

**Universidad Centroamericana**  
*Facultad de Ciencia, Tecnología y Ambiente*  
*Departamento de Ciencias Ambientales*



**Impacto del Aprovechamiento Forestal en la Biomasa y  
Carbono de Bosques Naturales de Nueva Quezada, Río  
San Juan.**

*Por:*

Br. Orlando José Lagos Real  
Br. Sergio Samir Vanegas Berríos

*Tutor:*

M.Sc. Alejandro Mejía Casco

*Asesor:*

M.Sc. Milena Segura Madrigal

# *Dedicatoria*

A Dios nuestro padre, creador de la naturaleza, fuente de vida, amor y esperanza.

De manera muy especial, a la memoria de mi padre, José Orlando Lagos Gutiérrez (q.e.p.d.) y a mi madre Norma Real Smith, por su confianza y empuje en la consolidación de mis metas, ejemplo de lucha y esfuerzo cotidiano y por brindarme siempre su incondicional apoyo en todas mis decisiones.

A mi esposa, Geyssi Pineda Aráuz, por su amor y comprensión y por estar a mi lado sin flaquear en los buenos y malos momentos.

A mis queridos hermanos, Karol, Norlan y Mariely, y a mis sobrinos Kevin Antonio y Jhoselyng Belén.

A mis abuelos, tíos y primos, por ser todos ejemplo de unidad y trabajo, patrón insustituible en mi formación humana y profesional.

Con aprecio y agradecimiento a la familia Pineda Aráuz.

Con orgullo, a mi pueblo, Somoto (Madriz), cuna de artistas, ejemplo de esfuerzo, trabajo, fe y esperanza.

*Orlando José Lagos Real*

## *Dedicatoria*

A mis padres, Rosa Haydee Berríos y Miguel Vanegas, por encaminarme en la primera etapa de mi vida.

De manera muy especial, dedico este trabajo a Rosa Deyá, por toda la fuerza que me ha dado en los momentos que los necesitaba y quien además es mi mejor amiga, por toda la paciencia que ha tenido al lado mío y sobre todo por ofrecerme su amor el cual es motivo de inspiración constante. A Ona que está en camino.

A mis hermanos y sobrinos que los quiero con demasiada, no puedo plasmar sus nombres porque son muchos, pero con seguridad que ninguno se queda fuera.

A Outi Myatt-Hirvonen, por su ayuda durante el trabajo de campo, de igual forma a Zenia Salinas. A Martha Mejía y Salvador Cardenal, Cristina Nottet y a dos grandes niñas, las que me dieron aliento y fuerza, Susu y Luna, Celia Jenny Rodríguez por que siempre estaba pendiente de los adelantos en mí trabajo y por ser una gran mujer. A mi buen amigo Erick Cruz quien está lejos de nuestro país, Con especial a la “morena” Claudia Meza y a su marido “el rudo” Rigoberto Pérez, Freddy Granillo, Freddy Ramírez, Roberto Tórrez y Rolando Lacayo. A Doña Maruca Medina, quien se preocupó mucho por mi salud.

A todas las personas de mi barrio en Jinotepe, ciudad más bella según yo, que miraron de cerca el desarrollo de mi existencia.

A las personas que por siempre me están ayudando en mi formación humana, en especial a todos los profesores que en el transcurso del tiempo me impregnaron de conocimiento.

*Sergio Samir Vanegas Berríos*

# *Agradecimientos*

Agradecemos enormemente a todas las personas e instituciones que contribuyeron a la realización de este trabajo y de igual forma nos apoyaron como buenos amigos.

Al Proyecto CATIE/LUCCAM, quien además de otorgarnos los análisis de laboratorio, nos brindó recursos económicos y técnicos para la ejecución de este proyecto de investigación.

Al Programa de Apoyo al Sector Medioambiente (PASMA) de la Agencia de Asistencia Danesa para el Apoyo Internacional (DANIDA), quien a través de la Facultad de Ciencia, Tecnología y Ambiente de la Universidad Centroamericana (UCA), nos brindó apoyo financiero.

A MSc. Milena Segura Madrigal, por su loable y categórica asesoría para el desarrollo de esta investigación. Además de compartir sus conocimientos con nosotros y dedicar su valioso tiempo para el desarrollo y culminación de nuestra investigación.

A la Empresa ESSO – Nicaragua, especialmente al Ing. Anastasio García R., por facilitarnos parte del material utilizado para la ejecución de este trabajo y por estar siempre abierto como institución a escuchar el interés profesional.

A MSc. Vera Amanda Solís, Decana de la Facultad de Ciencia, Tecnología y Ambiente de la Universidad Centroamericana, por su siempre valioso e incondicional apoyo.

A MSc. Alfredo Ruiz, por su valioso apoyo técnico brindado y por toda la paciencia para con nosotros.

A MSc. Alejandro Mejía Casco, por tutoriar nuestro trabajo y su esposa MSc. María Ángeles Pérez, por que siempre dedicaron un poco de su tiempo para entregarlo a nosotros cuando lo requeríamos.

Al personal del Centro de Capacitación Informática de la Universidad Centroamericana, por el apoyo otorgado en los laboratorios de dicho centro, en especial a los profesores Martín Dávila Delgado “Hermano lobo”, Jorge López del Valle, Lic. Juan Bautista Ramos “JB” y José María Gonzáles.

A Lic. Luis Núñez, Licda. Karla Sánchez, Dra. Candida Pilarte y Licda. Hilda Rodríguez, por el respaldo incondicional brindado en todo momento y por que siempre estuvieron anuentes a extendernos la mano y a todos los maestros que fueron parte de nuestro desarrollo profesional.

A MSc. Martín Lezama, quien de igual forma nos brindó su mano amiga.

A Outi Myatt-Hirvonen y Zenia Salinas, por su ayuda durante el trabajo de campo.

A nuestros compañer@s y amig@s en general, por el aliento que de una u otra manera nos brindaron durante todo este tiempo.

A la familia Monterrey Padilla, por ese apoyo que me brindaron en momentos claves de mi estadía en Managua.

A Danelia, José Luis y Omar, estudiantes de la UPONIC, San Carlos, Río San Juan, por su valioso apoyo en la fase de campo.

A tod@s l@s habitantes de la comunidad Nueva Quezada, Río San Juan.

*Orlando José Lagos Real*

*Sergio Samir Vanegas Berríos*

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>iii</b>
<b>INDICE GENERAL.....</b>	<b>v</b>
<b>INDICE DE CUADROS.....</b>	<b>ix</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xii</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Caracterización del problema.....	1
1.2. Justificación e importancia.....	3
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>3. HIPÓTESIS.....</b>	<b>4</b>
<b>4. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
4.1. Antecedentes.....	5
4.2. Servicios ambientales que prestan los ecosistemas forestales.....	6
4.3. Bióxido de carbono.....	6
4.4. Ciclo del carbono.....	7
4.5. Deforestación y emisiones de carbono en el trópico.....	8
4.6. Efecto invernadero.....	8
4.7. Fuentes y depósitos de CO <sub>2</sub> .....	9
4.8. Los mercados mundiales del carbono.....	10
4.9. Centroamérica: un fuerte potencial en la venta de carbono.....	11
4.10. Emisión de gases de efecto invernadero en Nicaragua.....	12
4.11. Opciones de mitigación de CO <sub>2</sub> .....	13
4.12. Importancia de los bosques en los flujos de carbono.....	13
4.13 Biomasa.....	14
4.13.1. Concepto y definición.....	14
4.13.2. Importancia.....	14
4.13.3. Métodos de estimación de biomasa.....	14
4.13.3.1. Método directo.....	15

4.13.3.2. Método indirecto.....	15
4.13.3.3. Estimación de carbono aéreo.....	16
4.13.3.4. Carbono en los suelos.....	16
4.13.3.4.1. Variables que afectan la estimación de carbono en el suelo.....	17
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
5.1. Descripción del área de estudio.....	19
5.1.1. Elevación y pendientes.....	20
5.1.2. Clima y precipitación.....	20
5.1.3. Hidrología.....	20
5.1.4. Descripción de la vegetación.....	20
5.1.5. Fisiografía y suelos.....	21
5.2. Recopilación de información base y primaria.....	21
5.3. Levantamiento de la información de campo.....	22
5.3.1. Selección y estratificación de los sitios a muestrear.....	23
5.3.2. Diseño de muestreo.....	24
5.3.2.1. Establecimiento de parcelas.....	25
5.3.2.2. Variables evaluadas en parcelas.....	26
5.4. Procesamiento y análisis de la información.....	29
5.4.1. Caracterización de los bosques muestreados.....	29
5.4.1.1. Composición florística y estructura del bosque.....	29
5.4.2. Estimación de biomasa y carbono en las diferentes fuentes.....	30
5.4.2.1. Estimación de biomasa aérea.....	31
5.4.2.2. Biomasa y carbono en hojarasca.....	32
5.4.2.3. Carbono en suelos.....	32
5.4.2.4. Análisis de laboratorio.....	33
5.4.3. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa.....	34
5.4.4. Estimación de biomasa y carbono almacenado por tipo de bosque utilizando modelos alométricos.....	36
5.4.5. Factor de expansión de biomasa.....	36
5.4.6. Análisis estadístico y comparación del contenido de biomasa y	

carbono por fuente en los diferentes bosques.....	37
5.4.6.1. Biomasa y carbono en las distintas fuentes.....	37
5.4.7. Análisis estadístico comparativo del Factor de Expansión de Biomasa por tipo de bosque y categoría.....	38
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>39</b>
6.1. Caracterización de los bosques estudiados.....	39
6.1.1. Análisis de la abundancia y composición florística de la vegetación muestreada.....	39
6.1.2. Abundancia en las diferentes categorías y bosques.....	40
6.1.3. Abundancia de especies en las distintas categorías.....	41
6.1.4. Distribución horizontal de fustales.....	42
6.1.4.1. Número de individuos por finca y tipo de bosque.....	43
6.1.4.2. Área basal por tipo de bosque.....	43
6.1.4.3. Distribución parcial de fustales.....	44
6.2. Biomasa y carbono en cada una de las fuentes evaluadas por tipo de bosque y estrato.....	46
6.2.1. Fustales.....	46
6.2.2. Modelos alométricos para el calculo de biomasa en latizales altos y bajos.....	49
6.2.3. Biomasa y carbono en latizales altos.....	52
6.2.4. Biomasa y carbono en latizales bajos.....	53
6.2.5. Biomasa y carbono en hojarasca.....	56
6.2.6. Carbono en el suelo.....	58
6.2.7. Factor de expansión de biomasa en las distintas categorías de los bosques bajo estudio.....	62
6.2.8. Resumen general de los contenidos de biomasa y carbono en los bosques muestreados.....	64
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>8. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>71</b>
<b>10. ANEXOS.....</b>	<b>79</b>

## INDICE DE CUADROS

Título	Pág.
Cuadro 1. Coordenadas geográficas que delimitan Nueva Quezada..	19
Cuadro 2. Modelos genéricos para la construcción de ecuaciones alométricas.	34
Cuadro 3. Reporte general del muestreo de la vegetación total.....	39
Cuadro 4. Número de individuos por hectárea por tipo de bosque.....	41
Cuadro 5. Distribución del número de árboles (dap $\geq$ 10 cm) por finca y tipo de bosque.....	43
Cuadro 6. Área basal encontrada por tipo de bosque en fustales.....	44
Cuadro 7. Distribución del número de árboles (N/ha) por clase diamétrica por tipo de bosque .....	45
Cuadro 8. Valor promedio del contenido de biomasa y carbono en fustales por tipo de bosque .....	47
Cuadro 9. Medias del contenido de biomasa y carbono en fustales por estrato.....	48
Cuadro 10. Promedios de biomasa y carbono en fustales ( $t\ ha^{-1}$ ). Interacción bosque - estrato .....	49
Cuadro 11. Modelos de mejor ajuste para estimar biomasa total en función del dap y la altura total de los individuos .....	50
Cuadro 12. Promedios del contenido de biomasa y carbono en latizales altos por tipo de bosque .....	52
Cuadro 13. promedios del contenido de biomasa y carbono en latizales altos por estrato .....	52
Cuadro 14. Medias de contenido de biomasa y carbono de latizales altos ( $t\ ha^{-1}$ ). Interacción bosque – estrato .....	53
Cuadro 15. Promedios del contenido de biomasa y carbono en latizales bajos por tipo de bosque .....	54
Cuadro 16. Promedios de biomasa y carbono en latizales bajos por estrato .....	55
Cuadro 17. Medias de contenido de biomasa y carbono en latizales bajos ( $t\ ha^{-1}$ ). Interacción bosque – estrato .....	55

Cuadro 18. Promedios de biomasa y carbono en hojarasca por tipo de bosque.....	56
Cuadro 19. Valores promedios de biomasa y carbono en hojarasca por estrato .....	57
Cuadro20. Valores promedios de biomasa y carbono en hojarasca. Interacción bosque - estrato .....	58
Cuadro21. promedios de carbono en el suelo por tipo de bosque y profundidad .....	59
Cuadro22. Promedios de carbono por estrato y profundidad de muestreo .....	60
Cuadro23. Valores promedios interacción bosque – estrato. Suelo total (las dos profundidades) .....	61
Cuadro24. Valores resultantes de la aplicación de la prueba t para el FEB .....	62
Cuadro25. FEB por categoría de vegetación.....	63
Cuadro26. Resumen general de la biomasa aérea total y carbono (t ha <sup>-1</sup> ) almacenado los bosques en estudio.....	65

## INDICE DE FIGURAS

<b>Título</b>	<b>Pág.</b>
Figura 1. Procedimiento a seguir para la elaboración del protocolo y documento final.....	22
Figura 2. Esquema metodológico de la primera fase de la investigación .....	22
Figura 3. Diseño de parcelas temporales de muestreo .....	26
Figura 4. Correlación de la biomasa total vrs. el dap utilizando el modelo para fustales.....	32
Figura 5. Número de árboles (dap $\geq$ 10 cm) por clase diamétrica en bosque aprovechado.....	45
Figura 6. Número de árboles (dap $\geq$ 10cm) por clase diamétrica en bosque no aprovechado.....	46
Figura 7. Simulaciones de Biomasa total real vs. Biomasa total estimada con los cuatro modelos de mejor ajuste desarrollados en este estudio.....	51
Figura 8. Almacenamiento de carbono por tipo de bosque y profundidad de muestreo .....	60
Figura 9. Relación del FEB con el dap .....	64
Figura 10. Carbono almacenado (porcentaje) por fuente y tipo de bosque.....	66

## RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo determinar el impacto del aprovechamiento forestal en el contenido de biomasa y carbono almacenado en la vegetación aérea, hojarasca y suelo de bosques naturales de la comunidad de Nueva Quezada, Río San Juan, en el año 2001. Dicha área se encuentra ubicada en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la biosfera Indio maíz, a unos 400 Km. de la capital Managua.

Se seleccionaron 9 fincas de manera aleatoria, las cuales se encuentran en la zona de amortiguamiento de la Reserva Indio Maíz, ubicada en nueva Quezada. Las fincas se distribuyeron en dos escenarios, bosque aprovechado y bosque no aprovechado.

En cada finca se establecieron 6 parcelas temporales de muestreo (PTM), en éstas se realizó un inventario de la vegetación, así mismo se efectuó muestreos de hojarasca y suelo. Se utilizaron técnicas destructivas e indirectas para estimar la biomasa.

Para calcular el carbono aéreo almacenado, se definieron tres categorías de vegetación: fustales ( $\geq 10$  cm dap), latizales altos ( $\geq 5$  cm de dap y  $\geq 9.9$  cm dap), latizales bajos ( $\leq 1.5$  m y  $\leq 4.9$  dap). En suelo se estimó carbono a través del cálculo de densidad aparente y carbono orgánico del suelo. El porcentaje de materia seca se utilizó para estimar biomasa y carbono en la hojarasca.

El factor de expansión de biomasa se determinó para la regeneración (latizales altos y bajos y brinzales), siendo el valor promedio igual para ambos tipos de bosques (FEB 1.83), este promedio se encuentra dentro de los rangos reportados por autores como Segura (1999) quien reporta un rango de FEB de 1.3 y 2.2 para siete especies forestales de Costa Rica, por su parte Aguilar (2002) reporta un FEB promedio de 1.80 (1.51 – 2.15) para 17 especies de la Unidad de Manejo Uuaxactún, Petén, Guatemala.

La biomasa de fustales fue estimada en base a un modelo que fue generado por el proyecto LUCCAM, el cual es de tipo logarítmico, este estima la biomasa a partir del diámetro a la altura del pecho (dap).

Para la estimación de la biomasa aérea de la regeneración se generó un modelo alométrico. El modelo fue de tipo logarítmico y se ajustó con una buena precisión a los datos reales de biomasa. Se utilizó el criterio de Furnival (1961) para la elección del mejor modelo para la vegetación en general ( $n = 234$ ), además del coeficiente de determinación  $R^2$  ajustado, cuadrado medio del error y otras medidas de precisión.

Con la aplicación de estos modelos se obtuvo un estimado de  $366.34 \text{ t ha}^{-1}$  de biomasa aérea total y  $183.17 \text{ t ha}^{-1}$  de carbono en el bosque aprovechado, para el bosque no aprovechado se obtuvo  $291.14 \text{ t ha}^{-1}$  de biomasa y  $145.57 \text{ t ha}^{-1}$  de carbono.

En la hojarasca, el bosque aprovechado almacenó un total de  $4.07 \text{ t ha}^{-1}$  de biomasa y  $2.03 \text{ t ha}^{-1}$  de carbono, en el bosque no aprovechado los promedios fueron de  $2.78 \text{ t ha}^{-1}$  de biomasa y  $1.39 \text{ t ha}^{-1}$  de carbono. En el suelo se encontró, para el bosque aprovechado un promedio de  $132.64 \text{ t C ha}^{-1}$  y para el bosque no aprovechado un promedio de  $104.72 \text{ t C ha}^{-1}$ . Para las profundidades de muestreo se encontraron promedios esperados según literatura consultada, en el bosque aprovechado los rangos por profundidad fueron de  $83.71 \text{ t C ha}^{-1}$  para profundidad de  $0 - 30 \text{ cm}$  y de  $51.25 \text{ t C t ha}^{-1}$  en la profundidad de  $30 - 60 \text{ cm}$ . Mientras que en el bosque no aprovechado el rango según profundidad evaluada fue de  $74.36 \text{ t C ha}^{-1}$  en el nivel de  $0 - 30 \text{ cm}$  y de  $30.36 \text{ t C ha}^{-1}$  de  $30 - 60 \text{ cm}$  de profundidad.

El contenido de biomasa y carbono total estimado para el bosque aprovechado es de  $369.36 \text{ t ha}^{-1}$  de biomasa (no hay valores de biomasa de suelo) y  $320.13 \text{ t ha}^{-1}$  de carbono, mientras el bosque no aprovechado presentó un contenido de  $293.86 \text{ t ha}^{-1}$  de biomasa (no hay valores de biomasa de suelo) y de  $251.65 \text{ t ha}^{-1}$  de carbono.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Caracterización del problema

Actualmente, uno de los temas que ha generado discusión en el ámbito mundial, es el tema sobre el Cambio Climático Global, atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, la cual modifica la composición de la atmósfera global, y que se suma a la variabilidad natural observada del clima durante períodos de tiempo comparables (MARENA, 1999).

Las variaciones climáticas están influenciadas tanto por cambios naturales, como por el efecto del desarrollo de las sociedades humanas (MARENA, 2000), mediante el desarrollo de los procesos productivos, tal es el caso de la agricultura, la forestería, la pesca; como resultado de alterar los ciclos biogeoquímicos y de la constante pérdida de la biodiversidad (Vitousek, 1994). En respuesta a esta modificación del equilibrio energético, la tierra se calienta cada vez más provocando una serie de fenómenos tales como: el fenómeno del niño, la niña y el efecto invernadero, por mencionar algunos (Ramírez, 1997).

Los gases que provocan los cambios en el clima, son los mismos que actúan como gases de efecto invernadero siendo la razón de preocupación de muchos países debido a los problemas que producen, por tal motivo se han llevado a cabo una serie de acuerdos y convenciones en distintos países, con el objetivo de buscar soluciones conjuntas al problema.

Una forma de mitigar los problemas de CO<sub>2</sub> además de reducir las emisiones, es "secuestrarlo", o sea capturarlo y mantenerlo el mayor tiempo posible en la biomasa, el suelo y los océanos. En el primero; se logra a través de la fotosíntesis y en el segundo a través de la descomposición y mineralización de la materia orgánica. Los bosques son el principal sumidero de CO<sub>2</sub>, sin embargo una hectárea de agroforestería puede

secuestrar 95 mg C, además de proporcionar bienes y servicios que pueden potencialmente evitar que se deforesten 5 - 20 ha (Dixon, 1995).

En la región centroamericana ya se están realizando estudios para determinar el potencial existente en cuanto a la capacidad de fijar y almacenar carbono de los bosques naturales, con el fin de poder acceder a un posible mercado de carbono dentro del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Sin embargo, aún no existe un mercado definido y seguro, un mecanismo de comercialización y operación del mismo, así como también no se ha podido determinar cuál es el monto a pagar (Segura, 1999).

De acuerdo a varios estudios se estima que los bosques tropicales contienen en la biomasa 40% de carbono almacenado y su productividad es de 30 a 50% (Phillips *et al.*, 1998). Por lo tanto, una pequeña perturbación en ellos podría resultar en un cambio significativo en el ciclo del carbono global.

Sin embargo, según algunos estudios la capacidad de absorción y almacenamiento de carbono varía de un bosque a otro, principalmente por la influencia de factores como: temperatura, precipitación, densidad de masa, tipo de suelo, pendiente, altura, condiciones topográficas, índices de crecimiento y edad (Ciesla, 1996). Así mismo, los bosques densos y aquellos que no han sufrido perturbaciones, tienen mayor capacidad para almacenar carbono que los bosques abiertos y de zonas arboladas, así como los bosques degradados. Por otra parte, los bosques húmedos y bosques maduros almacenan más carbono que los bosques de zonas áridas o semiáridas y los bosques jóvenes (Ciesla, 1996).

En la presente investigación se pretende evaluar el efecto del manejo forestal en el potencial de almacenamiento y fijación de carbono en bosques naturales en la comunidad de Nueva Quezada, en el Municipio de El Castillo, Río San Juan.

## **1.2. Justificación e importancia**

En Nicaragua, hay carencia de información científica con respecto al conocimiento del contenido de carbono en bosques naturales, debido a la falta de investigaciones puntuales. Se considera pertinente desarrollar estudios con el fin de estimar el contenido de carbono en estos bosques. A partir de estos estudios se tendrían las pautas para dar inicio a las propuestas del mercado del carbono y para la creación de instrumentos jurídicos nacionales dentro del contexto de un mecanismo de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) o bien un Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

## **2. OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar el impacto del aprovechamiento forestal en la biomasa y el carbono aéreo total y bajo suelo de bosques naturales en la comunidad de Nueva Quezada, Río San Juan.

### **Específicos**

Cuantificar la biomasa y carbono aéreo total y bajo suelo en bosque aprovechado y bosque no aprovechado.

Construir modelos alométricos para estimar biomasa aérea total en latizales altos y bajos.

Determinar el Factor de Expansión de Biomasa (FEB) para latizales altos y bajos y brinzales.

## **3. HIPÓTESIS**

El contenido de biomasa y carbono aéreo total y bajo suelo varía entre bosque aprovechado y bosque no aprovechado.

El aprovechamiento forestal implementado en la zona es de bajo impacto ecológico para el bosque natural.

Existe diferencia significativa entre el FEB del bosque aprovechado y el bosque no aprovechado.

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1. Antecedentes**

Debido a la problemática del cambio climático que se ha presentado a nivel mundial, se ha realizado una serie de convenciones con el fin de buscar alternativas para mitigar los efectos provocados por el cambio climático, impulsado principalmente por los países desarrollados y en menor escala por los países en vías de desarrollo. Esta problemática se ha hecho evidente en conferencias tales como: la conferencia mundial sobre el clima en el año 1979, conferencia mundial sobre el clima en Villach (1985), conferencia mundial sobre el clima en Toronto (1988), conferencia mundial sobre el clima en Ottawa, Tata, La Haya, Noordwijk y el Cairo (1990), el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), Segunda conferencia mundial sobre el clima (1990), Convención Marco para el Cambio Climático (CMCC), cumbre de la tierra (1992) en Río de Janeiro, en donde 154 y la Unión Europea firmaron la CMCC, la declaración de Río, la Agenda 21, la convención sobre la diversidad biológica y los principios forestales, conferencia de las partes (COP) en 1995, Primera conferencia de las partes (COP-1) en Berlín, Alemania (Abril 1995), Segunda conferencia de las partes (COP-2) en Ginebra, Suiza en 1996, tercera conferencia de las partes (COP-3) realizada en Kyoto, Japón en 1997 en donde se aprobó el Protocolo de Kyoto.

Según la Primera Comunicación Nacional, el Gobierno de Nicaragua preparó en 1994 el Plan de Acción Ambiental para contar con una política y estrategia ambiental que armonice los intereses económicos con el medioambiente. El Plan de Acción Ambiental es el instrumento necesario para propiciar el desarrollo sostenible y posibilitar la toma de decisiones en la materia. Es en este mismo año en que se realiza el primer inventario de Nicaragua sobre fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero (INGEI). El INGEI permitió cuantificar las emisiones por categorías de fuentes y sumideros en cinco sectores. Se realizó también un estudio sobre los Impactos del Cambio Climático en Nicaragua en distintos sectores (recursos hídricos, agricultura, bosques, etcétera) con diferentes escenarios en períodos correspondientes. Además se

desarrolló otros estudios sobre Vulnerabilidad y Adaptación de los Recursos Hídricos, así como también Opciones de Mitigación de Gases de Efecto Invernadero y el Plan de Acción Nacional Ante el Cambio Climático.

Con el fin de dar cumplimiento a los compromisos contraídos ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), se creó en junio de 1999 la Comisión Nacional de Cambio Climático (CNCC) a través de Resolución Ministerial No. 014.99, como una instancia nacional de consulta entre el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) y las distintas instancias y sectores de la sociedad nicaragüense (Primera Comunicación Nacional). Es importante mencionar que Nicaragua ya ratificó el Protocolo de Kyoto en donde contrae una serie de compromisos para hacer frente a la problemática del Cambio Climático.

#### **4.2. Servicios ambientales que prestan los ecosistemas forestales**

Los ecosistemas forestales ofrecen a la sociedad una serie de bienes y servicios, los cuales tienen un valor tanto tangible como intangible.

Algunos de los servicios que brinda el bosque y las plantaciones forestales y que inciden directamente en la protección y el mejoramiento del medio ambiente son los siguientes: mitigación de emisiones de gases con efecto invernadero (fijación, reducción, secuestro, almacenamiento y absorción), protección del agua para uso urbano, rural o hidroeléctrico, protección de biodiversidad y suelos para conservarlos y hacer uso sostenible de los mismos, científico y farmacéutico, investigación y mejoramiento genético, protección de ecosistemas, forma de vida y belleza escénica natural para fines turísticos (MARENA, 2000).

#### **4.3. Bióxido de carbono**

El bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), es un componente normal del aire y parte del ciclo del carbono de la biosfera; por consiguiente, no se le considerará por regla general

contaminante. Sin embargo, el quemar carbón, petróleo y gas natural como combustible produce grandes cantidades de CO<sub>2</sub>.

Se calcula que la velocidad actual de aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> en el mundo es de aproximadamente de 0.7 ppm año<sup>-1</sup>. Se considera, por ende, los efectos posibles de un aumento proseguido de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera de la tierra.

Las moléculas de bióxido de carbono, a diferencia de los demás componentes del aire puro, poseen la propiedad de absorber la radiación infrarroja (calor) del sol. "por cuanto más CO<sub>2</sub> haya en la atmósfera, tanto más calor puede ésta absorber" (Nekrásov, 1981).

Cantidades enormes de CO<sub>2</sub> entran cada año a la atmósfera como consecuencia generalizada de combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas natural). Debido al constante intercambio de CO<sub>2</sub> entre la atmósfera y el océano (el cual puede absorber una gran parte de CO<sub>2</sub>), solamente parte del CO<sub>2</sub> antropogénico permanece en la atmósfera. Sin embargo, no hay duda alguna de que la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ha estado aumentando de año en año, por ejemplo, las emisiones de este gas crecieron a una tasa de 4.3% anual desde 1860 a 1970 y una de 2.8 entre 1970 y 1979 (Fernández, 1991).

#### **4.4. Ciclo del carbono**

El ciclo del carbono es considerado como un conjunto de cuatro depósitos interconectados: la atmósfera, la biosfera terrestre (incluyendo los sistemas de aguas frescas), los océanos y los sedimentos (incluso los combustibles fósiles). Estos depósitos son fuentes que cumplen la opción de liberar el carbono, o sumideros que son los que absorben carbono de otra parte del ciclo (Ciesla, 1996). Los mecanismos principales del intercambio del carbono son la fotosíntesis, la respiración y la oxidación (Kimball, 1982).

En general, las plantas verdes absorben el CO<sub>2</sub> de la atmósfera a través de la fotosíntesis. El carbono se deposita en follaje, tallos, y sistemas radiculares y principalmente en el tejido leñoso de los troncos y ramas principales de los árboles. Por esta razón "los bosques son considerados importantes reguladores en el nivel de carbono atmosférico" (Hipkins, 1984).

#### **4.5. Deforestación y emisiones de carbono en el trópico**

Los índices generales actuales de deforestación y emisiones de carbono son dudosos. Particularmente, no existe un buen conocimiento de la dinámica de cambio de uso de la tierra al nivel de paisaje. La regeneración forestal y la dinámica, crecimiento de bosques secundarios y crecimiento de tierras abandonadas y procesos de degradación de bosques a nivel de biomasa no han sido bien analizados ni documentados. El mejoramiento en la precisión de estas estimaciones sigue siendo uno de los retos y esfuerzos más urgentes en la investigación forestal y cambio de uso de la tierra (FAO, 1996).

Aproximadamente 42% del total de deforestación ocurre en América Latina, 31% en África y 27% en Asia. Viendo el lado positivo durante la última década ha habido un incremento grande en las áreas destinadas a plantaciones en el trópico. Antes de 1990 existían 61.3 millones de ha bajo plantaciones, el índice de establecimiento alcanza 3.2 millones de hectáreas por año (FAO, 1996).

#### **4.6. Efecto invernadero**

Este es un fenómeno natural que ha permitido el desarrollo de la vida en el planeta, producido por ciertos gases que están presentes en la atmósfera, y que son los responsables de mantener el planeta a una temperatura apta para la vida, estos gases principalmente el vapor de agua y el gas carbónico el cual ocupa el segundo lugar y a su vez el principal gas de efecto invernadero originado por las actividades antropógenas

permiten la retención de parte de la energía calórica que la tierra recibe del sol (Ramírez, 1997).

Este último autor, indica que este efecto se llama invernadero por la similitud con los invernaderos comunes; los gases de efecto invernadero (GEI) bloquean la radiación terrestre infrarroja, impidiendo que escape directamente de la tierra hacia el espacio. La radiación infrarroja absorbida por la atmósfera es emitida de nuevo en parte hacia la tierra y en parte hacia el espacio, por lo tanto, mucha de la energía que la tierra emite es reflejada por la atmósfera y es devuelta hacia la tierra.

Los principales gases producto de la actividad humana que contribuyen a la amplificación del efecto invernadero son el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), el vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ), los óxidos nitrosos ( $\text{N}_2\text{O}$ ), los cloro-fluoro-carbonados (CFC'S), los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), el ozono troposférico ( $\text{O}_3$ ); (Andrasko, 1990; Centeno, 1992; MARENA, 1995; PNUD, 1997) "altas concentraciones de estos gases en la atmósfera absorberán más calor, aumentando así la temperatura de la superficie".

Las consecuencias pueden llegar lejos: cambio en la precipitación, en el número de días libres de heladas, en la frecuencia y severidad de las tormentas, en el comportamiento y distribución de plantas y animales y en los procesos de formación del suelo. Existe además la posibilidad de que el nivel de los océanos incremente al derretirse los casquetes polares (Ciesla, 1995). Los efectos del cambio climático podrían tener serias complicaciones en el futuro para la agricultura, la forestaría y la pesca como resultado de alterar los ciclos biogeoquímicos y de la constante pérdida de la biodiversidad (Vitousek, 1994). Asegura Ramírez (1997), que de no darse un cambio para el año 2100, se tendrá un incremento de la temperatura del orden  $4.5\text{ }^\circ\text{C}$ . Un incremento de esta magnitud haría que la mayor parte de las especies vivas no pudieran adaptarse al cambio climático.

La temperatura media de la tierra es de 33°C debido al efecto invernadero, si este proceso no se llevara a cabo, la temperatura media global sería de -18 °C por lo que no existirían las condiciones aptas para la vida.

#### **4.7. Fuentes y Depósitos de CO<sub>2</sub>**

Los árboles actúan como almacenadores al absorber el CO<sub>2</sub>, por consiguiente liberando oxígeno (O<sub>2</sub>) y reteniendo el carbono en la biomasa, principalmente en forma de madera. La madera contiene un 48% en forma de lignina y celulosa; para almacenar una tonelada de carbono es necesario producir 2.2 toneladas de madera (FWPRDC, 1996). Al quemarse esta (la madera) el proceso se revierte usando O<sub>2</sub> del aire y carbono almacenado en la madera para liberar al final CO<sub>2</sub>. Los bosques pueden ser tanto almacenadores como fuentes de carbono, esto dependiendo de como y con qué propósito sean manejados y como sean utilizados sus productos (Chaturveni, 1994).

Según reporte de la FAO (sin publicar), citado por Ciesla (1996), los bosques representan el 25% de la superficie terrestre y se ha calculado que contienen más del 80% del carbono presente sobre la superficie terrestre y aproximadamente el 40% de todo el carbono existente en el subsuelo (suelo, desperdicio y raíces), lo cual equivale a casi 1,146 GtC (Giga tonelada). De este total, los bosques tropicales de baja latitud cuentan con aproximadamente el 37%, seguido de los bosques templados de latitud media con un 14% y por último los bosques de alta latitud con un 49% (Dixon *et al.*, 1994).

#### **4.8. Los mercados mundiales del carbono**

MARENA (1999), determina que el propósito de la venta internacional del carbono es en realidad la venta certificada de reducciones de emisiones de carbono. Consiste en que un emisor de gases que tiene compromiso de reducción pero que le cuesta caro, prefiere financiar en un país en desarrollo que no tiene estos compromisos. El país en

desarrollo realizará reducciones de emisiones que de otra manera no hubiera realizado, a cambio de la transferencia de recursos financieros o tecnológicos.

El comercio de emisiones tiene sentido únicamente solo si los estados parte de la convención de cambio climático lo reconocen internacionalmente. Esta posibilidad está contemplada en el protocolo de Kyoto. No obstante, este protocolo aún no está vigente, por lo tanto, ni los compromisos ni los mecanismos de venta de carbono existen realmente por ahora. Sin embargo, los intereses de los países que podrían participar en estos intercambios son grandes, y es muy probable que el protocolo entre en vigor en los próximos años, abriendo así las posibilidades de la venta de carbono (MARENA, 1999).

En la actualidad existen proyectos de "Implementación Conjunta" que dieron lugar a las reducciones de gases de efecto invernadero en países en desarrollo (p.ej. Costa Rica), con transferencia con países industrializados.

#### **4.9. Centroamérica: un fuerte potencial en la venta de carbono**

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

Uno de los emprendedores en la comercialización de carbono en Centroamérica es, Costa Rica, que desde 1994 ha estado orientando esfuerzos en la búsqueda de mecanismos que permitan vender este servicio de los ecosistemas forestales a quienes contaminan; además, ya introdujo elementos jurídicos en su Ley Forestal, para ello está tratando de cuantificar todo el potencial de fijación y almacenamiento de carbono que posee, justamente para realizarlo a escala internacional. El pago por Servicios Ambientales (PSA) en Costa Rica es una realidad desde hace unos años, estos fondos son obtenidos de la tercera parte de los impuestos de hidrocarburo y de organismos

internacionales interesados en contribuir en la reducción de emisión de gases con efecto invernadero (Alfaro, 1997).

Así mismo, Nicaragua está desarrollando proyectos de investigación para contar con inventarios de gases de efecto invernadero, entre otros de los compromisos que adquirió en la Conferencia de la Tierra (1992) y que ratificó esta convención en 1995. Estos proyectos le dan la oportunidad a Nicaragua para que en un futuro mediano pueda entrar en la comercialización de carbono, tomando la experiencia de Costa Rica y aprovechando los acuerdos firmados con países signatarios (MARENA, 1999).

#### **4.10. Emisión de Gases de Efecto Invernadero en Nicaragua**

Según MARENA (1999), Nicaragua se encuentra actualmente evaluando sus emisiones y su capacidad de secuestro de los mayores gases de efecto invernadero: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CFC's se agregan a las actividades económicas que los producen en cinco sectores: energía (incluye transporte, producción de energía eléctrica, entre otros), procesos industriales, manejo de desechos, agricultura y cambio del uso del suelo.

Las emisiones totales de gases de efecto invernadero en Nicaragua en 1994, según las cifras preliminares del proyecto "Primera comunicación" de MARENA, se estiman en 25,686 Gg, tomando como parámetro la molécula de CO<sub>2</sub>, por ejemplo una molécula de metano tiene el poder de calentamiento equivalente a 21 molécula de CO<sub>2</sub>. Esto es aproximadamente 0.058 % de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Por habitante, representa aproximadamente a una cantidad de 5 toneladas por habitante de CO<sub>2</sub> por año (MARENA, 1999).

En el futuro es muy probable que estas emisiones aumenten debido al crecimiento demográfico, al mayor acceso de la electricidad y a la paulatina industrialización. Un factor esencial en la emisión de gases en Nicaragua es la constante deforestación que además tiene muchos efectos dañinos, como la pérdida de biodiversidad y de potencial turístico, ocasionando pérdidas irreparables para el país (MARENA, 1999).

#### **4.11. Opciones de mitigación de CO<sub>2</sub>**

Una forma de mitigar los efectos de CO<sub>2</sub> además de reducir las emisiones, es "secuestrarlo", o sea capturarlo y mantenerlo el mayor tiempo posible en la biomasa, el suelo y los océanos. En el primero; esto se logra a través de la fotosíntesis y en el segundo a través de la descomposición y mineralización de la materia orgánica. Los bosques son el principal sumidero de CO<sub>2</sub>, sin embargo una hectárea de agroforestería puede secuestrar 95 mg C, además de proporcionar bienes y servicios que pueden potencialmente evitar que se deforesten 5 -20 ha (Dixon, 1995).

#### **4.12. Importancia de los bosques en los flujos de carbono**

Los bosques cumplen la función de sumideros de los GEI, así mismo, los estudios de calculo de biomasa de los ecosistemas forestales son esenciales para obtener un aproximado de la cantidad de carbono almacenado, ya que existe una estrecha relación entre la biomasa y el carbono que es de aproximadamente 2:1 (Ciesla, 1996).

El nivel de acumulación de carbono varia entre los diferentes ecosistemas por ejemplo se ha estimado que la tasa de acumulación de carbono en la vegetación de un rebrote de bosque secundario, entre 0 y 20 años, es de 2 a 3.5 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> mientras que la acumulación en el suelo en las mismas condiciones se estimó en 0.5 a 2.0 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Lugo y Brown, 1992,1993).

El bosque primario natural una vez maduro mantiene anualmente fijada una cantidad de carbono igual a la mitad de su biomasa total o igual a la mitad por peso de la productividad primaria neta (PPN), en toneladas de biomasa seca ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. El número de toneladas de carbono fijado depende de las condiciones de la zona de vida tales como tipo de suelo, cantidad de agua y temperatura entre otros (Carranza *et al.*, 1996).

## **4.13. Biomasa**

### **4.13.1. Concepto y definición**

Biomasa, se define como la cantidad de organismos vivos de una o más especies o de todas las de una comunidad, por unidad de superficie en un momento dado (Zamora y Quiroz, 2000), aunque también en materia meramente forestal se define como la masa total de los componentes de un árbol incluyendo las ramas y las hojas (Venegas, Méndez y Araya, 2000). La manera de medir la biomasa es a través del peso y su unidad de medida es el Kg o la tonelada, según sea el caso.

### **4.13.2. Importancia**

La biomasa es un factor muy importante para realizar estudios de investigación, ya que a partir de la cantidad de biomasa existente en un bosque dado, se puede determinar la cantidad de carbono almacenado y/o fijado por él mismo. El total de biomasa es principalmente una función de la edad del rodal así que esta es una medida útil para la valoración de cambio en la estructura forestal.

### **4.13.3. Métodos de estimación de biomasa**

Los primeros trabajos en las regiones templadas acerca de la estimación de biomasa de árboles y bosques aparecieron en 1950, sin embargo, para las regiones tropicales los trabajos son escasos y por ello la información para estimar la cantidad de biomasa es muy pobre (Brown y Lugo, 1982; Pardé, 1980).

El contenido de biomasa aérea puede ser estimado a través de métodos directos o indirectos, los cuales se detallan en los siguientes aspectos.

#### 4.13.3.1. Método Directo

El método directo es destructivo, consiste en la corta y peso de ejemplares de muestras de biomasa y se extrapolan los resultados a grandes áreas (Araujo *et al.* 1999). Este método consiste en seleccionar un árbol, medir sus dimensiones básicas, cortarlo y determinar la biomasa a través del peso directo de cada uno de sus componentes (raíces, fuste, ramas, y follaje), a su vez la biomasa y raíces se puede subdividir en categorías diamétricas (Ortiz, 1993)

#### 4.13.3.2. Método indirecto

Cuando el árbol es de dimensiones muy grandes, que es lo usual en bosques naturales, la biomasa de fuste y de ramas grandes puede calcularse en forma directa, es decir utilizando los métodos de cubicación de Smallian, Huber, etc; al final se suman estos volúmenes para obtener el volumen total del fuste o de las ramas gruesas. Se toman muestras de madera del fuste y ramas y se pesan en el campo para que no pierdan humedad, luego se calculan en el laboratorio los factores de conversión de volumen a peso seco necesarios, es decir la densidad verde y la densidad seca (Ortiz 1993 y Segura 1997) tomado de Segura (1999). Utilizando las siguientes formulas:

$$\%MS = [PSH / PFM] \times 100 \quad (\text{Ec.1})$$

Donde : %MS: Porcentaje de materia seca; PSH : Peso seco de la muestra (g) PFM : Peso fresco de la muestra (g).

$$B = [P \times MS (\%)] / 100 \quad (\text{Ec.2})$$

Donde: B : Biomasa (t); P : Peso del componente (t); %MS : Porcentaje de materia seca.

Otra forma de estimar la biomasa es a través de formulas y modelos matemáticos para realizar análisis de regresión entre las variables colectadas en el campo y de inventarios forestales (dap, altura comercial y total, crecimiento diamétrico, etc.) (Araujo *et al.* 1999; Ortiz 1993; Brown 1997), citado por Segura (1999).

Estos modelos son denominados modelos alométricos. Un modelo alométrico es una relación matemática para estimar una variable (volumen o biomasa) con base en una o más variables independientes (dap, altura).

#### **4.13.3.3. Estimación de carbono aéreo**

El carbono aéreo almacenado está íntimamente relacionado con el incremento de la biomasa (Cubero y Moya, 1999). Esto nos explica la importancia de conocer las proporciones de biomasa de un bosque con el cual se estimaran los contenidos de carbonos apoyado de ecuaciones alométrica y de forma para obtener biomasa, con estos valores se calcula carbono almacenado.

#### **4.13.3.4 Carbono en los suelos**

El carbono está presente en el suelo, tanto como carbono orgánico y como inorgánico. El inorgánico está presente mayormente como carbonatos minerales primarios del material parental o secundarios pedogénicos. Los estudios de carbono en el suelo usualmente son basados en el carbono orgánico. En suelos con valores significativos de carbonatos, el carbono orgánico puede ser medido directamente por combustión de la muestra o bien, mediante la oxidación selectiva del carbono orgánico o bióxido de carbono (Ellert *et al.*, 1999).

La materia orgánica es una de las principales fuentes sobre el suelo, la cual constituye el 50% o más del depósito total en los bosques tropicales, esto incluye hojarasca intacta mayor de 2 mm y materia orgánica del suelo que puede ser separada en fracciones: ligera (material celular que incluye biomasa microbiana) y pesada, la cual representa

poco más del 79 – 90 % de carbono total en muchos suelos (Theng *et al.*, citado por Anderson, S.F.).

Al medir el suelo se busca identificar cual es el contenido de carbono en los primeros 30 cm de profundidad. Para esto se utiliza una muestra a fin de determinar materia orgánica y densidad aparente que permiten calcular carbono orgánico por unidad de área.

Los suelos son importantes fijadores a largo plazo. Se ha encontrado que el cambio de uso de la tierra de bosque a agricultura puede reducir a la mitad el carbono fijado en esta fuente en tan solo 10 años de cultivos continuos (Márquez, 2000).

La capacidad para medir carbono almacenado en los suelos es importante para comprender el ciclo del carbono y más aún para conocer el potencial de carbono en estos. Globalmente los suelos tienen doblemente de carbono que la atmósfera (Schimel *et al.*, 1995).

#### **4.13.3.4.1. Variables que afectan la estimación de carbono en el suelo**

##### **a) Profundidad**

la profundidad del perfil es importante, ya que existe un patrón de acumulación de carbono que varía en cada horizonte. Así, tenemos que el perfil “A” superficial es rico en materia orgánica en descomposición y por tanto se espera que sea rico en carbono orgánico del suelo (COS), sin embargo, dependiendo del uso anterior o de la cobertura vegetal es posible encontrar casos en el que perfil “B”, cuyo carbono está menos disponible y se acumula, presente mayor contenido de carbono (Ellert *et al.*, 1999).

Para una concentración de carbono dada la cuantificación de carbono en el suelo, depende de la Densidad Aparente (DA), la cual varía con la profundidad del suelo, manejo y otras propiedades. Para calcular la materia orgánica del suelo y almacenaje

de carbono, se considera el carbono como el producto de la concentración de COS, DA y el espesor del suelo. De este modo, las comparaciones de carbono en el suelo son basadas en los mismos espesores o volúmenes (por ejemplo, 60 mg C ha<sup>-1</sup> a 30 cm), por lo tanto se sugiere expresar el carbono almacenado, en términos de masa de COS en una masa equivalente de suelo por unidad de área (Ellert *et al.*, 1999).

## **b) Densidad aparente**

La densidad aparente es un término que expresa la masa por unidad de volumen de una sustancia, cuando se aplica a los suelos se denomina densidad aparente, porque incluye el espacio poroso. Los cambios en la porosidad reflejan valores de densidad aparente variables.

Como regla general, la densidad aparente tiene un valor máximo en suelos de textura gruesa porque tienden a la menor porosidad, aún cuando el tamaño de sus poros es grande. Inversamente, el espacio poroso total de un suelo con textura fina tiende a ser mayor y por tanto, su densidad aparente es baja (Cavazos *et al.*, 1992).

Generalmente la densidad aparente del suelo es expresada en g cm<sup>-3</sup>.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Descripción del área de estudio

El área de estudio está definida de la siguiente manera:

La comunidad de Nueva Quezada limita al Norte con el Río Guineal, al Sur con el área de Santa Cruz forestal S.A., al Este con el Área de proyecto Unido y al Oeste con las Tierras Nacionales (Madera – UCA,1995).

Cuadro 1. Coordenadas geográficas que delimitan Nueva Quezada

	IDENT. MAPA	COORDENADAS	
		Latitud	Longitud
Noreste	A	11 <sup>0</sup> 14' 35"	84 <sup>0</sup> 15' 58"
Sureste	B	11 <sup>0</sup> 11' 30"	17 <sup>0</sup> 17' 02"
Suroeste	C	11 <sup>0</sup> 12' 38 "	20 <sup>0</sup> 20' 35"
Noroeste	D	11 <sup>0</sup> 14' 44"	19 <sup>0</sup> 19' 52"

Nueva Quezada está ubicada en las siguientes hojas cartográficas en escala 1:50,000, editadas en 1989 por INETER.

Hoja Cartográfica: El Castillo N<sup>0</sup> 3349 - II

Hoja Cartográfica: Río Sábalo N<sup>0</sup> 3349 – IV

La comunidad se encuentra ubicada en la Zona de amortiguamiento de la Reserva Indio-Maíz (anexo 1). En dicha comunidad se han conformado tres empresas madereras, Luz en la Selva, Nueva Holanda y Montes Verdes, éstas trabajan directamente con la empresa maderera SOSMadera. Esta misma empresa se encarga de realizar los planes de manejo, así como también los aprovechamientos para cada finca, además existe un Plan General de Manejo para toda Nueva Quezada de 1996 (Proyecto Madera-Silvicultura y la Universidad Centroamericana-UCA, 1996). El plan general de manejo para la comunidad tiene una duración de 10 años (1996-2006).

### **5.1.1. Elevación y pendientes**

En el área de estudio las alturas oscilan entre los 123 y 327 msnm, con pendientes mínimas de 2% y máximas de 70%, es decir que el terreno es muy escarpado (Madera – UCA, 1995).

### **5.1.2. Clima y precipitación**

La zona se caracteriza por tener dos épocas bien definidas. Una lluviosa de Mayo a Diciembre y otra de menor precipitación entre Enero y Abril, siendo en esta época donde se concentra la mayor actividad comercial (extracción de madera, cosecha de granos e introducción de productos de primera necesidad en la familia). La precipitación media anual se estima entre los 3000 y 3500 mm, con una temperatura media anual de 24°C (MAG, 1978; Madera – UCA, 1995).

### **5.1.3. Hidrología**

En la zona no atraviesan ríos de grandes caudales, sin embargo nacen un sin número de afluentes que durante la época lluviosa experimentan enormes crecidas y que contribuyen al caudal del Río Sábalo y del Santa Cruz, los cuales son importantes tributarios del Río San Juan (Madera – UCA, 1995).

### **5.1.4. Descripción de la vegetación**

De acuerdo a la clasificación de Holdridge, el área se encuentra en la formación de bosque muy húmedo Premontano - Tropical (bmh - PT). Siguiendo el sistema de Koeppen, se clasifica como zona tropical lluviosa con un período seco muy corto (Madera – UCA, 1995), (Castañeda *et al.* 1994) citado por Castillo (1997).

### **5.1.5. Fisiografía y suelos**

Los suelos son profundos, de textura arcillosa hasta franco limoso lateríticos, pobres y ácidos, con deficiencias de fósforo y con exceso de aluminio intercambiable, teniendo como material de origen, rocas básicas (basaltos y andesitas, y en la parte baja por sedimentos fluviales). Por su baja fertilidad se ha determinado que son suelos con vocación forestal, es decir, que en estos suelos su uso debe ser forestal (Madera-UCA, 1995).

### **5.2. Recopilación de información base y primaria**

La metodología empleada para la realización de esta investigación está constituida por tres fases:

- I. Recopilación de información base y primaria.
- II. Levantamiento de la información de campo.
- III. Procesamiento y análisis de la información de campo.

Se recopiló información relevante sobre el tema a tratar e información secundaria como: aprovechamiento forestal, cambio climático, gases de efecto invernadero, fuentes y depósitos de carbono, opciones de mitigación, modelos alométricos, información de la zona de estudio, entre otros.

La mayor parte de la literatura citada fue brindada por el Proyecto Cambio de Uso de la Tierra y Flujos de Carbono para Centroamérica U. Helsinki, Finlandia / CATIE, Costa Rica, así mismo se efectuó visitas a centros de documentación de MARENA, INAFOR, UCA, UNA, Proyecto TRANSFORMA / CATIE en Nicaragua.

En la figura 1 se muestra el esquema del procedimiento efectuado para la recopilación de la información requerida para la realización del anteproyecto o protocolo y el documento final.

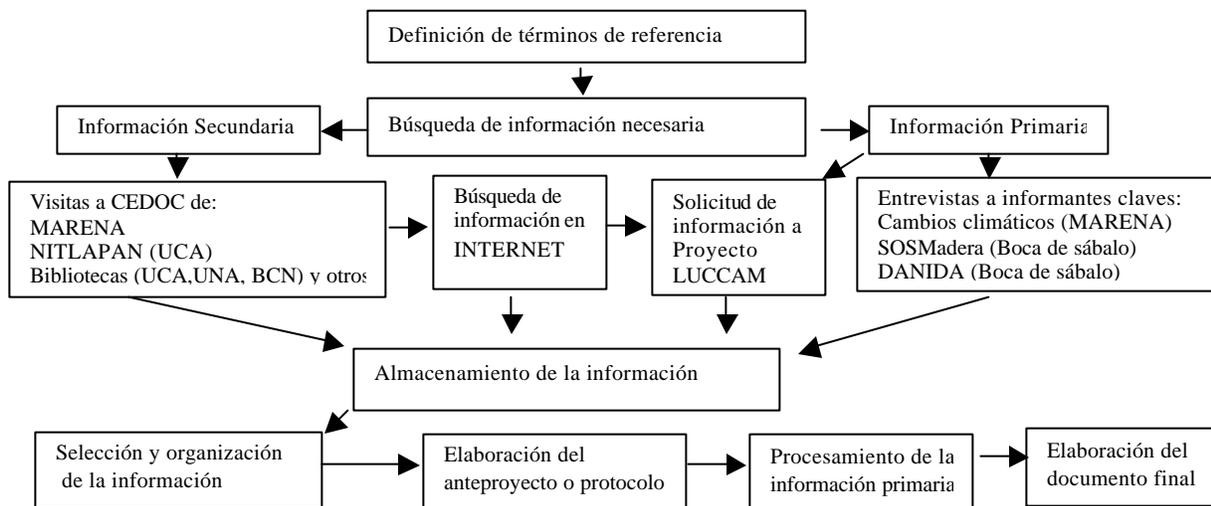


Figura 1. Procedimiento a seguir para la elaboración del protocolo y documento final.

### 5.3. Levantamiento de la información de campo

En el esquema de la figura 2 se muestra los pasos efectuados para determinar aspectos como: caracterización de los bosques, conocer el estado estructural y funcional de éstos y su biomasa, así como su capacidad de almacenamiento de carbono.

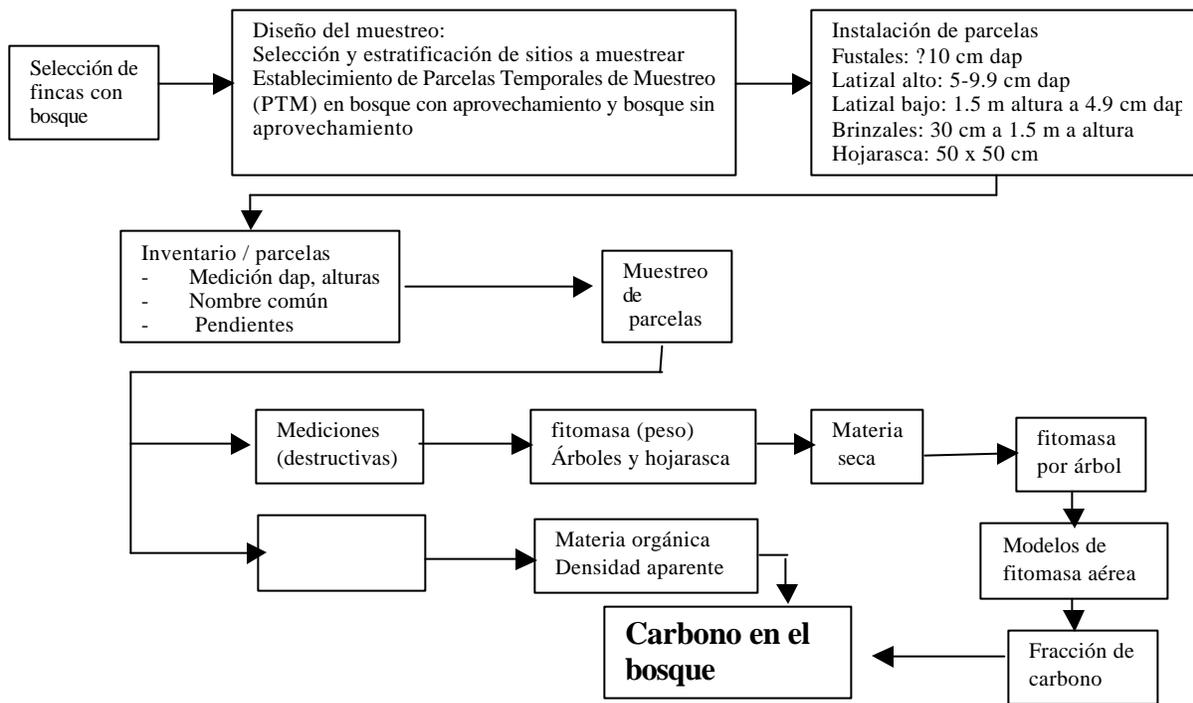


Figura 2. Esquema metodológico de la primera fase de la investigación.

### **5.3.1. Selección y estratificación de los sitios a muestrear**

Para la selección de los sitios muestreados, el primer paso fue visitar el área. Se tomó en cuenta algunos criterios básicos o la existencia de condiciones ideales para facilitar el desarrollo de la investigación, entre las que están:

- ?? Estado de la formación vegetal (existencia de bosques aprovechados y no aprovechados).
- ?? Buena coordinación entre los actores locales y ONG ' s que inciden en la zona, y entre los ONG ' s.

En cuanto a la selección de los sitios puntuales (fincas), se desarrolló una reunión de carácter informativo con todos los productores de la comunidad Nueva Quezada, coordinada con las organizaciones establecidas en la zona, se seleccionó de manera aleatoria nueve fincas del total del universo de estudio, el cual está compuesto por aproximadamente 160 parceleros que conforman el total de la comunidad.

Para la identificación y selección de los sitios se tomó en cuenta las diferencias presentes en aspectos como:

#### **a) Pendiente**

Esta fue determinante para la identificación de las parcelas muestreadas y para la estratificación de los sitios con el fin de disminuir la variabilidad y aumentar la precisión del muestreo. Se estableció un máximo de 3 estratos, cada uno caracterizado por:

E1: Plano, con un nivel de pendientes de 0 –14.9 %.

E2: Ondulado, con pendientes de 15 – 29.9 %.

E3: Quebrado, con un nivel de pendiente ? 30 %.

En la mayoría de las fincas se ubicaron dos parcelas por cada estrato, para obtener un muestreo proporcional tomando en consideración que fueron seis parcelas por finca.

Es importante mencionar que existieron limitantes con respecto al número de parcelas a establecer, entre éstas se encuentra el factor tiempo y los altos costos económicos que conlleva el muestreo, lo que obligó a reducir la intensidad del mismo.

## **b) Tipo de vegetación**

En los casos donde el bosque estaba muy abierto y con presencia de pastos y palmas no se tomó en cuenta, para el establecimiento de las parcelas, más bien se seleccionó sitios en donde la vegetación no se observaba afectada por factores como: quemas, trochas de paso, o cualquier otro elemento que altere el muestreo.

### **5.3.2. Diseño del muestreo**

El diseño de muestreo y la metodología utilizada es la propuesta por Segura y Kanninen (2002). Consiste en el establecimiento de Parcelas Temporales de Muestreo (PTM), en este caso en particular se trabajó en dos tipos de bosques (bosque aprovechado y bosque no aprovechado). El muestreo realizado es un muestreo aleatorio estratificado.

El tamaño de las parcelas varió entre 250 y 450 m<sup>2</sup>, el tamaño inicial fue de 250 m<sup>2</sup> (10 x 25 m) y se aumentó (450 m<sup>2</sup>) si la cantidad de árboles > 10 cm de dap (fustales) era menor a 15 individuos, esto se hizo con el fin de aumentar la intensidad del muestreo.

La forma de las parcelas establecidas es rectangular del tipo anidadas, es decir, superpuestas una dentro de la otra, con el objetivo de inventariar cada categoría de vegetación según su tamaño (ver figura 3):

Brinzales: individuos que tengan 0.30 m hasta 1.5 m de altura

Latizal alto: individuos de 5 - 9.9 cm de dap

Latizal bajo: individuos de 1.5 m de altura hasta 4.9 cm de dap

Fustales: individuos >10 cm de dap

Se estableció un total de seis parcelas de 250 m<sup>2</sup> cada una, distribuidas al azar en cada finca, lo que significa que el área de muestreo fue de 1500 m<sup>2</sup> por finca. Las propiedades tienen una extensión promedio de 50 manzanas (35.2 ha), ocupando el bosque aproximadamente un 60% de la finca, según los propietarios de éstas, lo que equivale aproximadamente a 30 manzanas (21 ha).

El muestreo de fustales y latizales se realizó en 52 parcelas para cada categoría de vegetación (incluyendo las de 250 m<sup>2</sup> y 450 m<sup>2</sup> para fustales), excepto en brinzales que se hizo en 104 parcelas.

La intensidad de muestreo estimada fue de 0.71% por finca, con parcelas de 0.025 ha.

### **5.3.2.1. Establecimiento de parcelas**

Con el objetivo de inventariar la vegetación existente, se efectuó el establecimiento de las Parcelas Temporales de Muestreo. El primer paso fue ubicarse en un punto al cual se le denominó punto cero, este fue ubicado alejado de cualquier elemento que pudiera afectar el muestreo, con el fin de evitar el efecto de borde. Luego se trazó un rumbo franco, que fue tomado como punto de referencia para iniciar la delimitación de la misma. Se midió 5 m a cada lado del punto cero y luego se midió 25 m de fondo, en cada medición se utilizó brújula y cinta métrica.

Delimitada la parcela grande se procedió a realizar el inventario de fustales para determinar la abundancia de los mismos, en la misma se evaluó hojarasca y suelo, el procedimiento se detalla más adelante.

Dentro de la parcela grande se delimitaron sub-parcelas anidadas de tamaños variables según la categoría de vegetación muestreada (Figura 3). Se tomó como punto de

referencia la esquina superior izquierda de la parcela grande, es decir el cuadrante Noroeste, una vez realizado el montaje de sub-parcelas se evaluó:

Brinzales (B): 2 sub-parcelas opuesta de 4 m<sup>2</sup> (2 x 2m).

Latizales bajos (LB): sub-parcela de 4 m<sup>2</sup> (5 x 5 m).

Latizales altos (LA): sub-parcela de 100 m<sup>2</sup> (10 x 10 m).

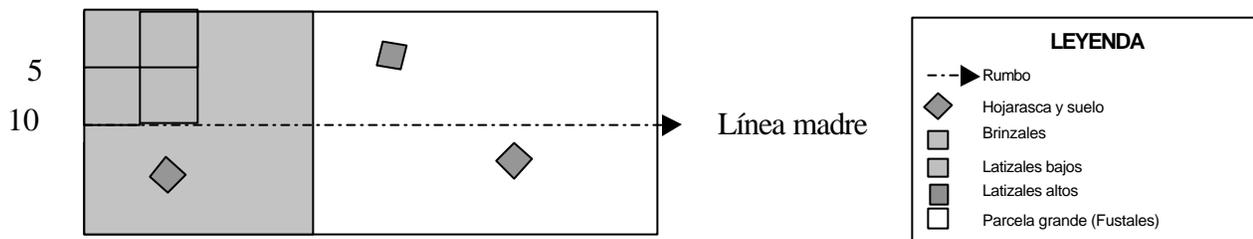


Figura 3. Diseño de parcelas temporales de muestreo (PTM-anidadas). Tomado de Segura y Kanninen (2002).

Para el establecimiento de las parcelas se tomó en cuenta los siguientes criterios:

- Ubicación aleatoria de las PTM dentro del bosque.
- Abarcar la mayor variabilidad del sitio y la vegetación (de forma perpendicular a la pendiente).
- No considerar fuentes de agua o trochas.
- Distanciamiento entre parcelas, no menor a 100 m.

### 5.3.2.2. Variables evaluadas en parcelas

#### Pendiente

El nivel de pendiente se determinó en porcentaje (%) con el uso de clinómetro de Soonto, éste se tomó en tres puntos dentro de la parcela, de forma transversal a la misma, y finalmente se procedió a promediarlo.

### **Nombre común**

Se identificó en las diferentes categorías de vegetación (brinzales, latizales bajos y altos, y fustales), para ello se contó con la ayuda de un identificador florístico (empírico) de la zona.

### **Dap (diámetro a la altura del pecho, 1.30 cm)**

Se midió en las distintas categorías de vegetación, (excepto en brinzales). Fue medido con cinta diamétrica o forcípula.

### **Altura total**

Se midió en todas las categorías, ésta al igual que la altura comercial fue estimada con clinómetro. En la categoría brinzal se midió con cinta métrica.

### **Peso de biomasa**

Se pesó la regeneración (brinzales y latizales), árboles de 0.30 m de altura a 9.9 cm dap (fuste, ramas y hojas) y en hojarasca, para esto se utilizó una balanza de precisión de  $\pm 1$  g y una balanza de resorte de 12 kg.

Por cada categoría de vegetación se seleccionó 3 individuos aleatoriamente, luego fueron separados por componentes (fuste, ramas, y hojas), con el fin de determinar peso fresco (material húmedo). De todos los componentes pesados se tomó sub-muestras para ser secadas en un laboratorio y determinar la materia seca y posteriormente obtener la fitomasa por componente.

## **Muestreos en suelos**

### **Hojarasca**

Para coleccionar las muestras de hojarasca se utilizó un marco metálico de 50 x 50 cm (0.25 m<sup>2</sup>). El marco se lanzó en forma aleatoria en tres ocasiones y a distanciamiento de unos 6-8 m entre cada marco, esto se realizó dentro de la parcela grande. Se recogió cuidadosamente toda la hojarasca que quedó dentro del marco metálico evitando trozos de ramas grandes podridas, piedras y cualquier otro elemento que no fuera muestra deseada. Todo el material seleccionado en los tres marcos metálicos se colocó en una bolsa plástica grande, tomando antes el peso (fresco) de la misma, luego se pesó toda la hojarasca colectada en cada parcela (250 m<sup>2</sup>), posteriormente se tomó una sub-muestra de aproximadamente 200 g depositándose en bolsa debidamente etiquetada para determinar el porcentaje de materia seca en laboratorio.

### **Materia orgánica en el suelo**

Para obtener las muestras de suelo se abrió orificios (con profundidad igual a 60 cm) en los puntos (los tres puntos) en los cuales se tomó las muestras de hojarasca, estos orificios fueron hechos con barreno.

Las muestras fueron extraídas a dos profundidades; a los primeros 30 cm de profundidad el material se tomó y se colocó en una bolsa grande, seguidamente en el mismo orificio se excavó hasta los 60 cm y de igual forma el suelo extraído se depositó en otra bolsa grande; esto se hizo en los tres orificios elaborados.

Después de extraer todas las muestras de los orificios se procedió a mezclarlas, luego se extrajo una sub-muestra de aproximadamente 60 g para cada profundidad para su posterior análisis de materia orgánica en el laboratorio.

## **Densidad aparente del suelo**

De los orificios hechos para obtener materia orgánica de suelo, se seleccionó uno al azar por cada estrato para densidad aparente, éste se amplió con ayuda de un palín y luego se colocó un cilindro metálico para extraer muestra en las dos profundidades. Se utilizó el método del cilindro de volumen conocido (Márquez, 2000).

Este método consiste en tomar una muestra de suelo dentro de un anillo de metal de volumen conocido, ésta se lleva al laboratorio, se coloca en un horno hasta secar completamente (peso constante), se pesa en seco, y se calcula la densidad.

## **5.4. Procesamiento y análisis de la información**

Para el análisis de la información se creó una base de datos en la que se registró cada una de las variables evaluadas.

Esta base de datos permitió caracterizar de manera básica los bosques en estudio, posterior a la caracterización, los resultados fueron analizados en el programa estadísticos SAS, para estimar: área basal, biomasa total (fuste, ramas y tocón), además de la composición florística y estructura del bosque. Con la ayuda de los resultados de laboratorios se obtuvo la información del contenido de biomasa. Posteriormente se anexaron a ésta (base de datos) los resultados de los análisis de laboratorio (materia seca y densidad aparente).

### **5.4.1. Caracterización de los bosques muestreados**

#### **5.4.1.1. Composición florística y estructura del bosque**

La determinación de abundancia, diversidad florística y estructura horizontal de los bosques se realizó con base al inventario efectuado en las nueve fincas.

La composición y diversidad florística del bosque se determinó a través de datos como: número de individuos por especie, así como también los géneros y familias dominantes del bosque.

Para la distribución horizontal se usó datos como: números de individuos por hectárea y por clases diamétricas, además del cálculo de área basal.

El cálculo de área basal (G) en  $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ , se determinó a partir de los datos de diámetros a la altura del pecho (dap), mediante el procedimiento PROC MEANS (en SAS, anexo 2), a continuación se presenta la fórmula:

$$G = (\text{DAP} * \text{DAP} * 3.1416 / 4 * \text{Número de parcelas de la muestra}) * \text{NP} / 10000 \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde: G: área basal; DAP: Diámetro a la altura del pecho; NP: Número de parcelas contenidas en una hectárea.

#### **5.4.2. Estimación de biomasa y carbono en las diferentes fuentes**

La manera de medir la biomasa es a través del peso y su unidad de medida es el kg o la tonelada, según sea el caso (Venegas, Méndez y Araya, 2000). La biomasa se estimó a nivel aéreo y en hojarasca. El contenido de biomasa aérea fue estimado a través del método directo en el que se seleccionaron individuos aleatoriamente para pesarlos por componentes. Para la biomasa de hojarasca antes se toma porcentaje de materia seca y posterior se determina la biomasa por medio de ecuaciones de biomasa de hojarasca. Para suelo, se estima directamente carbono por medio de valores que se obtienen de densidad aparente y el porcentaje de carbono orgánico del suelo .

#### 5.4.2.1. Estimación de biomasa aérea

Se utilizó el método directo (MD) en los individuos seleccionados aleatoriamente en las PTM (3 árboles por cada categoría de LA y LB). El muestreo efectuado mediante el MD se realizó con el propósito de obtener la biomasa total en las diferentes categorías de vegetación.

Para obtener la biomasa primero se determinó el porcentaje de materia seca

$$\%MS = [PSH / PFM] \times 100 \quad (\text{Ec.1})$$

Donde : %MS: Porcentaje de materia seca; PSH : Peso seco de la muestra (g) PFM : Peso fresco de la muestra (g).

Posteriormente se calcula la biomasa mediante la siguiente ecuación:

$$B = [P \times MS (\%)] / 100 \quad (\text{Ec.2})$$

Donde: B : Biomasa (t); P : Peso del componente (t); %MS : Porcentaje de materia seca.

Para obtener la biomasa de fustales totales (del inventario), se utilizó la ecuación alométrica desarrollada por el Proyecto Cambio de Uso de la Tierra y Flujos de Carbono para Centroamérica (LUCCAM, s.f):

$$\text{Log}_{10}Bt = - 4.146 + 2.6 * \text{Log}_{10} Dap \quad (\text{Ec. 4})$$

Puede observarse que el modelo es del tipo logarítmico y estima la biomasa en función del diámetro. Cabe señalar que éste fue desarrollado a partir de datos obtenidos en el presente estudio. Este modelo fue desarrollado con n = 36 observaciones, con un rango de DAP = 10 cm.

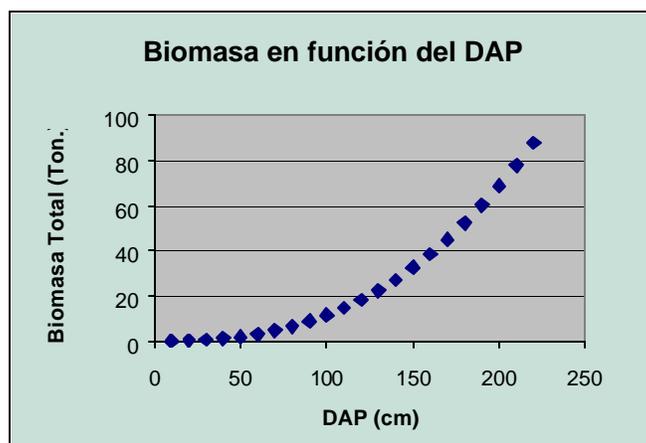


Figura 4. Correlación de la biomasa total vrs. el dap utilizando el modelo para fustales

#### 5.4.2.2. Biomasa y carbono en hojarasca

El contenido de biomasa y carbono en esta fuente se determinó mediante el cálculo del porcentaje de materia seca con la ecuación 1.

Una vez calculado el porcentaje de materia seca se procedió a calcular la biomasa, por medio de la ecuación 2.

El resultado de esto, es la biomasa de la muestra en gramos por área muestreada, luego este resultado se extrapola al área de la parcela y posteriormente a toneladas por hectárea. El producto se pasó a contenido de carbono, multiplicándolo por el factor 0.5, factor recomendado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 1996).

#### 5.4.2.3. Carbono en suelos

El cálculo de carbono almacenado en el suelo se realizó con base a los valores que se obtuvieron de densidad aparente (DA) y el porcentaje de carbono orgánico del suelo (% COS).

Para esto el primer paso a seguir fue la determinación de la densidad aparente mediante la siguiente fórmula:

$$DA = \frac{P_{ss}}{V_c} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde: DA: Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ); Pss : Peso del suelo seco (g); Vc: Volumen del cilindro ( $76.2 \text{ cm}^{-3}$ ).

Luego se procedió a calcular el carbono almacenado en el suelo:

$$CA = P_m \times DA \times \% \text{COS} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde: CA: Carbono almacenado en suelo ( $\text{t ha}^{-1}$ ); Pm: Profundidad de la muestra (cm); DA: Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ); %COS: Carbono orgánico del suelo (%).

#### 5.4.2.4. Análisis de Laboratorio

Todos los análisis de laboratorio se efectuaron en laboratorios de CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Los análisis realizados son los siguientes:

Materia orgánica y COS: Método de Walkley y Black (1938)

Densidad aparente: Método de anillos metálicos (secar y pesar)

Materia seca: Secado al horno

### 5.4.3. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa

Para este fin se procedió a realizar análisis de regresión (Pearson) y correlación, ANDEVA para aplicar una prueba de significancia tanto para el modelo ( $Pr > F$ ) como para cada parámetro ( $Prob > |T|$ ). Además, se utilizó el Índice de Furnival (1961) como comparador del ajuste entre modelos de escalas logarítmicas y no logarítmicas. Los datos se graficaron para observar las tendencias de las variables, luego se insertó la línea de mejor ajuste y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) junto con el modelo.

Se probaron varios modelos transformados y no transformados (Cuadro 2) a partir del diámetro, altura total, biomasa total, escogiendo el modelo que mejor se ajustó a los datos. A continuación se presentan los modelos probados.

Cuadro 2. Modelos genéricos para la construcción de ecuaciones alométricas

Fórmula	Fuente
<b>Usando una variable independiente (d)</b>	
$B = b_0 + b_1 d^2$	Kopecky-Gehrhardt
$B = b_1 d + b_2 d^2$	Dissescu-Meyer
$B = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$	Hohenadl-Krenn
$B = b_0 d^{b_1}$	Berkhout
$\text{Log} B = b_0 + b_1 \text{Log} d$	Husch (1963)
$\text{Log} B = b_0 + b_1 \text{Log} d + b_2 \frac{1}{d}$	Brenac
<b>Usando dos variables independientes (d, h)</b>	
$B = b_1 d^2 h$	Spurr (1952) factor de forma constante
$B = b_0 + b_1 d^2 h$	Spurr (1952) variable combinada
$B = b_0 + b_1 d^2 + b_2 d^2 h + b_3 h$	Stoate
$B = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 dh + b_4 d^2 h + b_5 h$	Meyer (amplio)
$B = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 dh + b_4 d^2 h$	Meyer (modificado)

$B = b_0 + b_1 d + b_2 h$	Takata
$\log B = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h$	Schumacher-Hall
$\log B = b_0 + b_1 \log(d^2 h)$	Spurr (1952) variable combinada logarítmica
$\log B = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log^2 d + b_3 \log h + b_4 \log^2 h$	Instituto Forestal de Investigación Baden-Wuerttemberg

Donde: B: Biomasa total; d: Diámetro (dap); h: Altura total o comercial;  $b_0, b_1, b_2, b_3$  y  $b_4$ : Coeficientes de regresión; Ln: Logaritmo base e

Fuente: Loetsch *et al*, 1973.

Todos los modelos lineales, logarítmicos, cuadráticos, potenciales y exponenciales se probaron utilizando los datos de campo apoyándose en el programa SAS.

Luego se seleccionó el modelo para estimar biomasa aérea total por árbol de dap  $\geq 10$  cm (latizales), a partir de variables como: dap, altura total o la combinación de ambas.

El modelo que mejor ajustó los datos se seleccionó con base en los siguientes criterios (Segura, 1999):

- ?? Lógica biológica del modelo
- ?? Coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$ -ajustado)
- ?? Coeficiente de determinación ( $R^2$ )
- ?? Coeficiente de variación (CV %)
- ?? Cuadrado medio del error (CME)
- ?? Prueba F (análisis de variancia) para el modelo y para cada parámetro
- ?? Probar el modelo con los datos originales
- ?? Índice de Furnival (Furnival, 1961)

#### **5.4.4. Estimación de biomasa y carbono almacenado por tipo de bosque utilizando modelos alométricos**

Para determinar la cantidad de biomasa aérea total por bosque se utilizó la información de los inventarios por parcela de cada bosque así como también la ecuación alométrica generada en este estudio para individuos de 1.5 m de altura a 9.9 cm dap (latizales altos y bajos) y la ecuación alométrica generada por el proyecto (LUCCAM, s.f) para individuos > 10 cm dap.

Al final para obtener la cantidad de carbono almacenado en estos bosques se utilizó la fracción de carbono de 0.50 (IPCC, 1996):

Ecuación para el cálculo de carbono:

$$C = B * Fc \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde: C: Carbono almacenado ( $\text{t ha}^{-1}$ ); B: Biomasa aérea total por bosque ( $\text{t ha}^{-1}$ );  
Fc: Fracción de carbono.

#### **5.4.5. Factor de expansión de biomasa**

El factor de expansión de biomasa es la relación que existe entre la biomasa del fuste respecto a la biomasa total (Aguilar, 2002). Este factor se utiliza para estimar la biomasa total cuando únicamente se cuenta con datos (volumen y/o biomasa) de fuste, este dato (fuste) se multiplica por el Factor de Expansión de Biomasa y de esta manera se obtiene la biomasa total del árbol (es). Para calcularlo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{FEB} = \text{BT} / \text{BF} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde: FEB: Factor de expansión de biomasa; BT: Biomasa total; BF: Biomasa de fuste.

## 5.4.6. Análisis estadístico y comparación del contenido de biomasa y carbono por fuente en los diferentes bosques

### 5.4.6.1. Biomasa y carbono en las distintas fuentes

El análisis estadístico realizado para las diferentes fuentes (fustales, latizales, hojarasca y suelo) se hizo mediante un análisis de varianza (ANDEVA, ver anexos) usando un modelo lineal, de un diseño bifactorial, exceptuando el análisis para suelo, el que es de tipo multifactorial.

Las variables evaluadas son la biomasa y el carbono en bosque aprovechado y bosque no aprovechado, los factores son:

Factor A: Tipo de bosque

Factor B: Estrato de muestreo

El modelo es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + \tau_j + (A\tau)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

$Y_{ijk}$  : Observaciones de la biomasa y carbono almacenado por fuente ( $t \text{ ha}^{-1}$ )

$\mu$  : Promedio general del contenido de biomasa y carbono por fuente ( $t \text{ ha}^{-1}$ )

$A_i$  : Efecto del i-ésimo tipo de bosque

$\tau_j$  : Efecto del j-ésimo estrato de muestreo

$(A\tau)_{ij}$  : Interacción tipo de bosque – estrato de muestreo

$\epsilon_{ijk}$  : Error experimental

$i$  : 1 = Con aprovechamiento

2 = Sin aprovechamiento

$j$  : plano, 0 – 14.9 % de pendiente

ondulado, 15 – 29.9 % de pendiente

quebrado, > 30 % de pendiente

$k$  : observaciones

Factor C: Efecto de la k-ésima profundidad de muestreo (en suelo).

### 5.4.7. Análisis estadístico comparativo del Factor de Expansión de Biomasa por tipo de bosque y categoría

Este se efectuó mediante la prueba estadística “t” de student, a continuación se presenta la fórmula:

$$t = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{N_1} + \frac{S_2^2}{N_2}}} \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde: t: Prueba de student;  $x_1$ : Media del FEB de la muestra uno (bosque aprovechado);  $x_2$ : Media del FEB de la muestra dos (bosque no aprovechado);  $(S_1)^2$ : Desviación standard de la muestra uno;  $(S_2)^2$ : Desviación standard de la muestra dos;  $N_1$ : Tamaño de la muestra uno;  $N_2$ : Tamaño de la muestra dos.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Caracterización de los bosques estudiados

La caracterización de los bosques en estudio, se realizó con toda la información recopilada en el inventario (de 250 m<sup>2</sup> y 450 m<sup>2</sup>).

#### 6.1.1. Análisis de la abundancia y composición florística de la vegetación muestreada

El muestreo efectuado en la vegetación reporta un total de 1,985 individuos distribuidos en brinzales, latizales y fustales. En el cuadro 3, se muestra el número de individuos por categoría y el área muestreada.

Cuadro 3. Reporte general del muestreo de la vegetación total

Tipo de Vegetación	N	No. sp.	Género	Familia	Muestreo (M <sup>2</sup> )
Brinzales	567 (28.56)	74	60	37	416
Latizales bajos	277 (13.95)	63	53	32	1,300
Latizales altos	234 (11.80)	52	45	33	5,200
Fustales	908 (45.70)	95	78	42	19,200
Total	1,985 (100 %)	-	-	-	-

N: Número total de individuos (% del total) ; No. sp.: Número de especies

Al analizar la composición global del área muestreada por categoría de vegetación, se puede notar que el mayor aporte lo hacen brinzales y fustales (74.25 %), los brinzales presentan un número menor de individuos respecto a fustales, así mismo es el comportamiento en el número de especies, géneros y familia. La composición florística de los bosques estudiados reportó un total de 117 especies, distribuidas en 84 géneros y 43 familias (anexo 3).

Los latizales (altos y bajos) se presentan con una proporción de 25.75 % del total. Esta variabilidad entre categoría podría estar ligada al efecto de intensidad del muestreo. El comportamiento es similar al reportado por Arreaga (2002) en un estudio realizado en Petén, Guatemala, para un bosque de trópico húmedo, quien reporta un 72 % del total en brinzales y fustales y 28 % para latizales.

De las 74 especies identificadas en Brinzales, 10 especies fueron identificadas solamente por nombre común, pero que se incluyeron en el número total, para fines de caracterización.

En el caso de latizales bajos del total de especies encontradas existen siete especies conocidas solamente por su nombre común. Así mismo sucede en latizales altos en donde se encontraron cinco especies conocidas únicamente por nombre común.

Respecto a la categoría de fustales se determinaron un total de 14 especies únicamente por nombre común.

Es importante señalar que en todas las categorías se encontró individuos desconocidos. La identificación del nombre científico de las especies, en general, se realizó con base a investigaciones florísticas que se han desarrollado en la zona de estudio.

### **6.1.2. Abundancia en las diferentes categorías y bosques**

La abundancia para las distintas categorías es variable, en el cuadro 4 se muestran los valores encontrados en cada una de éstas.

Cuadro 4. Número de individuos por hectárea por tipo de bosque

Tipo de Vegetación	No. de individuos (Promedio)		Total (promedio)
	B. aprovechado	B. no aprovechado	
Brinzales	13,214.28	14,114.58	13,664.43
Latizales bajos	2,328.57	1,900	2,130.77
Latizales altos	485.71	408.33	447.02
Fustales	547.14	478.33	513.11

En el cuadro 4, se puede observar que la abundancia en brinzales es similar en ambos tipos de bosques, aunque presenta una ligera diferencia, el bosque aprovechado posee una abundancia de 13,214.28 indiv/ha; mientras que el bosque no aprovechado presenta una abundancia de 14,114.58 indiv/ha, estas ligeras diferencias quizás puedan atribuirse a que el bosque aprovechado ha tenido mayor afectación por las actividades que conlleva el aprovechamiento de la madera (arrastre, circulación de operarios, entre otras).

En el caso de latizales bajos y altos se encuentra mayor abundancia en el bosque aprovechado. El bosque aprovechado presentó una abundancia de 2,814.28; mientras que el bosque no aprovechado posee una abundancia de 2,308.33.

Referente a fustales, el bosque aprovechado posee una mayor abundancia, esto puede deberse a que el bosque no aprovechado ha sido afectado por fenómenos naturales (por ejemplo, huracán Juana 1988) y antropógenos (actividades de desarrollo que ha venido practicando la población de Nueva Quezada).

### 6.1.3. Abundancia de especies en las distintas categorías

La categoría de brinzales está representada mayoritariamente por especies que no pudieron ser identificadas, los individuos desconocidos se presentan con una frecuencia de 2956.7 indiv/ha representando el 21.7 % del total, seguida en orden de abundancia por *Pentaclethra macroloba* (Gavilán) con 1562.5 indiv/ha (11.5 %), luego

está *Lunania parviflora* (Huesillo) con 1081.73 indiv/ha (7.9 %), *Pseudolmedia oxtphyllaria* (Ojoche rojo) y *Brosimum sp.* (Ojoche blanco) con 865.38 (6.3 %) y 769.23 indiv/ha (5.6 %) respectivamente.

Referente a latizales bajos, la especie predominante por su abundancia es *Lunania parviflora* (Huesillo) con una frecuencia de 370.92 indiv/ha (17.69 %), siguiéndole los individuos desconocidos con 330.76 indiv/ha (15.52 %), luego *Inga sapindoides* (Guaba) con una abundancia 107.69 indiv/ha (5.05 %), seguida por *Protium panamensis* (Alcanfor) y *Quasia amara* (Hombre grande) con 69.23 indiv/ha (3.25 %) para cada una de las especies.

En la categoría de latizales altos las especies más abundantes están representadas por individuos que no pudieron ser identificados, los individuos desconocidos tienen una frecuencia de 78.84 indiv/ha, lo que representa el 17.5 % del total de individuos encontrados, le sigue en orden de abundancia *Cnestidium rutilcules* (Coloradito) con 42.30 indiv/ha (9.4 %), *Lunania parviflora* (Huesillo) con 30.76 indiv/ha (6.8 %).

En fustales, los individuos desconocidos poseen una frecuencia de 53 indiv/ha, lo que equivale a un 10.2 % del total de especies encontradas, le sigue *Pentaclethra macroloba* (Gavilán) con una abundancia de 50.76 indiv/ha, es decir el 9.8 %, *Cnestidium rutilcules* (Coloradito) con 32.30 indiv/ha (6.2 %), *Inga sapindoides* (Guaba) y *Dialium guianense* (Tamarindo) con 17.69 indiv/ha (3.4 %) para cada una.

#### **6.1.4. Distribución horizontal de fustales**

Para el análisis de la distribución horizontal se utilizaron las siguientes variables: número de individuos, área basal y distribución parcial de los individuos.

#### 6.1.4.1. Número de individuos por finca y tipo de bosque

El número de individuos por finca es muy variable, el que oscila entre 370 y 680 indiv/ha (cuadro 5).

Cuadro 5. Distribución del número de árboles (dap  $\geq$  10 cm) por finca y tipo de bosque

<b>Bosque aprovechado</b>	<b>Árboles (No. individuos / ha)</b>	<b>Bosque no aprovechado</b>	<b>Árboles (No. Individuos / ha)</b>
Finca 1	547	Finca 1	467
Finca 2	487	Finca 2	467
Finca 3	680	Finca 3	433
Finca 4	607	Finca 4	560
Finca 5	370		
<b>Promedio</b>	<b>547.14</b>	<b>Promedio</b>	<b>478.33</b>
<b>Promedio General</b>			<b>513.11</b>

El número de individuos por bosque es variable, siendo mayor en el bosque aprovechado, con un promedio general de 547.14 indiv/ha; mientras que en el bosque no aprovechado se presenta un promedio general de 478.33 indiv./ha (cuadro 5), dato similar al reportado por Mejía (1994) en un estudio realizado en La Lupe, Río San Juan, quien encontró un promedio de 470 indiv/ha. La diferencia encontrada entre un bosque y otro podría atribuirse a que el bosque no aprovechado en parte está ubicado en zonas cercanas a la comunidad de Nueva Quezada, por lo que pudo verse más afectado por aprovechamientos artesanales (construcción, horcones, teja, cabo para herramientas de uso común) o la extracción de madera para uso energético y otros, a esto podría sumarse el efecto del huracán Juana en dicho bosque.

#### 6.1.4.2. Área basal por tipo de bosque

En relación a los resultados de la distribución del área basal por tipo de bosque, se puede observar una variabilidad entre los datos obtenidos en los mismos (cuadro 6).

Cuadro 6. Área basal encontrada por tipo de bosque en fustales

Tipo de bosque	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)
Bosque aprovechado	35
Bosque no aprovechado	30

Puede observarse en el cuadro 6 los valores promedios del área basal por tipo de bosque, el bosque aprovechado posee un área basal de 35 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>; mientras que el bosque no aprovechado posee un área basal de 30 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. Estas áreas basales son similares a las reportadas por Escorcía (2001), quien encontró en bosques de El Mónico y La Pimienta (comunidades colindantes a Nueva Quezada) un área basal de 34.6 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> y 30.6 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> respectivamente.

El área basal que presenta el bosque aprovechado es mayor al área basal del bosque no aprovechado, lo esperado sería encontrar mayor área basal en el bosque no aprovechado, sin embargo sucede lo contrario, estas disimilitudes indican que el bosque aprovechado a pesar que ha sido intervenido presenta una densidad mayor al bosque no aprovechado. Estos resultados obligan a recalcar, aunque ya se mencionó en metodología, que en la presente investigación se está evaluando exactamente el impacto del aprovechamiento forestal (industrial) en la biomasa y carbono, efectuado en dichos bosques, sin considerar otros factores que pudieron haber afectado algunas de las fincas pertenecientes al bosque no aprovechado.

#### 6.1.4.3. Distribución parcial de fustales

En la distribución del número de árboles por clase diamétrica se encontró que predominan los individuos de menor diámetro, este comportamiento se presentó en ambos tipos de bosques, bosque aprovechado y bosque no aprovechado (cuadro 7). Esto refleja una distribución normal en forma de **J** invertida, característico de una distribución normal o típica de bosques primarios. Igual comportamiento fue encontrado en el sitio La Lupe, Río San Juan, por Castillo (1994).

Cuadro 7. Distribución del número de árboles (N/ha) por clase diamétrica por tipo de bosque.

Clase Diamétrica	Numero de árboles (N/ha)	
	Bosque aprovechado	Bosque no aprovechado
10 – 19.9 (1)	311.42 (56.9)	261.66 (54.7)
20 – 29.9 (2)	108.57 (19.8)	110 (22.9)
30 – 39.9 (3)	40 (7.3)	36.66 (7.6)
40- 49.9 (4)	35.71 (6.6)	23.33 (4.8)
50 – 59.9 (5)	17.14 (3.2)	16.66 (3.6)
60 – 69.9 (6)	21.42 (3.9)	8.33 (1.8)
70 + (7)	12.85 (2.3)	21.66 (4.3)

(%): Porcentaje para cada clase diamétrica

(1...7): Clase diamétrica

De acuerdo a la distribución de número de árboles por clase diamétrica, reflejado en la gráfica del bosque aprovechado (Figura 5), se indica que el mayor porcentaje de los árboles, se concentra en las clases diamétricas inferiores generando una curva en forma de **J** invertida. La clase diamétrica uno presenta el 56.9 % del total para dicho bosque, seguido por la clase diamétrica dos con un 19.8 %, mientras tanto la clase diamétrica siete a como es de esperar en este tipo de bosque, presenta el 2.3 %.

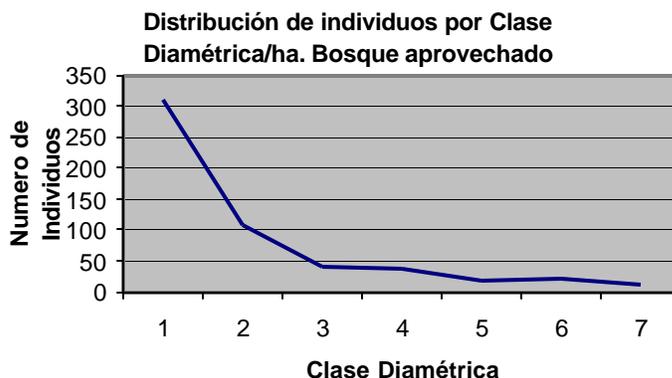


Figura 5. Número de árboles (dap > 10 cm) por clase diamétrica en bosque aprovechado

Para el bosque no aprovechado la distribución diamétrica presenta el mismo comportamiento de **J** invertida, sin embargo se observa un ligero cambio a partir de la clase diamétrica seis de manera ascendente. La clase diamétrica uno alberga el 54.7 % del total, le sigue al igual que en el bosque aprovechado la clase diamétrica dos con 23 %, a diferencia del bosque aprovechado, en el bosque no aprovechado la clase diamétrica seis es la que presenta el menor porcentaje, el cual es de 1.8, a partir de la última clase diamétrica (siete) inicia un ascenso hasta un 4.3 % (figura 6).

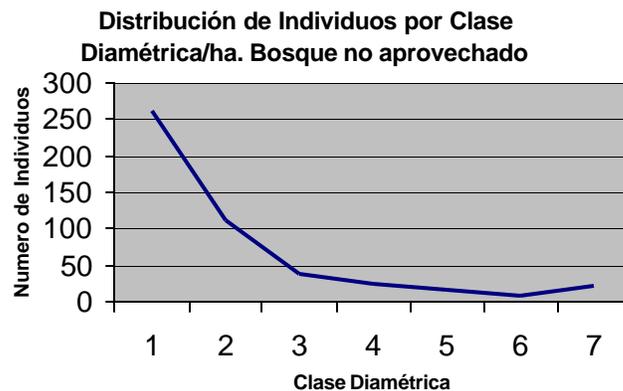


Figura 6. Número de árboles (dap  $\geq$  10 cm) por clase diamétrica en bosque no aprovechado

## 6.2. Biomasa y carbono en cada una de las fuentes evaluadas por tipo de bosque y estrato

### 6.2.1. Fustales

El análisis efectuado, se realizó con la información de todas las parcelas (se incluyen las parcelas de 250 m<sup>2</sup> y las de 450 m<sup>2</sup>).

Las estimaciones de biomasa en fustales se desarrollaron con base a una muestra de 908 individuos (n = 52 parcelas) con dap  $\geq$  100 cm, los resultados se presentan en el cuadro 8.

Cuadro 8. Valor promedio del contenido de biomasa y carbono en fustales por tipo de bosque

Tipo de bosque	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Carbono (t ha <sup>-1</sup> )
	X ± S	X ± S
Bosque aprovechado	357.97 ± 199.9537 (a)	178.96 ± 99.9774 (a)
Bosque no aprovechado	284.35 ± 165.0364 (a)	142.18 ± 82.5174 (a)

(a): Letras iguales reflejan similitud estadística; X: Media; S: Desviación estándar

Separación de medias por Duncan.

En el cuadro 8 se muestran los promedios del contenido de biomasa y carbono aéreo en fustales (t ha<sup>-1</sup>). La biomasa y el carbono estimado para el bosque aprovechado es de 357.97 t ha<sup>-1</sup> y 178.96 t ha<sup>-1</sup> respectivamente, para el bosque no aprovechado fue de 284.35 t ha<sup>-1</sup> y 142.18 t C ha<sup>-1</sup>.

Los datos obtenidos en este estudio son similares a los encontrados por Brown *et al* (1981) en un estudio efectuado en bosques tropicales húmedos en Venezuela y Brasil, registrándose 320 – 402 t ha<sup>-1</sup> de biomasa y 160 – 201 t ha<sup>-1</sup> de carbono. Igualmente Brown (1988); citado por Cairns y Meganck (1994), reporta en promedio para los bosques húmedos tropicales entre 155 y 187 t C ha<sup>-1</sup>.

Si bien es cierto que no hay diferencia estadística (anexo 4), se puede notar que numéricamente las tendencias señalan que lo esperado es encontrar mayor contenido de biomasa y carbono en el bosque aprovechado (cuadro 8).

Estos resultados, sugieren que el aprovechamiento forestal aún no ha tenido un efecto negativo en la biomasa y el carbono aéreo almacenado en esta fuente en el bosque aprovechado; aunque lo esperado sería encontrar mayor contenido de biomasa y carbono en el bosque no aprovechado, puesto que según los propietarios de las fincas pertenecientes a dicho bosque, éstas no han sido aprovechadas, mientras que en el bosque aprovechado se ha extraído madera. Sin embargo, en el bosque no aprovechado no se ha tomado en cuenta dentro de este estudio la afectación que pudo haberse dado por factores o variables que no fueron objeto de control en este mismo.

No obstante, los resultados podrían indicar categóricamente que el manejo forestal ha incidido positivamente en el aumento del carbono almacenado dentro de los bosques estudiados.

Un factor que podría estar incidiendo en este comportamiento es la afectación de fenómenos naturales en épocas pasadas, exactamente el huracán Juana (1988), el que de acuerdo a los pobladores del área afectó mucho algunas de las fincas de la zona, entre las que se encuentran fincas del bosque no aprovechado, más aún por encontrarse en áreas cercanas al río el Guineal, el que en algunos momentos, debido a altas precipitaciones de corto tiempo experimenta enormes crecidas.

Cuadro 9. Medias del contenido de biomasa y carbono en fustales por estrato

<b>Estrato (pendiente)</b>	<b>Biomasa (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Carbono (t ha<sup>-1</sup>)</b>
	<b>X ± S</b>	<b>X ± S</b>
Plano	327.85 ± 192.13 (a)	163.92 ± 96.06 (a)
Ondulado	264.86 ± 102.58 (a)	132.43 ± 51.29 (a)
Quebrado	370.70 ± 281.15 (a)	185.35 ± 140.57 (a)

(a): Letras iguales reflejan similitud estadística; X: Media; S: Desviación estándar

Separación de medias por Duncan.

En el cuadro 9 se muestran los resultados de la biomasa y el carbono obtenido por tipo de estrato. Se puede observar que el estrato que presenta los mayores contenidos de biomasa y carbono es el quebrado con  $370.70 \pm 281.15 \text{ t ha}^{-1}$  y  $185.35 \pm 140.57 \text{ t ha}^{-1}$  respectivamente, mientras que el estrato que presenta los menores contenidos de biomasa y carbono es el ondulado  $264.86 \pm 102.58 \text{ t ha}^{-1}$  y  $132.43 \pm 51.29 \text{ t ha}^{-1}$  para cada variable, estos podría indicar que los estratos plano y ondulado han sido más intervenidos. No obstante, se observa que no hay diferencia significativa estadísticamente. Aunque, basados en las tendencias del contenido de biomasa y carbono es probable que existan diferencias significativas, pero que el análisis estadístico no las detectó a causa de la baja intensidad del muestreo, lo que se justifica desde el punto de vista económico, debido a que estos muestreos (para biomasa y

carbono) son muy costosos, otro factor que podría estar influyendo en esto es la amplia variabilidad o dispersión de los datos (ver desviaciones estándar).

Cuadro 10. Promedios de biomasa y carbono en fustales ( $t\ ha^{-1}$ ). Interacción bosque - estrato

Tipo de bosque	Estrato	Biomasa ( $t\ ha^{-1}$ )	Carbono ( $t\ ha^{-1}$ )
		$X \pm S$	$X \pm S$
bosque aprovechado	Plano	$317.49 \pm 188.64$ (a)	$158.75 \pm 94.31$ (a)
bosque aprovechado	Ondulado	$293.53 \pm 115.47$ (a)	$146.76 \pm 57.74$ (a)
bosque aprovechado	Quebrado	$462.73 \pm 313.45$ (ab)	$231.36 \pm 156.72$ (ab)
bosque no aprovechado	Plano	$338.21 \pm 205.19$ (a)	$169.10 \pm 102.59$ (a)
bosque no aprovechado	Ondulado	$236.19 \pm 79.13$ (ac)	$118.10 \pm 39.56$ (ac)
bosque no aprovechado	Quebrado	$278.67 \pm 215.13$ (a)	$139.33 \pm 107.56$ (a)

(a,b,c) : Letras iguales, similitud estadística; letras diferentes, diferencia estadística; X: Media; S: Desviación estándar

Separación de medias por Duncan.

En el cuadro 10 se muestran los promedios resultantes de la interacción bosque - estrato. En general (en el ANDEVA) entre el tipo de bosque y tipo de estrato no existe diferencias significativas estadísticas, aunque al comparar numéricamente los valores en las interacciones se observa que el estrato quebrado del bosque aprovechado y el estrato ondulado del bosque no aprovechado presentan diferencias con respecto a los demás. Pues en el estrato quebrado del bosque aprovechado el contenido de biomasa y carbono es mayor que al resto de los estratos del mismo bosque, esto reafirma que el aprovechamiento ha sido más intenso en las zonas planas y onduladas. Por otra parte, en el bosque no aprovechado el estrato que posee menos biomasa y carbono es el ondulado, lo que señala probablemente que este estrato ha sido el más afectado (por diversos factores) dentro de este bosque.

## 6.2.2. Modelos alométricos para el cálculo de biomasa en latizales altos y bajos

Para el cálculo de biomasa se probaron 38 modelos, los que incluyen a todos los individuos (del método destructivo,  $n = 234$  individuos) tanto de la categoría de latizales altos como latizales bajos, de los cuales cuatro ajustaron mejor los datos y son del tipo logarítmico. Los cuatro modelos presentaron  $R^2$  y  $R^2$  – ajustados mayores a 0.82. Todos los modelos y parámetros fueron significativos.

Cuadro 11. Modelos de mejor ajuste para estimar biomasa total en función del dap y la altura total de los individuos

Ecuación	Modelo	$R^2$	$R^2$ – ajust.	CME	CV (%)	IF
Ec. 11	$Bt = 2.0367 - 1.9034 (DAP) + 0.4919$	0.86	0.86	12.16	44.12	
Ec. 12	$LBt = 1.3957 + 0.5509 (DAP) - 0.0274 (DA)^2$	0.92	0.92	0.06	71.10	0.8
Ec. 13	$Bt = 0.8435 + 0.0314 (DAP)^2 * H$	0.82	0.82	15.85	50.36	
Ec. 14	$LnBt = -2.6768 + 1.8849 * Ln DAP + 0.7360 * Ln H$	0.92	0.92	0.32	72.42	0.71

Donde:  $R^2$ : Coeficiente de determinación;  $R^2$  – ajust.: Coeficiente de determinación ajustado; CME: Cuadrado medio del error; CV (%): Coeficiente de variación; IF: Índice de Furnival; Bt: Biomasa total; LBt: Logaritmo de la biomasa total; LnBt: Logaritmo natural de la biomasa total; DAP: diámetro a la altura de pecho; H: altura.

En el cuadro 11, se muestra el modelo que mejor estima la biomasa total y es el número 14 del tipo logarítmico, este modelo al igual que los parámetros estimados es altamente significativo ( $p < 0.0001$ ), con un  $R^2$  y  $R^2$  –ajustado muy alto, esto significa que el modelo explica en más de un 90 % la variabilidad de los datos. Sin embargo, es necesario señalar, que debido a la semejanza entre los modelos, se tomó como principal criterio de selección el Índice de Furnival.

Estos modelos tienen un rango de funcionamiento para la categoría de latizal bajo y alto, individuos con 1.5 m de altura hasta un diámetro de 9.9 cm.

Se pudo observar en este estudio que al utilizar ecuaciones de dos entradas (dap y altura) se proveen estimaciones de biomasa más exactas (ecuación 14). No obstante, para utilizar estos modelos se requiere medir la altura total de los árboles y éstas son

costosas y sujetas a un error alto, debido principalmente a la presencia de varios estratos y en muchos casos la copa del árbol no es completamente visible (Segura, 1999).

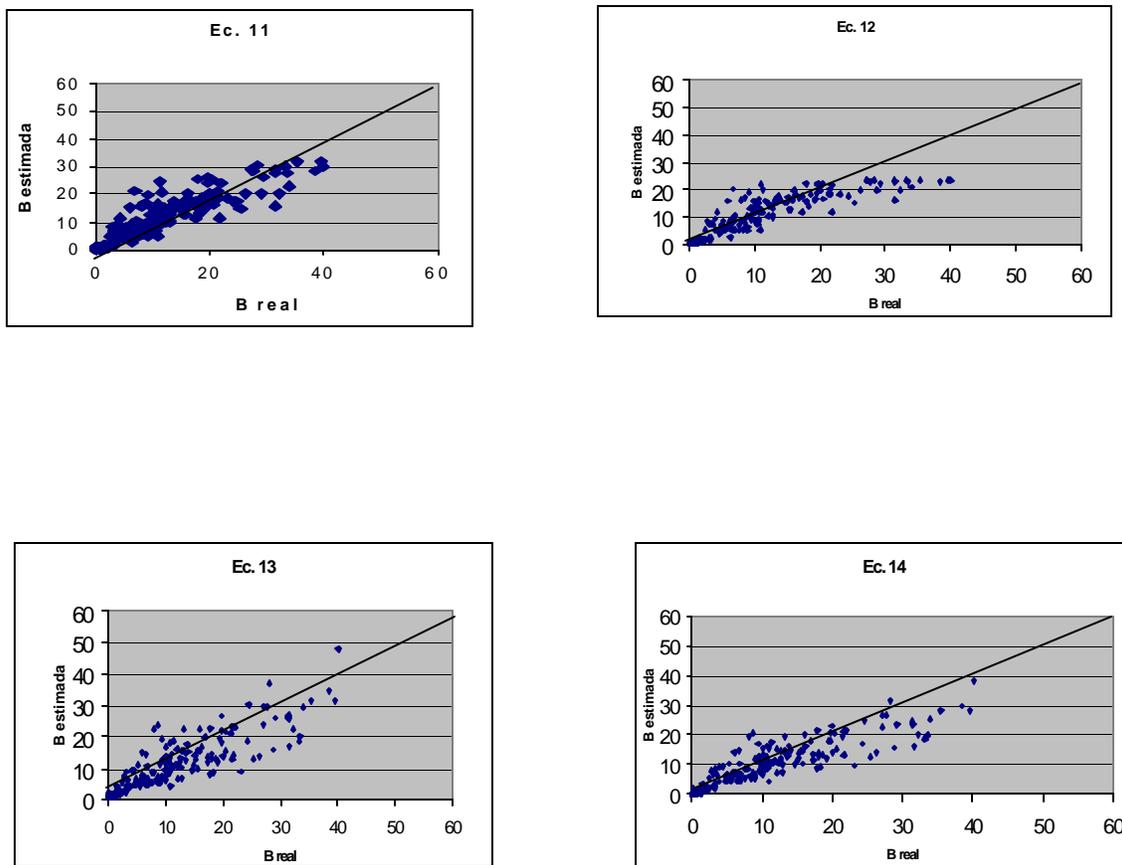


Figura 7. Simulaciones de Biomasa total real vs. Biomasa total estimada con los cuatro modelos de mejor ajuste desarrollados en este estudio.

### 6.2.3. Biomasa y carbono en latizales altos

El análisis en este tipo de vegetación, se efectuó con base a 52 parcelas (observaciones). En el cuadro 12 se muestran los promedios de biomasa y carbono obtenidos por bosque.

Cuadro 12. Promedios del contenido de biomasa y carbono en latizales altos por tipo de bosque

Tipo de bosque	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Carbono (t ha <sup>-1</sup> )
	X ± S	X ± S
Bosque aprovechado	6.31 ± 2.83 (a)	3.15 ± 1.41 (a)
Bosque no aprovechado	5.00 ± 2.22 (a)	2.50 ± 1.11 (a)

(a): Letras iguales reflejan similitud estadística; X: Media; S: Desviación estándar

Separación de medias por Duncan.

El contenido promedio de biomasa y carbono en ambos tipos de bosques es similar, en el bosque aprovechado es de 6.31 ± 2.83 t ha<sup>-1</sup> y 3.15 ± 1.41 t ha<sup>-1</sup> respectivamente, en el bosque no aprovechado los contenidos fueron de 5.00 ± 2.22 t ha<sup>-1</sup> y 2.50 ± 1.11 t ha<sup>-1</sup> para cada variable. Estos resultados difieren de los datos reportados por Arreaga (2002), quien encontró 9.29 t ha<sup>-1</sup> de biomasa y 4.64 t ha<sup>-1</sup> de carbono.

Cuadro 13. Promedios del contenido de biomasa y carbono en latizales altos por estrato

Estrato	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Carbono (t ha <sup>-1</sup> )
	X ± S	X ± S
Plano	5.60 ± 2.61 (a)	2.80 ± 1.30 (a)
Ondulado	5.91 ± 2.87 (a)	2.95 ± 1.43 (a)
Quebrado	5.50 ± 2.35 (a)	2.75 ± 1.17 (a)

(a): Letras iguales reflejan similitud estadística; X: Media; S: Desviación estándar

Separación de medias por Duncan.

En el cuadro 13 se observan los promedios de biomasa y carbono obtenidos por estrato. Todos los resultados reflejan similitudes, esto sugiere que la biomasa y el carbono no son afectados por la pendiente del terreno (según resultados obtenidos).

Cuadro 14. Medias de contenido de biomasa y carbono de latizales altos ( $t\ ha^{-1}$ ).  
Interacción bosque - estrato

Tipo de bosque	Estrato	Carbono ( $t\ ha^{-1}$ )	Carbono ( $t\ ha^{-1}$ )
		$X \pm S$	$X \pm S$
Bosque aprovechado	Plano	$6.48 \pm 2.40$ (a)	$3.23 \pm 1.20$ (a)
Bosque aprovechado	Ondulado	$6.49 \pm 3.43$ (a)	$3.24 \pm 1.71$ (a)
Bosque aprovechado	Quebrado	$5.69 \pm 2.77$ (a)	$2.84 \pm 1.38$ (a)
Bosque no aprovechado	Plano	$4.64 \pm 2.60$ (a)	$2.32 \pm 1.30$ (a)
Bosque no aprovechado	Ondulado	$5.27 \pm 2.10$ (a)	$2.63 \pm 1.05$ (a)
Bosque no aprovechado	Quebrado	$5.22 \pm 1.90$ (a)	$2.61 \pm 0.95$ (a)

(a) : Letras iguales reflejan similitud estadística; X: Media; S: Desviación estándar

Separación de medias por Duncan.

De igual forma, en latizales altos no se encuentra diferencia estadística significativa (anexo 5) entre los estratos (cuadro 14), lo que indica que la pendiente no ha sido un factor determinante en el almacenamiento de biomasa y carbono en los bosques.

#### 6.2.4. Biomasa y carbono en latizales bajos

El análisis en esta fuente se realizó con base a 52 observaciones ( $n = 52$  parcelas) (anexo 6), en el cuadro 15 se muestran los resultados.

Cuadro 15. Promedios del contenido de biomasa y carbono en latizales bajos por tipo de bosque

Tipo de bosque	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Carbono (t ha <sup>-1</sup> )
	X ± S	X ± S
Bosque aprovechado	2.0690 ± 1.9135 (a)	1.0345 ± 0.9566 (a)
Bosque no aprovechado	1.7355 ± 1.4656 (a)	0.8677 ± 0.7328 (a)

(a): Letras iguales reflejan similitud estadística; X: Media; S: Desviación estándar Separación de medias por Duncan.

Se puede observar que el contenido de biomasa y carbono en el bosque aprovechado es de  $2.0690 \pm 1.9135$  y  $1.0345 \pm 0.9566$  t ha<sup>-1</sup> respectivamente, para el bosque no aprovechado los promedios fueron de  $1.7355 \pm 1.4656$  t ha<sup>-1</sup> y  $0.8677 \pm 0.7328$  t ha<sup>-1</sup> para cada una de las variables.

La biomasa y el carbono en latizales bajos no mostró diferencias significativas entre el bosque aprovechado y el bosque no aprovechado (anexo 6).

Tanto en latizales altos, como en latizales bajos, los resultados de biomasa y carbono son menores que los reportados por Arreaga (2002), quien reportó un promedio de 3.98 t ha<sup>-1</sup> de biomasa y 1.99 t ha<sup>-1</sup> de carbono para latizales bajos.

Las diferencias podrían deberse a que los bosques en estudio estén en general menos intervenidos tanto por factores antropógenos como por factores naturales con respecto a los bosques que estudió Arreaga, esto se evidencia en el área basal, la que es mayor en este estudio (34.84 m<sup>2</sup>/ha) que en el realizado por Arreaga en bosques del Petén, Guatemala, quien encontró 27.02 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, de acuerdo al área basal se esperaría encontrar menor abundancia de regeneración en el bosque objeto del presente estudio, por lo tanto menor será la biomasa y carbono del mismo.

Cuadro 16. Promedios de biomasa y carbono en latizales bajos por estrato

Estrato (pendiente)	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Carbono(t ha <sup>-1</sup> )
	X ± S	X ± S
Plano	1.8324 ± 1.6685 (a)	0.9161 ± 0.8343 (a)
Ondulado	1.9329 ± 1.6516 (a)	0.9664 ± 0.8257 (a)
Quebrado	1.9273 ± 1.9527 (a)	0.9637 ± 0.9761 (a)

(a): Letras iguales reflejan similitud estadística; X: Media; S: Desviación estándar

Separación de medias por Duncan.

En el cuadro 16 se observa que no existe diferencia entre estratos de los bosques en su conjunto, lo que indica que la pendiente no está afectando el almacenamiento de biomasa y carbono de los mismo. Es muy posible que para detectar la diferencia deba evaluarse mucho más parcelas de muestreo y bloquear otros posibles factores influyentes.

Cuadro 17. Medias de contenido de biomasa y carbono en latizales bajos (t ha<sup>-1</sup>).  
Interacción bosque - estrato

Tipo de bosque	Estrato	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Carbono (t ha <sup>-1</sup> )
		X ± S	X ± S
Bosque aprovechado	Plano	1.8206 ± 1.5433 (a)	0.9102 ± 0.7716 (a)
Bosque aprovechado	Ondulado	2.0889 ± 2.1497 (a)	1.0445 ± 1.0746 (a)
Bosque aprovechado	Quebrado	3.4595 ± 3.4372 (a)	1.7300 ± 1.7182 (a)
Bosque no aprovechado	Plano	1.8466 ± 1.8932 (a)	0.9232 ± 0.9468 (a)
Bosque no aprovechado	Ondulado	1.7910 ± 1.1181 (a)	0.8954 ± 0.5592 (a)
Bosque no aprovechado	Quebrado	1.4895 ± 1.4521 (a)	1.7448 ± 1.7258 (a)

(a) : Letras iguales reflejan similitud estadística; X: Media; S: Desviación estándar

Separación de medias por Duncan.

Los resultados por bosque y estrato, en la interacción de ambos no hay diferencias estadísticas significativas. Sin embargo, se observa que numéricamente en el bosque aprovechado, el estrato con mayor contenido de biomasa y carbono es el quebrado con 3.4595 ± 3.4372 ha<sup>-1</sup> y 1.7300 ± 1.7182 t ha<sup>-1</sup> respectivamente y el de menor contenido es el estrato plano con 1.8206 ± 1.5433 y 0.9102 ± 0.7716 ha<sup>-1</sup> respectivamente. Este

resultado coincide con lo esperado, que haya más biomasa en el estrato quebrado en virtud de su pendiente, que obstaculiza el aprovechamiento.

En el bosque no aprovechado, el contenido de biomasa y carbono es similar, lo que sugiere que la vegetación se encuentra distribuida uniformemente en dicho bosque.

### 6.2.5. Biomasa y carbono en hojarasca

El análisis de varianza (anexo 7) se realizó con  $n = 52$  observaciones, refleja claramente que el contenido de biomasa y carbono varía significativamente ( $P < 0.05$ ) en los distintos bosques, en el caso de los estratos, no influyeron estadísticamente en el contenido de biomasa y carbono, igualmente ocurre en la interacción bosque - estrato.

Cuadro 18. Promedios de biomasa y carbono en hojarasca por tipo de bosque

Tipo de bosque	Biomasa ( $t\ ha^{-1}$ )	Carbono ( $t\ ha^{-1}$ )
	$X \pm S$	$X \pm S$
Bosque aprovechado	4.070 $\pm$ 2.309 (a)	2.037 $\pm$ 1.155 (a)
Bosque no aprovechado	2.788 $\pm$ 1.489 (b)	1.396 $\pm$ 0.745 (b)

(a, b) : Letras diferentes reflejan diferencia estadística; X: Media; S: Desviación estándar

Separación de medias por Duncan.

Los valores promedios del contenido de biomasa y carbono en hojarasca entre ambos bosques difieren entre sí, en este caso se encontró que existe mayor contenido de biomasa y carbono en la hojarasca del bosque aprovechado que en el bosque no aprovechado (cuadro 18). Esto puede atribuirse a una mayor incorporación de hojarasca al suelo en el bosque aprovechado, producto de todas las actividades desarrolladas que conlleva el aprovechamiento forestal, siendo este un efecto adicional al desprendimiento natural de las hojas de los árboles, la que en su totalidad se incorpora a la superficie del suelo.

En general, estos promedios son similares a los reportados por Arreaga (2002) y Aguilar (2002), quienes encontraron en bosques tropicales del Petén, Guatemala,

promedios de 3.4 y 4.1 t ha<sup>-1</sup> de biomasa y 1.7 y 2.05 t ha<sup>-1</sup> de carbono respectivamente, otro autor que reporta valores similares es Ajtay *et al.* (1979), quien encontró en bosques tropicales 2 t ha<sup>-1</sup>, citado por Locatelli y Leonard (2001).

Cuadro 19. Valores promedios de biomasa y carbono en hojarasca por estrato

Estratos	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Carbono (t ha <sup>-1</sup> )
	X ± S	X ± S
Plano	3.123 ± 1.657 (a)	1.564 ± 0.828 (a)
Ondulado	3.655 ± 1.992 (a)	1.831 ± 0.996 (a)
Quebrado	3.815 ± 3.01 (a)	1.91 ± 1.51 (a)

(a): Letras iguales reflejan igualdad estadística; X: Media; S: Desviación estándar

Separación de medias por Duncan.

En cuanto al análisis del contenido de biomasa y carbono en hojarasca por estrato, se determinó que no existen diferencias estadísticas entre los distintos estratos (cuadro 19), es preciso destacar que aunque en el bosque aprovechado hay más biomasa y carbono, al hacer el análisis incluyendo los estratos de ambos bosques no se observan diferencias entre ellos, lo que se debe a que los estratos del bosque aprovechado estarían compensando el déficit que presentaría el bosque no aprovechado por sí solo. Es pertinente recalcar que la evaluación efectuada en este estudio fue casi inmediata al aprovechamiento forestal, lo que podría indicar que la hojarasca aún no se encuentra establecida en un solo estrato.

Cuadro 20. Valores promedios de biomasa y carbono en hojarasca. Interacción bosque - estrato

Tipo de bosque	Estrato	Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	Carbono (t ha <sup>-1</sup> )
		X ± S	X ± S
Bosque aprovechado	Plano	3.659 ± 1.98 (ab)	1.832 ± 0.990 (ab)
Bosque aprovechado	Ondulado	3.843 ± 2.159 (ab)	1.925 ± 1.080 (ab)
Bosque aprovechado	Quebrado	5.480 ± 3.179 (a)	2.742 ± 1.590 (a)
Bosque no aprovechado	Plano	2.588 ± 1.10 (ab)	1.296 ± 0.556 (ab)
Bosque no aprovechado	Ondulado	3.41 ± 1.836 (ab)	1.708 ± 0.919 (ab)
Bosque no aprovechado	Quebrado	1.735 ± 0.542 (b)	0.870 ± 0.269 (b)

(a,b): Letras iguales reflejan igualdad estadística, letras diferentes reflejan diferencias estadísticas; X:

Media; S: Desviación estándar.

Separación de medias por Duncan.

En la hojarasca del bosque aprovechado se encontró mayor contenido de biomasa y carbono que el bosque no aprovechado en la interacción bosque - estrato. Puede observarse que el estrato plano del bosque aprovechado almacena 3.65 t ha<sup>-1</sup> de biomasa y 1.83 t ha<sup>-1</sup> de carbono, por otra parte, el bosque no aprovechado contiene en promedio 2.58 t ha<sup>-1</sup> de biomasa y 1.29 t ha<sup>-1</sup> de carbono. El resto de los estratos entre ambos bosques presentan el mismo comportamiento. Esto podría atribuirse a que el bosque aprovechado ha sido afectado por el mismo aprovechamiento, aumentando así la cantidad de hojarasca en el suelo y por consiguiente la biomasa y el carbono.

En general, el ANDEVA no registra diferencia estadística (anexo 7) en la interacción bosque - estrato, sin embargo, las tendencias numéricas indican que podría existir diferencias, aunque el ANDEVA no lo manifiesta, lo que podría deberse a que la muestra es muy pequeña y además a la alta variabilidad que presentan los datos.

### 6.2.6. Carbono en el suelo

El análisis en esta fuente se efectuó con un n = 39 observaciones. El resultado del ANDEVA (anexo 8) refleja que la acumulación de carbono en el suelo presenta un

comportamiento variable en el mismo. En la profundidad 0 – 30 cm no hay diferencias entre bosques, estratos, ni en la interacción de estos factores, sin embargo, en la profundidad de 30 – 60 cm sí hay diferencias significativas entre bosques, no así por estrato, ni por la interacción de los factores mencionados. Efectuando un análisis de carbono total, profundidad 0 – 30 y 30 – 60 cm se observa que existe diferencia únicamente entre bosques.

Cuadro 21. Promedios de carbono en el suelo por tipo de bosque y profundidad

Tipo de bosque	Profundidad del suelo (cm)		Total
	0 – 30	30 – 60	
Bosque aprovechado	83.71 ± 26.68 (a)	51.25 ± 25.27 (a)	132.64 ± 49.72 (a)
Bosque no aprovechado	74.36 ± 13.24 (a)	30.36 ± 7.91 (b)	104.72 ± 15.53 (b)

Separación de medias por Duncan.

(a,b): letras iguales reflejan similitud estadística, letras diferentes reflejan diferencia estadística

Los valores promedios del contenido de carbono en suelo entre ambos bosques son semejantes en la profundidad 0 - 30 cm, difieren en la profundidad 30 - 60 cm y en el carbono total (incluye ambas profundidades). La diferencia que se presenta en la profundidad 30 – 60 cm, podría estar ligada a factores físico-químicos que están afectando la dinámica del carbono en el suelo, estos factores podrían estar influenciados por la ocurrencia de procesos de lixiviación (Moraes, 2001).

Por otra parte, al relacionar el contenido de carbono total (incluyendo las dos profundidades) por bosque, se observa que existe diferencia entre estos, esta diferencia podría estar ligada a la descomposición de raíces finas en el bosque aprovechado.

En la figura 8, es notable que el comportamiento del carbono en los suelos en estudio, es un comportamiento típico de la distribución del carbono en los distintos perfiles del suelo, es decir que en la medida que aumenta la profundidad del suelo decrecen las concentraciones de carbono (COS) debido a que las fijaciones de carbono (residuos de plantas) usualmente se localizan en la superficie (Ellert, 1999).

### Almacenamiento de carbono en el suelo

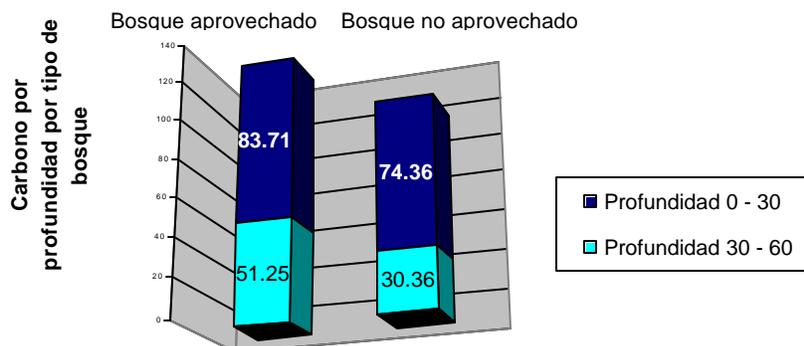


Figura 8. Almacenamiento de carbono por tipo de bosque y profundidad de muestreo

Los resultados del contenido de carbono encontrados en este estudio, concuerdan con los reportados por otros autores. Por ejemplo, Ajtay *et al.* (1979) reportó un promedio de 80 t ha<sup>-1</sup> en suelo de bosques tropicales, citado por Locatelli y Leonard (2001), Bundestg, citado por Adger y Brown (1994) reporta un rango de 88 – 118 t C ha<sup>-1</sup> en bosques de trópico húmedo, al igual que Adger y Brown (1994) quienes reportan un rango de 92 – 102 t C ha<sup>-1</sup> en suelo de bosques tropicales húmedos manejados.

Cuadro 22. Promedios de carbono por estrato y profundidad de muestreo

Estrato	Carbono (t ha <sup>-1</sup> ) por Profundidad del suelo (cm)		Total
	0 – 30	30 – 60	
Plano	78.16 ± 19.11 (a)	40.93 ± 22.71 (a)	115.41 ± 36.89 (a)
Ondulado	75.79 ± 15.35 (a)	36.14 ± 9.95 (a)	111.93 ± 18.94 (a)
Quebrado	85.10 ± 32.11 (a)	45.38 ± 31.04 (a)	130.49 ± 60.65 (a)

Separación de medias por Duncan.

(a): letras iguales reflejan similitud estadística

Puede observarse en el cuadro 22 los valores promedios de contenido de carbono en el suelo por tipo de estrato, en los bosques en su conjunto el comportamiento es el mismo. Estadísticamente el análisis no mostró diferencias. Sin embargo, las tendencias numéricas muestran que el mayor contenido de carbono se encuentra en el estrato quebrado, registrándose  $85.10 \pm 32.11 \text{ t C ha}^{-1}$  en la profundidad de 0 – 30 cm y  $45.38 \pm 31.04 \text{ t C ha}^{-1}$  en la profundidad de 30 – 60 cm; la suma (promedio de los bosques en su conjunto) para ambas profundidades en este estrato fue de  $130.49 \pm 60.65 \text{ t C ha}^{-1}$ . Quizás este comportamiento es producto de la influencia de variables que no están siendo objeto de control en la presente investigación.

Cuadro 23. Valores promedios interacción bosque – estrato. Suelo total (las dos profundidades)

<b>Tipo de bosque</b>	<b>Estrato</b>	<b>Carbono (t ha<sup>-1</sup>)</b>
Bosque aprovechado	Plano	130.69 (a)
Bosque aprovechado	Ondulado	116.17 (a)
Bosque aprovechado	Quebrado	160.78 (ab)
Bosque no aprovechado	Plano	102.04 (ac)
Bosque no aprovechado	Ondulado	109.11 (ac)
Bosque no aprovechado	Quebrado	100.20 (ac)

Separación de medias por Duncan.

(a,b,c): letras iguales, similitud estadística; letras diferentes, diferencia estadística

En las interacciones se decidió omitir la interacción de la profundidad 0 - 30 (no mostró diferencias) y la interacción de la profundidad 30 - 60 (mostró diferencias).

En el cuadro 23 se muestran los valores promedios de la interacción bosque – estrato del carbono de suelo total. En general el ANDEVA mostró que no existen diferencias estadísticas entre estratos, aunque se puede observar que en una de las interacciones existe una ligera diferencia (estrato quebrado del bosque aprovechado con todos los estratos del bosque no aprovechado).

Las variaciones del contenido de carbono en el suelo probablemente no puedan explicarse por el aprovechamiento forestal debido al poco tiempo transcurrido el aprovechamiento mismo.

### 6.2.7. Factor de expansión de biomasa en las distintas categorías de los bosques bajo estudio

A continuación se muestran los valores correspondientes al análisis efectuado para las diferentes categorías.

Cuadro 24. Valores resultantes de la aplicación de la prueba t para el FEB

Categoría de vegetación	GL	Nivel de confianza	t calculada
		.05	
Brinzales	240	1.645	0.3955
Latizales (*)	263	1.645	0.9168
Regeneración total	505	1.645	0.1022

GL: Grados de libertad

(\*): Latizales altos y bajos

En el cuadro 24, se observa que todos los valores calculados son menores que los valores de t tabulada, lo que significa que no existe diferencia entre los FEB de los distintos tipos de bosques en estudio. Esto sugiere que el aprovechamiento forestal no ha incidido en la forma o desarrollo de los árboles del bosque aprovechado.

En el cuadro 25 se muestran los valores del FEB para cada bosque.

Cuadro 25. FEB por categoría de vegetación

Categoría de vegetación	Bosque aprovechado			Bosque no aprovechado		
	N	FEB	DS	N	FEB	DS
Brinzales	134	2.06	0.92	108	2.02	0.75
Latizales (*)	147	1.62	0.48	118	1.68	0.68
Regeneración total	281	1.83	0.75	226	1.83	0.73

Donde: N: Número de observaciones; FEB: Factor de expansión de biomasa; DS: Desviación standard

(\*): Latizales altos y bajos

El factor de expansión de biomasa promedio observado en la regeneración total para ambos bosques es el mismo (1.83), y se encuentra dentro de los rangos reportados en otros estudios. Segura (1999) reporta un rango de FEB de 1.3 y 2.2 para siete especies forestales de Costa Rica; mientras que Aguilar (2002) reporta un FEB promedio de 1.80 (1.51 – 2.15) para 17 especies de bosques de trópico húmedo, Peten, Guatemala.

Por su parte Brown y Lugo (1984) y Brown *et al* (1989) reportan un promedio de FEB en un rango de 1.55 y 1.74 para bosques húmedos.

Esta variación de datos reportados podría deberse al número de individuos y especies que incluye cada investigación.

El FEB determinado (1.83) en el presente estudio sugiere, que por cada tonelada de biomasa total, se esperaría que en promedio se tuvieran 0.83 toneladas de biomasa de fuste.

Referente a las categorías de vegetación analizadas para este fin, los brinzales reportan un mayor FEB, con  $2.06 \pm 0.92$  para el bosque aprovechado y  $2.02 \pm 0.75$  para el bosque no aprovechado. Posteriormente a estos datos, el FEB desciende a medida que aumenta el diámetro de los individuos observados (figura 9).

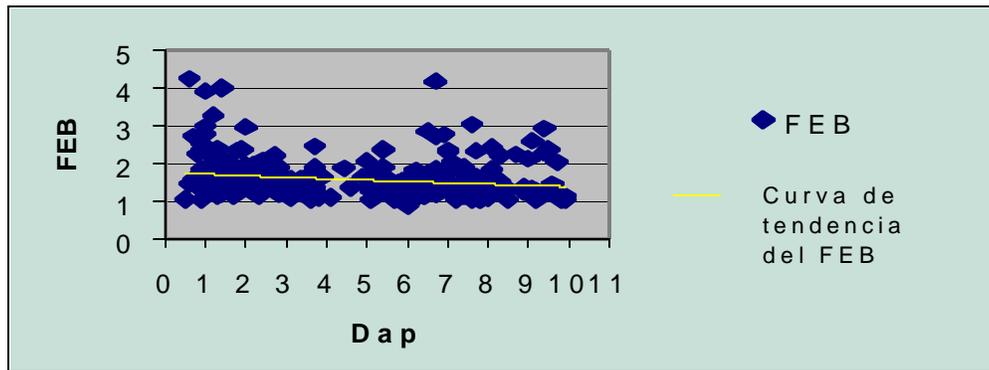


Figura 9. Relación del FEB con el dap

Este comportamiento decreciente en el FEB ha medida que aumenta el diámetro es normal, y reafirma que los árboles durante los primeros estadios de crecimiento el fuste es proporcionalmente mayor que los demás componentes de la planta. Por ejemplo, Arreaga (2002) encontró en bosques tropicales del Petén, Guatemala un FEB de  $2.05 \pm 0.866$  en brinzales, en latizales (altos y bajos)  $1.34 \pm 0.293$  y  $1.60 \pm 0.582$  para toda la vegetación (incluyendo fustales), presentándose de esta manera un comportamiento similar en los resultados de la presente investigación.

#### 6.2.8. Resumen general de los contenidos de biomasa y carbono en los bosques muestreados

A manera de síntesis general, se presentan los contenidos de biomasa y carbono aéreo total y bajo suelo de los bosques en estudio.

Cuadro 26. Resumen general de la biomasa aérea total y carbono ( $t\ ha^{-1}$ ) almacenado en los bosques en estudio

Fuente	Bosque aprovechado		Bosque no aprovechado	
	Biomasa	Carbono	Biomasa	Carbono
Fustales	357.97	178.96	284.35	142.18
Latizales altos	6.31	3.15	5.06	2.50
Latizales bajos	2.06	1.03	1.73	0.86
Hojarasca	4.07	2.03	2.78	1.39
Suelo (0 – 30)	-----	83.71	-----	74.36
Suelo (30 – 60)	-----	51.25	-----	30.36
<b>Total</b>	<b>369.36 *</b>	<b>320.13</b>	<b>293.86 *</b>	<b>251.65</b>

(\*): La biomasa total por bosque incluye únicamente la biomasa aérea y de hojarasca

Puede observarse en el cuadro 26, que el mayor aporte de biomasa y carbono aéreo total y bajo suelo, lo hace la fuente fustales en ambos tipos de bosques.

En el bosque aprovechado los fustales almacenan  $357.97\ t\ ha^{-1}$  de biomasa y  $178.96\ t\ C\ ha^{-1}$  (55.9 % del carbono total del bosque, figura 10) y el menor aporte lo hacen los latizales bajos con  $2.06\ t\ ha^{-1}$  de biomasa y  $1.03\ t\ C\ ha^{-1}$ ; mientras que en el bosque no aprovechado los fustales almacenan  $284.35\ t\ ha^{-1}$  de biomasa y  $142.18\ t\ C\ ha^{-1}$ , en latizales bajos el contenido de biomasa es de  $1.73\ t\ ha^{-1}$  y  $0.86\ t\ C\ ha^{-1}$ .

El contenido de carbono en el suelo presenta un comportamiento típico tanto en el bosque aprovechado como en el bosque no aprovechado, de tal manera que el mayor contenido de carbono se encuentra en la profundidad 0 – 30 cm, con  $83.71\ t\ C\ ha^{-1}$  y  $74.36\ t\ C\ ha^{-1}$  para cada uno de los bosques; la profundidad 30 – 60 cm contiene  $51.25\ t\ C\ ha^{-1}$  y  $30.36\ t\ C\ ha^{-1}$  respectivamente.

### Carbono Almacenado por Fuente (Porcentaje)

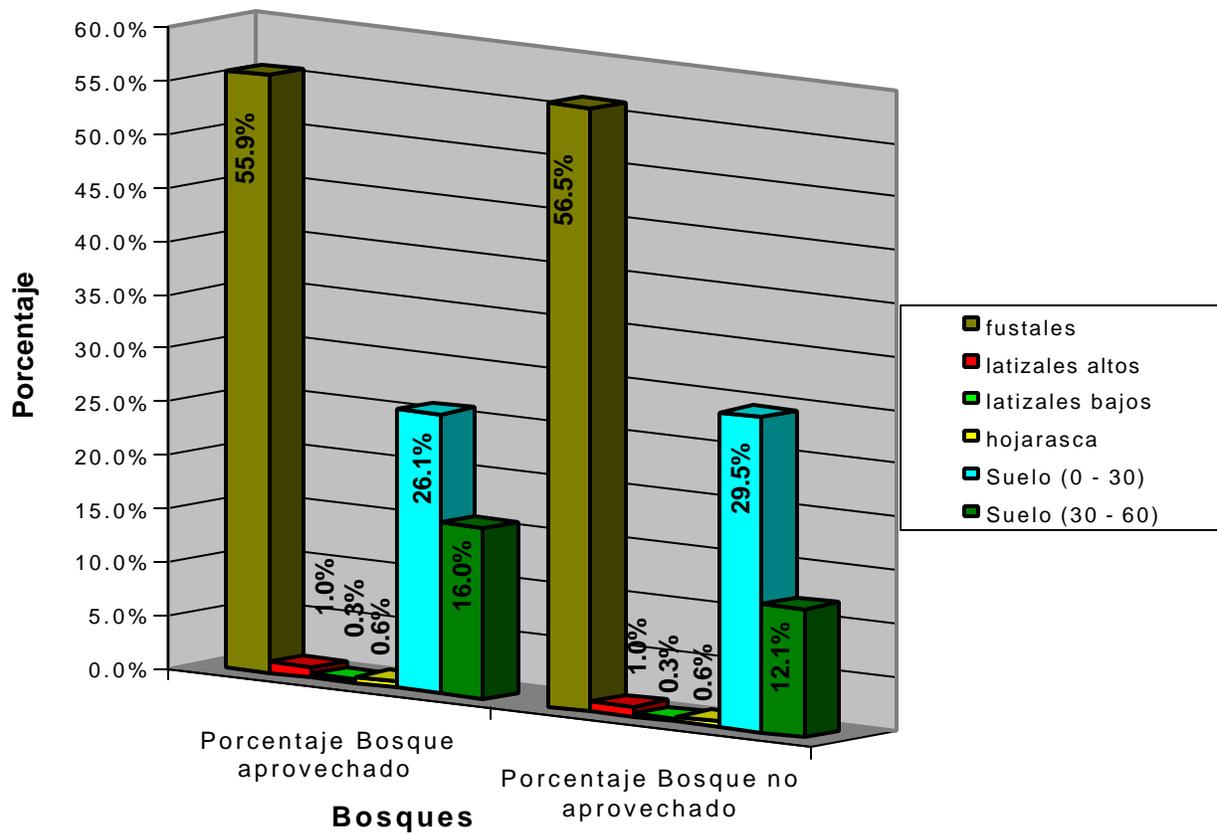


Figura 10. Carbono almacenado (porcentaje) por fuente y tipo de bosque

## 7. CONCLUSIONES

- ✍✍ La composición florística de los bosques estudiados reportó un total de 117 especies, distribuidas en 84 géneros y 43 familias.
- ✍✍ El mayor aporte de abundancia florística lo hacen brinzales y fustales con un 74.25 % del total, este comportamiento es igual al encontrado por Arreaga (2002), quien encontró en bosques del Petén, Guatemala, que brinzales y fustales aportan un 72 % del total de la abundancia.
- ✍✍ El área basal encontrada en los bosques en estudio fue variable, siendo mayor en el bosque aprovechado, el que presentó 35 m<sup>2</sup>/ha, mientras que el bosque no aprovechado promedió 30 m<sup>2</sup>/ha. Así mismo, el bosque que alberga la mayor abundancia (fustales) es el bosque aprovechado, el que presenta en promedio de 547.14 indi/ha, mientras que el bosque no aprovechado promedió 478.33 indiv/ha.
- ✍✍ Los modelos alométricos son una herramienta de gran utilidad para la estimación de biomasa de árboles. Los modelos alométricos logarítmicos fueron los de mejor ajuste a los datos de la biomasa total de los árboles.
- ✍✍ La biomasa total aérea no presentó diferencias estadísticas entre el bosque aprovechado y el bosque no aprovechado. El bosque aprovechado presenta un contenido de biomasa total de 366.34 t ha<sup>-1</sup> (183.17 t C ha<sup>-1</sup>); mientras que el bosque no aprovechado presentó 291.08 ha<sup>-1</sup> (145.54 t C ha<sup>-1</sup>).
- ✍✍ En hojarasca el contenido de biomasa y carbono mostró diferencia estadística por tipo de bosque. En el bosque aprovechado se encontró 4.07 t ha<sup>-1</sup> de biomasa y 2.03 t C ha<sup>-1</sup>; mientras que el bosque no aprovechado presentó valores de 2.78 t ha<sup>-1</sup> de biomasa y 1.39 t C ha<sup>-1</sup>. Por estrato no se encontró diferencia estadística.

✍✍ En el suelo el contenido de carbono por bosque en la profundidad de 0 – 30 no se encontró diferencia estadística, sin embargo, en la profundidad de 30 – 60 sí se encontró diferencia, con promedios de 51.25 t C ha<sup>-1</sup> en el bosque aprovechado y 30.36 t C ha<sup>-1</sup> en el bosque no aprovechado.

✍✍ El factor de expansión de biomasa (FEB) de la regeneración total en promedio para ambos bosques es de 1.83, los brinzales presentaron un promedio de 2.04 y los latizales (altos y bajos) 1.65. Estos valores son similares a los reportados por otros autores como Segura (1999), Aguilar (2002) y Arreaga (2002).

✍✍ En general, el carbono aéreo es mayor que el carbono en hojarasca y suelo. En el bosque aprovechado el carbono aéreo es mayor en un 14.4 % y en el bosque no aprovechado el carbono aéreo es mayor en un 15.66 %.

✍✍ De acuerdo a los resultados del presente estudio, se ha podido determinar que el nivel de intervención efectuado no ha tenido un efecto negativo en el contenido de biomasa y carbono en los bosques que han sido objeto del mismo, más bien estos podrían estar indicando que el manejo forestal ha incidido positivamente en el aumento del carbono almacenado en los bosques estudiados, lo que puede sugerir que el manejo forestal es una buena opción para proyectos que incluyan Pagos por Servicios Ambientales.

## 8. RECOMENDACIONES

- ☞ Promover estudios florísticos y ecológicos completos que faciliten el conocimiento de la dinámica de la biomasa y el carbono en los distintos componentes del sistema.
- ☞ Efectuar monitoreo de biomasa y carbono a través de parcelas permanentes de muestreo (PPM).
- ☞ Es necesario cuantificar y valorar otros factores como los edafológicos (físico-químicos) y desastres naturales que podrían estar influyendo en la dinámica del carbono aéreo y bajo suelo que afectan positiva o negativamente su evaluación.
- ☞ Aumentar significativamente la intensidad de muestreo con el fin de elevar la precisión y confiabilidad de los resultados del contenido de biomasa y carbono aéreo y bajo suelo.
- ☞ Se recomienda aplicar la metodología planteada en la presente investigación en bosques bajo manejo forestal con el propósito de elevar la precisión de los modelos alométricos y de esta manera construir modelos de biomasa para toda la región.
- ☞ Compartir y analizar los resultados obtenidos, con otras universidades e instituciones a fines, con el propósito de consolidar el proceso metodológico para la estimación de biomasa y carbono en bosques naturales.
- ☞ Para la estimación de biomasa en bosques con características similares se recomienda utilizar los modelos desarrollados en la presente investigación, siempre y cuando las variables (dap y altura) estén dentro de los rangos evaluados en el presente estudio.

✍✍ Socializar los resultados de este y otros estudios enfocados a servicios ambientales, con el fin de que los propietarios de los bosques conciban el manejo de una manera más integral y sostenida para de esta forma evitar que éstos reduzcan el aprovechamiento a una simple extracción de madera.

✍✍ Se recomienda generar proyectos que incluyan el Pago de Servicios Ambientales (PSA) basados en investigaciones como la presente, que promuevan la conservación de la diversidad biológica en su conjunto y el desarrollo comunitario.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, S. 2002. Estimación de biomasa aérea y carbono almacenado en el área de aprovechamiento anual 2001, Uaxactún, Flores, Petén, Guatemala. Escuela de postgrado, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
  
- Alfaro, M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en ecosistemas forestales. Revista Forestal Centro Americana No.19, Abril-Junio 1997.
  
- AMURS (Asociación del Municipio de Río San Juan). Lineamientos Estratégicos Para el Desarrollo Sostenible en Río San Juan. CONSORCIO, INDES-CEDAPRODE.
  
- Andrasko, K. 1990. El recalentamiento del globo terráqueo y los bosques: estado actual de los conocimientos. UNASYLVA, 41 (163): 3 - 9.
  
- Arreaga, W. 2002. Almacenamiento del carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Escuela de postgrado, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
  
- Asner, G. P. ; Saested, T.R.; Townsend, A. R. 1997. The decoupling of terrestrial carbon and nitrogen cycles. Bioscience 47(4): 226 - 234.
  
- ASTM. 1993. Standard test methods for specific gravity of wood and wood base Materials. Edition D 143-83.Philadelphia,USA. P: 221-229
  
- Asumadu k. 1998/4. Boletín de la Organización Internacional de las Maderas Tropicales. Volumen 6, numero 4. Canberra, Australia, 32 pp.

- Brown, S.; Lugo, A. E. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in de global carbon cycle. *Biotropica*. 14 (3).
  
- Brown, S.; Lugo, A. E. 1984. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest Volumes. *Science*. 223: 1290-1293.
  
- Brown and Lugo. JAN-FEB 1992, VOL. 17, No. 1. *Interciencia*. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon.
  
- Brown et al. Diciembre 1989 / 881. *Forest Science*, vol. 35, No.4. pp.881-902. copyright 1989, by the Society of American Foresters.
  
- Brown S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest. Department of Natural Resources and Environmental Sciences. University of Illinois, Urbana, Illinois, USA.
  
- Campos J., Rosalba O., Joyotee S,... [et al]. (2000). Almacenamiento de Carbono y Conservación de Biodiversidad por medio de actividades forestales en el área de conservación Cordillera Volcánica Central, Costa Rica. Turrialba: CR, CATIE. Unidad de Manejo de Bosques Naturales, 2000. 70p. ; 27cm.- (Serie técnica. Informe técnico/ CATIE; no. 314).
  
- Carranza, C.; Aylward, B.; Echeverría, J.; Tosi:, J.; Megía, R. 1996. Valoración de los servicios ambientales de los bosques de Costa Rica. Centro Científico Tropical. San José, Costa Rica. pp. 20-26.
  
- Castillo A. 1997. Factores asociados con el crecimiento de dos bosques húmedos tropicales intervenidos silviculturalmente en Río San Juan, Nicaragua. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 111 p.

- CATIE. 2000. Revista Forestal Centroamericana, Abril - Junio 2000, No 30. Turrialba, Costa Rica.
- Cavozos, T; Rodríguez, O. 1992. Manual de prácticas de física de suelos. Trillas, México.
- Centeno, J. 1992. El efecto invernadero. PLANIUC. 18 -19:pp 75-96.
- Chaturveni, A. N. 1994. Sequestration of atmospheric carbon in India's forest. *Ambio* 23: 461
- CIES-UNAN. 1992. La Presión por Tierras y sus Efectos Sobre la Protección Ambiental de Río San Juan de Nicaragua. Managua, Nicaragua.
- Ciesla, W. M. 1995. Climate change, Forest and Forest management. An overview. FAO (Italia). Forestry papers no. 126. 128p.
- Ciesla, W, M 1996. Cambio Climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. Estudios FAO montes 126 Roma. 147 p.
- Cotton F. Y G. Wilkinson. 1980. Química inorgánica Básica. Editorial Limusa. Mexico1980.
- Cubero J. Susana R. 1999. Fijación de carbono en plantaciones (gmelina arbórea), teca (*Tectona grandis* L.f.) y pochote (*Bombacopsis quinata* Jacq.) en los cantones de Hojanca y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- Dixon; R. K. 1995. Agroforestry systems: Sources or sinks of greenhouse gases? *Agroforestry Systems* 31: 99 -116.

- Dixon; R. K., Browns, S., Houghton R. A., Solomon A.M., Trexler M. C. y Wisniwski J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science 263: 180-190.
  
- Ellert, B. 1999. Measuring and Comparing Soil Carbon.
  
- Escorcía, F. 2001. Diseño de Inventario de Recursos Múltiples Para la Definición de Modelos de Manejo de Bosques Dipteryx Panamensis, Municipio del Castillo, Río San Juan. Universidad Autónoma de Barcelona. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Managua, Nicaragua.
  
- Estrada U. 1997. Resumen Ejecutivo Diagnostico Rural Participativo en la cuenca del río Sábalo y micro cuenca El Guineal. Sábalo, El Castillo. Agosto de 1997.
  
- Fernández, W. 1991. Cambios Climáticos: el calentamiento global. Tecnología en marcha, 11(2): 11 – 22.
  
- Forest and Wood Products Research and Development Corporation (FWPRDC). 1996. Environmental properties of timber. Brisbane. Australia.
  
- Hipkins, M. F. 1984. Photosynthesis. In pln physiology. Malcolm b. Wilkin (De). Greal Britain. P: 219.
  
- Houghton, P. A. 1994. The worldwide extent of land - use change Bioscience 44 (5): 305 - 313.
  
- Houghton, J. 1997. Global warming, the complete Brifing. Cambridge University Press.
  
- Kanninen, M. y Omar M., 1999. Carbono y manejo forestal.

- Kimball, J. 1982. Biología 4ª Edición. Fondo Educativo Interamericano, S.A.
  
- Locatelli, B. 1999. Bosques tropicales y ciclos del carbono traducido al español por el ministerio de recursos naturales y del ambiente. Proyecto Cambio climático programa ambiental Nicaragua Finlandia.
  
- Locatelli B. y Leonard S. 2001. Un método para medir el carbono almacenado en los bosques de Malleco (Chile). Bois et forets des tropiques, No. 267 (1). Chile.
  
- Loetsch, F., Zóhrev, F., Heller, k. E. 1973. Forest inventory. Vol.2. BLV verlag sgesellschaft mbh, München. 458 p.
  
- MARENA. technical summary, The Science of Climate Change, Climate change 1995.
  
- MARENA. 1999. Guía para comprender el Cambio Climático en Nicaragua. Programa Ambiental Nicaragua-Finlandia. Proyecto de Apoyo a la Implementaron de la Convención Marco de Cambio Climático y del Protocolo de Montreal. Managua, Nicaragua, Noviembre 1999.
  
- MARENA. 2000. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Nicaragua. Proyecto Primera Comunicación Nacional, PNUD-NIC/98/G31-MARENA. Managua, junio del 2000.
  
- Márquez L. 2000. Elementos Técnicos Para Inventarios de Carbono en Uso del Suelo. PROARCA – CAPAS. Guatemala, Mayo del 2000.
  
- Mejía, A. 1994. Análisis del Efecto Inicial de un Tratamiento de Liberación Sobre la Regeneración Establecida en un Bosque Húmedo Tropical Aprovechado en Río San Juan, Nicaragua. pp. 69. Tesis para adquirir título de

maestría en Manejo de Recursos Forestales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Turrialba, Costa Rica.

- Moraes, C. 2001. Almacenamiento de carbono en bosques secundarios en el municipio de San Carlos, Nicaragua. Escuela de postgrado, Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

- Musalem A. 1998. Aporte de los Sistemas Silvopastoriles al Secuestro de Carbono en el Suelo. Escuela de Postgrado, Sistema de Enseñanza Para el Desarrollo de la Conservación, CATIE. Turrialba, Costa Rica.

- Nekrásov, B. 1981. Química general cuarta edición , editorial Limusa "MIR" Moscú, URSS.

- Ortiz, M E. 1993. Técnicas para la estimación del crecimiento y rendimiento de árboles individuales y bosques. Instituto tecnológico de Costa Rica. Departamento de Ingeniería Forestal. Serie de apoyo académico No. 16. Cartago, Costa Rica. 71 p.

- Panshin, A. J., De Zeeuw, C. 1970. Textbook of wood technology. Structure, Identification, Defects, and uses of the commercial woods of the United States. MCGraw-Hill book Company, Inc. New York. Vol. 1. 705 p.

- Pardé, D. R. 1980. Forest Biomass. Review article. Forestry abstract. 41 (8): 343- 362.

- PNUD. 1997. Protocolo de Kyoto para la conservación Marco de las Naciones Unidas osbr cambio climático. pp. 2-4.

- Ramírez, P. 1997. Efecto invernadero guerra declarada. Revista forestal Centro Americana. Edición 19. CATIE, Costa Rica. pp. 41-42.

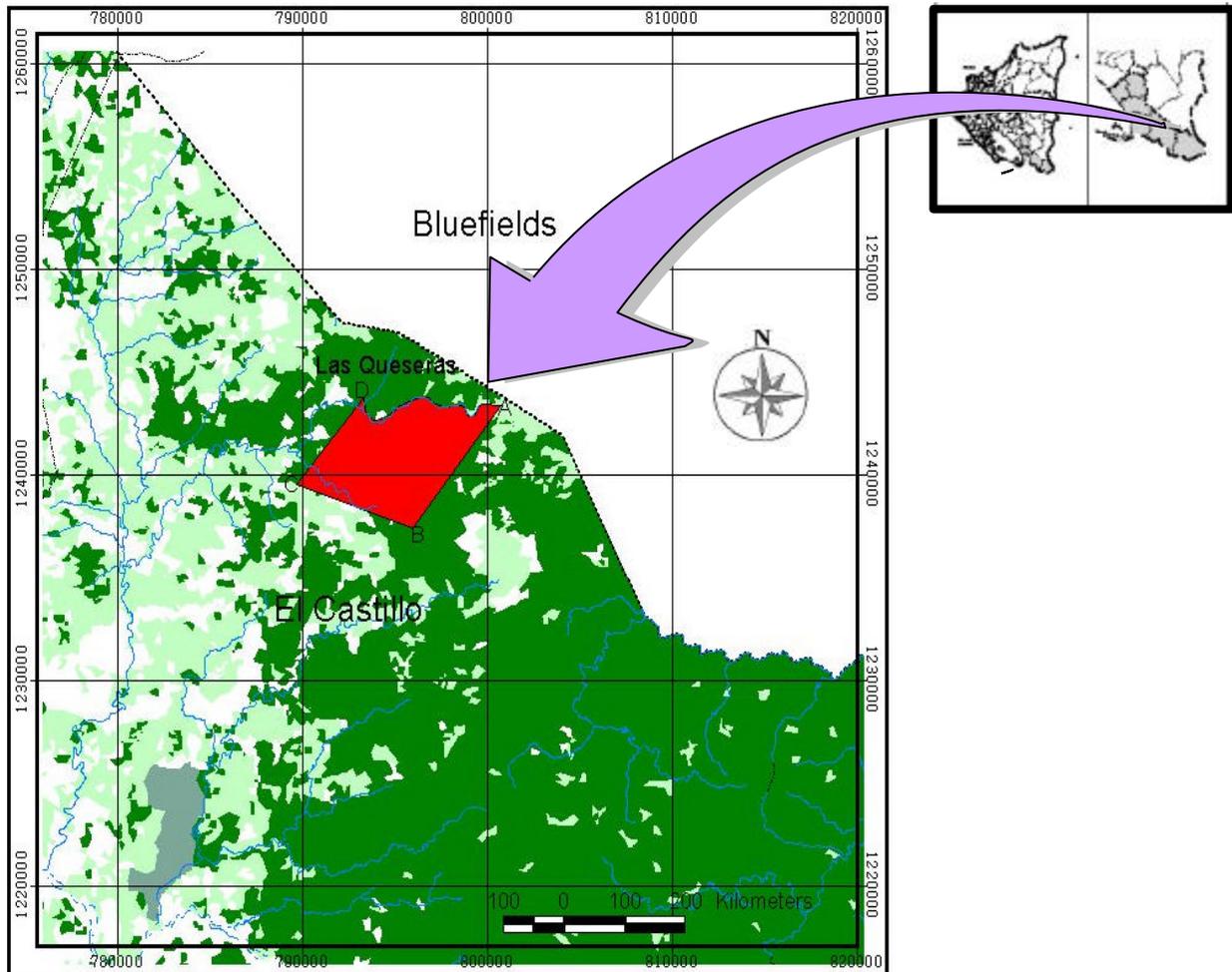
- Revista Forestal centroamericana. No 19, Año 6, Abril-Junio 1997. CATIE 7170. Turrialba, Costa Rica.
  
- Salinas, Z. 2000. Análisis socioeconómico de la actividad del manejo forestal y del cambio de uso de la tierra en el municipio de El Castillo, Río San Juan, Nicaragua.
  
- Satoo, T. and L. Madgwick. 1982. Forest biomass. Martinus Nijhoff. Dr. W Junk Publishers. Boston.
  
- Schroeder, P. 1993. Agroforestry systems: integrated land use to store and conserve carbon. Climate Research. 3:53 -60.
  
- Segura, M. A. Y Venegas, G.SF. Tablas de Volumen Comercial con corteza para encino, roble y otras especies del bosque pluvial montano de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Unidad de Manejo de Bosques Naturales. Serie Técnica. Manejo Diversificado de Bosques Naturales. Turrialba, Costa Rica (Sin publicar).
  
- Segura, M 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en Quercus costarricensis bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis de Licenciatura en Ciencias Forestales, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
  
- Segura M 1999. Metodología para estimar la cantidad de carbono en bosques naturales. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
  
- Segura, M. 1999. Valoración del Servicio de Fijación y Almacenamiento de Carbono en Bosques Privados en el Área de Conservación Cordillera Volcánica

Central, Costa Rica. Escuela de postgrado, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

- Segura, M 2000. Estimación de carbono en ecosistemas forestales: Los aportes de los inventarios forestales. Turrialba, Costa Rica.
- Segura M. y Kanninen M., *et al.* 2002. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- SNV Programa de Desarrollo Agropecuario en Río San Juan - Nicaragua. Documento de Base, Descripción del Área del Programa. SNV- Nicaragua. 1992.
- Trexler, M. C.; Haugen, C. 1994. Keeping it green: Evaluating Tropical forestry Strategies to mitigate global warming. Washington, D.C., World Resources Institute.
- Turk, Turk, Wittes, 1972. Ecología, Contaminación y medio Ambiente. México.
- UNAN; Centro de investigación económicas y sociales, Escuela de economía agrícola. La presión por tierra y sus efectos sobre la protección ambiental de Río San Juan de Nicaragua. Managua - Nicaragua octubre 1992.
- Vitousek, P.M. 1994. Beyond global warming ecology and global change. Ecology 75 (7): 1861-1876.
- Zamora, J. David, Q. 2000. Terminología forestal de uso común en Centro América. Manejo forestal tropical. CATIE. Unidad de manejo de bosques Naturales. N<sup>o</sup> 14. Junio, 2000. ISSN 1409 -3456.

# 10. ANEXOS

Anexo 1. Mapa de la comunidad Nueva Quezada, Río San Juan, Nicaragua.



Anexo 2. Estimación del Área Basal por tipo de Bosque  
Nueva Quezada, Río San Juan.

```
libname pro '\sas\';
title 'Area basal por fincas' ;
options ps = 58 ls = 78 ;
proc dbf db3 = fustalab out = fuste ;
data fustales ;
set fuste ;

if 10 <= dap < 19.9 then d1 = 1 ;
if 19.9 <= dap < 29.9 then d1 = 2 ;
if 29.9 <= dap < 39.9 then d1 = 3 ;
if 39.9 <= dap < 49.9 then d1 = 4 ;
if 49.9 <= dap < 59.9 then d1 = 5 ;
if dap > 59.9 then d1 = 6 ;

/* Calcular el area basal en metros cuadrados*/
if parcela = '450' and bosque = '1' then
abasal = (dap*dap*3.141592/52)*22.22/10000 ;
if parcela = '450' and bosque = '2' then
abasal = (dap*dap*3.141592/72)*22.22/10000 ;
if parcela = '250' and bosque = '1' then
abasal = (dap*dap*3.141592/60)*40/10000 ;
if parcela = '250' and bosque = '2' then
abasal = (dap*dap*3.141592/24)*40/10000;

proc sort ;
by bosque parcela dap ;
run ;
proc means data = fustales sum min max ;
by bosque ;
var abasal ;
by parcela ;
run ;
libname pro '\sas\';
title 'Area basal por fincas' ;
options ps = 58 ls = 78 ;
proc dbf db3 = fustalab out = fuste ;
data fustales ;
set fuste ;

if 10 <= dap < 19.9 then d1 = 1 ;
if 19.9 <= dap < 29.9 then d1 = 2 ;
if 29.9 <= dap < 39.9 then d1 = 3 ;
if 39..9 <= dap < 49.9 then d1 = 4
```

```

if 49.9 <= dap < 59.9 then d1 = 5 ;
if dap > 59.9 then d1 = 6 ;

/* Calcular el area basal en metros cuadrados*/
if parcela = '450' and bosque = '1' then
abasal = (dap*dap*3.141592/52)*22.22/10000 ;
if parcela = '450' and bosque = '2' then
abasal = (dap*dap*3.141592/72)*22.22/10000 ;
if parcela = '250' and bosque = '1' then
abasal = (dap*dap*3.141592/60)*40/10000 ;
if parcela = '250' and bosque = '2' then
abasal = (dap*dap*3.141592/24)*40/10000;

proc sort ;
by bosque parcela dap ;
run ;
proc means data = fustales sum min max ;
by bosque ;
var abasal ;
by parcela ;
run ;

```

Analysis Variable : ABASAL

----- BOSQUE=1 PARCELA=250 -----			
N Obs	Minimum	Maximum	Sum
248	0.0209439	1.8901912	41.3192652
-----			
----- BOSQUE=1 PARCELA=450 -----			
N Obs	Minimum	Maximum	Sum
238	0.0134243	1.2115399	29.3195329
-----			
----- BOSQUE=2 PARCELA=250 -----			
N Obs	Minimum	Maximum	Sum
89	0.0523599	2.2122044	32.1458165
-----			
----- BOSQUE=2 PARCELA=450 -----			
N Obs	Minimum	Maximum	Sum
332	0.0096953	0.9311368	27.3624691
-----			

Anexo 3. Listado único de las especies (fustales, latizales altos y bajos y brinzales) encontradas en nueva Quezada, Río San Juan.

<b>Código</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Familia</b>
1	Acetuno	Simarouba glauca	Simaroubaceae
2	Aguacate de monte	Ocotea nicaraguensis	Lauraceae
3	Alcanfor	Protium panamensis	Burceraceae
4	Almendro	Dipteryx panamensis	Fabaceae
5	Anona	Anona sp.	Annonaceae
6	Areno	Latia procera	Flacourtiaceae
7	Barazón	Hirtella sp.	Chrysobalanaceae
8	Bimbayán	Vitex gaumeri	Verbenaceae
9	Cacahuillo	Trichilia montana	Meliaceae
10	Cacao de monte	Theobroma simiarum	Sterculiaceae
11	Cachito	Tabernaemontana chrys	Apocynaceae
12	Cafecillo	Faramea occidentalis	Rubiaceae
13	Camarón	Heisteria sp.	Olacaceae
14	Camíbar	Copaifera aromática	Caesalpinaceae
15	Canelo	Nectandra gentlei	Lauraceae
16	Canjura	Guarea grandifolia	Meliaceae
17	Capirote	Miconia sp.	Melastomataceae
18	Capulín	Trichospermum mexicanum	Tiliaceae
19	Carne de lora	N.I	N.I
20	Carolillo	Ormosia sp.	Fabaceae
21	Cedro macho	Carapa guianensis	Meliaceae
22	Cedro real	Cedrela odorata	Meliaceae
23	Ceiba	Ceiba pentandra	Bombacaceae
24	Chaperno	Lonchocarpus sp.	Fabaceae
25	Chico Ruiz	N.I	N.I
26	Chilamate	Ficus tonduzii	Moraceae
27	Cola de pava	Copania dentata	Sapindaceae
28	Coloradito	Cnestidium rucicules	Connaraceae
29	Comalio	N.I	N.I
30	Concha de cangrejo	Dendropanax arboreus	Araliaceae
31	Concha de huevo	N.I	N.I
32	Concha de lagarto	Zanthoxylum belizense	Rutaceae
33	Copalchil	Croton schiedeanus	Euphorbiaceae
34	Cornizuelo	Cassia sp.	Mimosaceae
35	Cortez	Tabebuia guayacan	Bignoniaceae
36	Costilla de danto	Linociera sp.	Oleaceae
37	Coyote	Platymiscium pinnatum	Fabaceae
38	Culebro	Trichilia quadrijuga	Meliaceae
39	Desconocido	N.I	N.I
40	Espavel	Anacardium excelsum	Anacardiaceae
41	Flor de colmena	N.I	N.I
42	Frijolillo	Mosquitoxylum jamaicensis	Anacardiaceae

43	Fruta dorada	Otoba novogranatensis	Myristicaceae
44	Garrobo	N.I	N.I
45	Gavilán	Pentaclethra macroloba	Mimosaceae
46	Gierillo	N.I	N.I
47	Guaba	Inga sapindoides	Mimosaceae
48	Guabillo	Inga vera	Mimosaceae
49	Guácimo blanco	Luehea sp.	Tiliaceae
50	Guapinol	Hymenaea courbaril	Caesalpinaceae
51	Guarumo	Cecropia insignis	Cecropiaceae
52	Guas	N.I	N.I
53	Guayabón	Terminalia amazonia	Combretaceae
54	Gumbo	N.I	N.I
55	Hojachigue	Tetracera sp.	Dilleniaceae
56	Hombre grande	Quasia amara	Simaroubaceae
57	Huesillo	Lunania parviflora	Flacourtiaceae
58	Huesito	Cestrum aurantiacum	Solanaceae
59	Hueso de muerto	N.I	N.I
60	Igualtil	Simira maxonii	Rubiaceae
61	Javillo	Hura polyandra	Euphorbiaceae
62	Jicarillo	Posequeria latifoliada	
63	Jiñocuabo	Bursera simarouba	Burseraceae
64	Jobo	Spondias mombin	Anacardiaceae
65	Kerosén	Tetragastris panamensis	Burseraceae
66	Laurel	Cordia alliodora	Boraginaceae
67	Laurel macho	Cordia sp.	Boraginaceae
68	Leche de burra	N.I	N.I
69	Leche de vaca	Lacmellea panamensis	Apocynaceae
70	Leche maría	Symphonia globulifera	Clusiaceae
71	Lengua del diablo	N.I	N.I
72	Limón	Citrus aurantifolia	Rutaceae
73	Madroño	Callycophyllum sp.	Rubiaceae
74	Majagua	Hampea appendiculatus	Malvaceae
75	Mamón	Talicia nervosa	Sapindaceae
76	Manga larga	Vochysia ferruginea	Vochysiaceae
77	Mangle	Psychotria sp.	Rubiaceae
78	Manguito	N.I	N.I
79	Manú	Minquartia guianensis	Olacaceae
80	Mata palo	N.I	N.I
81	Matasano	Dussia macrophyllata	Papilionaceae
82	Muñeco	Cordia bicolor	Boraginaceae
83	Naranja	Cleidon castanaefolium	Euphorbiaceae
84	Níspero	Manilkara achras	Sapotaceae
85	Ojoche blanco	Brosimum sp.	Moraceae
86	Ojoche rojo	Pseudolmedia oxtphyllaria	Moraceae
87	Palanca negra	N.I	N.I
88	Palo de agua	Vochysia hondurensis	Vochysiaceae
89	Palo de azúcar	N.I	N.I

90	Palo de clavo	N.I	N.I
91	Palo de hule	Castilla elástica	Moraceae
92	Palo de pan	N.I	N.I
93	Palo de plomo	Zuelania guidonia	Flacourtiaceae
94	Panamá	Sterculia recordiana	Sterculiaceae
95	Papaturro	Cocoloba sp.	Polygonaceae
96	Papayo	Lecythis ambla	Lecythidaceae
97	Pasica	Pourouma aspera	Cecropiaceae
98	Pata de yanke	N.I	N.I
99	Peine de mico	Apeiba aspera	Tiliaceae
100	Pellejo de vieja	Zuelania guidonia	Fabaceae
101	Peste caribe	N.I	N.I
102	Pronto alivio	Guarea grandifolia	Meliaceae
103	Rosita	Sacoglottis trichogyna	Humiriaceae
104	San Antonio	Acidoton nicaraguensis	Euphorbiaceae
105	Sangregrado	Pterocarpus sp.	Fabaceae
106	Sardinillo	Casearia sylvestris	Flacourtiaceae
107	Sebo	Virola koschnyi	Myristicaceae
108	Sombrero de sapo	N.I	N.I
109	Tabacón	Cespedezia macrophylla	Ochnaceae
110	Talalate	N.I	N.I
111	Tamarindo	Dialium guianense	Caesalpinaceae
112	Terciopelo	Gymnanthes riparia	Euphorbiaceae
113	Uva	Psychotria verteriana	Rubiaceae
114	Yape	N.I	N.I
115	Yayo	Ampelocera hottlei	Ulmaceae
116	Zapote montañero	Pouteria zapota	Zapotaceae
117	Zapotillo	Pouteria sp.	Zapotaceae

**N.I:** No identificado

Anexo 4. ANDEVA para fustales. Contenido de Biomasa y Carbono por Tipo de bosque

		<b>Biomasa</b>		<b>Carbono</b>	
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>N. Sig.</b>	<b>CM</b>	<b>N. Sig.</b>
Tipo de Bosque	1	60880.1870	0.1529	15219.7939	0.1530
Estrato	2	43077.8606	0.4175	10769.2233	0.4172
Interacción	2	34212.6907	0.3452	8552.8609	0.3454
Error	46	33313.014	-----	8328.2752	-----
			CV = 27.17 %	CV = 27.12 %	
			X = 314.0881	X = 157.04	

FV: Fuente de variación; GL: Grados de libertad; CM Cuadrado medio; N. Sig: Nivel de significancia

NS = No significativo

Anexo 5. ANDEVA para latizales altos. Contenido de Biomasa y Carbono por Tipo de bosque

		<b>Biomasa</b>		<b>Carbono</b>	
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>N. Sig.</b>	<b>CM</b>	<b>N. Sig.</b>
Tipo de bosque	1	15.6202	0.2179	3.9018	0.2078
Estrato	2	0.8313	0.9054	0.2095	0.9070
Interacción	2	1.5973	0.7020	0.3979	0.7148
Error	46	7.0960	-----	1.7747	-----
			CV =23.9692 %	CV =21.7588 %	
			X = 5.7119	X = 2.8559	

FV: Fuente de variación; GL: Grados de libertad; CM Cuadrado medio; N. Sig: Nivel de significancia

NS = No significativo

Anexo 6. ANDEVA para latizales bajos. Contenido de Biomasa y Carbono por Tipo de bosque

		<b>Biomasa</b>		<b>Carbono</b>	
<b>F V</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>N. Sig.</b>	<b>CM</b>	<b>N. Sig.</b>
Bosque	1	4.9411	0.3255	1.2360	0.2998
Estrato	2	1.0020	0.7838	0.2508	0.7777
Interacción	2	2.4320	0.5313	0.6081	0.5252
Error	46	2.9787	-----	0.7446	-----
			CV = 38.3726 %	CV = 30.3987 %	
			X = 1.8894	X = 0.9446	

FV: Fuente de variación; GL: Grados de libertad; CM Cuadrado medio; N. Sig: Nivel de significancia

NS = No significativo

Anexo 7. ANDEVA para hojarasca. Contenido de Biomasa y Carbono en hojarasca

		<b>Biomasa</b>		<b>Carbono</b>	
<b>F V</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>N. Sig.</b>	<b>CM</b>	<b>N. Sig.</b>
Tipo de bosque	1	21.228	*	5.3120	*
Estrato	2	1.620	NS	0.4065	NS
Interacción	2	8.869	NS	2.2171	NS
Error	46	3.784	-----	0.9733	-----
			CV = 55.9 %	CV = 55.9 %	
			X = 3.47	X = 1.74	

FV: Fuente de variación; GL: Grados de libertad; CM Cuadrado medio; N. Sig: Nivel de significancia

P < 0.05 = \* diferencia significativo

NS = No significativo

Anexo 8. ANDEVA para suelos. Contenido de carbono en el suelo

F V	G L	Profundidad 0 – 30 cm		Profundidad 30 – 60 cm		Suelo Total (2 profundidades)	
		C M	N. Sig.	C M	N. Sig.	C M	N. Sig.
Bosque	1	960.0848	0.1531	4813.5182	0.0004	8867.2565	0.0113
Estrato	2	220.4153	0.6164	200.7998	0.5260	850.5653	0.5072
Interacción	2	206.5648	0.6351	864.0566	0.0741	1848.8289	0.2368
Error	33	448.8388	-----	306.5272	-----	1226.6253	-----

FV: Fuente de variación; GL: Grados de libertad; CM Cuadrado medio; N. Sig: Nivel de significancia

Anexo 9. Registro de información de bosques con manejo forestal en Nueva Quezada

**BOSQUE No.** \_\_\_\_\_

1. Información general:
- 1.2 Ubicación de la finca (señales): \_\_\_\_\_
- 1.3 Nombre de la comunidad: \_\_\_\_\_
- 1.4 Nombre del municipio: \_\_\_\_\_
- 1.5 Fecha de entrada: \_\_\_\_\_  
Fecha de salida: \_\_\_\_\_
- 1.6 Numero de parcelas: \_\_\_\_\_
- 1.7 Categoría de bosque (marque con una x):  
 Con Aprovechamiento 2000       Con Aprovechamiento 2001  
 Sin organización                       Organizados
- 1.8 Pertenece alguna de las siguientes empresas forestales:  
 Luz en la Selva;     Montes Verdes;     Nueva Holanda

1. Información por parcela:

Parcela Grande ?	Pendientes (%)				Cantidad de tocones	Observaciones
	1	2	3	X		
1						
2						
3						
4						
5						
6						

NOTAS: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_







Anexo 13. Registro de muestras para materia seca de latizal alto

Record No.	Código	Fecha	Componente						
			Fuste		Ramas		Hojas		
			Ptmhc (g)	Pmhc + Pbpm (g)	Ptmhc (g)	Pmhc + Pbpm (g)	Ptmhc (g)	Pmhc + Pbpm (g)	
	<b>B_E1Pg1LA</b>								
1									
2									
3									
	<b>B_E1Pg2LA</b>								
1									
2									
3									
	<b>B_E2Pg3LA</b>								
1									
2									
3									
	<b>B_E2Pg4LA</b>								
1									
2									
3									
	<b>B_E3Pg5LA</b>								
1									
2									
3									
	<b>B_E3Pg6LA</b>								
1									
2									
3									
	<b>B_E1Pg1LA</b>								
1									
2									
3									
	<b>B_E1Pg2LA</b>								
1									
2									
3									
	<b>B_E2Pg3LA</b>								
1									
2									
3									
	<b>B_E2Pg4LA</b>								
1									
2									
3									
	<b>B_E3Pg5LA</b>								
1									
2									
3									

B: Bosque; E: Estrato; Pg: Parcela grande; LA: Latizal alto; Ptmhc: Peso total muestra húmeda campo; Pmhc: Peso muestra húmeda campo; Pbpm: Peso bolsa plástica mediana.

Anexo 14. Registro de muestras para materia seca de latizal bajo

Record No.	Código	Fecha	Componente						
			Fuste		Ramas		Hojas		
			Ptmhc (g)	Pmhc + Pbpm (g)	Ptmhc (g)	Pmhc + Pbpm (g)	Ptmhc (g)	Pmhc + Pbpm (g)	
	<b>B_E1Pg1LB</b>								
1									
2									
3									
	<b>B_E1Pg2LB</b>								
1									
2									
3									
	<b>B_E2Pg3LB</b>								
1									
2									
3									
	<b>B_E2Pg4LB</b>								
1									
2									
3									
	<b>B_E3Pg5LB</b>								
1									
2									
3									
	<b>B_E3Pg6LB</b>								
1									
2									
3									
	<b>B_E1Pg1LB</b>								
1									
2									
3									
	<b>B_E1Pg2LB</b>								
1									
2									
3									
	<b>B_E2Pg3LB</b>								
1									
2									
3									
	<b>B_E2Pg4LB</b>								
1									
2									
3									

**B: Bosque; E: Estrato; Pg: Parcela grande; LB: Latizal bajo; Ptmhc: Peso total muestra húmeda campo; Pmhc: Peso muestra húmeda campo; Pbpm: Peso bolsa plástica mediana.**



Anexo 16. Registro de muestras para materia seca de brinjal

Record No.	Código	Fecha	Componente					
			Fuste		Ramas		Hojas	
			Ptmhc (g)	Pmhc + Pbpm (g)	Ptmhc (g)	Pmhc + Pbpm (g)	Ptmhc (g)	Pmhc + Pbpm (g)
	B_E1Pg1Sb1B							
1								
2								
3								
	B_E1Pg1Sb2B							
1								
2								
3								
	B_E1Pg2Sb1B							
1								
2								
3								
	B_E1Pg2Sb2B							
1								
2								
3								
	B_E2Pg3Sb1B							
1								
2								
3								
	B_E2Pg3Sb2B							
1								
2								
3								
	B_E1Pg1Sb1B							
1								
2								
3								
	B_E1Pg1Sb2B							
1								
2								
3								
	B_E1Pg2Sb1B							
1								
2								
3								
	B_E1Pg2Sb2B							
1								
2								
3								
	B_E2Pg3Sb1B							
	B_E2Pg3Sb2B							

B: Bosque; E: Estrato; Pg: Parcela grande; B: Brinjal; Ptmhc: Peso total muestra húmeda campo; Pmhc: Peso muestra húmeda campo; Pbpm: Peso bolsa plástica mediana.

Anexo 17. Registro para materia seca de hojarasca en campo

<b>Código</b>	<b>Fecha</b>	<b>Pbgc (g)</b>	<b>Ptmhc + Pbgc (g)</b>	<b>Pmhc + Pbpm (g)</b>
<b>B_E1Pg</b>				
1H				
2H				
<b>B_E2Pg</b>				
3H				
4H				
<b>B_E3Pg</b>				
5H				
6H				
<b>B_E1Pg</b>				
1H				
2H				
<b>B_E2Pg</b>				
3H				
4H				
<b>B_E3Pg</b>				
5H				
6H				
<b>B_E1Pg</b>				
1H				
2H				
<b>B_E2Pg</b>				
3H				
4H				
<b>B_E3Pg</b>				
5H				
6H				
<b>B_E1Pg</b>				
1H				
2H				
<b>B_E2Pg</b>				
3H				
4H				
<b>B_E3Pg</b>				
5H				
6H				

B: Bosque; E: Estrato; Pg: Parcela grande; H: Hojarasca; Pbgc: Peso bolsa grande campo; Ptmhc: Peso total muestra húmeda campo; Pmhc: Peso muestra húmeda campo; Pbpm: Peso bolsa plástica mediana.

Anexo 18. Registro de muestras para densidad aparente y materia orgánica del suelo

Fecha	Profundidad (cm)	DENSIDAD APARENTE		MATERIA ORGANICA	
		Código	Pmhc + Pbpp (g)	Código	Pmhc + Pbpp (g)
		B_E1Pg1d		B_E1Pg1s	
	0 – 30	1		1	
	30 – 60	2		2	
		B_E2Pg3d		B_E2Pg3s	
	0 – 30	1		1	
	30 – 60	2		2	
		B_E3Pg6d		B_E3Pg6s	
	0 – 30	1		1	
	30 – 60	2		2	
		B_E1Pg1d		B_E1Pg1s	
	0 – 30	1		1	
	30 – 60	2		2	
		B_E2Pg3d		B_E2Pg3s	
	0 – 30	1		1	
	30 – 60	2		2	
		B_E3Pg6d		B_E3Pg6s	
	0 – 30	1		1	
	30 – 60	2		2	
		B_E1Pg1d		B_E1Pg1s	
	0 – 30	1		1	
	30 – 60	2		2	
		B_E2Pg3d		B_E2Pg3s	
	0 – 30	1		1	
	30 – 60	2		2	
		B_E3Pg6d		B_E3Pg6s	
	0 – 30	1		1	
	30 – 60	2		2	
		B_E1Pg1d		B_E1Pg1s	
	0 – 30	1		1	
	30 – 60	2		2	
		B_E2Pg3d		B_E2Pg3s	
	0 – 30	1		1	
	30 – 60	2		2	
		B_E3Pg6d		B_E3Pg6s	
	0 – 30	1		1	
	30 – 60	2		2	

B: Bosque; E: estrato; Pg: Parcela grande; d: Densidad aparente; s: Muestra de suelo; Pmhc: Peso muestra húmeda en campo; Pbpp: Peso de bolsa plástica pequeña.

## Fotografías de la metodología utilizada en el campo



Reunión con actores locales de Nueva Quezada



Toma de rumbo para el establecimiento de parcelas



Medición del diámetro de los árboles fustales



Midiendo diámetro en regeneración



Midiendo altura de regeneración



Pesaje de biomasa de regeneración mediante el método directo



Colectando muestra de hojarasca



Colectando muestra de hojarasca



Obtención de muestra de suelo mediante el uso de barreno



Ampliando orificios para la obtención de muestra de suelo para densidad aparente



Extrayendo muestra de suelo para densidad aparente mediante el uso del cilindro

**Fotografías de actividades de apoyo a CATIE para la construcción del modelo alométrico para estimar biomasa en fustales**



Orqueta utilizada para el pesaje de biomasa de fustales mediante el método directo



Separando componentes (fuste, ramas y hojas) de los árboles



Pesaje directo de biomasa de fuste y ramas



Cubicando tocones



Preparación de muestras para laboratorio



Etiquetado de muestras para laboratorio