- Guillén, ALJ. 1993. Inventario comercial y análisis silvicultural de bosques húmedos secundarios en la región de Huetar Norte de Costa Rica. Tesis Ing. For. Cartago, Costa Rica, ITCR. 75 p.
- Herrera, B; Campos, JJ; Finegan, B; Alvarado, A. 1999. Factors affecting site productivity of a Costa Rican secondary rain forest in relation to *Vochysia ferruginea*, a commercially valuable canopy tree species. *Forest Ecology and Management* 118:73-81.
- Hughes, RF; Kauffman, JB; Jaramillo, VJ. 1999. Biomass, carbon, and nutrient dynamics of secondary forests in a humid tropical region of Mexico. *Ecology* 80(6):1892-1907.
- Kovach, WL. 1994. *Multivariate Statistical Package, Version 2.1*. Pentraeth, Wales. Kovach Computing Services.
- Lamb, D; Parrota, J; Keenan, R; Tucker, N. 1997. Rejoining habitat remnants: restoring degraded rainforest lands. *In* Laurance, W.F; Bierregaard Jr., R.O. eds. *Tropical forest remnants*. Chicago, University of Chicago Press. p. 366-385.
- Larson, A; Barahona, T. 1999. El papel de los gobiernos municipales en la gestión de los recursos naturales: ¿San Carlos Una oportunidad despreciada? Managua, Nicaragua, Nitlapán-UCA, CIFOR, PROTIERRA-Inifom. 106p.
- Magurran, AE. 1988 *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey, Princeton University Press. 179p.
- Parrota, JA; Turnbull, JW; Jones, N. 1997. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management* 99:1-7.
- Phillips, OL; Malhi, Y; Higuchi, N; Laurence, WF; Núñez, PV; Vásquez, RM; Laurence, SG; Ferreira, LV; Stern, M; Brown, S; Grace, J. 1998. Changes in carbon balance of tropical forests: evidence from long-term plots. *Science* 282(16):439-442.

- Picado, W. 1992. Bosque natural secundario, un recurso con potencial para una producción sostenible. *In* Congreso Forestal Nacional (2, 1992, San José, Costa Rica). Memoria. San José, CR. p.137-139.
- Proyecto Manejo Integrado de los Recursos Hídricos y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Río San Juan y su Zona Costera (PMIRH). 2000. Atlas Ambiental San Carlos, Río San Juan. Managua, Ni. OEA; MARENA. s.p.
- Sabogal, C.; Castillo, A.; Mejía, A.; Castañeda, A. 2001. Aplicación de un tratamiento silvicultural experimental en un bosque de La Lupe, Río San Juan, Nicaragua. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 34 p. (Serie Técnica, Informe Técnico No. 324)
- Saldarriaga, JG; West, DC; Tharp, ML; Uhl, C. 1988. Long-term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. *Journal of Ecology* 76:938-958.
- SAS Institute. 1999. Guide for personal computers. Versión 8 edition. Cary, NC. 1686p.
- Sevegnani, L; Baptista, LR de M. 1996. Composicao florística de uma floresta secundaria, no ambito da Floresta Atlantica, Maquiné, RS. *Sellowia* 48:47-71.
- Steininger, MK. 2000. Secondary forest structure and biomass following short and extended land-use in central and southern Amazonia. *Journal of Tropical Ecology* 16:689-708.
- Tabarelli, M; Villani, JP; Mantovan, W. 1994. Estudo comparativo da vegetacao de dois trechos de floresta secundária no núcleo Santa Virginia, Parque Estadual da Serra do Mar, SP. *Revista do Instituto Florestal de Sao Paulo* 6:1-11.
- Universidad Centroamericana, Nicaragua (UCA); CATIE; CIFOR. 1998. Análisis de la vegetación en bosques secundarios de cinco Unidades Agrarias en el Río San Juan. Managua, Nicaragua. s.p.
- Universidad Centroamericana, Nicaragua (UCA); CATIE; PcaC-UNAG. 2000. Manejo sostenible de bosques secundarios por comunidades rurales en el Río San Juan. Managua, Nicaragua. s.p.

Vieira, ICG; Salomao, R de P; Rosa, N de A; Nepstad, DC; Roma, JC. 1996. O renascimento da floresta no rastro da agricultura. *Ciencia Hoje* 20(119):38-44.

Werner, P. 1984. Changes in soil properties during tropical wet forest succession in Costa Rica. *Biotropica* 16:43-50.

4. ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN BOSQUES SECUNDARIOS EN EL MUNICIPIO DE SAN CARLOS, NICARAGUA

RESUMEN

Se estimó la cantidad de biomasa y carbono almacenados en la vegetación, la hojarasca y en el suelo, en 51 parcelas temporales de muestreo establecidas en 12 parches de bosques secundarios, con edades que variaron de 6 a 25 años, en un paisaje del municipio de San Carlos, Nicaragua. Para estimar el contenido de carbono almacenado en los árboles individuales de estos bosques se utilizaron modelos alométricos de biomasa de los árboles de diámetro ≥ 5.0 cm, elaborados con base en métodos destructivos. Se cortaron 160 árboles, 133 de dap < 10 cm y 27 árboles de dap ≥ 10 cm, estos últimos distribuidos en 18 especies con diámetros entre 12.7 y 66.6 cm. Se evaluaron doce modelos para la estimación de la biomasa total arriba del suelo y sus fracciones (fuste, ramas y hojas). El modelo de mejor ajuste para la estimación de la biomasa total, fue $\log_{10}Y = -4.4661 + 2.707 \log_{10} \text{dap}$, con un $R^2 = 0.90$, CME = 0.2561 y Índice de Furnival = 0.000008675. El carbono almacenado arriba del suelo varió de 7.3 Mg ha^{-1} en el bosque de 6 años de edad a 66.8 Mg ha^{-1} en el bosque de 10 años de edad; estos valores fueron semejantes a los reportados en otros estudios (Saldarriaga *et al.* 1988, Johnson *et al.* 2001). Los valores de biomasa de hojarasca y el carbono almacenado en ella, variaron entre 2.77 y 1.27 Mg ha^{-1} a 9.17 y 4.22 Mg ha^{-1} , respectivamente. El carbono almacenado en el suelo varió de 45.12 a 100.96 Mg ha^{-1} en la profundidad de 0-30 cm y de 25.04 a 106.21 Mg ha^{-1} en la profundidad de 30-60 cm, en bosques de 25, 16, 8 y 16 años de edad, respectivamente. Aparentemente, la edad está relacionada al contenido de carbono almacenado en estos bosques, pero no con las cantidades de carbono aportadas por la hojarasca y por la materia orgánica del suelo.

Palabras claves: biomasa aérea, bosques tropicales, carbono en suelos, composición florística, cronosecuencia, estructura, hojarasca, modelos alométricos, sucesión forestal.

CARBON STORAGE IN SECONDARY FORESTS IN THE MUNICIPAL DISTRICT OF SAN CARLOS, NICARAGUA

ABSTRACT

The potential for accumulating organic carbon and thus contribute to mitigate global warming was evaluated in twelve secondary forests with ages between 6 and 25 years old in San Carlos, Nicaragua. The stored carbon in biomass, leaf litter and soil characteristics (pH, % clay, base saturation and organic matter content) were evaluated in all forests. Six of these forests had previously been used as crop lands whereas; previous use was unknown in the remaining forests. Trees were measured in 51 temporary plots, including six of 250 m² and 45 of 450 m², each having a minimum of 15 individuals of dbh \geq 10cm per plot. Allometric models were developed based on destructive measurement of 160 trees, including 18 tree species and dbh ranging between 12.7 and 66.6 cm; a total of 12 models were tested and the one with best fit selected to estimate tree biomass fractions (total, stem, branches and leaves) based on dbh measurements. Total tree biomass can be estimated by $\log_{10}Y = -4.4661 + 2.707 \log_{10} \text{dbh}$, with $R^2 = 0.90$, CME = 0.2561 and Furnival Index = 0.000008675. Above ground carbon stored in tree biomass varied between 7.3 Mg ha⁻¹ in a six year old forest up to 66.8 Mg ha⁻¹ in a ten year old forest; these values were similar to other reported in previous studies (Saldarriaga et al. 1988, Jonson et al. 2001). Biomass and the stored carbon in the leaf litter varied between 2.77 and 1.27 Mg ha⁻¹ up to 9.17 and 4.22 Mg ha⁻¹, respectively. Soil carbon varied between 45.12 to 100.96 Mg ha⁻¹ in top 30 cm of soil and from 25.04 to 1.06.21 Mg ha⁻¹ at 30-60 cm in the soil. Stored carbon in above ground biomass seemed to be related to forest age while soil and litter were not directly related to it.

Key words: aboveground biomass, allometric models, chronosequence, floristic composition, forest succession, litter, tropical forests, structure, soil carbon.

4.1 INTRODUCCIÓN

Las concentraciones de carbono atmosférico siguen aumentando a pesar de todos los esfuerzos técnicos y políticos hechos en los últimos años para la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero. De 1850 a 1998 cerca de 136 (\pm 55) Gt de carbono (C) fueron emitidas como consecuencia del cambio de uso de la tierra (Watson *et al.* 2000) ya que continuamente, grandes extensiones de tierra son deforestadas y convertidas a tierras agrícolas o pecuarias (Smith *et al.* 1999, Aide *et al.* 2000). Muchas de estas tierras son anualmente abandonadas por su inaptitud agrícola o pecuaria, por la falta de recursos (capital, mano de obra o asistencia técnica) para su explotación o a causa de los bajos rendimientos de la actividad desarrollada (Thiele 1993, Smith *et al.* 1997, Smith *et al.* 1999) o simplemente son dejadas en descanso para la recuperar la fertilidad del suelo. Estos hechos permiten que constantemente se inicien procesos de regeneración natural de la vegetación dando origen a los llamados bosques secundarios (Finegan 1992, Sevegani y Baptista 1996, Nelson *et al.* 2000).

Los bosques tropicales juegan un importante en el ciclo de carbono orgánico almacenado, representando 20% de la reserva terrestre mundial de carbono, incluyendo suelo y vegetación (Brown y Lugo 1982). En los últimos años, muchos estudios han demostrado la capacidad de los bosques secundarios para fijar y almacenar carbono atmosférico, especialmente en países tropicales y subtropicales (Williams-Linera 1983, Ketterings *et al.* 2001, Steininger 2000, Hashimoto *et al.* 2000, Aide *et al.* 2000, Hughes *et al.* 1999, Johnson *et al.* 2001).

Actualmente, los métodos más utilizados para la estimación de biomasa y del carbono almacenado en la vegetación son el de la estimación de biomasa por medio de la construcción de modelos alométricos (muestreos destructivos) (Ketterings *et al.* 2001, Hughes *et al.* 1999, Nelson *et al.* 1999, Saldarriaga 1988, Szott *et al.* 1994) y el método de estimación "satelital" (Steininger 2000, Vieira *et al.* en prensa, Nelson *et al.* 2000). La metodología empleada en el presente estudio fue la de la estimación destructiva de algunos elementos arbóreos para la construcción de modelos alométricos para la estimación de la biomasa y del carbono de los individuos arbóreos de diámetro (diámetro a altura del pecho o a 1.30 m = dap) mayor o igual a 5.0 cm.

Esta investigación contribuyó al conocimiento de los bosques secundarios en la mitigación del efecto invernadero mediante la estimación del almacenamiento de carbono de 12 bosques secundarios, con edades que varían de 6 a 25 años, en un paisaje del municipio de San Carlos, Nicaragua.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Descripción del área de estudio

4.2.1.1 Ubicación

El trabajo se desarrolló en el municipio de San Carlos, Departamento de Río San Juan, República de Nicaragua (Figuras 1 y 2). El Municipio posee una extensión de 1462 km² y se ubica entre las coordenadas 10° y 11°25' Latitud Norte y 84°25' y 85°11' Longitud Oeste (Larson y Barahona 1999, UCA *et al.* 2000).

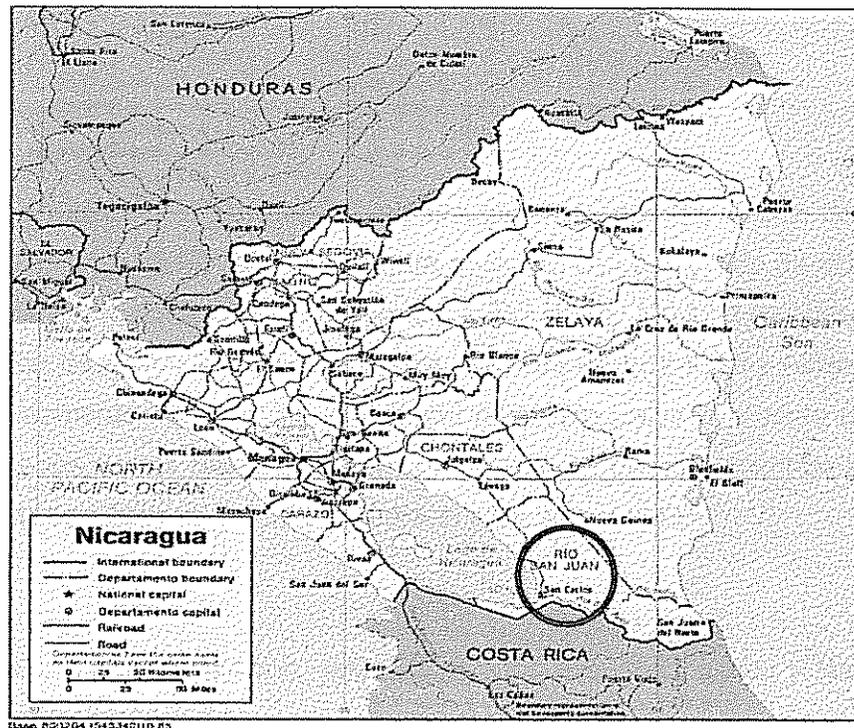


Figura 1. Localización del municipio de San Carlos, departamento de Río San Juan, Nicaragua.

4.2.1.2 *Características climáticas y topográficas*

La información acerca de las zonas de vida presentes en San Carlos es contradictoria. Según INDES (1997), citado por Larson y Barahona (1999) el municipio posee dos zonas de vida siendo la mayor parte del territorio bosque húmedo tropical (bh-T), con una pequeña parte de bosque húmedo premontano transición cálida. UCA *et al.* (2000) y PMIRH (2000) describen cuatro zonas de vida: bosque húmedo tropical (bh-T); bosque muy húmedo subtropical (bmh-ST); bosque seco tropical (bs-T) y bosque pluvial subtropical (bp-ST).

San Carlos presenta dos tipos de clima, el tropical de selva monzónico que abarca casi todo el municipio y el tropical de selva (PMIRH 2000). La precipitación promedio anual es cerca de 1927 mm pero la gran mayoría del territorio tiene un rango anual entre 2000 y 3000 mm; la temperatura promedio anual es 26°C, la humedad relativa anual es 85% y la época seca se prolonga de uno a cuatro meses (Larson y Barahona 1999, UCA *et al.* 2000). Se registran elevaciones entre 50 y 300 msnm (PMIRH 2000).

4.2.1.3 *Suelos*

La información disponible reporta, de manera general, que los suelos del municipio de San Carlos son de baja fertilidad, de textura arcillosa, con alto grado de acidez y con una capa delgada de materia orgánica (Larson y Barahona 1999). Los Ultisoles aparecen como el orden de suelos más predominante, seguida de Inceptisol y Alfisol que ocurren en aproximadamente 27%, 16.5% y 15% del municipio respectivamente (PMIRH 2000). Normalmente las tierras bajas presentan problemas de drenaje mientras que las tierras altas presentan problemas de erosión (Larson y Barahona 1999).

4.2.2 *Definición de la población, selección de bosques secundarios y tipo de muestreo utilizado*

El estudio se restringió a la Zona de Vida y Desarrollo definida por el Proyecto SI-A-PAZ (Larson y Barahona 1999), principalmente en el entorno de la principal vía de acceso

entre San Carlos y San Miguelito. Como no se contaba con información precisa de cuáles y dónde se ubicaban las fincas con bosques secundarios, se escogieron, al azar, 100 productores de diferentes comunidades a los cuales se aplicó una encuesta (Anexo 1).

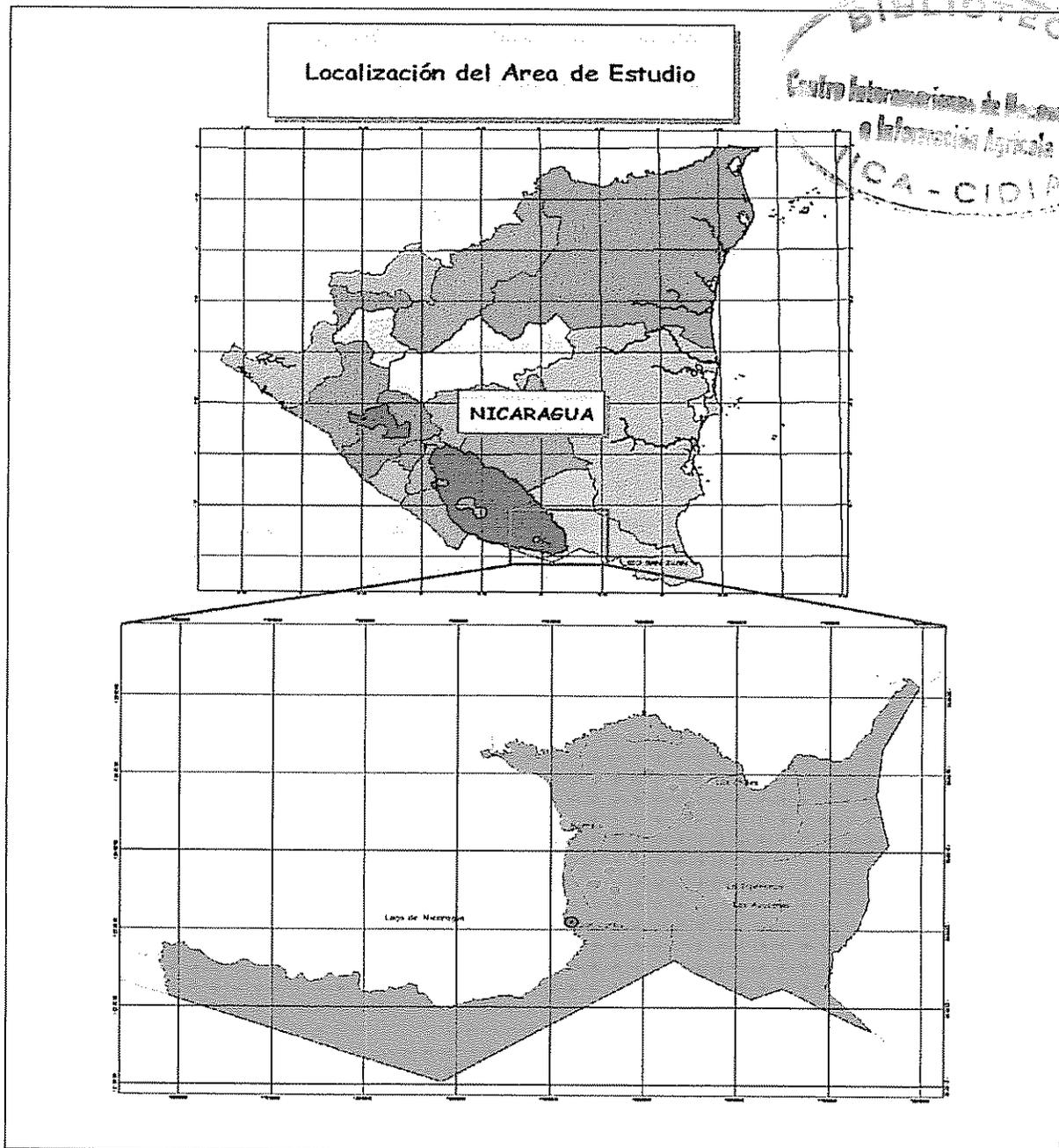


Figura 2. Detalle del municipio de San Carlos y de algunas de las unidades de muestreo departamento de Río San Juan, Nicaragua. Fuente: Laboratorio de SIG/CATIE (2001).

La selección se realizó de manera aleatoria, con base en un listado suministrado por los diferentes proyectos e instituciones actuantes en el municipio como: Unión Nacional de Agricultores y Ganaderos (UNAG), Prosur, Auxilio Mundial y Comités Regionales. Sin embargo, también se seleccionaron otros agricultores propietarios de bosques secundarios que inicialmente no aparecían en el listado original para la aplicación de la encuesta; esto con el objetivo de optimizar los recursos invertidos y aumentar así la probabilidad de contar con más unidades de muestreo. En total, se aplicaron 82 encuestas en 16 distintas comarcas.

Los objetivos de la encuesta fueron identificar propietarios con bosque secundario y obtener información acerca del manejo de su manejo. Entre la información recopilada se encuentran: área de la finca, tenencia de la tierra, distribución del área entre los diferentes usos de la tierra, existencia de bosque secundario (tacotal), área, manejo, uso anterior del terreno ahora con tacotal, duración del uso, usos y/o productos derivados del bosque secundario, biodiversidad (fauna y flora) y uso futuro del bosque secundario (Anexo 1).

Es importante destacar que en algunos casos la edad del bosque es incierta ya que los agricultores desconocían el dato real o establecían la edad dentro de rangos. Los bosques con edad más precisa fueron aquellos de menos de 10 años, con usos relativamente recientes.

Para seleccionar los bosques secundarios se estableció una serie de requisitos como: área mínima de 1.4 ha (dos manzanas), áreas de bosques no sujetas a anegamiento y edad mínima de cinco años. En cuanto al uso anterior se seleccionaron aquellos bosques que habían tenido un uso agrícola, aunque para algunos bosques el uso anterior no pudo ser establecido. Con la información levantada en las encuestas, se procedió a agrupar las fincas en dos grupos: a) fincas con bosque secundario y b) fincas sin bosque secundario.

El grupo de las fincas sin bosque secundario fue constituido por aquellas cuyos bosques secundarios no cumplían con todos los requerimientos para su muestreo o que simplemente no poseían parches de bosques secundarios. El grupo de las fincas con bosque secundario fue conformado por aquellas que presentaban bosques secundarios que reunían los requisitos para su muestreo. Dentro de este grupo se ordenaron los bosques según su edad y con base en las informaciones de la encuesta, se desecharon

aquellos que aparentemente eran fragmentos de bosques primarios intervenidos o que habían sufrido algún tipo de enriquecimiento. Una vez pasada esta fase, se realizaron visitas a las fincas para corroborar las informaciones acerca de los bosques y verificar si su forma permitía la instalación de las parcelas de muestreo. Este paso permitió eliminar aquellos bosques riparios, ya que en general, estos eran apenas franjas angostas ubicadas a ambos lados de quebradas o ríos, y que también eran florísticamente diferentes dada la presencia de especies con mayor requerimiento de humedad en el suelo.

Al final del anterior proceso, se encontró que menos del 35% de los encuestados poseían bosques secundarios que cumplieron con los requisitos necesarios para su inclusión dentro del marco muestral. Finalmente, se seleccionaron para este estudio, 12 bosques secundarios, con edades que varían entre 6 a 25 años, en siete diferentes comarcas.

De los bosques seleccionados, seis de ellos tenían el uso agrícola como el uso de la tierra anterior a la cobertura de bosque secundario, y en los seis restantes el uso anterior era desconocido por el propietario del bosque (Cuadro 1).

La actividad agrícola en la zona no es tecnificada y la aplicación de fertilizantes o herbicidas no es frecuente dada la escasez de recursos financieros de los agricultores. Los principales cultivos agrícolas son los granos básicos como el arroz y maíz, sembrados de primera (primera época de siembra), entre mayo y junio y el frijol, que es sembrado de postrera (segunda época de siembra), entre septiembre y octubre. La utilización de maquinaria o animales en la siembra de estos granos es mínima y comúnmente se utiliza el espeque como herramienta manual. La preparación del terreno se realiza de manera rudimentaria mediante la tumba y quema de la vegetación (rastrajo).

Cuadro 1. Ubicación, edad, uso anterior y número de parcelas temporales de muestreo establecidas en los bosques secundarios estudiados en San Carlos, Nicaragua.

Bosque n ^o	Comarca	Edad	Uso anterior	N ^o Parcelas
1	Ojo de Agua	12	Desconocido	5
2	México	20-25	Desconocido	6
3	México	18-20	Desconocido	2
4	México	15-17	Desconocido	2
5	Quinta Lidia	16	Desconocido	6
6	Santa Isabel	8-10	Desconocido	5
7	Santa Isabel	7-8	Agrícola	2
8	Cruz Verde	6	Agrícola	5
9	El Danubio	25	Agrícola	4
10	Laurel Galán	6-7	Agrícola	6
11	Laurel Galán	7-8	Agrícola	4
12	Ojo de Agua	10	Agrícola	4
TOTAL				51

4.2.3 Descripción de los bosques estudiados

Los bosques secundarios estudiados poseían edades entre 6 y 25 años, la gran mayoría en la segunda fase de la sucesión (Finegan 1992). Las familias con mayor número de individuos en estos bosques son: Sterculiaceae, Rubiaceae, Fabacea/Pap., Cecropiaceae, Ulmaceae, Tiliaceae y Anacardiaceae y las especies más abundantes fueron especialmente *Guazuma ulmifolia* (Sterculiaceae), *Coussarea sp.* (Rubiaceae) y *Calycophyllum candidissimum* (Rubiaceae) (Ferreira *et al.* 2001).

Un análisis de correspondencia (DECORANA) realizado en estos bosques (Ferreira *et al.* en prensa), para los individuos de dap 10 cm, permitió identificar tres distintos grupos en función de la variabilidad de composición florística existente entre ellos. En un grupo están los bosques de 12, 23, 19 y 16 años de edad respectivamente, los más maduros del estudio y cuyas especies relacionadas son principalmente *Coussarea sp.*, *Ampelocera macrocarpa* (Ulmaceae), *Brosimum alicastrum* (Moraceae) y *Tetragastris panamensis* (Burseraceae). Otro grupo reúne los bosques de 16, 9, 8 y 8 años de edad

respectivamente, todos asociados especialmente a la presencia de *Guazuma ulmifolia* y *Lonchocarpus sp1* (Fabaceae/Pap.). El último de los grupos está definido por bosques secundarios de 25, 7 y 10 años de edad respectivamente y donde la especie asociada es *Cecropia peltata* (Cecropiaceae), una especie pionera y *Calycophyllum candidissimum* y *Luehea seemannii* (Tiliaceae) también presentes en algunos de estos bosques. El bosque de seis años de edad no pudo ser incluido en ninguno de los grupos establecidos aunque presenta un % de IVI de 16.4 para la especie *Guazuma ulmifolia* y 23.4 para *Cecropia peltata*. Sin embargo, este bosque presenta una gran dominancia de *Cochlospermum vitifolium*, con un % de IVI de 43.6, lo que no ocurre en los demás bosques. El detalle de las especies y sus IVI se encuentra en el Anexo 2.

La densidad de individuos (N) de $dap \geq 10$ cm varía de 152 en el bosque de seis años de edad a 870 individuos en el bosque de 25 años de edad (Ferreira *et al.* en prensa). El área basal (G) para los individuos de $dap \geq 10$ cm, varía de $1.9 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en el bosque de 6 años de edad a $35.7 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en el bosque de 23 años, semejante a bosques primarios (Saldarriaga 1988).

4.2.4 *Ubicación, tamaño y forma de la unidad de muestreo*

Al momento de iniciar el muestreo en un bosque se procedió primeramente a verificar el perímetro del parche y a la vez estimar de acuerdo a su forma, la línea de mayor longitud, la cual se denominó línea madre. La longitud de estas líneas en los bosques muestreados varió entre 80 y 400 m, siendo la base utilizada para determinar las distancias entre parcelas y su cantidad a instalar dentro de cada parche. Para ubicar las parcelas temporales de muestreo (PTM), se trazaron carriles perpendiculares a la línea madre. Las distancias entre las parcelas varió de 30 a 90 m y la primera parcela se instaló desde el borde, a la mitad de la distancia utilizada para la ubicación de las demás.

Las PTM establecidas fueron del tipo anidado con la mayor de forma rectangular y la menor de forma cuadrada. La rectangular varió de $10 \times 25 \text{ m}$ (250 m^2) a $15 \times 30 \text{ m}$ (450 m^2) en función de la existencia o no, de un mínimo de 15 individuos leñosos de $dap \geq 10$ cm, dentro de la misma. Este criterio tenía como objetivo garantizar una representatividad mínima de la población de árboles de los parches. La parcela menor fue de $10 \times 10 \text{ m}$ y

en esta se inventarió la vegetación leñosa ≥ 5.0 cm de dap (latizal alto). En total fueron establecidas 51 parcelas para el muestreo de fustales (dap ≥ 10 cm), seis de 250 m² y cuarenta y cinco de 450 m², y 51 para el muestreo de los latizales altos. Cuando las parcelas fueron instaladas en áreas de poca o ninguna pendiente, estas se establecieron con brújula; en áreas de mayor pendiente las parcelas fueron instaladas de acuerdo a una curva de nivel trazada con clinómetro (SUUNTO).

4.2.5 *Colecta de datos de campo*

4.2.5.1 *Vegetación*

En cada una de las parcelas, se realizó un censo de la vegetación leñosa de acuerdo a su dap mínimo establecido. Todos los individuos fueron registrados e identificados por un baquiano conocedor de la zona con el nombre común cuando este lo conocía. Se midieron los diámetros a la altura del pecho (1.30 m), con cinta diamétrica de fibra de vidrio y las alturas totales y comerciales con clinómetro, así como las pendientes de las parcelas.

Se colectaron muestras de algunos árboles para la identificación taxonómica¹ posteriormente realizada por el Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), Costa Rica. Se logró identificar con nombre científico, cerca de 80% de las especies identificadas por nombre común y muestreadas en campo. Los individuos no identificados científicamente, haya sido por razones de insuficiencia de material colectado, deterioro del mismo o imposibilidad de colecta, fueron considerados por su nombre común en el análisis de los datos. Los individuos que no fueron posibles identificar a nivel de campo con el nombre común fueron registrados como de especie desconocida.

4.2.5.2 *Suelos*

En cada una de las parcelas grandes de muestreo (10 x 25 ó 15 x 30 m) se colectaron tres submuestras de suelo para las profundidades de 0-30 cm y 30-60 cm. Cada submuestra se mezcló separadamente para obtener una muestra compuesta por cada

¹ Identificación realizada por el Ing. For. Nelson Zamora.

profundidad por parcela. En ambas profundidades se determinó el pH, acidez extraíble, P, K, Ca, Mg, la textura, el contenido de materia orgánica y carbono orgánico. Se seleccionaron algunas de las parcelas para la colecta, por medio de anillos de metal, de muestras para determinar la densidad aparente de estos suelos.

Los análisis químicos y físicos de las muestras de suelo colectadas en las parcelas fueron realizados en el Laboratorio de Suelos de CATIE, de acuerdo a las siguientes metodologías:

- MO% y % CO: Walkly y Black;
- K: Espectroscopia de Absorción Atómica;
- Ca, Mg: extracción con Oxido de Lantano al 1% y lectura con Absorción Atómica;
- P: Determinación por método colorimétrico;
- PH: extracción con agua y lectura en pHímetro;
- Textura: Método de Bouyoucos;
- Acidez extraíble: extracción con KCl.

4. 2.5.3 *Muestreo de los árboles*

Se seleccionaron algunos árboles para la corta y posterior medición del peso de sus fracciones de fuste, ramas y hojas. Los árboles cortados y pesados para estimar la biomasa se seleccionaron según los siguientes criterios:

- Las especies a cortar fueron aquellas, sin valor comercial, autorizadas por el propietario del bosque;
- dap entre 5.0 y 70.0 cm;
- Facilidad de acceso al árbol dentro del bosque.

Los árboles seleccionados para el muestreo fueron cortados con motosierra o hacha y su biomasa fue separada de dos maneras: para los árboles de dap ≥ 10 cm, la separación consistió en biomasa de fuste, ramas gruesas (≥ 10 cm de diámetro) y ramas delgadas (2-10 cm de diámetro). Para aquellos árboles de dap ≤ 9.9 cm, la separación de la biomasa se dio en biomasa de fuste, ramas y hojas. Para ambos casos, el peso fresco de cada uno de los componentes del árbol fue pesado y registrado en balanza tipo reloj. Luego se

tomó una submuestra de cada componente, se pesó y posteriormente se determinó el contenido de materia seca en el laboratorio².

En total, se cortaron 160 árboles, 133 de $dap \leq 9.9$ cm y 27 árboles de $dap \geq 10$ cm, estas distribuidas en 18 especies con diámetros entre 12.7 y 66.6 cm (Cuadro 2). En el caso del tocón se midieron cuatro diámetros y cuatro alturas para calcular el promedio para la posterior determinación de su volumen. Para transformar estos volúmenes a biomasa se consideraron las densidades específicas de cada una de las especies reportadas en la literatura o un valor promedio cuando no había información precisa para la especie. En el laboratorio, las muestras se secaron en un horno, a una temperatura de 60° C hasta alcanzar peso constante. El tiempo de secado varió de 24 a 72 horas dependiendo del tipo de material: hojas, ramas o fuste.

4.2.5.5 *Construcción de modelos alométricos*

Los porcentajes de materia seca de las muestras se emplearon para la transformación del peso fresco a biomasa que a su vez fue transformada a carbono. El porcentaje de carbono de la biomasa utilizado para la estimación del carbono almacenado fue 46%, cifra reportada por Segura (1999).

Los 160 árboles cortados y pesados fueron utilizados para la construcción de doce modelos alométricos para la estimación de biomasa de árboles individuales en los bosques secundarios que fueron evaluados de acuerdo a la integración de los siguientes criterios:

- Lógica biológica del modelo
- Coeficiente de determinación (r^2 para las regresiones simples y R^2 para las regresiones múltiples)
- CME (Cuadrado medio del error)
- Índice de Furnival (Furnival 1961)
- Simplicidad de obtención de las variables
- Significancia de cada parámetro en el modelo

² Laboratorio de Nutrición Animal del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Cuadro 2. Especies, número de individuos y dap de los árboles de dap \geq 5.0 cm muestreados.

Nombre Científico	Nombre Común	Distribución diamétrica (cm) y							Total
		cantidad de individuos muestreados							
		5-9.9	10-20	21-30	31-40	41-50	51-60	>61	
<i>Albizia adinocephala</i>	Sombra de armados	2							2
<i>Ampelocera macrocarpa</i>	Yayo	4	1	1					6
<i>Apeiba membranacea</i>	Peine de mico			1					1
<i>Banara guianensis</i>	Margarita	7							8
<i>Brosimum alicastrum</i>	Ojoche	1			1			1	3
<i>Bursera simarouba</i>	Indio desnudo	2			1				3
<i>Byrsonima crassifolia</i>	Nancite	2							2
<i>Calycophyllum candidissimum</i>	Madroño	2	1		1				4
<i>Cassia moschata</i>	Caña fistola / Carolillo	1					1		2
<i>Cecropia peltata</i>	Guarumo / Guarumo blanco	11	1						13
<i>Clibadium sp.</i>	Tatacasme	4							4
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Poro poro	8							8
<i>Cordia alliodora</i>	Laurel	2							2
<i>Cordia sp.</i>	Muñeco	2							2
<i>Cordia spinescens</i>	Capulín negro	3							3
<i>Coussarea sp.</i>	Mangle	10		1			1		12
<i>Eugenia sp.</i>	Arrayán	2							2
<i>Ficus insipida</i>	Chilamate						1		1
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guacimo de ternero	13	1	1					15
Lechillo	Lechillo				1				1
<i>Lonchocarpus sp.</i>	Chaperno	1	1				1		3
<i>Lonchocarpus sp01.</i>	Zopilote	4		1					5
<i>Luehea seemannii</i>	Guacimo colorado	5							5
<i>Mabea occidentalis</i>	Manzano						1		1
<i>Miconia argentea</i>	Capirote	2							2
<i>Nectandra sp.</i>	Aguacate de monte	3			2				5
Papayo	Papayo	2							2
<i>Psychotria grandis</i>	Iguatil / Uva macho	2							2
<i>Quararibea funebris</i>	Pataste	2							2
<i>Ruprechtia costata</i>	Pipilacho	2							2
Santa María	Santa María	2							2
<i>Spondias mombin</i>	Jobo blanco/Jobo colorado	6		1				1	8
<i>Terminalia oblonga</i>	Guayabón	2	1						3
<i>Tetragastris panamensis</i>	Kerosin						2		2
<i>Trema micrantha</i>	Capulin	2							2
<i>Urera sp.</i>	Chichicaste	3							3
<i>Zuelania guidonia</i>	Plomo	2							2
Varias especies*		14							15
Total		130	6	6	6	5	3	1	160

(*) Alcanfor, Guarumo colorado (*Cecropia insignis*), Coloradito, Jabillo (*Hura crepitans*), Cordoncillo negro (*Piper sp.*), Quitacalzon, Jicarillo negro (*Randia aculeata*), Siete nudos (*Rinorea sp.*), ron ron, Sonsonate, Jobo (*Spondias sp.*), Roble (*Tabebuia rosea*), Cedrillo (*Trichilia martiana*), Cacahuillo (*Trichilia pallida*) y zorrillo.

4.2.5.6 *Análisis de los datos*

Se clasificó la información proveniente de las PTM por clase diamétrica, luego se calcularon promedios ponderados de materia seca por las fracciones de los árboles cortados y estos fueron utilizados para calcular la biomasa de cada uno de los árboles muestreados. Se calculó el Factor de Expansión de Biomasa (FEB), para determinar la relación entre la biomasa de fuste en la biomasa total de los árboles (Brown 1992).

El carbono almacenado en el suelo y expresado por hectárea fue determinado relacionándose el porcentaje de carbono almacenado en cada una de las muestras, la densidad aparente de la mismas y el volumen de suelo a 30 cm de profundidad. La biomasa de hojarasca fue calculada con base en una muestra, compuesta por tres submuestras, y su relación con el área de la parcela y posterior transformación a valores de biomasa de hojarasca por hectárea.

Para los modelos alométricos, se realizaron análisis de regresión para evaluar la significancia de las variables utilizadas. Además, se utilizó el índice de Furnival (1961) como comparador del ajuste entre modelos de escalas logarítmicas y no logarítmicas. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el Programa Estadístico SAS (SAS Institute, 1999). A los datos de biomasa de los árboles muestreados también se aplicó la ecuación $\ln DW = -1.9968 + 2.4128 \ln(DBH)$, modelo alométrico desarrollado por Nelson *et al.* (1999) con un $r^2 = 0.984$ para los datos originales.

Se realizaron análisis de varianza para identificar diferencias en las cantidades de biomasa, carbono, hojarasca y carbono en el suelo entre los bosques. También se realizaron análisis de regresión y correlación para evaluar la relación entre la edad de los bosques, las variables de sitio y las fracciones de biomasa. Los árboles de $dap \geq 90$ cm fueron excluidos de los análisis de densidad y área basal como en los análisis del carbono almacenado en los bosques; esto con el objetivo de evitar que estos árboles remanentes del bosque original pudiesen sesgar los valores de estas variable.

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1 Caracterización de los suelos

Los bosques presentaron suelos fértiles, eutróficos, con pH tendiendo a alcalino y alto contenido de calcio y magnesio, bajos niveles de acidez extraíble y textura generalmente arcillosa (Cuadro 3). La alta saturación de bases de estos bosques, podría ser consecuencia del tipo de material original y su proceso de formación. Los niveles de fósforo no aparentan ser una limitación así como los de acidez extraíble (Bertsch 1987). El anterior contradice la información de que los suelos de esta zona son poco fértiles y ácidos (Larson y Barahona 1999).

Cuadro 3. Valores promedios, mínimos y máximos y desviaciones estándares de algunas variables de suelo de los 12 bosques secundarios del municipio de San Carlos, Nicaragua.

Variable	Promedio	Desviación Estándar
% de arcilla	44.29 (15.8-59.8)	10.23
pH en agua	6.69 (5.75-8.1)	0.58
Acidez extraíble	0.139 (0.075-0.845)	0.14
Calcio	20.57 (7.47-41.20)	8.71
Magnesio	8.11 (1.96-24.46)	4.43
Potasio	0.25 (0.05-0.605)	0.16
Fósforo	1.75 (0.33-8.74)	1.80
% Materia orgánica	3.34 (1.81-5.79)	0.83
% de Carbono orgánico	1.94 (1.05-3.36)	0.48

De las variables de sitio evaluadas, la materia orgánica fue la única cuyos promedios no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los bosques ($p > 0.05$). Los niveles de materia orgánica, considerados medianos según la escala utilizada por Bertsch (1987) y por la clasificación de Fassbender y Bornemisza (1987) citado por Fassbender

(1993), aparentemente no están correlacionados ($p > 0.05$ y $r^2 = 0.022$) con la edad del bosque, contrario de lo se podría esperar (Guggenberger y Zech 1999). Según Werner (1984) el patrón de acumulación de materia orgánica depende mucho de la abundancia y descomposición de la hojarasca del bosque. El Anexo 3, presenta el detalle de los resultados de los análisis de suelo para las profundidades de 0-30 y 30-60 cm para los 12 bosques secundarios.

En la mayoría de los casos la transición entre los primeros horizontes fue casi imperceptible. También se observó la presencia de pequeñas piedras calizas o concreciones en los horizontes superficiales pero aparentemente estas no consistían en una limitación al desarrollo de las raíces de los árboles.

4.3.2 *Biomasa de los árboles muestreados*

Los árboles de $dap \geq 10$ cm presentaron mayores porcentajes de materia seca en las ramas pequeñas, ramas grandes y fuste, 53.34%, 52.82 y 57.68% respectivamente, comparados a 24.5%, 38.1% y 35.5% de hojas, ramas y fuste de los árboles pequeños. La diferencia entre los promedios ponderados de materia seca de los árboles grandes, 55.61%, y los árboles pequeños, 41.01%, puede ser atribuida a diferencias anatómicas asociadas al desarrollo de los mismos, reflejadas en la cantidad de tejidos estructurales y compuestos como lignina, celulosa, hemicelulosa y otros.

La biomasa de fuste fue proporcionalmente mayor en los árboles de $dap < 10$ cm que en árboles de $dap \geq 10$ cm; estos últimos, por el contrario, mantienen proporcionalmente mayor biomasa en las ramas que los árboles pequeños (Figuras 3a y 3b). Esta distribución fue bastante predecible ya que los árboles de menor diámetro, tienen generalmente menor copa debido a la fuerte competencia por luz en los primeros años de desarrollo.

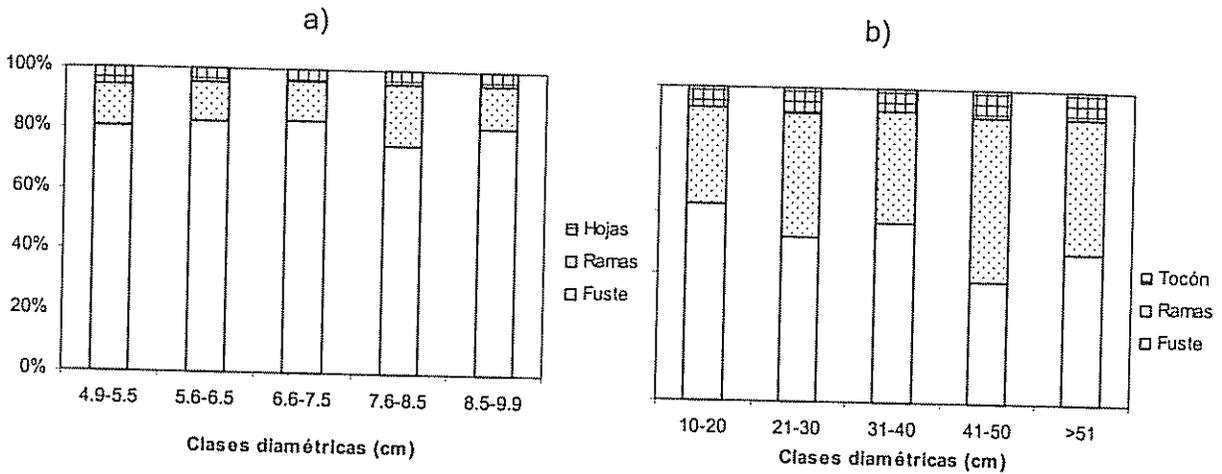


Figura 3. Distribución de la biomasa aérea total en las fracciones por clases diamétricas, a) para árboles de $5.0 \leq \text{dap} \leq 9.9$ cm; b) para árboles de $\text{dap} \geq 10$ cm.

El factor de expansión de biomasa (FEB) mostró una tendencia a estabilizarse con el aumento de la biomasa de fuste (Figura 5) (Brown y Lugo 1992). Los árboles de mayor diámetro (≥ 10 cm) presentaron un promedio de $1.85 (\pm 0.74)$ comparado al promedio de $1.32 (\pm 0.48)$ de los árboles de menor diámetro, indicando una mayor participación del fuste en la biomasa total de estos árboles (Figura 6). Además, la biomasa total, de fustes, de ramas grandes y de ramas pequeñas estuvieron relacionados de forma significativa y positiva con el aumento del dap ($p < 0.05$).

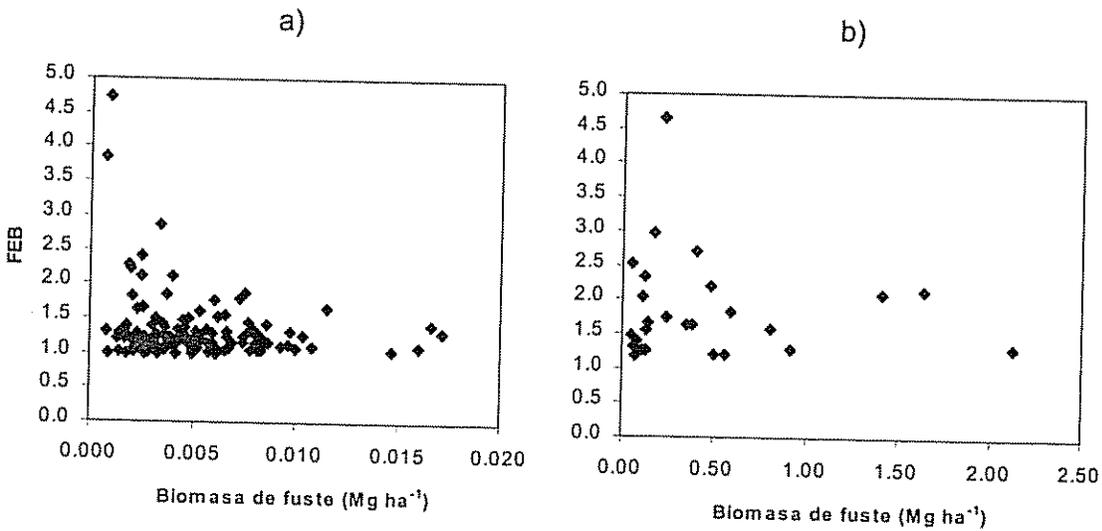


Figura 4. Factor de expansión de biomasa (FEB) en función de la biomasa de fuste para, a) árboles de $\text{dap} < 10$ cm, b) árboles de $\text{dap} \geq 10$ cm.

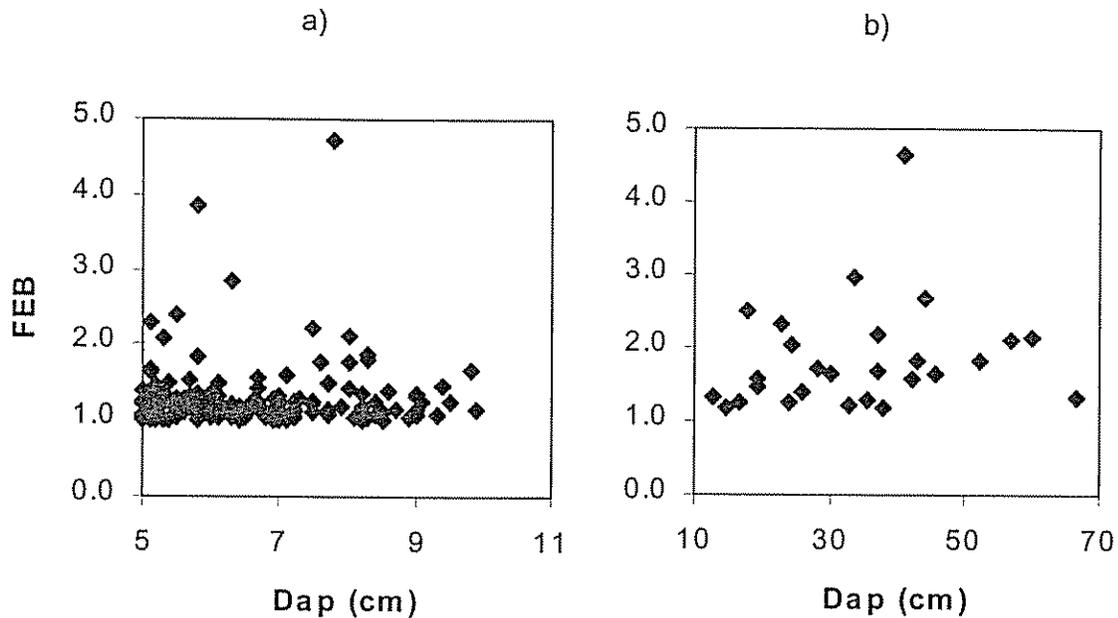


Figura 5. Relación del Factor de Expansión de Biomasa (FEB) con el dap de los 160 árboles muestreados, a) para árboles de dap < 10 cm, b) para árboles de dap \geq 10 cm.

4.3.3 Construcción de modelos alométricos

Los modelos alométricos para un grupo de especies no son tan precisos como los modelos elaborados especialmente para una especie (Nelson *et al.* 1999). Esto se debe al hecho de que las especies utilizadas para la construcción de los modelos presentan características distintas, especialmente en cuanto a la gravedad específica de la madera. Sin embargo, debido a que no se contaba con una buena representatividad numérica de las diferentes especies se decidió elaborar modelos alométricos mixtos.

Los diámetros y alturas de los 160 árboles utilizados en la construcción de los modelos alométricos mostraron una correlación significativamente positiva ($p < 0.05$ y $r^2 = 0.75$). Sin embargo, aunque la inclusión de más variables mejora la precisión de los modelos logarítmicos (Zeide 1993, Nelson *et al.* 1999), los modelos seleccionados para la estimación de la biomasa aérea total y sus fracciones (Cuadro 4) consideran solamente el diámetro por ser este una variable de fácil medición y mayor precisión que la altura.

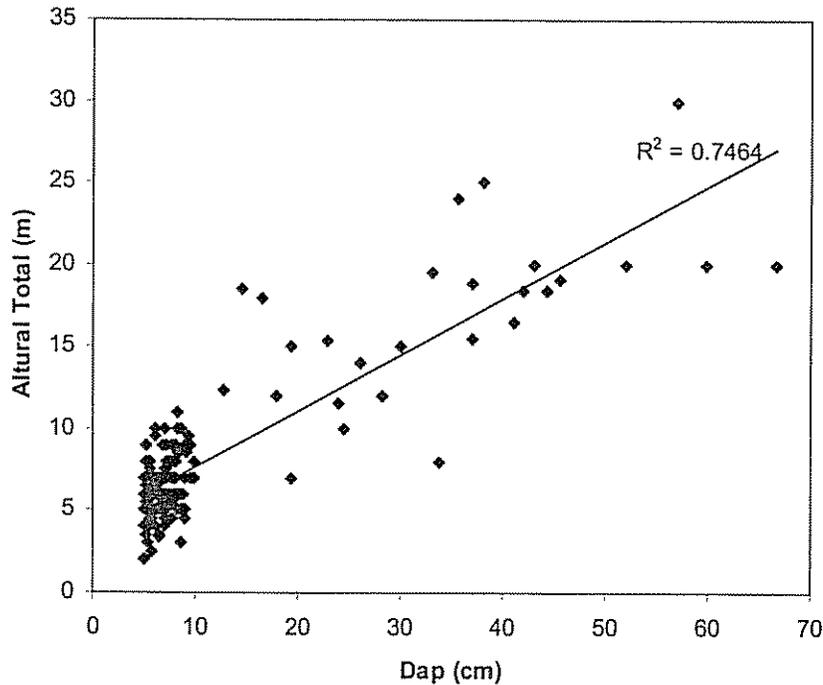


Figura 6. Relación entre la altura total y el dap de los árboles muestreados.

Los modelos alométricos logarítmicos fueron los de mejor ajuste ya que permitieron reducir la heterocedasticidad de los datos y homogeneizar su varianza, mejorando la distribución de los residuos. Un buen ejemplo es el modelo para la estimación de la biomasa aérea total, de fácil aplicación y con $R^2 = 0.90$ (Anexos 4 y 5).

Para estimar la biomasa de hojas, los modelos alométricos evaluados explicaron cerca de 20 % de la variación existente entre los datos, razón por la cual no se seleccionó ningún modelo para su estimación (Anexo 6). La baja correlación encontrada entre las variables de estos modelos puede ser explicada por el comportamiento caducifolio de muchas de las especies, ya que en el momento del muestro muchos árboles no tenían hojas o estas apenas se estaban desarrollando. La relación entre la biomasa aérea total, real, determinada en los 160 árboles con $dap \geq 5.0$ cm y la biomasa estimada por el modelo seleccionado puede ser visualizada en el Figura 7.

Cuadro 4. Modelos alométricos seleccionados para la estimación de la biomasa aérea total y sus fracciones.

Variable	Modelo	r^2	CV%	RSME	IF	Pr < F	N
1. Biomasa aérea total	$\text{Log}_{10} Y = - 4.4661 + 2.707 \log_{10} \text{dap}$	0.90	- 13.19	0.2561	0.0000087	0.0001	160
2. Biomasa de fuste	$\text{Log}_{10} Y = - 4.4159 + 2.5169 \log_{10} \text{dap}$	0.88	- 12.65	0.2610	0.0000045	0.0001	160
3. Biomasa total de ramas	$\text{Log}_{10} Y = - 5.9177 + 3.3569 \log_{10} \text{dap}$	0.77	- 19.21	0.5269	0.0000026	0.0001	146
4. Biomasa de ramas grandes	$\text{Log}_{10} Y = - 6.5817 + 3.619 \log_{10} \text{dap}$	0.78	- 30.92	0.3314	0.001128	0.0001	25
5. Biomasa de ramas pequeñas	$Y = - 0.0022 + 0.0001 \text{dap}^2$	0.77	141.60	0.03545	0.00000019	0.0001	146

Dentre los modelos alométricos utilizados para bosques secundarios por Saldarriaga *et al.* (1988), Uhl *et al.* (1988), Hughes *et al.* 1999, Nelson *et al.* 1999, Araujo *et al.* (1999), Steininger 2000 y Ketheerings (2001), el de Nelson *et al.* (1999), el único que utiliza el dap como única variable de predicción de la biomasa total de los árboles, presentó buen ajuste con los datos del estudio ($r^2 = 0.90$) (Figura 7b).

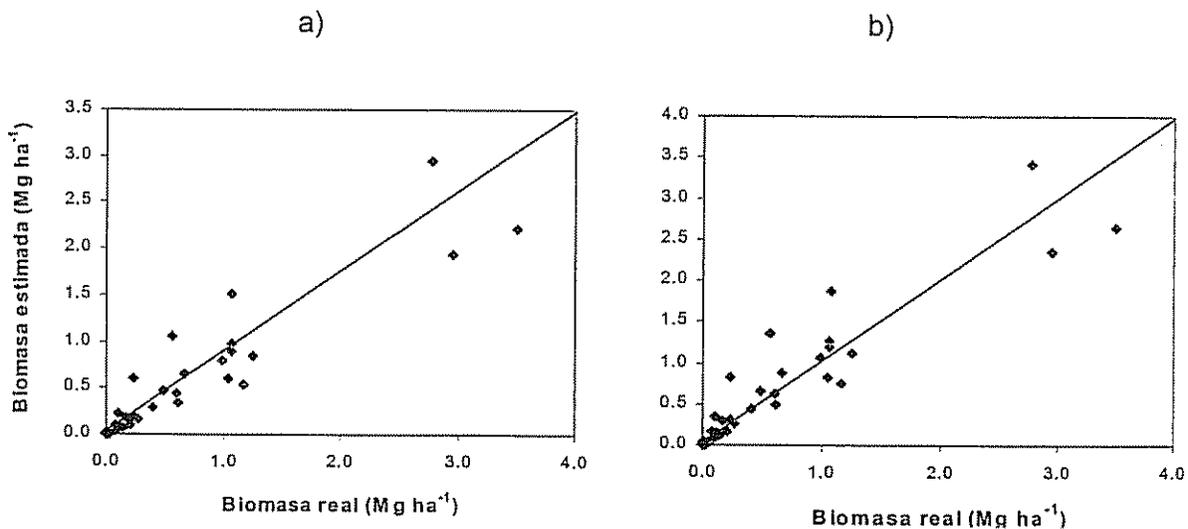


Figura 7. Relación entre la biomasa aérea total (real) y la estimada, para los 160 árboles muestreados, a) $\text{Log}_{10} Y = - 4.4661 + 2.707 \log_{10} \text{dap}$, b) $\ln \text{DW} = - 1.9968 + 2.4128 \ln(\text{DBH})$ Nelson *et al.* (1999).

4.3.4 Biomasa y carbono almacenados en el ecosistema

4.3.4.1 Biomasa y carbono aéreo total

Graficamente se visualiza una tendencia de aumento de los valores de la biomasa aérea total (BAT³) y el carbono aéreo total (CAT⁴) con el incremento de la edad de los bosques (Figuras 10a y 10b). Sin embargo, el modelo de regresión fue significativo a un $p = 0.0896$ y $R^2 = 0.26$. Autores como Hashimoto *et al.* (2000) y Aide *et al.* (2001) identificaron altas correlaciones entre la edad y la cantidad de biomasa aérea total de los bosques, mientras que Steininger (2000) no encontró esta correlación.

En los Cuadros 5 y 6, se observa la variación, de la BAT y el CAT entre las diferentes edades de los bosques secundarios y cuyos valores oscilan ligeramente al compararlos con otros estudios (Saldarriaga *et al.* 1988, Johnson *et al.* 2001, Aide *et al.* 1995, Williams-Linera 1983, Uhl *et al.* 1988, Hughes *et al.* 1999, Hashimoto *et al.* 2000). Estas diferencias entre los estudios anteriores podría ser el uso de distintos tipos de vegetación (hierbas, arbustos, lianas u otros) en la estimación de la biomasa aérea total de los bosques.

La variabilidad entre los valores del carbono almacenado (Cuadro 6) en bosques de más de 10 años de edad puede estar altamente relacionada con la incertidumbre en la asignación de las edades como en el caso del bosque 12, cuyo diámetro promedio de los árboles fue 23 cm, superior al promedio general de 15 cm. Además, para algunos de estos bosques el uso anterior del terreno fue desconocido así dificultando establecer relaciones entre el manejo y la cantidad de biomasa y el carbono aéreo total almacenados.

Los fustales fueron responsables por en promedio 79% de la biomasa aérea total aunque en la mayoría de los bosques, su aporte fue superior al 90%. La excepción fue el bosque 10, de siete años de edad, donde los latizales altos fueron responsables por cerca de 39% de la biomasa total.

³ BAT = biomasa del fuste + biomasa de ramas gruesas + biomasa de ramas finas + biomasa de hojas.

⁴ CAT = carbono del fuste + carbono almacenado en las ramas gruesas + carbono almacenado en las ramas pequeñas + carbono almacenado en las hojas

El área basal (G), por hectárea, mostró una alta correlación ($r^2 = 0.94$) con el contenido de carbono en la biomasa de los bosques, con una relación lineal positiva (Figura 9). La densidad o número de individuos (N), por hectárea, no fue un buen indicador para el carbono almacenado en la biomasa aérea total ya que entre bosques con igual número de individuos, la diferencia en la biomasa se presenta por el diámetro (dap) de los árboles.

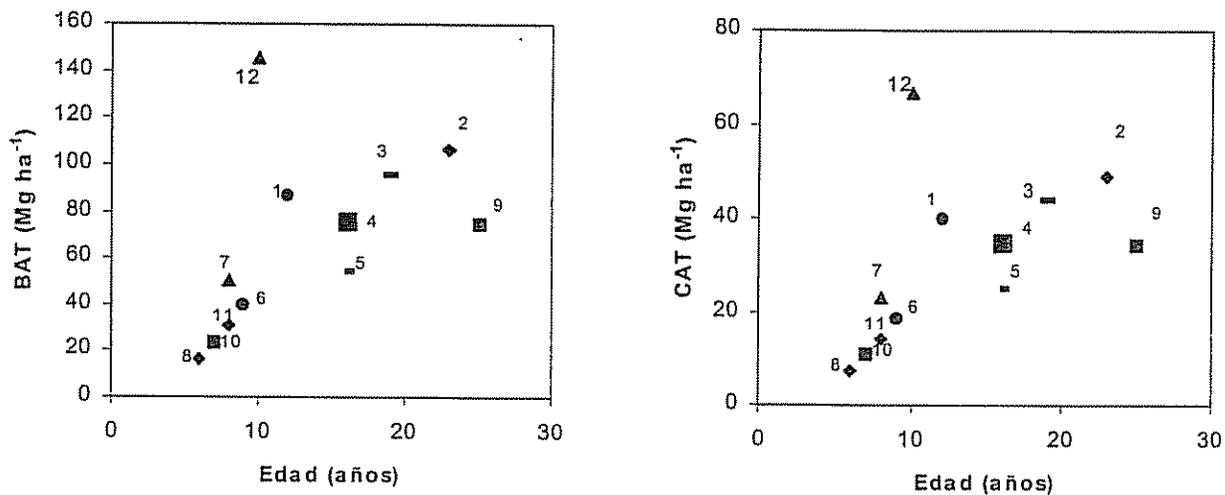


Figura 8. a) Biomasa aérea total y b) carbono aéreo almacenado en función de la edad para bosques secundarios de San Carlos, Nicaragua. Los números representan los bosques descritos en el Cuadro 1.

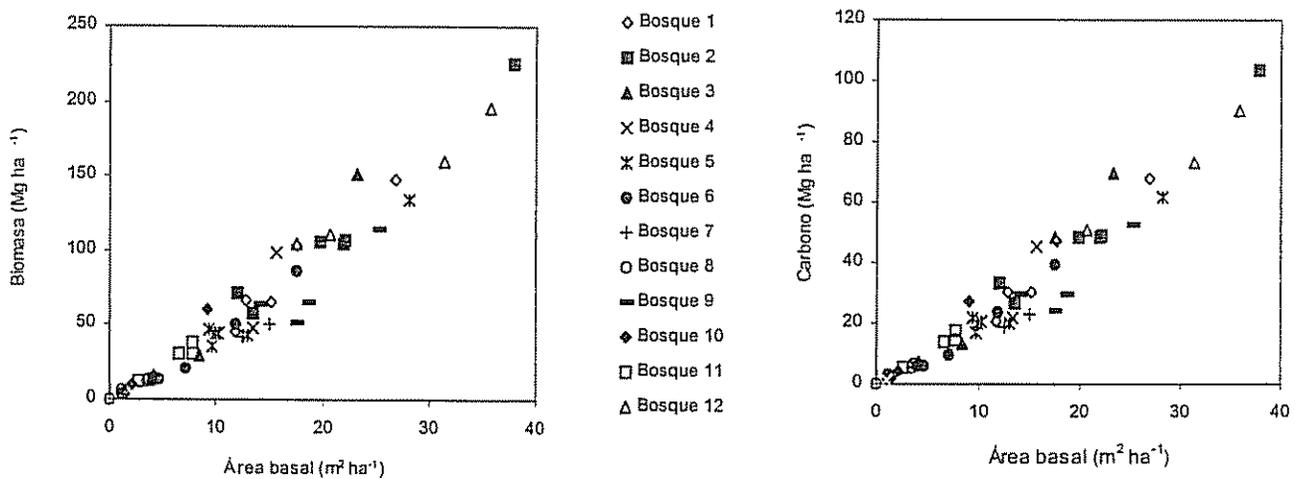


Figura 9: a) Biomasa aérea total y área basal, b) Carbono almacenado en la biomasa aérea total en función del área basal en cada una de las 51 parcelas de muestreo.

La biomasa de fuste es la fracción de mayor aporte dentro de la biomasa aérea total (Cuadro 5). Sin embargo, podría ser que con el desarrollo del árbol, otras fracciones como ramas, hojas y raíces tomen proporcionalmente mayor importancia en el aporte de biomasa (Ewel 1971). El CAT constituyó, en promedio, cerca de 32% del carbono total almacenado en el sistema.

El análisis de varianza de estos bosques, indica diferencias significativas entre los mismos tanto para la biomasa aérea total (BAT) ($p < 0.05$) como para las fracciones de fuste ($p < 0.05$), total de ramas ($p < 0.05$), ramas grandes ($p < 0.05$) y ramas pequeñas ($p < 0.05$).

El bosque 12, presuntamente de 10 años, presentó las más altas cantidades de BAT, 36% a más que el bosque de 23 años de edad y un 95% más que el bosque de 25 años. La cantidad de hojarasca de este bosque también fue la más alta, superando apenas en 14.9% al bosque de 25 años de edad. Esta discrepancia en la biomasa puede ser atribuida especialmente a la incertidumbre en la edad de este bosque.

Cuadro 5. Distribución de la biomasa aérea total y hojarasca (Mg ha^{-1}) de los bosques secundarios de San Carlos, Nicaragua. BAT*: Biomasa aérea total = biomasa de fuste + ramas pequeñas + grandes.

Componente	Edad												P>F
	6	7	8	8	9	10	12	16	16	19	23	25	
BAT	15.87	23.79	49.96	31.10	39.99	145.24	86.96	76.45	54.66	95.48	106.35	74.51	<0.01
Fuste	11.81	15.58	33.16	19.34	25.06	82.75	50.24	44.51	33.23	54.29	61.55	46.11	<0.01
Total de ramas	2.35	6.46	10.99	8.84	11.56	54.75	32.11	28.90	16.92	38.87	39.46	22.05	<0.01
Ramas grandes	0.92	3.45	5.04	4.54	6.10	31.38	18.43	17.06	9.05	23.45	22.78	11.69	<0.01
Ramas pequeñas	6.36	7.51	18.13	9.14	12.19	33.74	21.29	18.99	15.51	21.95	25.92	22.66	<0.01
Hojarasca	3.62	4.33	3.03	2.77	4.07	9.17	3.14	5.16	3.57	3.48	3.67	7.98	ns
TOTAL	19.49	28.12	52.99	33.87	44.06	154.41	90.10	81.61	58.23	98.96	110.02	82.50	<0.01

Cuadro 6. Distribución del carbono almacenado (Mg ha^{-1}) en la biomasa aérea total, en la hojarasca y en el suelo de los bosques secundarios de San Carlos, Nicaragua.

Componente	Edad												P>F
	6	7	8	8	9	10	12	16	16	19	23	25	
CAT	7.30	10.94	22.98	14.31	18.40	66.81	40.00	35.17	25.15	43.92	48.92	34.28	<0.01
Fuste	5.43	7.17	15.25	8.90	11.52	38.07	23.11	20.47	15.28	24.97	28.31	21.21	<0.01
Total de ramas	1.08	2.97	5.05	4.07	5.32	25.19	14.77	13.29	7.78	17.88	18.15	10.14	<0.01
Ramas grandes	0.42	1.58	2.32	2.09	2.81	14.43	8.48	7.84	4.16	10.79	10.48	5.38	<0.01
Ramas pequeñas	2.92	3.45	8.34	4.21	5.61	15.52	9.79	8.74	7.13	10.09	11.92	10.42	<0.01
Hojarasca	1.66	1.99	1.39	1.27	1.87	4.22	1.45	2.37	1.64	1.60	1.69	3.67	ns
Suelos	47.36	50.16	36.52	50.28	54.25	54.09	62.08	102.71	61.42	71.83	71.17	37.76	ns
TOTAL	56.32	63.10	60.90	65.86	74.52	125.11	103.52	140.25	88.21	117.35	121.77	75.71	<0.01

4.3.4.2 Biomasa y carbono de hojarasca

La cantidad de biomasa y carbono de la hojarasca presentó diferencias significativas entre los bosques ($p < 0.05$) pero no estuvo relacionada a las edades ($p > 0.05$) (Cuadro 4 y 5). Los valores de biomasa (Figura 10) de hojarasca y carbono variaron entre 2.77 y 1.27 Mg ha^{-1} a 9.17 y 4.22 Mg ha^{-1} , respectivamente. El carbono aportado por la hojarasca representó cerca de 2.3 % del carbono total almacenado en la biomasa de los bosques. Aparentemente, no se encontró correlación entre la biomasa aérea total y la biomasa de hojarasca.

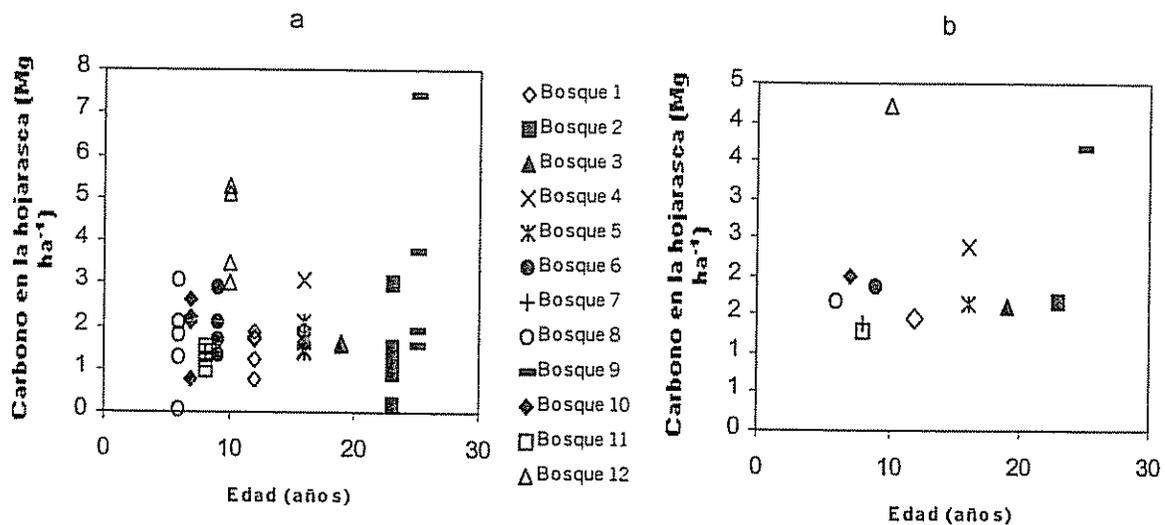


Figura 10. Carbono almacenado (Mg ha^{-1}) en la hojarasca en función de la edad de los para a) en cada uno de los 12 bosques secundarios, b) en cada una de las 51 parcelas, San Carlos, Nicaragua.

4.3.4.3 Carbono almacenado en el suelo

El carbono almacenado en el suelo constituye el componente más importante del sistema, con 65.6% del carbono total almacenado (Figura 11) similar a lo reportado por Brown (1982). El porcentaje de carbono orgánico de los suelos, semejante a los reportados para bosques primarios (Johnson *et al.* 2001), y el carbono almacenado (Mg ha^{-1}) presentaron diferencias significativas entre los bosques ($p < 0.05$) pero no presentaron relación con sus edades ($p > 0.05$).

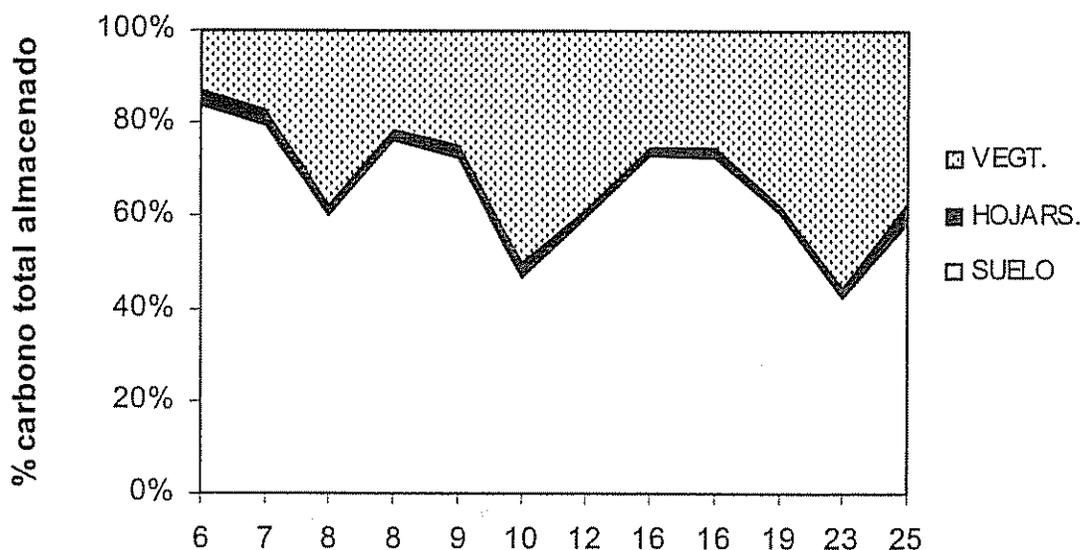


Figura 11. Distribución del carbono total almacenado (Mg ha^{-1}) entre los diferentes componentes del sistema en función de la edad.

La cantidad de carbono presente entre 0-30 cm de profundidad fue, en promedio, 82.5% mayor que la encontrada entre los 30-60 cm, probablemente por la mayor acumulación de materia orgánica en la superficie del suelo. El carbono almacenado en el suelo varió de 45.12 a 100.96 Mg ha^{-1} en la profundidad de 0-30 cm y 25.04 a 106.21 Mg ha^{-1} en la profundidad de 30-60 cm, en bosques de 25, 16, 8 y 16 años de edad, respectivamente (Figuras 12a y 12b).

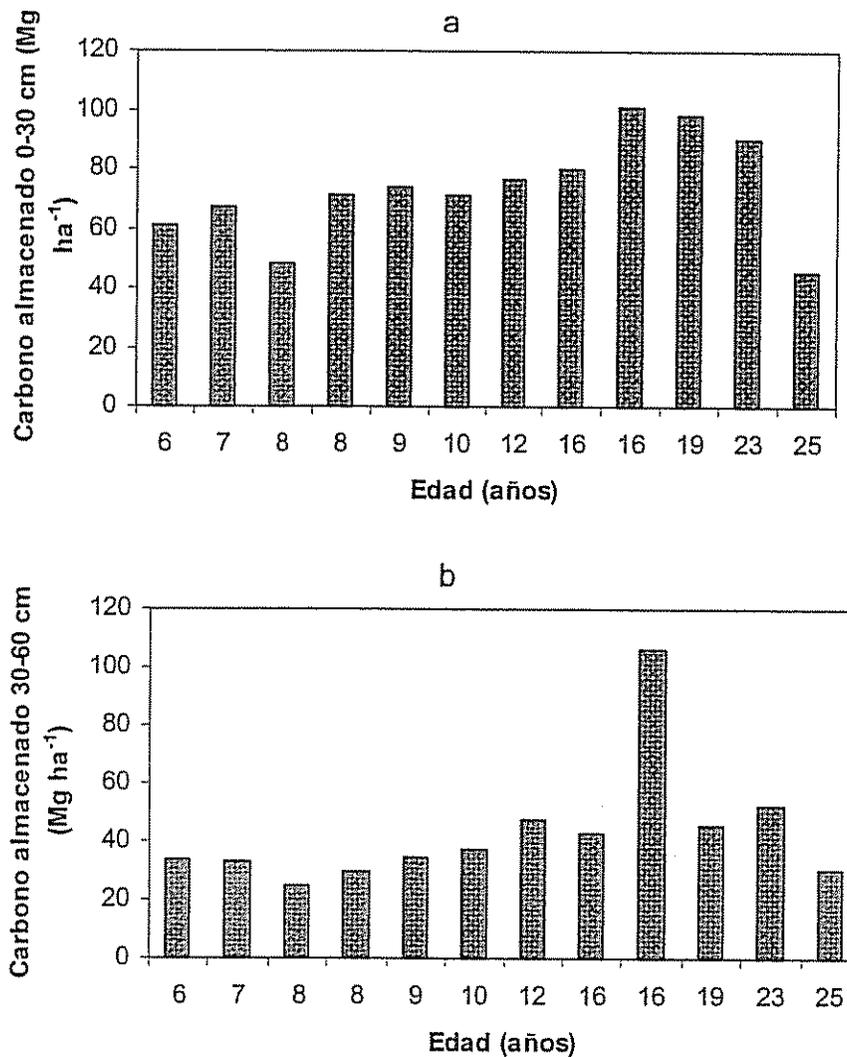


Figura 12. Carbono promedio almacenado en el suelo (Mg ha⁻¹), a) a una profundidad de 0-30 cm, b) a una profundidad de 30-60 cm.

Algunos de los bosques con menor contenido de carbono almacenado en el suelo, son jóvenes (< 10 años), con uso anterior agrícola. El uso de la quema como práctica de manejo en la actividad agrícola, podría ser el causante de la reducción de las reservas de carbono en el suelo. Sin embargo, la propia presencia de la vegetación hace suponer un aumento de la reserva de carbono en este componente por el aporte de materia orgánica. El carbono almacenado en el suelo no mostró relación con el contenido de carbono de la hojarasca.

4.3.5 Almacenamiento de carbono por tipos de bosques

El Andeva entre los grupos de bosques secundarios delimitados con base en su composición florística y descritos en el Acápite 4.2.3 no pudo identificar diferencias significativas en cuanto a la biomasa y carbono aéreo totales almacenados y sus fracciones aún al 99% de seguridad probablemente por el bajo número de observaciones existentes en cada uno de los grupos. Sin embargo, la Prueba de Duncan identificó diferencias entre el grupo 1 con bosques de 12, 23, 19 y 16 años y el grupo 2 con bosques de 16, 9 y 8 años, respectivamente. Para el carbono almacenado en el suelo, los grupos uno y tres, este último con bosques de 25, 7 y 10 años de edad, mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) mientras que el grupo tres y el dos difirieron ($p < 0.05$) en cuanto a la cantidad de hojarasca y su aporte de carbono.

4.3.6 Los grupos ecológicos y el carbono almacenado

La contribución de los diferentes grupos ecológicos (heliófitas efímeras, heliófitas durables, intermedias y generalistas) al carbono almacenado en los bosques, varió a lo largo de la cronosecuencia (Figura 13). En 67% de los bosques secundarios (ocho de los 12), las especies heliófitas durables, muchas de valor comercial, aportan proporcionalmente mucho más biomasa que los demás grupos ecológicos. Además, su contribución proporcional a la biomasa aérea total se mantuvo constante a lo largo de los años. La participación de las especies generalistas, antes clasificadas como esciófitas, no aparenta tener un patrón relacionado a la edad. Las especies heliófitas efímeras contribuyen levemente al almacenamiento de carbono en la biomasa aérea total.

Los datos anteriores parecen indicar cierta estabilidad de la composición florística dada por la relativa longevidad de las especies heliófitas durables. Después de esta fase, que puede mantenerse hasta por un siglo (Finegan 1996), se podría esperar un aumento de la participación de las especies generalistas con el pasar de los años. Las especies de comportamiento intermedio solamente aparecen en el bosque de seis años de edad. La presencia de los diferentes grupos ecológicos a lo largo de la cronosecuencia refuerza la teoría de la composición florística inicial que señala que todos los grupos están presentes desde el inicio del proceso de sucesión.

En las etapas de transición del dominio de los grupos ecológicos, el reclutamiento y crecimiento del nuevo grupo dominante puede no darse en la misma velocidad de la mortalidad del grupo decadente. En este caso, el almacenamiento neto de carbono podría ser negativo. Sin embargo, el análisis de estos efectos no pudo ser realizada en este estudio.

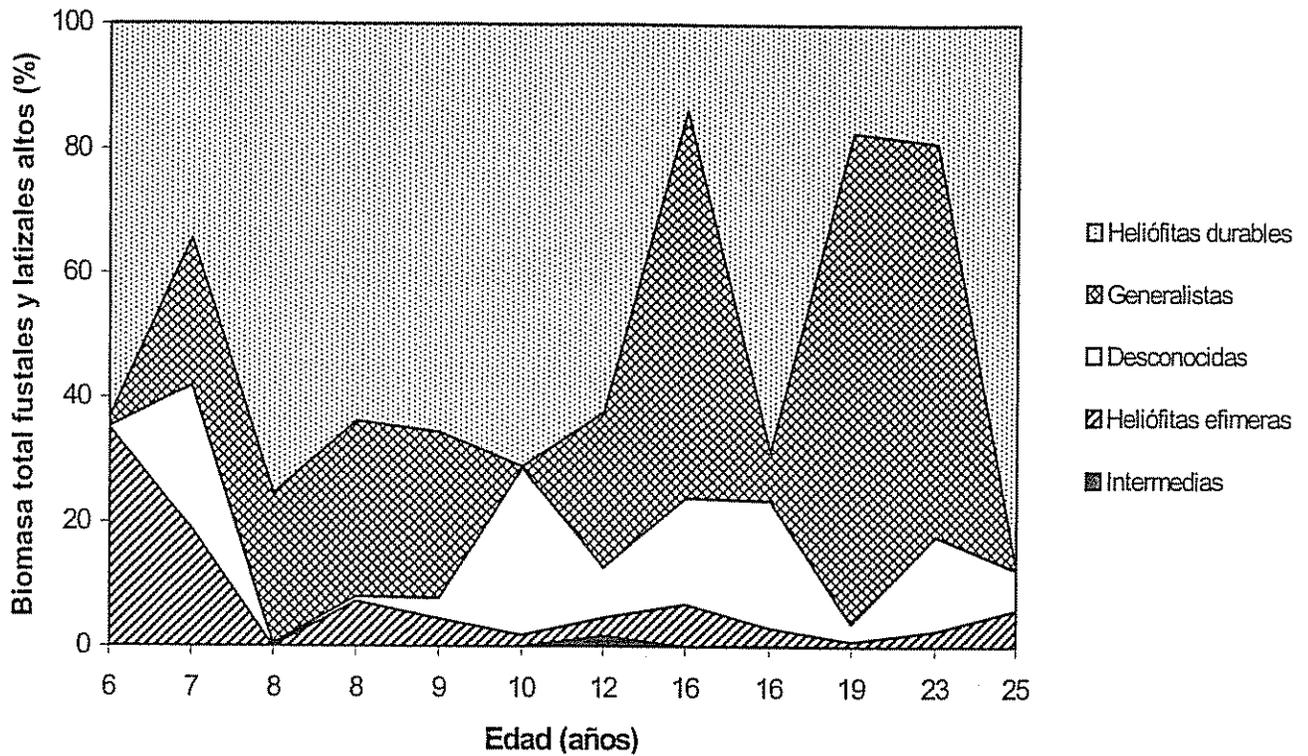


Figura 13. Contribución de los grupos ecológicos al almacenamiento de carbono en función de la edad de bosques secundarios en el municipio de San Carlos, Nicaragua.

El aporte de los grupos ecológicos al área basal también varía a lo largo de la cronosecuencia. Sin embargo, las especies heliófitas durables siguen siendo responsables del mayor aporte en el área basal (Figura 14).

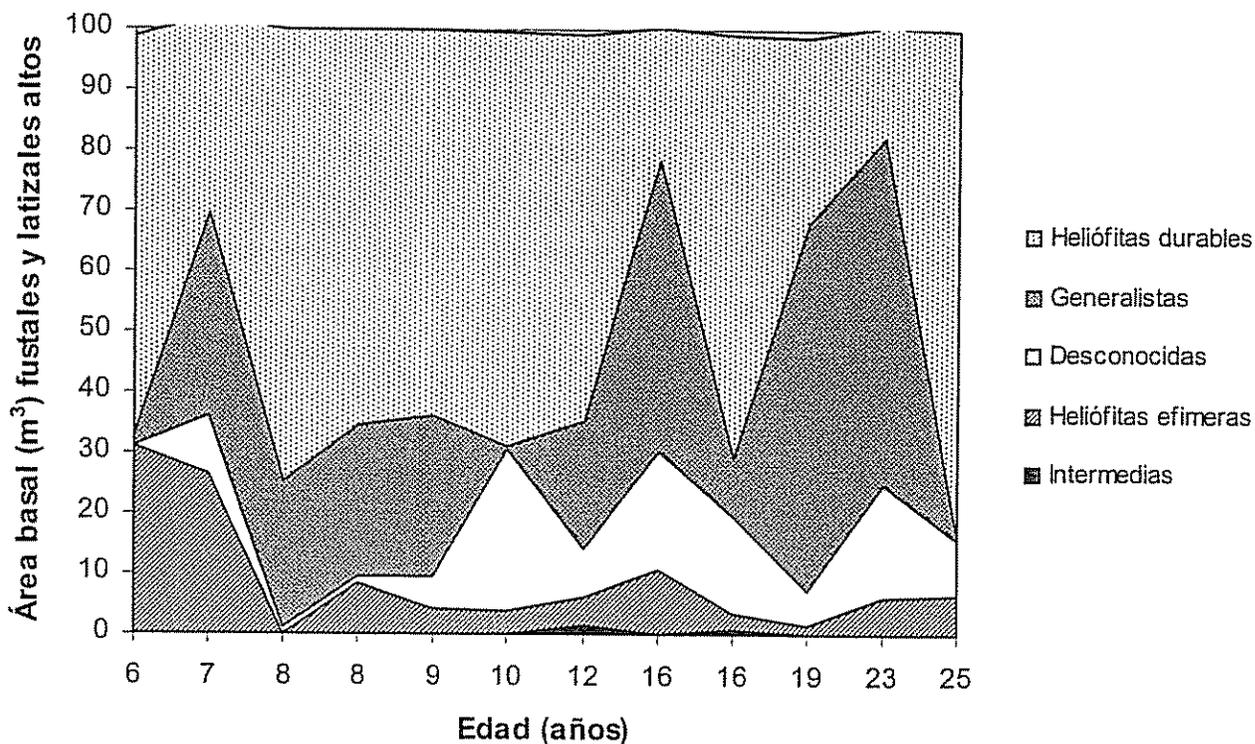


Figura 14. Contribución de los grupos ecológicos al área basal a lo largo de la cronosecuencia de bosques secundarios.

La composición florística de los bosques secundarios del municipio de San Carlos varía a lo largo de la cronosecuencia. Pocas son las especies que aparecen con cierta importancia, en diferentes bosques secundarios.

4.3.7 Relación del carbono almacenado con las variables de sitio

No se encontraron relaciones significativas para la gran mayoría de las correlaciones entre las diferentes variables de sitio, el carbono almacenado y la biomasa aérea total del sistema. Sin embargo, se encontraron relaciones significativas entre: la cantidad de carbono almacenado en la biomasa ($r = 0.44$) y sus fracciones y el carbono almacenado en el suelo ($r = 0.46$) con el contenido de potasio de estos suelos, demostradas por

Laurance *et al.* (1999). El porcentaje de carbono orgánico de los suelos y arcilla ($r = 0.44$) (Figura 15) también mostraron correlaciones positivas así como el porcentaje de arcilla mostró correlación negativa ($r = - 0.53$) con la edad de los bosques y positiva con el porcentaje de materia orgánica y carbono orgánico de los suelos ($r = 0.44$); el contenido de calcio de los suelos mostró relación positiva ($r = 0.41$) (Figura 23) con la cantidad de biomasa de hojarasca (Mg ha^{-1}) y negativa ($r = 0.40$) con la cantidad de carbono almacenado en los suelos y por ultimo, la densidad aparente de los suelos con el carbono almacenado ($r = 0.57$).

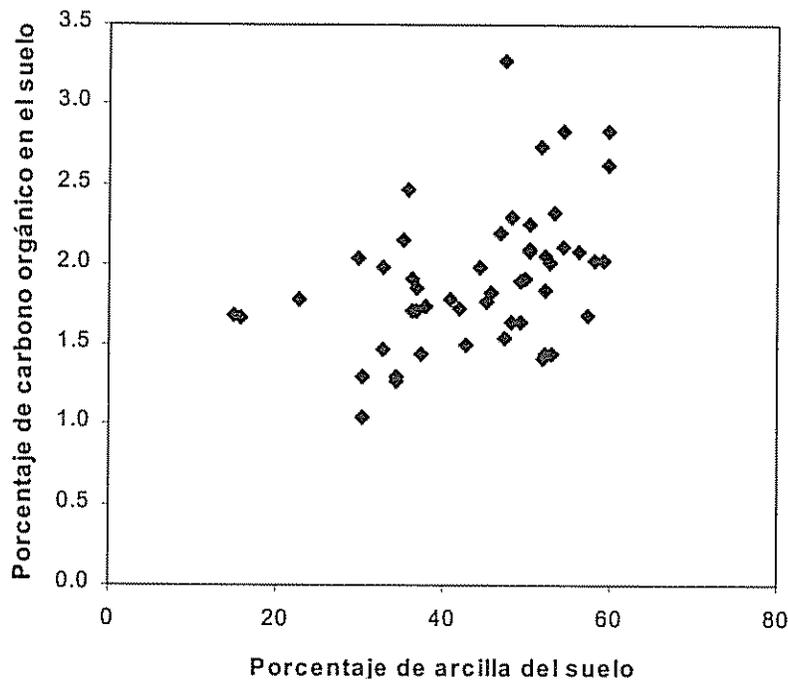


Figura 15. Relación entre los porcentajes de arcilla y carbono orgánico de suelos en los bosques secundarios, San Carlos, Nicaragua.

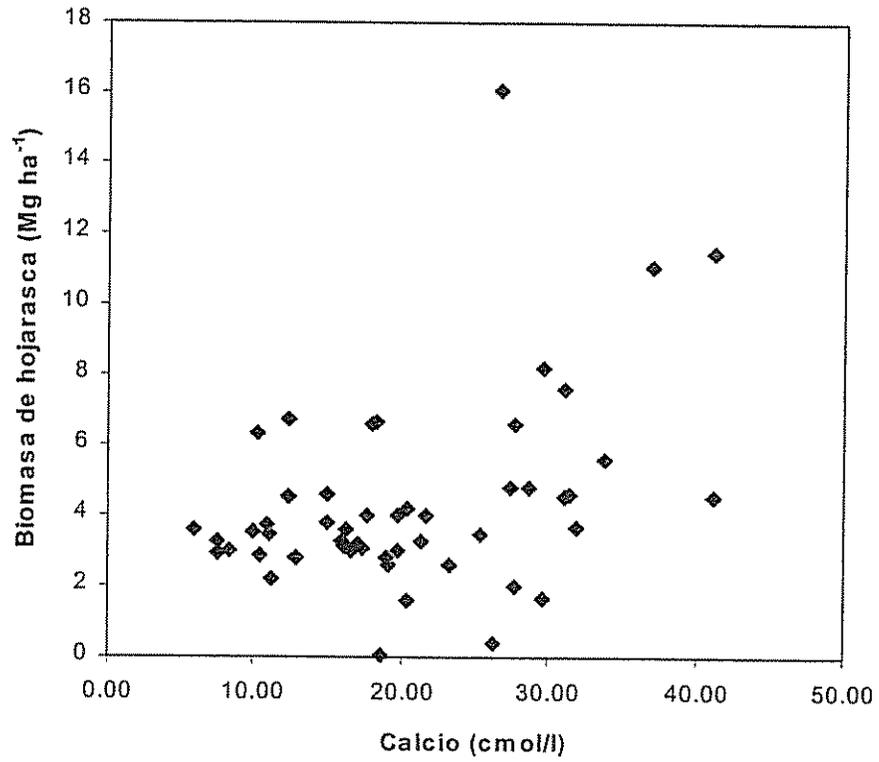


Figura 16. Relación entre la biomasa de hojarasca y el contenido de calcio en los suelos.

4.4 CONCLUSIONES

Los modelos alométricos son una herramienta útil para la estimación de la biomasa de árboles individuales. Los modelos alométricos logarítmicos fueron los modelos de mejor ajuste a los datos de la biomasa aérea total de los árboles, fuste y total de ramas, mientras que los modelos construidos para estimar la biomasa de hojas presentaron poca precisión.

La biomasa de fuste fue proporcionalmente mayor en los árboles de dap < 10 cm que en árboles de dap > 10 cm; estos últimos, por el contrario, mantienen proporcionalmente mayor biomasa en las ramas que los árboles pequeños. Sin embargo, el fuste sigue siendo la principal fracción de biomasa de los árboles de dap < 5 cm.

El suelo es el componente del sistema de mayor aporte al almacenamiento de carbono en bosques secundarios. Sin embargo, no estuvo relacionado a la edad ni a la cantidad de carbono almacenado en la hojarasca.

El efecto de la composición florística sobre el almacenamiento de carbono de los bosques secundarios no pudo ser percibido en este estudio ya que no hubo un diseño experimental que lo contemplara. Como consecuencia, las diferencias entre la composición florística de los bosques no pueden ser atribuidas a ningún factor específico. El uso anterior de la tierra, las fuentes cercanas de semillas, el uso del fuego como práctica agrícola, los efectos de huracanes en esta zona, cualquier de estos podrían haber ser el causante de estas diferencias, además de la propia edad de los bosques.

La contribución de los grupos ecológicos al almacenamiento de carbono es diferente entre los bosques, lo que podría indicar cambios en los estadios sucesionales. Sin embargo, en la mayoría de los bosques secundarios (ocho de los doce), las especies heliófitas durables, muchas de valor comercial, aportaron proporcionalmente mayor biomasa que los demás grupos ecológicos.

Las variables de sitio presentaron poca relación con el carbono almacenado en el bosque. El potasio fue la única variable que mostró una mediana relación positiva con el carbono

almacenado en la vegetación mientras que el calcio presentó una positiva relación con la cantidad de carbono de la hojarasca.

La reserva de biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques secundarios mostraron una tendencia hacia el aumento conforme incrementaba la edad de los bosques. Los análisis estadísticos, sin embargo, no pudieron establecer esta relación. Aparentemente, la incertidumbre en cuanto a la edad de los bosques podría ser el principal responsable de la debilidad de esta relación. Los altos valores de biomasa y carbono aéreos almacenados en algunos bosques podrían indicar que algunos de ellos constituyen parches de bosques primarios que sufrieron severos disturbios como extracción de madera, huracanes, fuego, entre otros.

4.5 BIBLIOGRAFÍA

- Aide, TM; Zimmerman, JK; Herrera, L; Rosario, M; Serrano, M. 1995. Forest recovery in abandoned tropical pastures in Puerto Rico, *Forest Ecology and Management* 77(1-3):77-86.
- Aide, TM, Zimmerman, JK; Pascarella, JB; Rivera, L; Marcano-Vega, H. 2000. Forest regeneration in a chronosequence of tropical abandoned pastures: implications for restoration ecology. *Restoration Ecology* 8(4):328-338.
- Araújo, TM; Higuchi, N; Carvalho Júnior, JA de. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical forest site in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management* 117:43-52.
- Bertsch, F. 1987. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica, San José, Escuela de Fitotecnia, Programa de Comunicación Agrícola. Universidad de Costa Rica. 78p.
- Brown, S; Lugo, AE. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica* 14(3):161-187.
- Brown, S; Lugo, AE. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the brazilian amazon. *Interciencia* 17(1):8-18.
- Ewel, J. 1971. Biomass changes in early tropical succession. *Turrialba* 21:110-112.
- Fassbender, HW. 1993. Modelos edafológicos de sistemas de producción agroforestal. 2ªed. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 530 p.
- Ferreira, CM. 2001. Almacenamiento de carbono en bosques secundarios en el Municipio de San Carlos, Nicaragua. Tesis Mag.Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 99 p.
- Finegan, B. 1992. El potencial de manejo de los bosques húmedos secundarios neotropicales de las tierras bajas. Turrialba, C.R., CATIE/COSUDE. 28 p. (Serie Técnica. Informe Técnico. N°188)
- Finegan, B. 1996. Pattern and process in neotropical secondary forests: the first 100 years of succession. *Trends in Ecology and Evolution* 11(3):119-124.
- Finegan B; Delgado, D. 2000. Structural and floristic heterogeneity in a 30-year-old Costa Rican rain forest restored on pasture through natural secondary succession. *Restoration Ecology* 8(4):380-393.

- Furnival, GM. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. *Forest Science* 7(4):337-341.
- Guggenberger, G; Zech, W. 1999. Soil organic matter composition under primary forest, pasture, and secondary forest succession, Región Huetar Norte, Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 124:93-104.
- Hashimoto, T; Cojima, K; Tange, T; Sasaki, S. 2000. Changes in carbon storage in fallow forests in the tropical lowlands of Borneo. *Forest Ecology and Management* 126:331-337.
- Hughes, RF; Kauffman, JB; Jaramillo, VJ. 1999. Biomass, carbon, and nutrient dynamics of secondary forests in a humid tropical region of Mexico. *Ecology* 80(6):1892-1907.
- Johnson, CM; Vieira, ICG; Zarin, DJ; Frizano, J; Johnson, AH. 2001. Carbon and nutrient storage in primary and secondary forests in eastern Amazonia. *Forest Ecology and Management* 147:245-252.
- Ketterings, QM. Coe, R; van Noordwijk, M; Ambagau, Y; Palm, CA. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 146:199-209 p.
- Larson, A; Barahona, T. 1999. El papel de los gobiernos municipales en la gestión de los recursos naturales: ¿San Carlos Una oportunidad despreciada? Managua, Nicaragua, Nitlapán-UCA, CIFOR, PROTIERRA-Inifom. 106p.
- Laurance, WF; Fearnside, PM; Laurance, SG; Delamonica, P; Lovejoy, TE; Merona, JMRankin-de; Chambers, JQ; Gascon, C. 1999. Relationship between soils and Amazon forest biomass: a landscape-scale study. *Forest Ecology and Management* 118:127-138.
- Proyecto Manejo Integrado de los Recursos Hídricos y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Río San Juan y su Zona Costera (PMIRH). 2000. Atlas Ambiental San Carlos, Río San Juan. Managua, Ni. OEA; MARENA. s.p.
- Nelson, BW; Mesquita, R; Pereira, JLG; Souza, SAG de; Batista, GT; Couto, LB. 1999. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. *Forest Ecology and Management* 117:149-167.

- Nelson, RF; Kimes, DS; Salas, WA; Routhier, M. 2000. Secondary forest age and tropical forest biomass estimation using thematic mapper imagery. *BioScience* 50(5):419-431.
- SAS Institute. 1999. Guide for personal computers. Versión 8 edition. Cary, NC. 1686p.
- Saldarriaga, JG; West, DC; Tharp, ML; Uhl, C. 1988. Long-term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. *Journal of Ecology* 76:938-958.
- Segura, MAM. 1999. Valoración del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados del Área de Conservación Cordillera Volcánica Central. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 115 p.
- Sevegnani, L; Baptista, LR de M. 1996. Composicao florística de uma floresta secundaria, no ambito da Floresta Atlantica, Maquiné, RS. *Sellowia* 48:47-71.
- Smith, J; Sabogal, C; Jong, W; Kaimowitz, D. 1997. Bosques secundarios como recurso para el desarrollo rural y la conservación ambiental en los trópicos de América Latina. CIFOR. Occasional Paper n° 13. 31 p.
- Smith, J; van de Kop, P; Reateguí, K; Lombardi, I; Sabogal, C; Diaz, A. 1999. Dynamics of secondary forests in slash-and-burn farming: interactions among land use types in the Peruvian Amazon. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 76:85-98.
- Szott, LT; Palm CA; Davey, CB. 1994. Biomass and litter acumulation under managed and natural tropical fallows. *Forest Ecology and Management* 67:117-190.
- Steiniger, MK. 2000. Secondary forest structure and biomass following short and extended land-use in central and southern Amazonia. *Journal of Tropical Ecology* 16:689-708.
- Thiele, G. 1993. The dynamics of farm development in the Amazon: the barbecho crisis model. *Agricultural Systems* 42:179-197.
- Universidad Centroamericana, Nicaragua (UCA); CATIE; PcaC-UNAG. 2000. Manejo sostenible de bosques secundarios por comunidades rurales en el Río San Juan. Managua, Nicaragua. s.p.
- Uhl, C; Buschbacher, R; Serrao, EAS. 1988. Abandoned pastures in Eastern Amazonia, 1. Patterns of plant succession. *Journal of Ecology* 76:663-681.
- Watson, RT; Noble, IR; Bolin, B; Ravindranath, NH; Verardo, DJ; Dokken, DJ. eds. 2000. Land use, land-use change, and forestry. Cambridge, University Press. p. 3-20.

- Weaver, PL, Birdsey, RA; Lugo, A. 1997. Soil organic matter in secondary forests of Puerto Rico. *Biotropica* 19(1):17-23.
- Werner, P. 1984. Changes in soil properties during tropical wet forest succession in Costa Rica. *Biotropica* 16:43-50.
- Williams-Linera, G. 1983. Biomass and nutrient content in two successional stages of tropical wet forest in Uxpanapa, Mexico. *Biotropica* 15(4):275-284.
- Zeide, B. 1993. Analysis of growth equations. *Forest Science* 39(3):594-616.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La densidad, el área basal, la riqueza y la diversidad de especies variaron de forma significativa entre los bosques estudiados
- Las diferencias entre las variables anteriores, sin embargo, no permitieron establecer un patrón de respuesta con respecto a la edad de los bosques.
- Las especies heliófitas durables constituyeron el grupo ecológico de mayor dominancia en los bosques estudiados.
- Se observaron marcadas diferencias en la composición florística de los bosques.
- Los modelos alométricos son una herramienta de gran utilidad para la estimación de la biomasa de árboles individuales de los bosques tropicales.
- El fuste fue la principal fracción de la biomasa de los árboles.
- El suelo fue el componente de mayor aporte al almacenamiento de carbono del sistema de bosque secundario.
- Estadísticamente no hubo relación entre la edad de los bosques y el carbono almacenado en la biomasa aérea, aunque gráficamente se observó una tendencia hacia el aumento de biomasa conforme incrementaba la edad de los bosques.
- El contenido de carbono en el suelo y en la hojarasca no presentó relación con la edad de los bosques.
- No fue posible establecer relación entre las variables de sitio y el almacenamiento de carbono total de los bosques secundarios.

- No fue posible aislar los efectos de la composición florística y estructura en el almacenamiento de carbono de los bosques.

5.2 *Recomendaciones*

- Mejorar algunos procedimientos de campo de la metodología para la estimación de la biomasa de los árboles individuales como el pesado de las muestras para la determinación del contenido de materia seca ya que durante este proceso la incidencia del viento sobre las balanzas hace variar el peso de la muestra. Además, la tumba del árbol puede ocasionar la pérdida de biomasa, principalmente de hojas.

- Otra consideración es que las muestras de material vegetal deben ser analizadas lo más rápido posible para evitar que estas sean contaminadas por hongos, dificultando la determinación de su contenido de humedad.

- Utilizar un diseño experimental que permita aislar los efectos de la edad y de la condición de sitio sobre la composición florística y el carbono almacenado en los bosques secundarios de San Carlos. Sería de gran utilidad contar con repeticiones de las edades en diferentes condiciones de sitio.

- La información generada en este estudio puede ser utilizada como base para la generación de políticas de mantenimiento y conservación de los bosques secundarios en San Carlos, Nicaragua. Un buen ejemplo sería el pago de servicios ambientales, donde las cantidades de carbono almacenadas en bosques secundarios de diferentes edades en este municipio podría proporcionar las primeras estimaciones del valor de estos bosques.

Anexo 1. Encuesta aplicada a los propietarios de bosque secundarios, San Carlos, Nicaragua.

**ENCUESTA SOCIOECONÓMICA SOBRE BOSQUE SECUNDARIO
RÍO SAN JUAN, NICARAGUA**

Nombre del encuestador _____

Fecha de levantamiento ___/___/2001

Estimado Señor (a):

La presente encuesta es parte de la investigación sobre bosque secundario, la cual se está llevando a cabo entre el proyecto de investigación "Cambio de uso del suelo y flujos de carbono en Centro América" del CATIE y la Universidad de Helsinki, estudiantes de la Universidad Centroamericana de Managua y la UPONIC de San Carlos.

Esta investigación es estrictamente de carácter científico, por lo tanto le aseguramos que toda la información que se nos brinda es confidencial y será utilizada solamente para los propósitos antes mencionados. Le agradecemos su valiosa colaboración.

I. Información general.

- 1.1 Nombre del informante _____
- 1.2 Nombre de la comarca _____
- 1.3 Condiciones de acceso a la comarca:
1. trocha de verano ()
 2. Trocha de todo tiempo ()
 3. Carretera ()
 4. Acceso solamente a pie y a caballo ()
- 1.4 Distancia a la sede del municipio: _____ Kilómetros.
- 1.5 Educación de persona que toma decisiones en casa _____

II. Características de la familia

- 2.1. Ud. vive en esta parcela/finca? Si ___ No ___
Si es no, dónde vive? :
En otra finca ___ En el caserío ___ En el pueblo ___
Otro lugar ___ ¿dónde? _____
- 2.2. Cuántas personas viven en forma permanente en esta parcela/finca (incluyendo jefe de la casa)?
1. menores de 14 años _____
 2. varones mayores de 14 años _____
 3. mujeres mayores de 14 años _____
- 2.3. Cuántos de los que viven aquí, trabajan en forma permanente en esta parcela/finca? _____

III Migración

- 3.1. Cuántos miembros de la familia (incluyendo al jefe de familia) viajan a Costa Rica? ___
- 3.2 Cuántos días al año permanecen en Costa Rica? ___ días ___ meses
- 3.3 Cuál es el salario por día en Costa Rica, en Córdobas? Con comida C\$ _____ Sin comida C\$ _____
- 3.4 Cuál es el salario por día en Nicaragua, en Córdobas? Con comida C\$ _____ Sin comida C\$ _____

IV. Organización

- 4.1. Pertenece a alguna organización? Si ___ No _____
- 4.2. Qué tipo de organización?
1. Sindicato (UNAG, A.T.C., OTRA) ()
 2. Asociación de productores ()
 3. Comarcales ()

4. Otra (_____)
- 4.3. Funciona bien la organización a la que pertenece? Si ___ No ___ ¿Por qué? _____
-
- 4.4. Trabaja en conjunto con algún proyecto? Si _____ No _____
- 4.5. Qué tipo de proyecto?
1. PROSUR _____
 2. FUNDACION DEL RIO _____
 3. PROGRAMA FORESTAL CAMPESINO _____
 4. CIPRES _____
 5. Otro (especificar) _____, _____, _____, _____
- 4.6. Qué apoyo está recibiendo?
1. Crédito _____
 2. Asistencia Técnica _____
 3. Capacitación _____
 4. Insumos _____
 5. Otro (_____)
- 4.7. En caso de crédito, que tipo: _____ Valor: CS _____ Tasa de interés _____

V. Características de la finca

- 5.1 Desde cuándo adquirió esta finca? 19__
- 5.2 Cuál era su actividad anterior? _____
- 5.3 Tiene otra finca? _____
- 5.4 Cuántas manzanas tiene cada finca? finca1 ___ finca2 ___ finca3 ___ mzs.
- 5.5 Cómo adquirió esta finca?
1. Compra _____ Mzs.
 2. Herencia _____ Mzs.
 3. Reforma Agraria _____ Mzs.
 4. Arrendada _____ Mzs.
 5. Otros(_____) _____ Mzs.
- 5.6 Cuál es el precio de la tierra por manzana? CS _____
1. Area con cultivos CS _____
 2. Area en pastos CS _____
 3. Area con bosques residuales después de extracción de madera CS _____
 4. Area con bosques primarios (vírgenes) CS _____
- 5.7 Tiene Ud. título de la propiedad? SI _____ NO _____
- En caso de ser SI, qué tipo de título de propiedad?
1. Título definitivo de propiedad legal ()
 2. Título de Reforma Agraria (provisional) ()
 3. Constancia de posesión ()
 4. Alquiler ()
 5. Posesión precaria (colono) ()
 6. Otro ()
- 5.8 Como es la topografía de su parcela? Quebrada _____ Mz, Plana _____ Mz,
- 5.9 Qué fuente de agua posee en la finca?
1. Río _____ 2. Quebrada _____ Pozo _____

VI. Mano de obra y capital

- 6.1. Hay épocas cuando le falta mano de obra de la familia? Si(1)____ No(2)____
En caso de si, cuales épocas son? Primera __ Postrera __. Apante ____
- 6.2. Cómo resuelve la escasez de mano de obra?
1. La familia trabaja más _____ 2. Contrata jornaleros _____
3. Mano vuelta _____ 4. Otra _____
- 6.3. Cuántos jornales contrató el año pasado? _____
- 6.4. ¿Cuánto se le paga a un jornal? _____
- 6.5. ¿Cuántas cabezas de ganado vacuno tiene usted? ____ ¿Cuántas vacas lecheras? _____
- 6.6. ¿Cuántas vaquillas? _____ ¿Cuántos novillos? _____ ¿Cuántos nacieron el año pasado? _____
¿Cuántos murieron el año pasado? _____ ¿Cuántos animales compró el año pasado? _____
¿Cuánto cuesta un toro? _____ ¿Cuánto cuesta una vaca? _____
- 6.6. ¿Cuántas bestias de carga tiene usted? _____
- 6.7. ¿Tiene motosierra? SI ____ NO ____

VII. Uso del suelo

7.1. Uso del suelo 2000 (cantidad de manzanas)

USO DE TIERRA	FINCA 1 Manzanas	FINCA 2 Manzanas
Cultivos anuales		
Cultivos semi-perennes		
Cultivo perennes		
Cultivos mixtos		
Pasturas en uso		
Pasturas degradadas		
Bosque primario		
Bosque intervenido		
Otros		
Área total		

7.2. ¿Qué piensa de la fertilidad de los suelos de su finca? _____

7.3. ¿Utiliza alguna de estas prácticas?

Práctica	Siempre	Algunas veces (indicar veces/año)
1. Frijol abono		
2. Rotación de cultivos (una vez un cultivo, después otro en la misma parcela)		
4. Huertos familiares		
5. Cultivos en contorno o barreras vivas		
6. Pastos de corta		
7. Otros		

7.4. ¿Tiene tacotes, restojos o áreas de descanso? SI ____ NO ____ ¿Cuántos? _____

Área	¿Cuánto tiempo hace que están descansando?	¿Qué había antes?	Por cuánto tiempo fue el último uso antes de ser rastrojo?	¿Cuánto tiempo piensa dejarlo como rastrojo?

VIII Tacotales

8.2 ¿Tiene tacotales? SI ____ NO ____ ¿Cuántos?

8.3 TACOTAL No 1

Ubicación _____ Edad _____ Área _____

Lo ha manejado SI ____ NO ____ ¿Qué tipo de manejo? _____

Uso anterior más reciente	¿Por cuánto tiempo?	¿Cuál era el manejo?	¿Qué tenía antes del último uso?	¿Por cuánto tiempo?	¿Cuál era el manejo?

¿Por qué razón dejó este tacotal?

¿Cuáles son las especies más abundantes en este tacotal? _____,

_____, _____, _____,

_____, _____.

Este tacotal se inunda en alguna época del año? SI ____ NO ____ ¿En qué época? _____

¿Cuánto tiempo permanece inundado? _____

¿Hubo incendio alguna vez en este tacotal? SI ____ NO ____

¿Cuánto se quemó? TODO _____ ¿Hace cuánto tiempo? _____

UNA PARTE _____ ¿Hace cuánto tiempo? _____

Cuál es su plan concreto para los próximos 2 años con este tacotal

Por cuánto tiempo está pensando en dejar este tacotal ____ años.

8.4 TACOTAL No 2

Ubicación _____ Edad _____ Área _____

Lo ha manejado SI ____ NO ____ ¿Qué tipo de manejo? _____

Uso anterior más reciente	¿Por cuánto tiempo?	¿Cuál era el manejo?	¿Qué tenía antes del último uso?	¿Por cuánto tiempo?	¿Cuál era el manejo?

¿Por qué razón dejó este tacotal?

¿Cuáles son las especies más abundantes en este tacotal? _____,

_____, _____, _____,

_____, _____.

Este tacotal se inunda en alguna época del año? SI ____ NO ____ ¿En qué época? _____

¿Cuánto tiempo permanece inundado? _____

¿Hubo incendio alguna vez en este tacotal? SI ___ NO ___
 ¿Cuánto se quemó? TODO _____ ¿Hace cuánto tiempo? _____
 UNA PARTE _____ ¿Hace cuánto tiempo? _____
 Cuál es su plan concreto para los próximos 2 años con este tacotal

Por cuanto tiempo está pensando en dejar este tacotal ___ años.

8.5 TACOTAL No 3

Ubicación _____ Edad _____ Área _____
 Lo ha manejado SI ___ NO ___ ¿Qué tipo de manejo? _____

Uso anterior más reciente	¿Por cuánto tiempo?	¿Cuál era el manejo?	¿Qué tenía antes del último uso?	¿Por cuánto tiempo?	¿Cuál era el manejo?

¿Por qué razón dejó este tacotal?

¿Cuáles son las especies más abundantes en este tacotal? _____,
 _____,
 _____,
 _____,

Este tacotal se inunda en alguna época del año? SI ___ NO ___ ¿En qué época? _____

¿Cuánto tiempo permanece inundado? _____

¿Hubo incendio alguna vez en este tacotal? SI ___ NO ___

¿Cuánto se quemó? TODO _____ ¿Hace cuánto tiempo? _____
 UNA PARTE _____ ¿Hace cuánto tiempo? _____

Cuál es su plan concreto para los próximos 2 años con este tacotal

Por cuanto tiempo está pensando en dejar este tacotal ___ años.

IX Uso de especies provenientes de los tacotales

¿Cuáles especies provenientes de los tacotales usa?, ¿Cuál es el uso que les da? ¿Cuánto consumen en un periodo de tiempo (mes ó año)? ¿Cuánto venden? ¿A qué precio lo venden por unidad?

9.1 Especies	9.2 Uso	9.3 Parte utilizada	9.4 Cantidad consumida en la familia por unidad de tiempo	9.5 Cantidad vendida Por unidad de tiempo	9.6 Precio de venta/unidad

X. Experiencias en actividades de Manejo Forestal

- 10.1. El jefe de la casa ha tenido experiencia en el pasado con actividades de manejo forestal? Si ___ No ___
1. Raleo ()
 2. Poda ()
 3. Liberación de árboles ()
 4. limpieza de bejucos o lianas ()
 5. Socola
 6. Quema controlada ()
 7. Enriquecimiento (especies maderables) ()
 8. Otro (especificar) _____, _____, _____

XI Reforestación

- 11.1 ¿Qué árboles ha sembrado? _____ 11.2 ¿Cuánta área? _____ ó Cuántos árboles? _____
- 11.3 ¿Cuánto tiempo tienen de sembrados? _____
- 11.4 En qué estado se encuentra el área reforestada? _____

XII. Fauna (en su propia finca)

12.1 Animales que se encuentran en su tacotal (Cantidad)

ANIMALES	BASTANTE	POCO	ALGO	NO HAY
Venado				
Zahino				
Guardatinaja				
Cusuco				
Guatuza				
Mapachín				
Otros				

12.2. Que aves se encuentran en su tacotal?

AVES	BASTANTE	POCO	ALGO	NO HAY
Codornices				
Gallina de monte				
Palomas				
Patos de monte				
Otros				

XIII. Perspectivas y aspiraciones

13.1. Ha mejorado o empeorado su nivel de vida a partir de 1990?

1. Mejorado __ Razones: _____

2. Empeorado __ Razones: _____

13.2. Para los próximos 2 años, está pensando en mudarse de lugar? Si __ No __

13.3. Para qué lugar piensa mudarse en los próximos dos años? _____

13.4. De las actividades a las cuales se dedica, cuál cree Usted que es la más rentable? _____ ¿Por qué? _____

¿Y cuál es la menos rentable? _____

¿Por qué? _____

13.5. ¿Ahorra dinero? SI _____ NO _____ EN ESPECIE _____

13.6. ¿Si pudiera invertir, en cuál actividad lo haría?

Compra de tierras _____

Compra de ganado _____

Educación de los hijos _____

Mejorar la vivienda _____

Otros _____ ¿Cuáles? _____

Muchas gracias por su participación

Anexo 2. Valores porcentuales del IVI por especie por bosque.

Familia	Especie	Grupo ecológico ¹	Dispersión ²	Bosque número ³												
				8	10	11	7	6	12	1	4	5	3	2	9	
				Edad (años)												
				6	7	8	8	9	10	12	16	16	19	23	25	
ANACARDIACEAE	<i>Anacardium excelsum</i>	HD		0	0	0	0	0	0	3.3	0	0	0	0	0	
	<i>Astronium graveolens</i>	GEN	V	0	0	0	0	0	0	3.2	0	0	0	0	0	
	<i>Spondias mombin</i>	HD	V	0	3.1	0	4	3	22	0	0	1.6	0	0	0	
	<i>Spondias</i> sp.	HD	V	0	0	0	5	1.8	0	3.7	2.2	0	0	0	0	
ANNONACEAE	<i>Oxandra venezuelana</i>	D	V	0	0	0	0	0	0	3.5	0	0	2.8	4.6	0	
	<i>Xytopia sericophylla</i>	HD	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
APOCYNACEAE	<i>Sternmaderia</i> sp.	HD	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ARALIACEAE	<i>Dendropanax</i> sp.	INT	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.9	0	
ASTERACEAE	<i>Olibadum</i> sp.	HE		0	0	0	0	0	0	1.8	0	0	0	0	0	
BIGNONIACEAE	<i>Crescentia cujete</i>	HD		0	0	0	0	0	0	1.2	0	0	0	0	0	
	<i>Tabebuia guayacan</i>	HD	V	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Tabebuia rosea</i>	HD	W	0	0	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
BIXACEAE	<i>Bixa orellana</i>	HE	W	0	0	3.3	0	2.4	3.8	0	0	1.5	0	0	0	
BOMBACACEAE	<i>Ceiba pentandra</i>	HD	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6	
	<i>Ochroma pyramidale</i>	HE	W	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Pseudobombax septenatum</i>	HD	W	0	3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	
	<i>Quararibea funebris</i>	HD	WH	0	0	0	0	0	0	0	2.5	0	0	0	0	
BORAGINACEAE	<i>Cordia alliodora</i>	HD	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0	
	<i>Cordia</i> sp.	HD	W	0	0	0	4	1.4	0	0	0	1.5	0	0	14	
BURSERACEAE	<i>Bursera simaruba</i>	HD	V	0	0	7.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CAPPARIDACEAE	<i>Tetragastris panamensis</i>	GEN	V	0	0	0	0	0	0	4.5	2.3	0	4.6	8.3	0	
	<i>Capparis amplissima</i>	GEN	V	0	0	0	0	0	0	1.3	2.9	0	0	0	0	
	<i>Crateva tapia</i>	GEN	V	0	0	0	0	0	0	0	3.3	0	0	1.1	0	
CECROPIACEAE	<i>Cecropia insignis</i>	HE	V	17	3.2	0	0	0	0	0	0	3.2	0	0	0	
	<i>Cecropia peltata</i>	HE	V	23	20	0	0	2.6	3.4	5	4.8	0	0	1.7	3.9	
CHRYSOBALANACEAE	<i>Hirtella americana</i>	GEN	V	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	
CLUSIACEAE	<i>Garcinia madruno</i>	GEN	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.9	0	0	
COCHLOSPERMACEAE	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	HD	V	44	0	0	0	3.5	0	0	0	0	0	0	0	
COMBRETACEAE	<i>Terminalia oblonga</i>	HD	W	0	0	0	0	0	1.7	0	3.2	1.9	0	0	14	
DESCONOCIDA	<i>Desconocido</i>	D	W	0	0	0	0	0	0	0	3	0	4	6.5	0	
	<i>alcornoque</i>	D		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	0	
	<i>anonillo</i>	D		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>canelo</i>	D		0	0	0	0	0	0	1.4	0	0	0	0	0	
	<i>capulin</i>	D		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0	
	<i>caño lucio</i>	D		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	0	
	<i>cutire</i>	D		0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	
	<i>guabillo</i>	D		0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.8	4.2	0	
	<i>guanacaste blanco</i>	D		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	0	
	<i>guayabo blanco</i>	D		0	0	0	0	1.4	5.3	0	0	4.2	0	0	0	
	<i>huele noche</i>	D		0	0	0	0	0	0	2.5	0	0	0	0	0	
	<i>lechillo</i>	D		0	0	0	0	0	0	1.2	0	0	0	0	0	
	<i>palo de leche</i>	D		0	0	0	0	0	5.1	1.4	0	0	0	0	0	
	<i>panchil</i>	D		0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	1.7	
	<i>papelón</i>	D		0	0	0	0	0	0	2.4	0	0	0	0	0	
	<i>sonsonate</i>	D		0	0	0	0	0	0	0	2.9	0	0	0	0	
	ELAEOCARPACEAE	<i>Sloanea terriflora</i>	GEN		0	0	3.6	0	1.4	2.1	0	0	0	0	0	0
	EUPHORBIACEAE	<i>Hura crepitans</i>	HD	W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	0
		<i>Mabea occidentalis</i>	GEN		0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	15	3.6
	FABACEAE/CAES	<i>Cassia moschata</i>	HD		0	0	0	0	0	0	2.2	0	3.1	0	0	0
<i>Copaifera aromatica</i>		GEN		0	0	8.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Dialium guianense</i>		GEN	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	0	
				0	0	0	0	0	0	2.4	0	10	0	0	0	

FABACEAE/MIM.	<i>Acacia ruckii</i>	HE	V	0	0	0	0	0	0	1.4	0	0	0	0	0
	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	HD	H	0	0	0	6	8.5	2.3	0	0	0	0	0	0
	<i>Inga punctata</i>	HD		0	0	0	0	0	0	0	0	3.6	0	0	0
	<i>Inga sapindoides</i>	HD	V	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
	<i>Leucaena multicapitula</i>	HE	V	0	0	0	0	0	1.6	0	0	0	0	0	2.1
	<i>Samanea saman</i>	HD		0	0	0	4	0	0	0	0	9.1	0	0	0
FABACEAE/PAP.	<i>Delbergia glomerata</i>	GEN		0	0	8.9	0	1.7	0	0	0	2.2	0	0	0
	<i>Lonchocarpus sp.</i>	GEN	H	0	17	19	18	15	0	0	0	2.2	0	1.7	1.6
	<i>Machaerium kegelii</i>	GEN	W	0	7.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Swartzia cubensis</i>	GEN	W	0	0	0	0	1.4	2.1	1.7	0	0	0	0	0
FLACOURTIACEAE	<i>Banara guianensis</i>	HD	V	0	0	0	0	1.4	0	0	0	0	0	0	0
FLACOURTIACEAE	<i>Xylosma intermedia</i>	HD	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	0
	<i>Zuelania guidonia</i>	GEN		0	0	0	0	2	0	0	0	1.5	0	0	0
Lauraceae	<i>Cinnamomum sp.</i>	GEN		0	3.3	0	4	6.8	0	0	0	6.5	0	0	0
	<i>Nectandra sp.</i>	GEN	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.8	0	0
	<i>quita percho</i>	D	V	0	0	0	0	1.9	0	0	0	0	0	0	0
MALPIGHIACEAE	<i>Byrsonima crassifolia</i>	HD	V	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
MELASTOMACEAE	<i>Miconia argentea</i>	HD	V	0	0	0	0	1.4	2.4	0	0	4.6	0	0	0
MELIACEAE	<i>Cedrela odorata</i>	HD	V	0	0	0	0	1.9	0	0	0	0	0	10	0
	<i>Trichilia martiana</i>	HD	W	0	0	0	0	0	0	0	0	2.8	0	0	0
	<i>Trichilia pallida</i>	HD	V	0	0	0	0	0	0	6.4	0	6.2	3.5	0	0
	<i>Trichilia quadrifida</i>	HD	V	0	0	0	0	0	0	2.3	0	0	2.9	0	0
MORACEAE	<i>Brosimum alicastrum</i>	GEN	V	0	0	0	0	0	0	2.7	8.8	0	18	0	0
	<i>Castilla elastica</i>	HD	V	0	0	0	0	0	0	2.5	0	1.6	0	0	0
	<i>Ficus insipida</i>	HD	V	0	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Trophis racemosa</i>	GEN	V	0	0	0	0	0	0	1.4	0	0	9	0	0
MYRTACEAE	<i>Psidium guajava</i>	HD	V	0	0	9.1	0	1.8	0	0	0	3.6	0	0	1.6
OLACACEAE	<i>Heisteria concinna</i>	GEN	V	0	0	0	0	0	0	2.4	0	0	2.2	0	0
POLYGONACEAE	<i>Coccoloba belizensis</i>	HD	V	0	9.2	3.8	0	0	0	0	0	2.9	0	0	0
RUBIACEAE	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	HD	V	0	0	0	0	3	26	2.6	0	0	0	25	0
	<i>Coussarea sp.</i>	HD		0	0	0	0	0	0	35	7.4	0	20	1.9	0
	<i>Faremea occidentalis</i>	GEN	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	0
	<i>Psychotria grandis</i>	D	V	0	0	4.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Randia aculeata</i>	D	V	0	0	0	0	0	0	0	7.3	0	0	0	0
RUTACEAE	<i>Zanthoxylum setulosum</i>	HD	V	0	0	0	0	0	1.7	0	5.1	0	0	0	3.7
SABIACEAE	<i>cola de pava</i>	D		0	0	0	0	0	0	0	0	1.6	0	0	0
SAPINDACEAE	<i>Cupania glabra</i>	HD		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2
SAPOTACEAE	<i>Chrysophyllum cainito</i>	GEN	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0
	<i>Manilkara chicle</i>	GEN	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.9	0
	<i>Pouteria sp.</i>	GEN	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.7	0
SIMAROUBACEAE	<i>Simarouba amara</i>	HD	V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	0
STERCULIACEAE	<i>Guazuma ulmifolia</i>	HD	V	16	20	29	42	33	0	4.9	0	40	0	0	0
TILIACEAE	<i>Apeiba membranacea</i>	HD	V	0	0	0	0	0	3.9	1.6	0	0	0	2.7	0
	<i>Luehea seemannii</i>	D	V	0	0	0	0	2.9	9	1.6	0	8.4	0	1	6.3
ULMACEAE	<i>Ampelocera macrocarpa</i>	GEN	W	0	0	0	0	0	0	5	6.5	0	4.9	15	0
URTICACEAE	<i>Urera sp.</i>	HE	V	0	0	0	0	0	0	0	3.2	0	3.9	0	0
VERBENACEAE	<i>Vitex cooperi</i>	HD		0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0

¹ HD: heliófita durable; HE: heliófita efímera; GEN: generalista; D: dependiente de bosque; INT: condición intermedia en cuanto a requerimientos lumínicos para regeneración

² Mecanismo de dispersión de semillas, V: vertebrados; W: viento, H: agua

³ ordenados de acuerdo a edad de abandono, de menor a mayor edad, de izquierda a derecha

Anexo 3. Caracterización de los suelos en cada una de las parcelas de los bosques secundarios estudiados, San Carlos, Nicaragua.

Bosque 1

Parcela	Area (m ²)	Arena	Limo	Arcilla	Textura	Prof. (cm)	pH agua	ACD. EXT.	Ca	Mg	K	P	M.O. %	C.O. %
		%												
					cmol(+)/l mg/l									
1	450	17.2	40	42.8	Arcilloso- Limite Arcillo limoso	0-30	6.9	0.08	17.80	4.20	0.14	1.6	2.63	1.52
		17.2	40	42.8	Arcilloso- Limite Arcillo limoso	30-60	6.8	0.08	20.43	3.96	0.13	1.7	2.53	1.47
2	450	29.2	36	34.8	Franco arcilloso	0-30	8.0	0.10	19.74	2.26	0.50	9.8	4.05	2.35
		27.2	34	38.8	Franco arcilloso	30-60	8.0	0.08	20.86	4.28	0.36	5.2	2.34	1.36
3	450	29.2	34	36.8	Franco arcilloso	0-30	7.6	0.08	30.93	5.73	0.75	10.6	3.83	2.22
		33.2	28	38.8	Franco arcilloso	30-60	7.4	0.08	32.81	7.42	0.46	2.6	2.15	1.25
4	450	23.2	38	38.8	Franco arcilloso	0-30	6.8	0.07	15.33	3.19	0.45	3.4	3.88	2.25
		19.2	36	44.8	Arcilloso	30-60	6.7	0.08	14.41	3.48	0.31	2.4	2.07	1.20
5	450	19.2	42	38.8	Franco arcillo limoso	0-30	8.1	0.08	16.98	1.71	0.38	6.0	4.27	2.48
		19.2	38	42.8	Arcilloso	30-60	8.1	0.07	18.39	2.20	0.21	2.9	1.90	1.10

Bosque 2

Parcela	Area (m ²)	Arena	Limo	Arcilla	Textura	Prof. (cm)	pH agua	ACD. EXT.	Ca	Mg	K	P	M.O. %	C.O. %
		%												
					cmol(+)/l mg/l									
1	450	43.2	40.0	16.8	Franco	0-30	6.4	0.09	16.91	4.24	0.18	2.2	4.33	2.51
		47.2	38.0	14.8	Franco	30-60	6.7	0.09	14.83	3.17	0.06	1.6	1.42	0.82
2	450	41.2	32.0	26.8	Franco	0-30	7.0	0.09	20.26	4.67	0.20	2.0	4.73	2.75
		37.2	30.0	32.8	Franco arcilloso	30-60	6.71	0.09	17.62	5.17	0.12	1.3	2.28	1.32
3	250	51.2	30.0	18.8	Franco	0-30	7.0	0.10	19.32	3.91	0.77	2.6	3.87	2.25
		45.2	28.0	26.8	Franco Limite Franco arcillo arenoso	30-60	6.7	0.08	16.66	4.81	0.36	1.4	2.27	1.32
4	450	35.2	32.0	32.8	Franco arcilloso	0-30	7.3	0.10	25.38	5.29	0.52	4.6	4.76	2.76
		35.2	26.0	38.8	Franco arcilloso	30-60	7.0	0.08	30.22	7.99	0.32	2.0	3.70	2.15
5	450	35.2	30.0	34.8	Franco arcilloso	0-30	6.9	0.14	19.90	7.65	0.67	1.7	3.84	2.23
		37.2	24.0	38.8	Franco arcilloso	30-60	6.2	0.14	22.74	9.66	0.24	0.7	2.04	1.18
6	450	39.2	28.0	32.8	Franco arcilloso	0-30	6.6	0.10	26.74	8.59	0.29	1.8	4.24	2.46
		43.2	24.0	32.8	Franco arcilloso	30-60	6.9	0.07	25.84	8.75	0.41	1.7	2.57	1.49

Bosque 3

Parcela	Area (m ²)	Arena	Limo	Arcilla	Textura	Prof. (cm)	pH agua	ACD. EXT.	Ca	Mg	K	P	M.O. %	C.O. %
		%												
					cmol(+)/l mg/l									
1	450	22.8	30.0	47.2	Arcilloso	0-30	6.1	0.07	13.09	6.30	0.32	1.7	4.7	2.7
		22.8	20.0	57.2	Arcilloso	30-60	5.4	0.39	6.78	5.02	0.08	1.1	1.7	1.0
2	450	20.8	31.6	47.6	Arcilloso	0-30	6.2	0.11	12.10	3.89	0.15	2.0	4.3	2.5
		16.8	25.6	57.6	Arcilloso	30-60	5.8	0.10	9.88	5.11	0.07	1.6	2.7	1.5

Bosque 4

Parcela	Area (m ²)	Arena	Limo	Arcilla	Textura	Prof. (cm)	pH agua	ACD. EXT.	Ca	Mg	K	P	M.O. %	C.O. %
		%												
					cmol(+)/l mg/l									
1	450	8.8	37.6	53.6	Arcilloso	0-30	6.6	0.09	10.63	4.18	0.38	6.5	4.6	2.7
		12.8	37.6	49.6	Arcilloso	30-60	7.7	0.09	13.96	4.30	0.27	11.0	4.8	2.8
2	450	26.8	43.6	29.6	Franco arcilloso	0-30	6.5	0.10	11.88	4.78	0.30	5.4	5.8	3.4

Bosque 5

Parcela	Area (m ²)	Arena	Limo	Arcilla	Textura	Prof. (cm)	pH agua	ACD. EXT.	Ca	Mg	K	P	M.O. %	C.O. %
		%												
					cmol(+)/l mg/l									
1	450	29.2	26.0	44.8	Arcilloso	0-30	6.1	0.09	15.78	8.66	0.09	0.8	3.9	2.3
		23.2	22.0	54.8	Arcilloso	30-60	5.8	0.13	16.45	12.25	0.06	0.2	2.7	1.6
2	450	29.2	24.0	46.8	Arcilloso	0-30	6.2	0.10	17.73	7.89	0.15	0.9	4.9	2.8
		33.2	20.0	46.8	Arcilloso	30-60	6.3	0.09	16.31	8.88	0.10	0.3	2.7	1.6
3	450	25.2	27.6	47.2	Arcilloso	0-30	6.1	0.09	16.89	8.53	0.21	0.7	4.8	2.8
		25.2	21.6	53.2	Arcilloso	30-60	5.8	0.21	22.39	17.89	0.12	0.1	2.4	1.4
4	450	29.2	23.6	47.2	Arcilloso	0-30	7.6	0.09	21.75	8.52	0.24	1.1	4.6	2.7
		23.2	23.6	53.2	Arcilloso	30-60	6.5	0.09	17.59	10.77	0.13	0.2	3.2	1.8
5	250	31.2	33.6	35.2	Franco arcilloso	0-30	7.9	0.09	17.77	2.78	0.38	1.6	4.1	2.4
		35.2	27.6	37.2	Franco arcilloso	30-60	7.6	0.09	14.41	2.89	0.34	1.2	1.8	1.0
6	250	35.2	29.6	35.2	Franco arcilloso	0-30	6.8	0.11	40.04	13.89	0.18	0.9	3.1	1.8
		39.2	27.6	33.2	Franco arcilloso	30-60	6.8	0.09	42.35	17.23	0.05	0.3	1.4	0.8

Bosque 6

Parcela	Area (m ²)	Arena	Limo	Arcilla	Textura	Prof. (cm)	pH agua	ACD. EXT.	Ca	Mg	K	P	M.O.%	C.O. %
		%												
					cmol(+)/l mg/l									
1	450	23.2	27.6	49.2	Arcilloso	0-30	5.8	0.09	10.96	5.13	0.13	1.2	4.8	2.8
		25.2	19.6	55.2	Arcilloso	30-60	6.3	0.09	13.77	6.51	0.05	0.4	2.3	1.3
2	450	29.2	25.6	45.2	Arcilloso	0-30	6.1	0.09	12.58	5.09	0.08	1.0	4.9	2.9
		11.2	21.6	67.2	Arcilloso	30-60	5.5	0.28	9.05	6.00	0.07	0.3	2.2	1.3
3	450	25.2	27.6	47.2	Arcilloso	0-30	6.1	0.11	9.55	5.27	0.12	0.7	4.6	2.7
		33.2	23.6	43.2	Arcilloso	30-60	5.9	0.11	11.13	8.09	0.06	0.4	1.4	0.8
4	450	27.2	23.6	49.2	Arcilloso	0-30	6.0	0.09	9.69	4.22	0.26	1.0	5.0	2.9
		25.2	17.6	57.2	Arcilloso	30-60	5.9	0.09	10.74	5.45	0.16	0.5	2.9	1.7
5	450	29.2	27.6	43.2	Arcilloso	0-30	6.1	0.13	8.28	5.30	0.10	1.1	4.4	2.6
		25.2	19.6	55.2	Arcilloso	30-60	5.9	0.09	6.90	6.63	0.05	0.3	2.1	1.2

Bosque 7

Parcela	Area (m ²)	Arena	Limo	Arcilla	Textura	Prof. (cm)	pH agua	ACD. EXT.	Ca	Mg	K	P	M.O.%	C.O. %
		%												
					cmol(+)/l mg/l									
1	450	33.2	32.0	34.8	Franco arcilloso	0-30	5.9	0.09	17.06	4.76	0.10	1.1	3.6	2.1
		45.2	24.0	30.8	Franco arcillo arenoso	30-60	6.1	0.09	17.41	5.83	0.03	0.4	1.5	0.9
2	450	25.2	32.0	42.8	Arcilloso	0-30	6.1	0.09	17.47	5.82	0.08	1.0	3.9	2.3
		27.2	24.0	48.8	Arcilloso	30-60	6.2	0.09	15.65	5.59	0.05	0.5	2.4	1.4

Bosque 8

Parcela	Area (m ²)	Arena	Limo	Arcilla	Textura	Prof. (cm)	pH agua	ACD. EXT.	Ca	Mg	K	P	M.O.%	C.O. %
		%												
					cmol(+)/l mg/l									
1	450	37.2	27.6	35.2	Franco arcilloso	0-30	6.9	0.09	19.85	8.15	0.41	2.8	5.7	3.3
		37.2	27.6	35.2	Franco arcilloso	30-60	6.8	0.09	17.45	11.45	0.28	0.6	1.7	1.0
2	450	25.2	22.0	52.8	Arcilloso	0-30	6.4	0.08	22.73	11.21	0.17	1.1	4.6	2.7
		17.2	19.6	63.2	Arcilloso	30-60	6.2	0.09	20.47	16.53	0.12	0.4	2.4	1.4
3	450	23.2	29.6	47.2	Arcilloso	0-30	7.4	0.08	20.93	13.67	0.14	2.0	5.0	2.9
		21.2	29.6	49.2	Arcilloso	30-60	6.8	0.08	15.56	18.88	0.11	0.9	2.9	1.7
4	450	25.2	29.6	45.2	Arcilloso	0-30	6.6	0.09	15.54	8.38	0.26	1.7	6.7	3.9
		27.2	23.6	49.2	Arcilloso	30-60	6.4	0.09	14.39	9.11	0.21	1.1	4.6	2.7
5	450	21.2	31.6	47.2	Arcilloso	0-30	6.7	0.09	14.99	11.87	0.25	1.5	6.7	3.9
		13.2	25.6	61.2	Arcilloso	30-60	6.4	0.09	10.69	15.20	0.15	0.6	3.1	1.8

Bosque 9

Parcela	Area (m ²)	Arena	Limo	Arcilla	Textura	Prof. (cm)	pH agua	ACD. EXT.	Ca	Mg	K	P	M.O.%	C.O. %
		%												
					cmol(+)/l mg/l									
1	450	39.2	23.6	37.2	Franco arcilloso	0-30	7.4	0.09	25.65	4.05	0.45	2.1	2.6	1.5
		37.2	27.6	35.2	Franco arcilloso	30-60	7.4	0.09	24.93	5.76	0.41	2.6	3.9	2.3
2	250	41.2	21.6	37.2	Franco arcilloso	0-30	8.2	0.09	29.93	8.26	0.29	3.6	2.4	1.4
		45.2	23.6	31.2	Franco arcillo arenoso	30-60	7.4	0.09	23.14	5.39	0.40	3.6	2.0	1.2
3	250	31.2	29.6	39.2	Franco arcilloso	0-30	6.8	0.09	29.75	7.15	0.31	2.4	4.6	2.7
		27.2	23.6	49.2	Arcilloso	30-60	6.6	0.09	29.41	8.53	0.20	0.8	2.2	1.3
4	250	37.2	25.6	37.2	Franco arcilloso	0-30	6.7	0.09	22.01	7.13	0.26	1.3	1.6	0.9
		35.2	27.6	37.2	Franco arcilloso	30-60	6.8	0.09	18.75	6.10	0.35	2.9	3.4	2.0

Bosque 10

Parcela	Area (m ²)	Arena	Limo	Arcilla	Textura	Prof. (cm)	pH agua	ACD. EXT.	Ca	Mg	K	P	M.O.%	C.O. %
		%												
					cmol(+)/l mg/l									
1	450	25.2	22.0	52.8	Arcilloso	0-30	7.0	0.09	27.38	14.02	0.39	1.5	6.6	3.8
		17.2	16.0	66.8	Arcilloso	30-60	5.9	0.90	27.45	18.40	0.22	0.7	3.2	1.8
2	450	19.2	26.0	54.8	Arcilloso	0-30	6.8	0.09	30.50	19.77	0.49	1.4	6.9	4.0
		17.2	18.0	64.8	Arcilloso	30-60	6.0	0.70	31.57	29.14	0.27	0.3	2.1	1.2
3	450	26.9	26.4	46.8	Arcilloso	0-30	6.6	0.09	25.68	10.35	0.46	1.8	3.6	2.1
		22.8	20.4	56.8	Arcilloso	30-60	5.8	1.60	31.76	15.51	0.34	0.4	1.3	0.7
4	450	26.8	20.0	53.2	Arcilloso	0-30	6.7	0.09	32.17	13.86	0.35	1.6	3.3	1.9
		24.8	22.4	52.8	Arcilloso	30-60	6.0	0.21	26.97	11.99	0.23	0.7	1.7	1.0
5	450	45.2	23.6	31.2	Franco arcillo arenoso	0-30	7.8	0.09	28.99	7.05	0.50	1.5	2.6	1.5
		48.8	22.0	29.2	Franco arcillo arenoso	30-60	7.2	0.09	33.74	10.46	0.32	0.8	1.0	0.6
6	450	22.8	26.0	51.2	Arcilloso	0-30	7.7	0.09	34.88	7.94	0.70	1.2	3.6	2.1
		22.8	24.0	53.2	Arcilloso	30-60	5.8	1.21	32.72	11.24	0.36	0.5	1.3	0.8

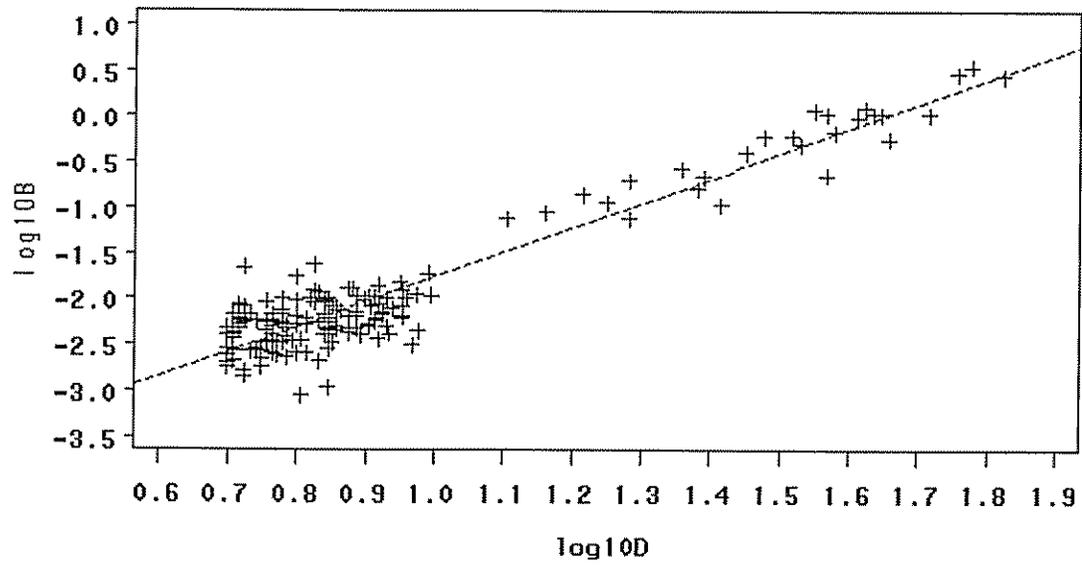
Bosque 11

Parcela	Area (m ²)	Arena	Limo	Arcilla	Textura	Prof. (cm)	pH agua	ACD. EXT.	Ca	Mg	K	P	M.O.%	C.O. %
		%												
					cmol(+)/l — mg/l									
1	450	36.8	32.0	31.2	Franco arcilloso	0-30	6.7	0.09	21.45	5.89	0.19	0.5	3.3	1.9
		42.8	28.0	29.2	Franco arcilloso	30-60	6.7	0.09	25.05	8.51	0.07	0.2	1.2	0.7
2	450	20.8	28.0	51.2	Arcilloso	0-30	7.8	0.11	13.62	3.60	0.10	1.1	4.0	2.3
		14.8	22.0	63.2	Arcilloso	30-60	6.0	0.09	8.68	6.40	0.04	0.1	1.7	1.0
3	450	44.8	16.0	39.2	Franco arcilloso	0-30	6.4	0.09	8.20	3.30	0.06	1.1	3.5	2.1
		22.8	18.0	59.2	Arcilloso	30-60	6.3	0.09	8.32	4.98	0.04	0.6	2.1	1.2
4	450	22.8	26.0	51.2	Arcilloso	0-30	6.4	0.09	8.18	3.69	0.19	0.6	5.3	3.1
		14.8	18.0	67.2	Arcilloso	30-60	6.1	0.09	6.76	5.73	0.06	0.5	1.7	1.0

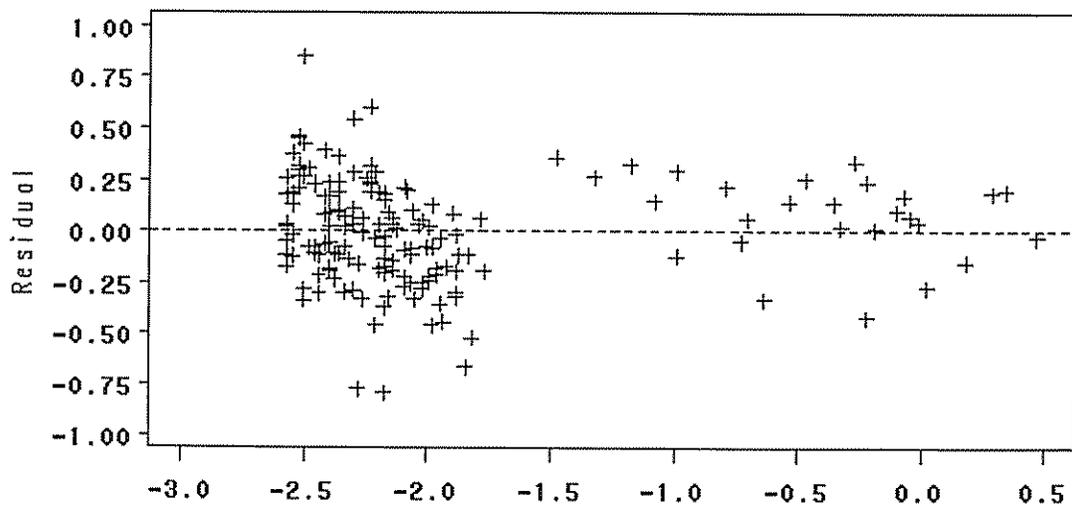
Bosque 12

Parcela	Area (m ²)	Arena	Limo	Arcilla	Textura	Prof. (cm)	pH agua	ACD. EXT.	Ca	Mg	K	P	M.O.%	C.O. %
		%												
					cmol(+)/l — mg/l									
1	450	20.8	30.0	49.2	Arcilloso	0-30	7.0	0.10	28.71	7.74	0.15	0.9	3.5	2.0
		24.8	30.0	45.2	Arcilloso	30-60	7.1	0.10	26.72	8.97	0.14	0.5	1.8	1.0
2	450	16.8	30.0	53.2	Arcilloso	0-30	7.2	0.10	33.30	8.32	0.11	1.1	5.0	2.9
		16.8	28.0	55.2	Arcilloso	30-60	6.8	0.10	28.77	9.66	0.04	0.4	2.3	1.3
3	450	24.8	30.0	45.2	Arcilloso	0-30	7.4	0.10	36.50	9.56	0.68	2.3	5.4	3.1
		22.8	22.0	55.2	Arcilloso	30-60	6.8	0.10	45.81	19.26	0.35	0.5	1.8	1.1
4	450	20.8	30.0	49.2	Arcilloso	0-30	7.4	0.10	34.91	8.95	0.69	1.8	4.0	2.3
		24.8	28.0	47.2	Arcilloso	30-60	7.1	0.10	38.96	15.93	0.49	0.4	1.7	1.0

Anexo 4. Modelo utilizado para la estimación de la biomasa aérea total para árboles con $Dap \geq 5.0$ cm.



Anexo 5. Distribución de los residuos del modelo utilizado para la estimación de la biomasa aérea total para árboles con $Dap \geq 5.0$ cm.



Anexo 6. Modelos alométricos construidos y evaluados para la estimación de la biomasa de los árboles de dap 5.0 cm, San Carlos, Nicaragua.

Variables	Modelos	a	b	c	N	R ²	R ² Adj	CME	Ind. Furnival
Biomasa total									
1.	$Y = a + b(\text{Dap})$	-0.2568*	0.0352*		160	0.7705	0.7691	0.229	0.229
2.	$Y = a + b(\text{Dap})^2$	-0.0389	0.0007*		160	0.8862	0.8855	0.1613	0.1613
3.	$Y = a + b(\text{DapH})$	-0.0839*	0.0016*		160	0.8347	0.8336	0.1944	0.1944
4.	$Y = a + b(\text{Dap}) + c(\text{H})$	-0.2292*	0.0375*	-0.0065	160	0.7716	0.7686	0.2292	0.2292
5.	$Y = a + b[(\text{DapH})/(\text{H})]$	0.1942*	0.0024*	-0.047*	160	0.8739			0.1703
6.	$Y = a + b[(\text{Dap})^2/\text{H}]$ (Spurr 1952)	-0.0058	0.000032*		160	0.9127	0.9122	0.1412	0.1412
7.	$Y = a + b[(\text{Dap})^2 + c(\text{H})]$	-0.024	0.0007*	-0.0023	160	0.8864	0.8849	0.1617	0.1617
8.	$Y = a + b(\text{Dap})^2/\text{H} + c(\text{H})$	0.0487	0.0000339*	-0.00790*	160	0.9149	0.9138	0.1399	0.1399
9.	$\ln Y = a + b \ln \text{Dap}$	-10.284	2.707*		160	0.8950	0.8943	0.5898	0.00675
10.	$\ln Y = a + b \ln \text{Dap} + c \ln \text{H}$ (Schumacher y Hall 1933)	-10.754*	2.3076*	0.6729*	160	0.9057	0.9045	0.56061	0.00642
11.	$\log_{10} Y = a + b \log_{10} \text{Dap}$	-4.4661*	2.707*		160	0.8950	0.8943	0.2561	0.0000087
12.	$\log_{10} Y = a + b \log_{10} \text{Dap} + c \log_{10} \text{H}$	-4.6704*	2.3076*	0.6729*	160	0.9057	0.9045	0.2435	0.0000082
Biomasa de fuste									
1.	$Y = a + b(\text{Dap})$	-0.1424*	0.0198*		160	0.7481	0.7465	0.1387	0.1367
2.	$Y = a + b(\text{Dap})^2$	-0.0211*	0.0004*		160	0.8748	0.8740	0.0963	0.0963
3.	$Y = a + b(\text{DapH})$	-0.0457*	0.0009*		160	0.8136	0.8124	0.1175	0.1175
4.	$Y = a + b(\text{Dap}) + c(\text{H})$	-0.1361*	0.0203*	-0.0015	160	0.7482	0.7450	0.1370	0.1370
5.	$Y = a + b[(\text{DapH})/(\text{H})]$	0.0954*	0.0013*	-0.0239*	160	0.8448	0.8428	0.1076	0.1076
6.	$Y = a + b[(\text{Dap})^2/\text{H}]$ (Spurr 1952)	-0.002	0.0000018*		160	0.8940	0.8933	0.0886	0.0886
7.	$Y = a + b[(\text{Dap})^2 + c(\text{H})]$	-0.0162	0.0004*	-0.0007	160	0.8749	0.8733	0.0966	0.0966
8.	$Y = a + b(\text{Dap})^2/\text{H} + c(\text{H})$	0.0215	0.000019*	-0.0034	160	0.8952	0.8939	0.0884	0.0884
9.	$\ln Y = a + b \ln \text{Dap}$	-10.168*	2.5169*		160	0.8759	0.8751	0.6026	0.0051
10.	$\ln Y = a + b \ln \text{Dap} + c \ln \text{H}$ (Schumacher y Hall 1933)	-10.690*	2.0738*	0.7463*	160	0.8908	0.8895	0.5670	0.0048
11.	$\log_{10} Y = a + b \log_{10} \text{Dap}$	-4.4159*	2.5169*		160	0.8759	0.8751	0.2617	0.0000045
12.	$\log_{10} Y = a + b \log_{10} \text{Dap} + c \log_{10} \text{H}$	-4.6425*	2.0738*	0.7463*	160	0.8908	0.8895	0.2462	0.0000042
Biomasa del total de ramas									
1.	$Y = a + b(\text{Dap})$	-0.1172*	0.0156*		146	0.6571	0.6548	0.1389	0.1389
2.	$Y = a + b(\text{Dap})^2$	-0.1089	0.0003*		146	0.7394	0.7376	0.1211	0.1211
3.	$Y = a + b(\text{DapH})$	-0.0403*	0.0007*		146	0.7081	0.7061	0.1281	0.1281
4.	$Y = a + b(\text{Dap}) + c(\text{H})$	-0.0942*	0.0173*	-0.0052	146	0.6599	0.6552	0.1388	0.1388
5.	$Y = a + b[(\text{DapH})/(\text{H})]$	0.1087*	0.0011*	-0.0246*	146	0.7518	0.7483	0.1186	0.1186
6.	$Y = a + b[(\text{Dap})^2/\text{H}]$ (Spurr 1952)	-0.0042	0.000014*		146	0.7694	0.7678	0.1139	0.1139
7.	$Y = a + b[(\text{Dap})^2 + c(\text{H})]$	-0.0086*	0.0003*	-0.0015	146	0.7398	0.7361	0.1214	0.1214
8.	$Y = a + b(\text{Dap})^2/\text{H} + c(\text{H})$	0.0295	0.000015*	-0.0048	146	0.7726	0.7695	0.1135	0.1135
9.	$\ln Y = a + b \ln \text{Dap}$	-13.626*	3.3569*		146	0.7671	0.7655	1.2132	0.002197
10.	$\ln Y = a + b \ln \text{Dap} + c \ln \text{H}$ (Schumacher y Hall 1933)	-13.792*	3.2263*	0.2238	146	0.7676	0.7644	1.2160	0.002202
11.	$\log_{10} Y = a + b \log_{10} \text{Dap}$	-5.9177*	3.3569*		146	0.7671	0.7655	0.5269	0.0000026
12.	$\log_{10} Y = a + b \log_{10} \text{Dap} + c \log_{10} \text{H}$	-5.9898*	3.2263*	0.2238	146	0.7676	0.7644	0.5281	0.0000026

Variables	Modelos	a	b	c	N	R ²	R ² Adj	CME	Ind. Fournival
Biomasa de ramas grandes	1. $Y = a + b(\text{Dap})$	-0.4419*	0.0191*		25	0.4856	0.4632	0.2730	0.2730
	2. $Y = a + b(\text{Dap})^2$	-0.1089	0.0002*		25	0.4939	0.4719	0.2708	0.2708
	3. $Y = a + b(\text{DapH})$	-0.2055	0.0007*		25	0.5416	0.5217	0.2577	0.2577
	4. $Y = a + b(\text{Dap}) + c(\text{H})$	-0.526*	0.0166*	0.0104	25	0.4986	0.4530	0.2756	0.2756
	5. $Y = a + b[(\text{DapH})/(\text{H})]$	0.0718	0.0010*	-0.0293	25	0.5854	0.5477	0.2506	0.2506
	6. $Y = a + b[(\text{Dap})^2/\text{H}]$ (Spurr 1952)	-0.0604	0.00001*		25	0.5794	0.5611	0.2469	0.2469
	7. $Y = a + b[(\text{Dap})^2 + c(\text{H})]$	-0.257	0.0002*	0.0117	25	0.5114	0.4669	0.2721	0.2721
	8. $Y = a + b(\text{Dap})^2/\text{H} + c(\text{H})$	0.0207	0.000012*	-0.0064	25	0.5830	0.5451	0.2513	0.2513
	9. $\ln Y = a + b \ln \text{Dap}$	-15.155*	3.619*		25	0.7808	0.7712	0.7630	0.0647
	10. $\ln Y = a + b \ln \text{Dap} + c \ln \text{H}$ (Schumacher y Hall 1933)	-15.29*	3.5394*	0.149	25	0.7814	0.7615	0.7790	0.0660
	11. $\log_{10} Y = a + b \log_{10} \text{Dap}$	-6.582*	3.619*		25	0.7808	0.7712	0.3314	0.001128
	12. $\log_{10} Y = a + b \log_{10} \text{Dap} + c \log_{10} \text{H}$	-6.6402*	3.5394*	0.149	25	0.7814	0.7615	0.3383	0.001152
Biomasa de ramas pequeñas	1. $Y = a + b(\text{Dap})$	-0.0354*	0.0051*		146	0.7295	0.7277	0.0385	0.0385
	2. $Y = a + b(\text{Dap})^2$	-0.0022	0.0001*		146	0.7706	0.7690	0.0354	0.0354
	3. $Y = a + b(\text{DapH})$	-0.0073	0.0002*		146	0.6645	0.6621	0.0429	0.0429
	4. $Y = a + b(\text{Dap}) + c(\text{H})$	-0.0192	0.0064*	-0.0037*	146	0.7438	0.7402	0.0376	0.0376
	5. $Y = a + b[(\text{DapH})/(\text{H})]$	0.024*	0.0003*	-0.0052*	146	0.6842	0.6798	0.0417	0.0417
	6. $Y = a + b[(\text{Dap})^2/\text{H}]$ (Spurr 1952)	0.0043	0.000004*		146	0.6792	0.6769	0.0419	0.0419
	7. $Y = a + b[(\text{Dap})^2 + c(\text{H})]$	0.0038	0.0001*	-0.0009	146	0.7717	0.7686	0.0355	0.0355
	8. $Y = a + b(\text{Dap})^2/\text{H} + c(\text{H})$	-0.0002	0.000004*	0.0006	146	0.6797	0.6753	0.0420	0.0420
	9. $\ln Y = a + b \ln \text{Dap}$	-12.743*	2.8914*		146	0.7105	0.7085	1.2105	0.001923
	10. $\ln Y = a + b \ln \text{Dap} + c \ln \text{H}$ (Schumacher y Hall 1933)	-12.919*	2.7533*	0.237	146	0.7113	0.7072	1.2131	0.001927
	11. $\log_{10} Y = a + b \log_{10} \text{Dap}$	-5.5341*	2.8914*		146	0.7105	0.7085	0.5257	0.00000189
	12. $\log_{10} Y = a + b \log_{10} \text{Dap} + c \log_{10} \text{H}$	-5.6104*	2.7533*	0.237	146	0.7113	0.7072	0.5269	0.00000189
Biomasa de hojas	1. $Y = a + b(\text{Dap})$	0.00007	0.00004		111	0.0222	0.0132	0.0004	0.0004
	2. $Y = a + b(\text{Dap})^2$	0.00022*	0.000003		111	0.0221	0.0131	0.0004	0.0004
	3. $Y = a + b(\text{DapH})$	0.00027*	0.000002		111	0.0087	-0.0004	0.0004	0.0004
	4. $Y = a + b(\text{Dap}) + c(\text{H})$	0.00011	0.00005	-0.00012	111	0.0242	0.0062	0.0004	0.0004
	5. $Y = a + b[(\text{DapH})/(\text{H})]$	0.0004*	0.000007	-0.00006	111	0.0254	0.0073	0.0004	0.0004
	6. $Y = a + b[(\text{Dap})^2/\text{H}]$ (Spurr 1952)	0.0003*	2.59×10^{-7}		111	0.0139	0.0049	0.0004	0.0004
	7. $Y = a + b[(\text{Dap})^2 + c(\text{H})]$	0.0003	0.000003	-0.00001	111	0.0241	0.0060	0.0004	0.0004
	8. $Y = a + b(\text{Dap})^2/\text{H} + c(\text{H})$	0.0004*	4.75×10^{-7}	-0.00003	111	0.0238	0.0058	0.0004	0.0004
	9. $\ln Y = a + b \ln \text{Dap}$	-10.212*	0.0932		111	0.0234	0.0144	1.1530	0.00244
	10. $\ln Y = a + b \ln \text{Dap} + c \ln \text{H}$ (Schumacher y Hall 1933)	-10.032*	1.0194	-0.1855	111	0.0249	0.0068	1.1574	0.00245
	11. $\log_{10} Y = a + b \log_{10} \text{Dap}$	-4.4351*	0.9323		111	0.0234	0.0144	0.5007	0.000000002
	12. $\log_{10} Y = a + b \log_{10} \text{Dap} + c \log_{10} \text{H}$	-4.357*	1.0194	-0.1855	111	0.0249	0.0068	0.5026	0.000000002

• Valores significativos al nivel de 95%