

**ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA AÉREA Y CONTENIDO DE CARBONO DE LA
ESPECIE FORESTAL SALADILLO (*Caraipa llanorum*) EN LA FINCA
CANAPRO FORESTAL, EN EL MUNICIPIO DE PUERTO CARREÑO,
DEPARTAMENTO DEL VICHADA**



**ANDRÉS FELIPE ARDILA FERNÁNDEZ
DIEGO FERNANDO MARTÍNEZ BOLAÑOS**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA FORESTAL
POPAYÁN
2012**

**ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA AÉREA Y CONTENIDO DE CARBONO DE LA
ESPECIE FORESTAL SALADILLO (*Caraipa llanorum*) EN LA FINCA
CANAPRO FORESTAL, EN EL MUNICIPIO DE PUERTO CARREÑO,
DEPARTAMENTO DEL VICHADA**



**Trabajo de grado en modalidad de investigación
para optar al título de Ingeniero Forestal**

**ANDRÉS FELIPE ARDILA FERNÁNDEZ
DIEGO FERNANDO MARTINEZ BOLAÑOS**

**Director:
MSc. ROMÁN OSPINA MOTEALEGRE
Ingeniero Forestal**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA FORESTAL
POPAYÁN
2012**

NOTA DE ACEPTACIÓN

El director y los jurados han leído el presente trabajo, han escuchado la sustentación del mismo por sus autores y lo encuentran satisfactorio.

José Franco Alvis
Presidente del Jurado

Edwin Rengifo
Jurado

M.Sc. Román Ospina Montealegre
Director

Popayán, 13 de Junio de 2012

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a nuestras familias quienes nos brindaron su apoyo incondicional; A Nuestro director M.Sc Román Ospina Montealegre persona que nos colaboró a lo largo de toda la investigación; A la Ingeniera Jeimmy Avendaño Reyes en representación de la organización Acción Verde quien nos dedicó muchas horas de su tiempo y fue un gran apoyo técnico; A todo el personal de trabajo de la finca Canapro Forestal que con esmero y dedicación nos apoyaron en las arduas jornadas de trabajo en campo; A la Cooperativa Canapro en cabeza del Señor David Moreno y el Ingeniero Heiyer Acosta quienes hicieron posible el desarrollo del trabajo brindándonos apoyo logístico y financiero.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	5
2.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.	EL CO ₂ Y EL CAMBIO CLIMÁTICO.....	6
2.2.	CAPTURA DE CARBONO POR PLANTAS.....	6
2.3.	BOSQUES NATURALES EN COLOMBIA.....	7
2.4.	BOSQUES DE GALERIA.....	8
2.5.	LA ESPECIE FORESTAL SALADILLO (<i>Caraipa llanorum</i>).....	8
2.6.	INVENTARIO FORESTAL.....	9
2.6.1.	Población.....	9
2.6.2.	Muestreo.....	9
2.6.3.	Muestreo aleatorio simple.....	10
2.6.4.	Muestreo estratificado.....	10
2.7.	VOLUMEN.....	10
2.7.1.	Funciones de volumen local o tarifas.....	11
2.7.2.	Funciones de volumen general.....	12
2.7.3.	Factor de forma.....	12
2.8.	BIOMASA FORESTAL.....	12
2.8.1.	Biomasa arriba del suelo.....	13
2.8.2.	Cuantificación de la biomasa forestal.....	13
2.9.	FACTOR DE EXPANSIÓN DE BIOMASA (FEB).....	13
2.10.	GENERACIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS.....	14
2.11.	CONSTRUCCIÓN DE MODELOS.....	14
2.12.	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD.....	15
2.13.	DENSIDAD ESPECÍFICA.....	15
2.13.1.	Clasificación de la madera según su densidad.....	15
2.14.	DETERMINACIÓN DE CO ₂ EN LA MADERA.....	16
3.	METODOLOGÍA.....	17
3.3.	LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	17
3.4.	INVENTARIO FORESTAL.....	18
3.5.	CUANTIFICACIÓN DEL VOLUMEN Y LA BIOMASA DE LOS ARBOLES DE SALADILLO.....	19
3.5.1.	Cuantificación del contenido de Carbono.....	24
3.6.	AJUSTE Y SELECCIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA CARBONO.....	24
3.6.1.	Validación de los modelos de volumen.....	26
3.7.	FACTOR DE EXPANSIÓN DE BIOMASA.....	26

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
4.1.	CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DEL SALADILLAL	27
4.2.	CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA PARA EL SALADILLO	28
4.3.	MODELOS DE BIOMASA.....	29
4.3.1.	Biomasa de las hojas.....	30
4.3.2.	Biomasa de las ramas.....	33
4.3.3.	Ecuación de volumen y biomasa del fuste.....	35
4.3.4.	Factor de expansión de biomasa (FEB).....	40
4.3.5.	Biomasa total	40
4.3.6.	Contenido de Carbono.....	43
5.	CONCLUSIONES.....	46
6.	RECOMENDACIONES	47
	BIBLIOGRAFIA.....	48
	ANEXOS.....	52

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema estratégico para la construcción y validación de un modelo...	14
Figura 2. Localización de la zona de estudio y de las parcelas sobre los 3 sitios seleccionados.....	17
Figura 3. Medición y marcación de árboles de <i>C. llanorum</i> registrados en el inventario forestal.....	19
Figura 4. Sistema de polisombra para atrapar las hojas durante el inventario destructivo de los árboles de <i>C. llanorum</i>	20
Figura 5. Clasificación de las ramas según el grado de la ramificación.....	21
Figura 6. Submuestras de biomasa recolectadas en diferentes compartimentos de cada árbol.....	22
Figura 7. División en secciones del fuste.....	23
Figura 8. Diagramas de dispersión de puntos para la relación dap contra altura, volumen, biomasa y contenido de carbono.....	25
Figura 9. Distribución diamétrica de los individuos de <i>C. llanorum</i> registrados en el inventario forestal.....	28
Figura 10. Relación entre variables dap y altura total para la especie <i>C llanorum</i> . Muestra de 30 individuos.....	30
Figura 11. Modelo ajustado para estimar la biomasa de las hojas de <i>C. llanorum</i>	31
Figura 12. Relación entre los datos observados (y) y los estimados (x) para la biomasa de las hojas de <i>C. llanorum</i>	31
Figura 13. Residuos estudiantizados del modelo para estimar la biomasa de las hojas para <i>C. llanorum</i>	32
Figura 14. Modelo ajustado para estimar la biomasa de las ramas de <i>C. llanorum</i>	34
Figura 15. Relación entre los datos observados (y) y los estimados (x) para la biomasa de las ramas de <i>C. llanorum</i>	34

Figura 16. Residuos estudentizados del modelo ajustado para estimar la biomasa de las ramas.....	35
Figura 17. Relación volumen de fuste observado y estimado, para los tres mejores modelos.....	36
Figura 18. Modelo ajustado para estimar el volumen del fuste de <i>C. llanorum</i>	37
Figura 19. Residuos estudentizados del modelo ajustado para estimar el volumen del fuste de <i>C. llanorum</i>	37
Figura 20. Modelo ajustado para estimar la biomasa del fuste de <i>C. llanorum</i>	38
Figura 21. Relación biomasa del fuste observada y estimada para <i>C. llanorum</i> ...	39
Figura 22. Residuos estudentizados para la biomasa del fuste de <i>C. llanorum</i>	39
Figura 23. Relación biomasa total observada y biomasa estimada para los dos mejores modelos.....	41
Figura 24. Modelo ajustado para estimar la biomasa total de <i>C. llanorum</i>	41
Figura 25. Residuos estudentizados para el volumen del fuste de <i>C. llanorum</i>	42
Figura 26. Modelo ajustado para estimar el contenido de Carbono de <i>C. llanorum</i>	44
Figura 27. Relación del contenido de Carbono observado y el estimado con el modelo.....	44
Figura 28. Residuos estudentizados para el contenido de carbono de <i>C. llanorum</i>	45

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de maderas según su densidad.....	16
Tabla 2. Número de árboles derribados por cada rango de dap determinado.....	19
Tabla 3. Estadísticos por hectárea para el inventario forestal para <i>C. Ilanorum</i>	27
Tabla 4. Resumen de los estadísticos de las variables medidas en el muestreo destructivo para <i>C. Ilanomrum</i>	29
Tabla 5. Resumen de los estadísticos para la biomasa seca medida en el muestreo destructivo de <i>C. Ilanorum</i>	29
Tabla 6. Selección del modelo de biomasa para las hojas de <i>C. Ilanorum</i>	30
Tabla 7. Resumen de los estadísticos calculados para la ecuación ajustada de la biomasa de las hojas de <i>C. Ilanorum</i>	31
Tabla 8. Selección del modelo de biomasa para las ramas de <i>C Ilanorum</i>	33
Tabla 9. Resumen de los estadísticos calculados para la ecuación ajustada de la biomasa de las hojas de <i>C. Ilanorum</i>	34
Tabla 10. Selección de los mejores modelos ajustados para estimar el volumen del fuste de <i>C. Ilanorum</i>	35
Tabla 11. Resumen de los estadísticos calculados para la ecuación ajustada del volumen del fuste de <i>C. Ilanorum</i>	37
Tabla 12. Resumen de los estadísticos calculados para la ecuación ajustada la biomasa del fuste de <i>C. Ilanorum</i>	39
Tabla 13. Resumen de estadísticos para el Factor de Expansión de Biomasa por categorías diamétricas de <i>C Ilanorum</i>	40
Tabla 14. Ecuaciones ajustadas para estimar la biomasa total de <i>C. Ilanorum</i>	40
Tabla 15. Resumen de los estadísticos calculados para la ecuación ajustada para estimar la biomasa total de <i>C. Ilanorum</i>	42
Tabla 16. Resumen de los estadísticos calculados para la ecuación ajustada para estimar el contenido de Carbono de <i>C. Ilanorum</i>	43

Tabla 17. Resumen de estadísticos calculados de las estimaciones por hectárea en bosques de <i>C. llanorum</i>	45
--	----

INDICE DE ANEXOS

Anexo A. Coordenadas de las parcelas del inventario forestal.....	53
Anexo B. Formulario de campo utilizado para registrar las variables del inventario forestal.....	54
Anexo C. Formulario de campo utilizado para registrar las variables del muestreo destructivo.....	55
Anexo D. Selección de modelos ajustados para estimar la biomasa de las hojas de <i>C. llanorum</i>	55
Anexo E. Selección de modelos ajustados para estimar la biomasa de las ramas de <i>C. llanorum</i>	55
Anexo F. Selección de modelos ajustados para estimar la biomasa total de <i>C. llanorum</i>	55
Anexo G. Selección de modelos ajustados para estimar el volumen del fuste de <i>C. llanorum</i>	56
Anexo H. Imagen de saladillal.....	56
Anexo I. Medición de las variables dap, altura total y altura comercial.....	57
Anexo J. Imágenes del pesaje de la biomasa de ramas y hojas.....	58
Anexo K. Medición de variables del fuste en el suelo.....	59

RESUMEN

El presente trabajo permitió determinar el volumen, la biomasa y el contenido de carbono por hectárea para los bosques de Saladillo (*Caraipa llanorum*) en la finca Canapro Forestal en el Municipio de Puerto Carreño, Departamento del Vichada. Se realizó un muestreo destructivo seleccionando 30 individuos de Saladillo a los que se les determinó su biomasa y contenido de carbono en el estrato aéreo. Se obtuvieron submuestras de la biomasa del fuste, ramas y hojas de cada árbol, y en campo se determinó el peso fresco tanto de las submuestras como de cada componente (hojas y ramas), excepto el fuste que fue cubicado utilizando la fórmula de Smalian, las muestras se llevaron al laboratorio para ser secadas y obtener su peso seco y posteriormente estimar la biomasa total de cada árbol, usando la relación peso seco - peso verde de las muestras. También se determinó la densidad y el contenido de carbono de la madera de esta especie por medio de pruebas efectuadas en laboratorio a muestras de madera recolectadas de tres árboles diferentes, que dieron como resultado una densidad de 0,65 kg/m³ y un contenido de carbono 52,96 % para la madera de la especie. Para estimar la biomasa se ajustó y generó la ecuación $BT = e^{-9,47559+2,56189*\ln(dap)}$ y para estimar el carbono la ecuación ajustada fue $C = e^{-10,2355 + 2,59771*\ln(dap)}$. Se halló también un factor de expansión de biomasa para la especie el cual dio como resultado 1,52.

Palabras claves: Biomasa, carbono, densidad, estimación, estrato, modelo.

ABSTRACT

This study determined the volume, biomass and carbon content per hectare for forests Saladillo (*Caraipa llanorum*) on the farm Canapro Forest in the Municipality of Puerto Carreño, Department of Vichada. Destructive sampling was conducted by selecting 30 individuals Saladillo those who were determined their biomass and carbon content in the air layer. Subsamples were obtained from the biomass of stem, branches and leaves of each tree, and field fresh weight was determined as both subsamples of each component (leaves and branches), except that the shaft was cubed Smalian using the formula, the samples were brought to the laboratory to be dried and obtain its dry weight and then estimate the total biomass of each tree, using the dry weight ratio - green weight of the samples. We also determined the density and carbon content of the wood of this species through laboratory tests on wood samples collected from three different trees, which resulted in a density of 0.65 kg/m³ and a content of carbon 52.96% for the wood of the species. To estimate the biomass was adjusted and generated the equation $BT = e^{-9,47559+2,56189*\ln(dbh)}$ and for estimating carbon balanced equation was $C = e^{-10,2355 + 2,59771*\ln(dbh)}$. Was also found a biomass expansion factor for the species which resulted in 1.52.

Keywords: Biomass, carbon, density, estimation, stratum, model.

GLOSARIO

ACPC: Asociación para la Conservación del Patrimonio de Cutivireni

Alometría: El estudio de relaciones existentes entre las dimensiones de las estructuras o parámetros asociados a los árboles y su representación a partir de funciones matemáticas.

Altura Comercial (hCial): Es la altura medida en metros desde la base del árbol hasta la primera ramificación.

Altura Total (h): Es la altura medida desde la base del árbol hasta el ápice medida en metros.

Biomasa: Materia orgánica de origen vegetal o animal

Cap: Circunferencia del fuste medida en centímetros a los 1.30 m desde la base del árbol.

Dap: Diámetro del fuste medido en centímetros a los 1.30 m desde la base del árbol

Dasometría: Definición de las variables básicas medidas en los árboles.

Error de estimación: Es una medida de precisión que corresponde con la amplitud del intervalo de confianza. Cuanta más precisión se desee en la estimación de un parámetro, más estrecho deberá ser el intervalo de confianza y, si se quiere mantener o disminuir el error, más ocurrencias deberán incluirse en la muestra estudiada

FEB: Factor de expansión de biomasa, Es la proporción directa entre la biomasa aérea total y la biomasa del fuste.

GPS: Sistema de Posicionamiento Global (su siglas en ingles por *Global Positioning System*).

Modelo matemático: Un sistema donde todos los comportamientos u opciones se pueden simular por medio de ecuaciones matemáticas cuyas variables están previamente establecidas de acuerdo a lo que se quiere contemplar.

Peso seco: La materia seca o peso seco es la parte que resta de un material tras extraer toda el agua posible a través de un calentamiento hecho en condiciones de laboratorio.

PNNC: Parques naturales nacionales de Colombia.

Rodal: Agrupación o conjunto de árboles de una o varias especies determinadas, establecido en forma natural o artificial.

Rodela: Sección en forma de disco obtenida del fuste o ramas.

Saladilla: Cobertura vegetal de sabanas arboladas en donde predomina la especie forestal saladillo (*Caraipa Ilanorum*).

Vegetación riparia: cuando crece o se establece a lo largo de un curso fluvial, porque un alto porcentaje de su flora es reófito, es decir presenta síndromes de dispersión por agua o es poco tolerante del déficit hídrico en los suelos.

Volumen: El volumen es una magnitud definida como el espacio ocupado por un cuerpo.

1. INTRODUCCIÓN

El dióxido de carbono es uno de los gases de efecto invernadero que más contribuye al calentamiento global, la tasa de incremento de este gas por año es de 1ppm y ante la preocupación por el constante aumento de este gas, se han implementado diferentes estrategias para capturarlo y reducir su concentración en la atmosfera (Díaz, *et ál*, 2007). Alrededor del 40 % del contenido total de carbono de la tierra y el 36 % de la productividad primaria neta (PPN), corresponde a los bosques tropicales, es por esto que existe la necesidad de conservar los bosques para reducir la tasa de aumento de CO₂ en la atmósfera, requiriendo de realización de mediciones y de monitoreo, donde el punto de partida lo constituye la estimación de biomasa en el ecosistema (Agudelo, 2009). Por esta misma razón es que Schleguel (2001) menciona en su informe que la estimación adecuada de la biomasa de un bosque es un elemento de gran importancia ya que ésta permite determinar los montos de carbono y otros elementos químicos presentes en cada uno de los componentes y representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmosfera o conservado y fijado en una determinada superficie cuando los bosques son manejados para alcanzar los compromisos de mitigación de gases de efecto invernadero.

Así mismo Fonseca, *et ál* (2009) asegura que el carbono se puede estimar a través de la biomasa de los árboles, por esta razón es que el uso de modelos estadísticos para su estimación ha aumentado en los últimos años y posiblemente sean más los desarrollados para especies individuales que para bosques. Para lograr esto se han utilizado varios tipos de modelos de regresión y combinación de variables, en los que en general, el dap es la variable que mejor se correlaciona teórica y estadísticamente y predice la biomasa de los árboles, siendo esto ventajoso ya que ésta es una variable de fácil medición y que se registra en la mayoría de los inventarios forestales.

Este estudio tuvo como propósito determinar el contenido de biomasa forestal aérea y la cantidad de carbono capturado para la especie Saladillo (*Caraipa llanorum*). Se planteó determinar las relaciones existentes entre las variables dasométricas y el carbono contenido en los diferentes compartimentos (fuste, ramas y hojas) de la especie forestal y ajustar ecuaciones que permitieran estimar la biomasa aérea acumulada en el bosque. De otro lado, se calculó el factor de expansión de biomasa (FEB) para el ajuste del cálculo de la biomasa total por árbol.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. EL CO₂ Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

Algunos de los gases presentes en la atmósfera - llamados gases de efecto invernadero (GEI) – impiden el escape hacia el espacio del calor emitido por la energía solar, este es un efecto natural que mantiene la tierra a una temperatura promedio arriba del punto de congelación del agua y permite la vida tal como se conoce; sin embargo, las actividades humanas están produciendo un exceso de GEI (principalmente dióxido de carbono, metano y óxido nitroso) que están calentando el clima de la tierra, un proceso conocido como cambio climático; como por ejemplo, las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, el GEI antropogénico más importante debido a su volumen, han aumentado en un 80% entre 1970 y 2004, con un aumento concurrente de las temperaturas globales los cuales se deben principalmente a la utilización de combustibles de origen fósil y en una parte apreciable pero menor, a los cambios de uso de la tierra (IPCC, 2007). De la misma forma Márquez, *et ál* (2000) estima que un 75% de las emisiones de GEI vienen de la quema de combustibles fósiles y la deforestación, junto con la quema de los bosques contribuyen ya que liberan CO₂ a la atmosfera, debido a que los árboles fijan dióxido de carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis y lo almacenan en su biomasa, al reducir la extensión de bosques, se reduce la capacidad para absorber las emisiones globales de los gases de efecto invernadero, que cada año aumentan.

Como indican los estudios citados por Ortega, *et ál* (2010), en los últimos años, el problema del cambio climático ha tomado resonancia internacional y diversos informes han llamado la atención sobre la necesidad de enfrentarlo; entre ellos se encuentra el último Informe de Desarrollo Humano, que señala que el cambio climático es el más grande reto que la humanidad está afrontando en el momento, y los costos de inacción frente al este sobrepasan con creces los costos de tomar acciones tempranas y urgentes.

2.2. CAPTURA DE CARBONO POR PLANTAS

El proceso de captura de carbono, se produce una vez que las plantas absorben CO₂ de la atmósfera a través del proceso de fotosíntesis, el CO₂ capturado participa en la composición de materias primas como la glucosa, para formar las estructuras de la planta y es almacenado en su tejido en forma de biomasa aérea (hojas, ramas, tallos) y subterránea (raíces gruesas y finas) o en el suelo (degradación de biomasa proveniente de la planta u órganos leñosos y no

leñosos) en forma de humus estable que aporta CO₂ al entorno (Vallejo, *et ál*, 2005).

La pérdida de carbono, o la liberación de CO₂ a la atmósfera, ocurre a través de la respiración de las plantas, el suelo y la descomposición de la materia orgánica muerta o necromasa, aunque la respiración vegetal y la descomposición de materia orgánica libera gran cantidad de CO₂ a la atmósfera, estas emisiones han estado durante siglos en balance con el dióxido de carbono absorbido por la vegetación terrestre y por los océanos (Nakama, *et ál*, 2011).

Los bosques templados y tropicales del mundo tienen la capacidad de capturar y conservar más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo. La medición de carbono, parte de una estimación de biomasa del ecosistema forestal, estudios han demostrado que en promedio la materia vegetal contiene un 50% de carbono, una vez se ha removido el agua, estos monitoreos, se pueden realizar en cualquier ecosistema y su información permite establecer la capacidad de almacenamiento de los bosques en relación con determinadas variables ambientales (Vallejo, *et ál*, 2005).

2.3. BOSQUES NATURALES EN COLOMBIA

Colombia ocupa el séptimo lugar en el mundo con mayor área de cobertura forestal en cuanto a bosques tropicales representando el 6,42% de la oferta total para América del sur tropical y el 1,5 de los bosques del mundo y se ubica como el segundo con el mayor número de especies de plantas en su interior además, es el séptimo país que contiene la mayor parte de la “frontera forestal” del globo (Ortega, *et ál*, 2010).

La importancia de estos bosques en Colombia y el mundo como retenedores de carbono radica en que la vegetación, a través de la fotosíntesis, transforma la energía solar en energía química, absorbiendo CO₂ del aire para fijarlo en forma de biomasa, y libera a la atmósfera oxígeno (O₂), esta cobertura vegetal, en particular, juega un papel preponderante en el ciclo global del carbono (C) ya que almacenan grandes cantidades de C en su biomasa aérea (tronco, ramas, corteza, hojas y raíces) y en el suelo (mediante su aporte orgánico), intercambian C con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, son fuentes de emisión de C cuando son perturbados por causas naturales, por ejemplo incendios, avalanchas, etc. o antrópicas, como la deforestación, la cual según Márquez, *et ál*, (2000) contribuye en un 20 % con las emisiones anuales de CO₂, la quema, aprovechamientos forestales sin medidas silviculturales, etc. Pero al mismo tiempo funcionan como sumideros (transferencia neta de CO₂ del aire a la vegetación y al

suelo, donde son almacenados) cuando se abandonan las tierras perturbadas, que se recuperan mediante la regeneración natural (CIEFAP, 2011)

2.4. BOSQUES DE GALERÍA

Los bosques de galería, como otras formaciones arbóreas o arbustivas de otro tipo, sobresalen en la matriz herbácea de la Sabana Tropical de Colombia, como corredores a lo largo de los cursos de agua o como parches aislados bien drenados dentro de la altillanura. Los bosques de galería son ecosistemas estratégicos que cumplen la función de mantenimiento del equilibrio ecológico y de la biodiversidad ya que, contribuyen a la regulación climática e hídrica, conservación de suelos y depuración de la atmósfera (PNNC, SF). Estas formaciones son el resultado de la heterogeneidad espacial dada por las limitaciones edáficas y la estacionalidad climática que determinan la dinámica vegetativa, reproductiva y de las quemas; como resultado la estructura de los bosques de galería en los Llanos Orientales, está constituida por bosque medio-alto semi-denso con presencia de palmas, vegetación secundaria y sectores con cultivos transitorios; mientras en la altura del estrato arbóreo varía según la posición fisiográfica, y en cuanto a su uso es importante la extracción de madera que según su grado de intervención es moderado (Quintero, 2001).

La vegetación riparia aparece como una formación arbórea o arbustiva frondosa de distribución lineal o que serpentea los caminos del agua, que contrasta fuertemente con el paisaje circundante, razón por la que ha sido denominada vegetación o bosque de galería (Aguilella, 2004).

2.5. LA ESPECIE FORESTAL SALADILLO (*Caraipa llanorum*)

El Saladillo (*Caraipa llanorum*) pertenece a la familia Clusiaceae, es una especie que puede alcanzar alturas mayores a 20 metros, tienen hojas alternas simples con venación terciaria finamente paralela, fruto en cápsula trigonal ovoide, usualmente un poco asimétrica, sus flores son pequeñas y blancas; la corteza rosada desprende una resina que se torna roja al contacto con el aire; es una especie maderable empleada en construcciones locales de corrales, cercos y casas, su agente dispersor es el viento (Quintero, 2001). El Saladillo tiene albura de color marrón claro y duramen de color marrón rojizo oscuro, transición abrupta entre albura y duramen; olor y sabor ausente; lustre mediano; grano recto a entre cruzado; textura fina; dura y pesada; anillo de crecimiento no definidos; porosidad difusa; poros con tendencia a la disposición radial-oblicua, solitarios, 14 poros por mm² (Holmquist, *et ál*, 2006).

Ecológicamente, la especie habita en sabanas, así como en las márgenes de ríos y depresiones periódicamente anegadas. El Saladillo crece formando manchas puras principalmente, tiene la capacidad de resistir inundaciones prolongadas y una muy buena resistencia a los incendios, algo que en esta zona es muy común en época de verano (Jaramillo, 2007).

2.6. INVENTARIO FORESTAL

El inventario forestal es la suma de informaciones relativas a la ubicación, extensión, naturaleza, estado y capacidad productora de las áreas forestales en la actualidad y su probable evolución en el futuro (Cogolludo, 2000). El inventario juega un papel importante en la toma de decisiones en el manejo forestal y la silvicultura, ya que provee los datos iniciales y a menudo los únicos datos a partir de los cuales el silvicultor fija el marco silvicultural que debe llevar a cumplir con los objetivos de los propietarios o usuarios de los bosques a manejar (Louman, *et ál*, 2001).

En términos cuantitativos, el inventario determina el número de especies o en este caso el número de individuos por unidad de área y variables dasométricas como dap, altura comercial y altura total de cada uno de los individuos inventariados. Después de procesar esta información de campo es posible determinar el área basal y el volumen comercial estimado por unidad de área (Pinelo, 2004).

2.6.1. Población. Una población forestal puede ser cualquier superficie arbolada, que para el caso de los inventarios forestales se llaman unidades de inventario o parcelas y está integrada por individuos que se describen mediante un conjunto único de parámetros (Prodán, *et ál*, 1997). Cuando los individuos de una población se ubican en un mismo lugar y es fácil de contar todas las unidades (la población); este se llama un inventario forestal total o al 100% (Louman, *et ál*, 2001).

2.6.2. Muestreo. Los parámetros que describen el estado de poblaciones forestales son determinados casi siempre en base a muestras que incluyen un pequeño número de los individuos de la población, seleccionados de manera que la representen adecuadamente. De esta manera, los parámetros no son determinados sino estimados y las expresiones empleadas se denominan estimadores (Prodán, *et ál*, 1997). Se debe asegurar que la forma de seleccionar la muestra estadística y su tamaño incluya toda la variación de valores de la(s) variable(s) independiente(s), como dap y alturas, para que exista una representatividad de la muestra sobre la población; además, las repeticiones del muestreo deben dar resultados muy similares al del primer muestreo, lo que indica que la muestra es confiable; esto significa que se necesita establecer un tamaño

de muestra lo bastante grande para incluir toda la variabilidad, y que se tiene que escoger las unidades de muestreo de manera que se minimice o excluya el sesgo por determinadas fuentes; para los bosques húmedos tropicales latifoliados, las unidades de muestreo son parcelas, la población total es el número total de parcelas que conforman el bosque, si se realizara un inventario total (Louman, *et ál*, 2001).

2.6.3. Muestreo aleatorio simple. El objetivo de todo diseño muestral es estimar adecuadamente los parámetros de estado de una población y el error que afecta a la estimación; el muestreo aleatorio simple (MAS) es básico para prácticamente todos los otros diseños muestrales, es aplicable a la descripción muestral de cualquier población, cuya estructura permite el acceso a la muestra para todos los individuos que la integran, a lo que previamente se les ha asignado una misma probabilidad de selección; este tipo de muestreo es probablemente la estrategia mas ineficiente de muestreo, pero presenta la ventaja de que las estimaciones del total y promedio poblacional y sus errores serán insesgadas, siempre que las dimensiones de los individuos se determinen sin sesgo (Prodán, *et ál*, 1997).

2.6.4. Muestreo estratificado. El proceso de estatificación consiste en dividir una población en subpoblaciones o estratos que son muestreados de forma independiente, de modo que pueden efectuarse estimaciones por estrato y una estimación global de sus parámetros; los estratos pueden corresponder a diferentes tipos boscosos, los cuales pueden diferenciarse según la composición de especies, manejo o estado de intervención, estructura, estado de desarrollo, etc. (Prodán, *et ál*, 1997).

La estratificación es muy importante para obtener una mayor precisión en la estimación de los parámetros de la estructura del bosque, así como una reducción del error de estimación de los mismos, debido a una menor variabilidad entre individuos dentro de los estratos, en comparación con la varianza entre individuos de la población y mayor diferenciación entre ellos, mientras mas pequeña es la variación dentro de los estratos mas eficiente es la estimación con estratificación (Prodán, *et ál*, 1997; Louman, *et ál*, 2001).

2.7. VOLUMEN

La estimación del volumen del árbol individual es un problema relevante en dendrometría e inventarios forestales, ya que la dificultad en la determinación directa del volumen mediante la cubicación de secciones hace conveniente contar con expresiones matemáticas que, basadas en una muestra objetivamente seleccionada y cuidadosamente medida, permitan estimar el volumen de los

árboles sobre la base de mediciones simples. También se debe definir clara y objetivamente a qué volúmenes se hace referencia, dado que existen muchos casos en que la ausencia de esta definición ha provocado malentendidos sobre las existencias en referencia y una errónea toma de decisiones. Cabe tener en cuenta que las especies cuyo tronco se prolonga para formar un fuste principal que no se divide, como el de las coníferas, es denominado excurrente, en contraposición al tronco de las latifoliadas, que presentan el fuste dividido en la porción alta denominado delicuescente; es así, como la estimación de volúmenes del fuste o tronco principal que, por lo general, se presenta la porción del árbol con mayor valor comercial y, en una gran mayoría de las veces, es la única de interés (Prodán, *et ál*, 1997).

Según el manual de la FAO (1981), se presentan diversas definiciones de volúmenes entre ellas el volumen bruto, neto, total, de las ramas, industrial y de productos.

Volumen bruto: Es el volumen de una parte específica de un árbol con corteza y sin deducción por defectos.

Volumen neto: Volumen de una parte específica de un árbol sin corteza, hechas las deducciones por defecto o partes no útiles.

Volumen total: Volumen correspondiente al fuste principal de un árbol.

Volumen de ramas: Para los árboles de forma excurrente, el volumen de todas las ramas; para los árboles de forma delicuescente, hasta el punto de inicio de la copa (y algunas ramas que puedan salir de mas abajo).

Volumen industrial: El volumen neto potencialmente útil de madera rolliza, sin deducción por pérdidas debidas a la utilización de tipos de corta y procesos de manufactura; es igual a la suma de volúmenes de trozas más otros volúmenes aprovechables.

Volumen de productos: Volumen neto de un árbol, considerado apropiado para trozas para chapas, trozas de aserrío, trozas para durmientes, pilotes y postes; este volumen se puede identificar como madera pulpable.

2.7.1. Funciones de volumen local o tarifas. Las funciones de volumen local o tarifas relacionan el volumen del árbol con una o mas variables independientes, generalmente el diámetro normal o de referencia o transformaciones y potencias de esta misma variable; el calificativo de local se debe a que estas funciones son de aplicación limitada al área, para la cual es aplicable la relación diámetro/altura implícita en el modelo de volumen (Prodán, *et ál*, 1997).

2.7.2. Funciones de volumen general. Se denominan funciones generales de volumen los modelos que estiman el volumen con dos o mas dimensiones del árbol, por lo general el diámetro y la altura total o comercial y en algunos casos una expresión o factor de forma, denominándose a éste último funciones de volumen de clase de forma; éstas funciones generales de volumen son de aplicación más amplia que las locales, debido a que la relación diámetro- altura está explícita en el modelo, lo que facilita su uso para clases de edad y sitio diferentes (Prodán, *et ál*, 1997).

2.7.3. Factor de forma. La necesidad de describir la variación del diámetro a lo largo del fuste dio lugar a diversos métodos para expresar el ahusamiento o conicidad, estos se llaman series de ahusamiento y se basan en la división relativa o absoluta del fuste; por medio de la fórmula de Hohenadl (citado por Prodán, *et ál*, 1997) que define la serie de ahusamiento real o verdadera basándose en cinco secciones, para cada una de las cuales calcula el correspondiente cociente de forma real dado por simples relaciones, refiriéndolas todas al diámetro central de la primera sección a un décimo de la altura o a nueve decimos desde la punta del árbol, este cociente de forma real es utilizado para hallar un factor de forma verdadero del fuste; este factor de forma de madera gruesa o de cualquier otro factor de reducción que se refiera a una parte determinada del volumen del fustal, puede ser deducido de la estructura volumétrica del fuste, por esta razón, las especies tienen su forma específica, también factores de forma característicos; estas características específicas por especie que se determinan por medio de la utilización de cocientes de forma presentan una relación del factor de forma y los atributos medibles dentro del rodal (dap, altura total, altura comercial, cociente de forma), y la precisión de la relación en todos los casos se puede estimar, por eso, para fines prácticos y científicos, el factor de forma se expresa en función de estos elementos, mientras mas elementos se miden se espera que, mas exacta sea la estimación del factor de forma, trabajos científicos han demostrado que entre el diámetro de un rodal y el factor de forma verdadero solo existe una correlación muy baja (Prodán, *et ál*, 1997).

2.8. BIOMASA FORESTAL

La biomasa forestal se define como el peso (o estimación equivalente) de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo. Esta, normalmente es cuantificada en toneladas por hectárea de peso verde o seco, frecuentemente es separada en componentes, donde los más típicos corresponden a la masa del fuste, ramas, hojas, corteza, raíces, hojarasca y madera muerta; siendo así, la determinación adecuada de la biomasa de un bosque, un elemento de gran importancia debido a que ésta permite determinar los montos de carbono y otros elementos químicos existentes en cada uno de sus

componentes, información que es de especial relevancia en la actualidad, debido a la necesidad de conocer los montos de carbono capturados por los bosques naturales y plantaciones, como un medio para mitigar los cambios climáticos generados por el consumo de combustibles fósiles, entre otros, que liberan una gran cantidad de dióxido de carbono a la atmósfera (Schlegel, *et ál*, 2000).

2.8.1. Biomasa arriba del suelo. Este tipo de biomasa comprende árboles, vegetación arbustiva y vegetación herbácea; aunque en muchos casos la vegetación herbácea por su baja contribución en términos de fijación es omitida, pero para el caso de los bosques tropicales esta tiene un valor bastante significativo (Márquez, *et ál*, 2000).

2.8.2. Cuantificación de la biomasa forestal. Aproximadamente el 50% de la biomasa forestal está constituida por carbono, de esta manera su cuantificación proporciona estimaciones de los reservorios de este gas en la vegetación. Considerar la densidad de la biomasa también suministra los medios para cuantificar el dióxido de carbono que puede ser removido de la atmósfera por los bosques (Brown, 1997).

La biomasa forestal se puede determinar utilizando métodos destructivos y no destructivos por medio de mediciones de volumen. En el primer método, se requiere cortar los árboles en una parcela de área conocida y pesar cada una de sus partes (fuste, ramas y hojas) directamente, determinando posteriormente su peso seco; asimismo, para la estimación de la biomasa con métodos no destructivos se hacen cálculos de volumen a partir de mediciones en campo de algunas variables dasométricas como diámetro y altura y cálculos de área basal y densidad del bosque, aunque con el método destructivo se obtienen datos más confiables del volumen de un árbol (Russo, 2009).

2.9. FACTOR DE EXPANSIÓN DE BIOMASA (FEB)

Se define como una función que representa la relación entre biomasa aérea total de árboles y la biomasa del fuste calculado a partir del volumen estimado para una hectárea.

Estas relaciones son calculadas para inventarios de diferentes tipos de bosques desde jóvenes a maduros y desde bosques secos a muy húmedos, y permiten, una vez se tenga la fórmula para esta relación por tipo de bosque o especie, estimar biomasa aérea total, a partir de los datos de volumen comercial por hectárea o biomasa fustal por hectárea que son datos más fáciles de obtener en los inventarios forestales (Brown, *et ál*, 1989).

2.10. GENERACIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS

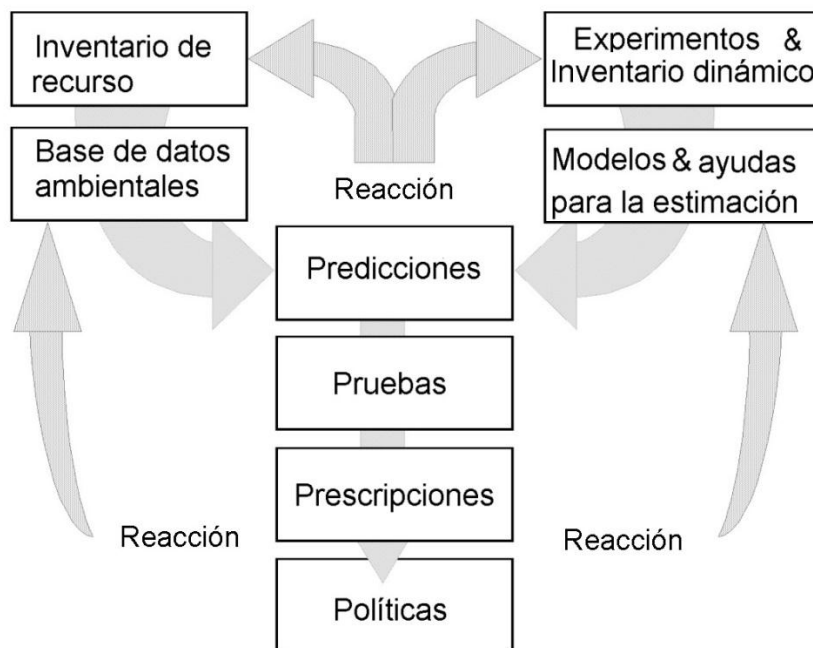
Los modelos alométricos son ecuaciones matemáticas que permiten estimar el volumen, biomasa o carbono de árboles, arbustos y palmas en función de unas pocas variables de fácil medición, tales como el diámetro del fuste a la altura del pecho (dap) y/o la altura total (Segura y Andrade, 2008).

La ventaja plausible de la técnica es que las prácticas destructivas se realizan una sola vez y a partir de las ecuaciones generadas, por ejemplo, se puede estimar la variable independiente basándose en datos de inventarios forestales (Arreaga, 2002).

Diferentes autores se han basado en ecuaciones ya establecidas para la cuantificación de biomasa en el trópico pero han generado propias como por ejemplo Segura y Kanninen (2005), donde proponen el uso de metodologías destructivas siguiendo algunos criterios estadísticos como el coeficiente de determinación, el error estándar de la estimación, entre otros, y la generación de modelos alométricos que incluyan las variables dap y biomasa aérea total principalmente.

2.11. CONSTRUCCIÓN DE MODELOS

Figura 1. Esquema estratégico para la construcción y validación de un modelo.



Fuente: Vanclay, 2004

Existen muchas técnicas para ajustar ecuaciones entre ellas las técnicas de regresión que resultan apropiadas para el caso de relaciones entre variables asociadas a árboles individuales y rodales completos. Sin embargo, la escogencia de la técnica estará siempre supeditada a la calidad del modelo, entendida esta como la capacidad de generar datos insesgados y a la practicidad o versatilidad del mismo desde el punto de vista operativo a la hora de hacer estimaciones (Vanclay, 1994; Andenmatten y Letourneau, 2006). La Figura 1 ilustra el esquema estratégico para la construcción y validación de un modelo forestal.

2.12. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad es la cantidad de agua presente en una pieza de madera, expresado en porcentaje (%). Para conocer el contenido de humedad de una muestra, se debe obtener la diferencia entre su peso húmedo y peso seco en gramos, dividir sobre el peso seco y finalmente multiplicar por 100 (Esarte, 2009)

$$CH\% = \frac{\text{peso humedo} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} * 100$$

2.13. DENSIDAD ESPECÍFICA

La densidad o gravedad específica, es una característica asociada con el peso y la dureza, definida como la relación entre la masa y la unidad de volumen. La gravedad específica depende de la cantidad y tipo de elementos celulares que constituyen a cada especie, pero también se ve influenciada por el grosor de la pared celular de dichos elementos. Por otra parte la mayoría de las propiedades físicas y mecánicas de la madera como dureza, peso y resistencia al impacto y a la abrasión están directamente relacionados con la gravedad específica (Aguilar *et ál*, 2001)

2.13.1. Clasificación de la madera según su densidad. Según la clasificación hecha por Sallenave (citado por Díaz, 2005), las maderas se clasifican según su densidad tal y como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de maderas según su densidad

Clase	Densidad Kg/m ³	
	Coníferas	Latifoliadas
Muy livianas	< 0,400	< 0,500
Livianas	0,400 - 0,499	0,500 - 0,649
Semi-pesadas	0,500 - 0,599	0,650 - 0,799
Pesadas	0,600 - 0,700	0,800 - 0,950
Muy pesadas	> 0,700	> 0,950

Fuente: Díaz, 2005

2.14. DETERMINACIÓN DE CO₂ EN LA MADERA

El Análisis Elemental es una técnica instrumental utilizada para la determinación de los porcentajes de Carbono, Hidrógeno y Nitrógeno, en muestras en estado sólido y líquido, estable e inestable, de todo tipo de productos, como de síntesis, productos farmacéuticos, aceites, polímeros etc.

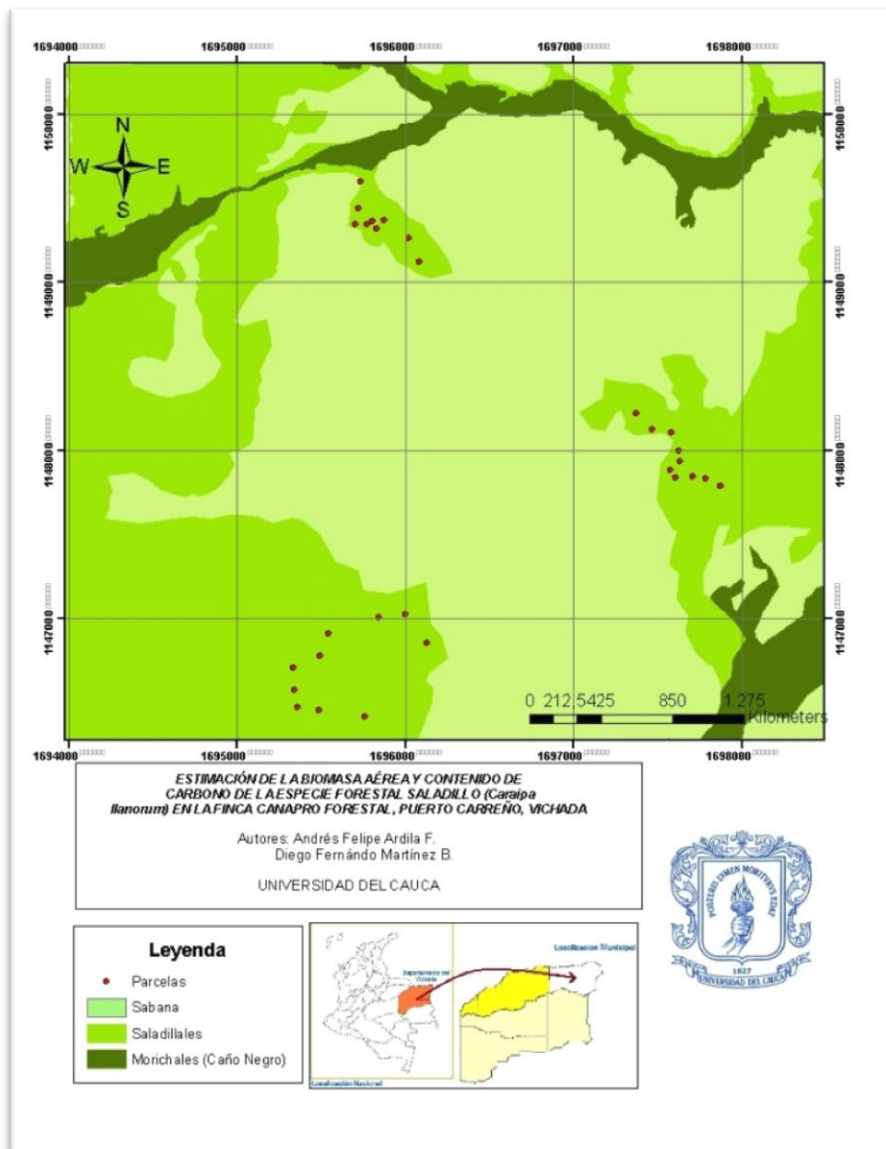
Se trata de una técnica destructiva, en la que una muestra se somete a una Oxidación térmica, en ambiente de Oxígeno, con lo que se consigue la conversión y separación total y cuantitativa de sus componentes en CO₂ (Carbono), H₂O (Hidrógeno) y N₂ (Nitrógeno). Esta técnica es imprescindible para la determinación de la pureza de una muestra y por tanto es necesario, que esta, este libre de disolventes e impurezas que variarían los porcentajes teóricos de Carbono, Hidrógeno y Nitrógeno. Es además útil para confirmar la fórmula molecular de un compuesto, información que es útil para el resto de las técnicas de caracterización (Morrison y Boyd, 1998).

3. METODOLOGÍA

3.3. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en los predios de la Finca Canapro Forestal, ubicada al sur occidente de la cabecera municipal de Puerto Carreño, Departamento del Vichada situado en el extremo oriental del país, en la región de la Orinoquía. Localizado entre los 06°19'34" y 02°53'58" de latitud norte y 67°25'1" y 71°7'10" de longitud oeste (Figura 2).

Figura 2. Localización de la zona de estudio y parcelas sobre los sitios seleccionados.



El Municipio de Puerto Carreño se encuentra localizado en el extremo nororiental del Departamento del Vichada, con 6°11'20" de latitud Norte y 67°29'10" de longitud Oeste, a una altura de 50 m.s.n.m. (CORPORINOQUIA, 2008). Esta zona de sabanas tiene precipitación promedio anual de 2.000 mm, no obstante, la precipitación tiene un régimen monomodal, el cual se caracteriza por una temporada de intensas lluvias (aproximadamente 6 meses) y luego una temporada de prolongada sequía (Gómez, *et ál*, 2003).

El área total del predio es de 7.522,38 hectáreas, el cual presenta tres sitios diferentes correspondientes a cobertura vegetal de sabanas arboladas, en donde la especie predominante es el Saladillo (*Caraipa llanorum*), las alturas de los sitios escogidos se encontraron entre los 55 a 84 m.s.n.m; estos "Saladillales" o sitios donde predomina el Saladillo (Anexo H), se encuentran generalmente al borde de los bosques de galería constituidos por vegetación arbórea ubicada en las márgenes del curso de agua de Caño Negro.

3.4. INVENTARIO FORESTAL

Se realizó un inventario forestal con el propósito de conocer los parámetros productivos del bosque como volumen, área basal y densidad por hectárea, el inventario se hizo sobre una muestra correspondiente a 30 parcelas con forma circular, de radio 12,61 metros cada una (0,05 hectáreas), las cuales fueron georeferenciadas con ayuda de un GPS (*Global Positioning System*) (Anexo A), las parcelas fueron seleccionadas en tres saladillales sugeridos por los conocedores de la zona, quienes tenían el referente de la presencia de estos ecosistemas dentro de la finca, dado que no existía información cartográfica sobre las diferentes coberturas dentro del predio. Las parcelas se seleccionaron de manera aleatoria en campo, iniciando en un punto cercano a la carretera dentro de cada bosque. La distancia entre las parcelas se determinó utilizando la función random de la calculadora, teniendo en cuenta los dos primeros dígitos de cada resultado y despreciando los menores a 25; éstos resultados indicaron el número de pasos a caminar desde el centro de una parcela hasta el centro de la siguiente parcela, muestreando diez parcelas por cada saladillal y registrando todos los individuos de Saladillo en estado fustal (dap mayor o igual a 10 cm; Anexo B).

Las variables registradas fueron altura total y comercial en metros, la cuales fueron medidas con un clinómetro; circunferencia a la altura del pecho (Cap) en centímetros. Para obtener el diámetro a la altura del pecho (dap) se dividió el Cap entre el valor de π (3,14159265). Otras variables registradas fueron diámetro de la copa y el estado fitosanitario de cada individuo, durante el muestreo en las parcelas se marcaron con pintura roja los individuos registrados (Anexo I, Figura 3).

Figura 3. Medición y marcación de árboles de *C. llanorum* registrados en el inventario forestal.



3.5. CUANTIFICACIÓN DEL VOLUMEN Y BIOMASA DE LOS ARBOLES DE SALADILLO

La obtención de los datos necesarios para ajustar las ecuaciones o modelos de estimación de biomasa para el saladillo, se hizo a partir de un muestreo destructivo, buscando obtener a partir de mediciones directas, valores mas representativos y reales de acuerdo a lo sugerido por Segura y Andrade (2008). Para la presente investigación se derribaron 30 árboles distribuidos de forma aleatoria en toda la sabana arbolada dentro de la Finca Canapro Forestal. Esta muestra se seleccionó de manera aleatoria estratificada, en la cual las categorías diamétricas (con amplitud de 10 centímetros) presentes en la población fueron consideradas como estratos (Tabla 2).

Tabla 2. Número de árboles derribados por cada rango de dap determinado.

Parámetro	Rangos de dap (cm)				Total árboles
	≥10 hasta 20	>20 hasta 30	>30 hasta 40	>40	
No. de árboles	5	10	10	5	30

Para la selección de los árboles a derribar se tuvo en cuenta el rango del dap, que se encontraran con buen aspecto general, preferiblemente que no estuvieran en el borde de los Saladillales y que estuvieran fuera de las parcelas muestreadas en el inventario forestal. A cada árbol escogido le fueron registradas las variables en píe como dap, altura total y altura comercial. Con el fin de evitar la pérdida de hojas al momento de la caída del árbol, fue necesario extender una polisombra sobre el

piso en la misma dirección de la caída del árbol, calculando que la copa cayera sobre ella (Figura 4).

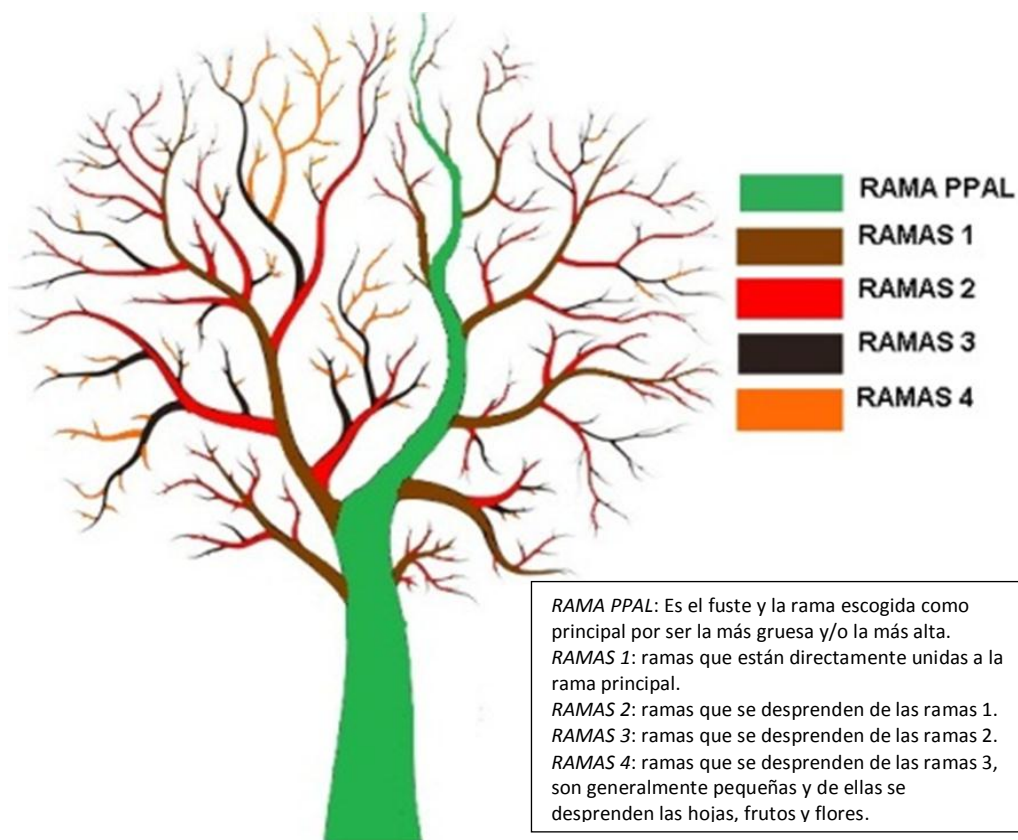
Figura 4. Sistema de polisombra para atrapar las hojas durante el inventario destructivo de los árboles de *C. lanorum*.



Para cuantificar la biomasa de cada árbol derribado se utilizó el método directo de muestreo destructivo, obteniendo directamente en el campo y por separado el peso fresco de hojas (Bh) y de ramas (Br) (Anexo J).

Después de derribado el árbol se separaron las hojas de las ramas de las cuales se extrajo una submuestra de 500 gramos, posteriormente las ramas se separaron del fuste, estas últimas se agruparon de forma separada en varios compartimientos dividiéndolas como se muestra en la Figura 5.

Figura 5 Clasificación de las ramas según el grado de la ramificación.



Para separar las ramas del fuste o rama principal y agruparlas según el tipo de ramas, se utilizó el machete y la motosierra; cada grupo se pesó con ayuda de una balanza. El registro de datos se hizo en un formulario de campo, donde también se anotó la longitud y el diámetro del tocón, la longitud total del fuste medida desde la altura del tocón hasta la rama mas larga (altura total), la longitud desde la base del árbol hasta la primera bifurcación (altura comercial) con ayuda de una cinta métrica (Anexo C). Posteriormente, se extrajeron y pesaron 3 rodelas obtenidas de diferentes partes del fuste (tocón, medio y ápice) (Figura 6). Estas submuestras fueron llevadas a un horno en el cual se calentaron a una temperatura constante, monitoreando su peso hasta que fuera estable, de esta manera se estimó el contenido de materia seca. La biomasa se expresó en peso seco, y se halló por medio de la formula presentada a continuación y recomendada por Segura y Andrade (2008).

$$B = \frac{Pf * Ms}{100}$$

donde;

B = biomasa del componente (kg)

P_f = peso fresco del componente (kg)
 M_s = masa seca del componente (%)

Figura 6. Submuestras de biomasa recolectadas en diferentes compartimentos de cada árbol



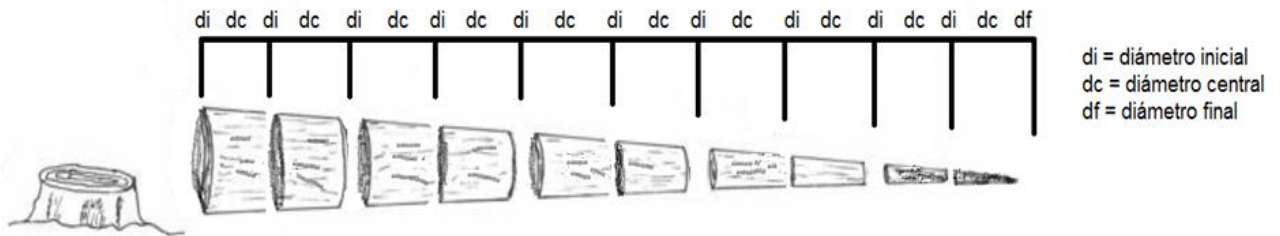
La biomasa del fuste (B_f) se obtuvo multiplicando su volumen por la gravedad específica de la madera, la cual se halló utilizando tres muestras o probetas extraídas de tres árboles seleccionados a lo largo del trabajo de campo (árbol 1, árbol 15, y árbol 30), las dimensiones de las probetas fueron 15 x 5 x 5 centímetros; cada una de estas probetas fueron secadas en un horno hasta obtener un peso constante. Después de registrar su peso seco se procedió a hallar su volumen por medio del principio de Arquímedes por ser el método más confiable y más sencillo según Chave (2006), el cual consistió en poner un recipiente con agua con un volumen conocido ($0,99 \text{ kg/m}^3$) sobre una gramera o balanza electrónica, seguido de tabular la balanza (la balanza marca 0, teniendo un peso encima o peso de referencia), para por último sumergir la muestra con ayuda de una pinza, y el peso marcado por la balanza es equivalente al volumen de agua desplazado.

Para calcular el volumen de cada fuste se dividió en 10 secciones (Figura 7) y se midieron los diámetros centrales de cada troza y un diámetro de referencia (diámetro central de la primera troza) para hallar un cociente de forma de troza (k), por medio de la siguiente ecuación (Anexo K).

$$k = \frac{d_c}{d_r}$$

donde,
 k = cociente de forma
 d_i = diámetro central
 d_r = diámetro de referencia

Figura 7. División en secciones del fuste



Estos cocientes se remplazaron en la ecuación que se deduce de la ecuación de volumen de Hohenadl (Prodán, *et ál*, 1997) para hallar un factor de forma verdadero para cada árbol. Finalmente se promedió el factor de forma de los 30 árboles obteniendo así el factor de forma para la especie.

$$f \cdot f_1 = \frac{1}{n} (1 + k_2^2 + k_3^2 \dots + k_n^2)$$

donde,
 $f \cdot f_1$ = factor de forma para cada árbol
 k = cociente de forma de troza
 n = numero de trozas

Después de hallado el factor de forma de la especie *C. llanorum* se procedió a calcular el volumen para todos los individuos muestreados en el inventario forestal, por medio de la formula recomendada por ACPC (2004) para hallar el volumen de árboles en pie.

$$V = \frac{\pi}{4} * dap^2 * h * f \cdot f$$

donde,
 V = volumen para un árbol
 dap = diámetro a la altura del pecho (1,30 m)
 h = altura total del árbol
 $f \cdot f$ = factor de forma de la especie

Con el muestreo destructivo se determinó el volumen de cada árbol derribado utilizando la fórmula de Smalian aplicada para determinar el volumen de cada troza. Según Podrán, *et al* (1997), el volumen total del fuste se obtiene sumando los volúmenes de las trozas medidas como se indica a continuación.

$$V = \left(\frac{\pi}{4}\right) * \left(\frac{D_1^2 + D_2^2}{2}\right) * L$$

donde;

V = volumen de la troza o sección (m^3)

D_1^2 y D_2^2 = diámetros al cuadrado de los extremos de la troza (m)

L = longitud de la troza o sección (m)

Avendaño (2007) sugiere que dentro del volumen total del fuste se incluya el tocón considerándolo como una troza; para esto se midió el diámetro central del tocón y su longitud, para luego hallar su volumen por medio de la fórmula de Huber.

$$V = \frac{\pi}{4} * d_m * L$$

donde,

V = volumen del tocón (m^3)

d_m = diámetro medio del tocón (m)

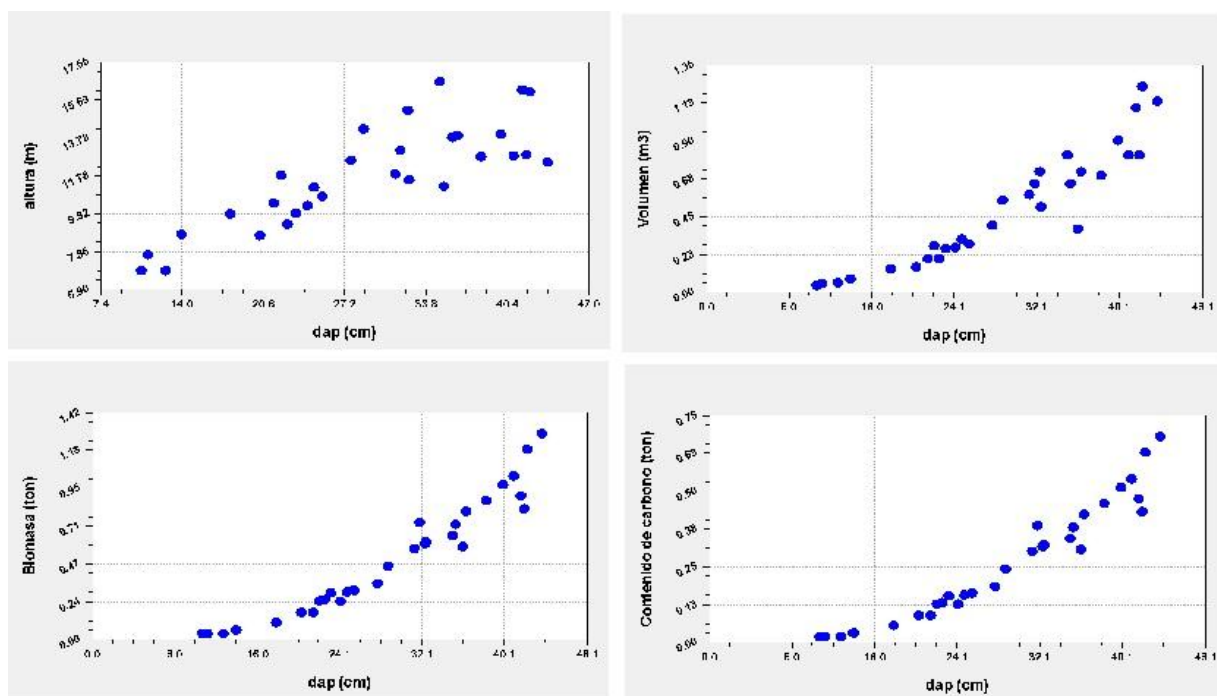
L = longitud o altura del tocón (m)

3.5.1. Cuantificación del contenido de Carbono. Para esta prueba se extrajeron 200 gramos en forma de aserrín de las probetas secas utilizadas para calcular la densidad de la madera y se enviaron al laboratorio de combustión-combustibles de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle, donde se determinó el porcentaje de carbono contenido en la madera de la especie Saladillo (*Caraipa llanorum*), a través de un análisis elemental que se le realizó a la muestra.

3.6. AJUSTE Y SELECCIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA CARBONO

Inicialmente se elaboraron los diagramas de dispersión buscando identificar patrones de asociación, correlación y tendencia para establecer el modelo de regresión de mejor ajuste a los datos desde el punto de vista operativo en campo y evaluar los “outliers” (datos atípicos) y/o puntos influenciales como lo sugiere Vanclay (1994) (Figura 8). También se validaron los supuestos de normalidad, independencia y varianza constante de los errores y homogeneidad de varianza, como lo sugiere Segura y Andrade (2008).

Figura 8. Diagramas de dispersión de puntos para la relación dap contra altura, volumen, biomasa y contenido de carbono.



Posteriormente se realizaron los análisis de correlación de Pearson (r) para las variables medidas en el muestreo destructivo y los resultados de biomasa; de esta manera se identificaron las variables relacionadas en los modelos. Se ensayaron 27 modelos de regresión, a partir de allí se seleccionaron los que mostraron los estadísticos más favorables desde el punto de vista de la calidad del modelo para futuras estimaciones como el coeficiente de determinación (r^2), el error estándar de la estimación (S) y la suma de cuadrados de los residuos predichos (PRESS). De esta manera se generaron modelos para altura total, para cada componente de biomasa (Bh, Br y Bf), para el volumen del fuste y de biomasa total (BT) de la especie Saladillo (*Caraipa llanorum*); estos análisis se realizaron con ayuda del software estadístico Statgraphics Centurion XVI.I.

A cada modelo se le asignó una calificación de acuerdo con el valor de cada indicador de calidad de los mismos, y a partir de esta se escogieron los modelos con menor calificación, considerando una escala de 1 a n, donde 1 fue asignado al mejor valor de cada estadístico hasta n, siendo n el número de modelos seleccionados. Por último se confrontaron con los datos estimados (x) con cada modelo contra los datos observados de biomasa (y) para cada compartimento del árbol y para la biomasa total, para así, determinar cual de los modelos presentaba mejor ajuste considerando la dispersión de puntos y su cercanía con el modelo.

Luego de seleccionar las ecuaciones que presentaron mejor ajuste, se estimó la biomasa total y el contenido de carbono para los individuos registrados en el inventario forestal, reportando un dato estimado para la biomasa total y el contenido de carbono por hectárea.

3.6.1. Validación de los modelos de volumen. Considerando que el parámetro volumen es una variable indispensable para hallar la biomasa del fuste, se realizó una validación de los modelos que presentaron mejor ajuste. La validación consistió en hacer una selección de los tres modelos que presentaron mejor calificación según los indicadores de calidad. La validación se hizo de forma independiente para los tres modelos seleccionados, se realizó un análisis de varianzas entre los datos observados y los estimados para determinar si existían diferencias entre ellos. De igual manera se graficaron los datos de volumen observados (y) contra los estimados (x), y se analizó la dispersión de puntos sobre la recta de regresión ($x=y$), teniendo en cuenta que el modelo que presentó mayor ajuste fue aquel en que la dispersión de puntos se encontró más cercano o sobre la recta.

3.7. FACTOR DE EXPANSIÓN DE BIOMASA

Para calcular el factor de expansión de biomasa (FEB) se tuvieron en cuenta el resultado de dos variables medidas que fueron la biomasa total y la biomasa del fuste de cada árbol, el cociente de estas dos variables fue que determinó el FEB por árbol. También se calculó el FEB para cada uno de los estratos o clases diamétricas de la especie Saladillo y luego se sacó un promedio de estos resultados el cual representó el FEB de la especie. Determinar el valor de factores de expansión para la especie y por categoría diamétrica, posibilitó una perspectiva más detallada de la variación de dichos valores para la especie objeto de investigación como lo sugiere Domínguez, *et ál* (2009).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos según la metodología aplicada en cada una de sus diferentes etapas, para dar cumplimiento a los objetivos propuestos en esta investigación.

4.1. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DEL SALADILLAL

El inventario forestal reportó un promedio de 342 individuos por hectárea de la especie *C. llanorum* y un volumen de 37,4 m³/ha para fustales mayores a 10 cm de dap. El error de muestreo reportado para el volumen fue de 17,7%, mientras que para la densidad fue de 23 %, esto debido a la notable diferencia de densidades entre las parcelas, reportando así, una alta heterogeneidad para estos parámetros, mientras que para el volumen la situación fue diferente ya que en las parcelas con pocos individuos se registraron diámetros mayores que en las parcelas con mas densidad (Tabla 3).

Tabla 3. Estadísticos por hectárea para el inventario forestal para *C. llanorum*

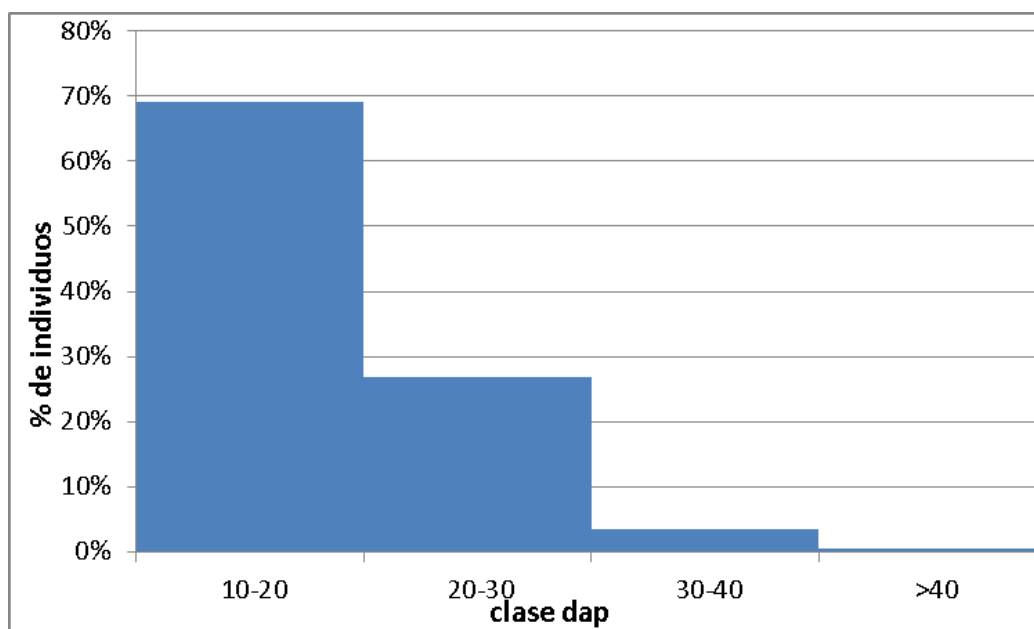
Parámetro	Densidad	Área basal	Volumen (m ³)
Promedio	342,7	9,2	37,4
Desv est	214,7	4,1	17,8
E est	39,2	0,8	3,2
E	80,2	1,5	6,6
E%	23,40%	16,70%	17,71%

Desv. est: desviación estándar, E est: error estándar, E: error de muestreo, E%: error de muestreo en porcentaje.

Como se muestra en la Tabla 3, los resultados para el volumen por hectárea son bajos si se tiene en cuenta la densidad del rodal y considerando que para los bosques primarios tropicales húmedos este parámetro varía entre 290 y 525 m³/ha (Wadsworth, 2000). La baja existencia de madera se puede explicar desde la distribución diamétrica que presenta la especie, la cual muestra que la mayoría de los individuos registrados pertenecen a las dos primeras clases de diámetro y muy

pocos individuos fueron de diámetros grandes, tal y como se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Distribución diamétrica de los individuos de *C. llanorum* registrados en el inventario forestal.



Los diámetros presentan una clara distribución en “J” invertida, lo que asegura el flujo de individuos a las clases diamétricas superiores (Figura 9). Los bosques maduros tienden a distribuirse en “J” invertida cuando se da un flujo adecuado de la regeneración hacia los diámetros mayores (Villa y Ramírez, 2005).

4.2. CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA PARA EL SALADILLO

Los resultados para las variables medidas en el muestreo destructivo mostraron que en el registro del peso de las hojas se presentaron datos más homogéneos entre los árboles muestreados representados con una desviación estándar, de 18 kg, mientras que el peso registrado de las ramas presentó una mayor desviación respecto a su media, representada en 244 kg. En el muestreo estratificado también se registraron diámetros desde 10 hasta 43 cm. La altura total promedio para los individuos muestreados fue de 11 metros, con un valor máximo de 16 metros, presentando un valor menor al indicado por Quintero (2001), quien afirma que la especie puede presentar alturas mayores a los 20 metros. En promedio el

volumen presentado por los individuos muestreados para la medición de la biomasa dio como resultado 0,50 m³.

Tabla 4. Resumen de los estadísticos de las variables medidas en el muestreo destructivo para *C. llanomrum*

Parámetro	Variables*					
	P. hojas (kg)	P. ramas (kg)	dap (cm)	hCial (m)	h (m)	Volumen (m ³)
N	30	30	30	30	30	30
Promedio	23,96	287,16	28,91	4,77	11,78	0,50
Desv. Est.	18,08	244,48	9,93	1,51	2,64	0,34
Valor min-máx	1,75 – 73	7,05 – 819	10,73 - 43,74	2,50 - 8,77	6,88 - 16,67	0,04 - 1,23

*P. hojas: peso de las hojas, P. ramas: peso de ramas, dap: diámetro al 1,30 m de altura del árbol, hCial: altura comercial, h: altura total.

Tabla 5. Resumen de los estadísticos para la biomasa seca medida en el muestreo destructivo de *C. llanorum*

Parámetro	Biomasa (ton)			
	Fuste	Ramas	Hojas	Total
N	30	30	30	30
Promedio	0,33	0,17	0,02	0,51
%	64%	33%	3%	100%
Error estándar	0,0017	0,0018	0,00004	0,0037

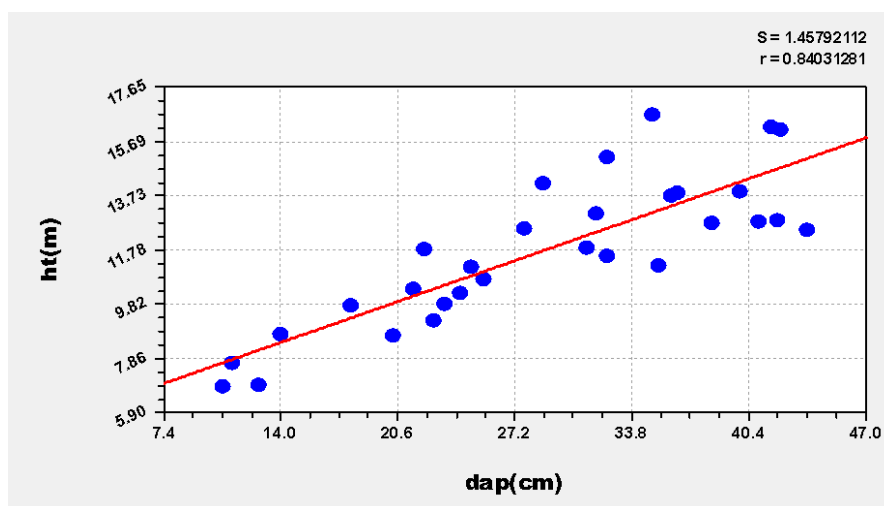
N: tamaño de la muestra

La tabla anterior (Tabla 5) nos indica en qué proporción se distribuye la biomasa en los diferentes componentes del árbol, ratificando que la mayor cantidad de biomasa aérea para la especie se encuentra en el fuste representada en un 64%.

4.3. MODELOS DE BIOMASA

Las variables que presentaron la mejor correlación fueron el dap y la altura total, mostrando una correlación moderadamente fuerte expresada en el valor de $r = 0,84$. Estas variables se utilizaron como base para el ajuste de los modelos de biomasa de cada compartimento (Bh, Br, Bf), así como para estimar el volumen y la biomasa total. (Figura 10).

Figura 10. Relación entre variables dap y altura total para la especie *C. llanorum*. Muestra de 30 individuos



4.3.1. Biomasa de las hojas. El modelo con mejor calificación total fue una ecuación exponencial inversa que utiliza como variable independiente el dap (Tabla 6). Esta ecuación presentó un coeficiente de determinación (r^2) de 0,69, indicando que el modelo ajustado explica una buena proporción (69%) de la variabilidad de los datos estimados de la biomasa de las hojas y, un buen ajuste del modelo a los datos de biomasa de hojas y dap de acuerdo a lo que indican Segura y Andrade (2008).

Tabla 6. Modelo seleccionado de biomasa para las hojas de *C. llanorum*

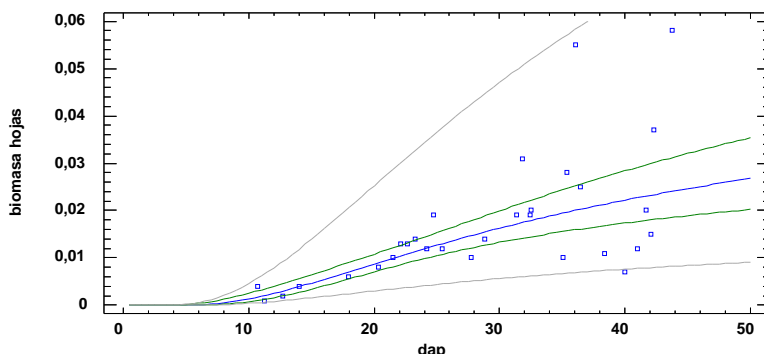
Modelo ajustado	r^2	S	PRESS
$Bh = e^{-2,95918 - \frac{36,1291}{dap}}$	0,691	0,509	0,259

Bh: Biomasa de las hojas; r^2 : coeficiente de determinación, S: el error estándar de la estimación y PRESS: la suma de cuadrado de los residuos predichos

La ecuación que presentó mejor ajuste y calificación para los indicadores de calidad del modelo (Anexo D), la cual se utilizó para estimar la biomasa de las hojas se presenta a continuación.

$$Biomasa\ hojas = e^{-2,95918 - \frac{36,1291}{dap}}$$

Figura 11. Modelo ajustado para estimar la biomasa de las hojas de *C. llanorum*.



El comportamiento del modelo ajustado frente a los datos de biomasa de hojas contra dap revela que no hay un cambio drástico en la curva del modelo, por otra parte también muestra una lógica biológica en la distribución de los datos ya que a mayor dap presenta mayor biomasa de las hojas; así como las bandas que representan los intervalos de confianza se encuentran alejadas de la recta de regresión en los diámetros mayores, indicando que el modelo presenta menor confiabilidad al intentar predecir los datos en estos rangos diamétricos (Figura 11). Asimismo, en la Figura 12 se observa la dispersión de puntos que se presenta al confrontar los datos observados (y) contra los estimados por el modelo escogido (x) mostrando que la mayoría de los puntos se ubican cerca de la recta ($y=x$), igualmente se observa que los puntos para los datos de biomasa con valores mayores (árboles con mayor diámetro) tienden a alejarse por encima y por debajo de esta recta, indicando una sobrestimación y subestimación de los datos estimados por el modelo, mientras que para los datos de biomasa mas bajos y medios (árboles con menor diámetro) los puntos de la gráfica se distribuyen sobre la recta o muy cercanos a ella, indicando así, un mejor ajuste del modelo para predecir la biomasa en estos rangos de distribución diamétrica.

Figura 12. Relación entre los datos observados (y) y los estimados (x) para la biomasa de las hojas de *C. llanorum*.

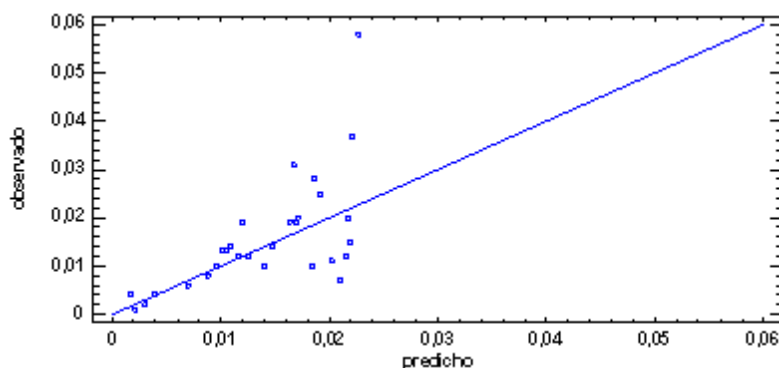
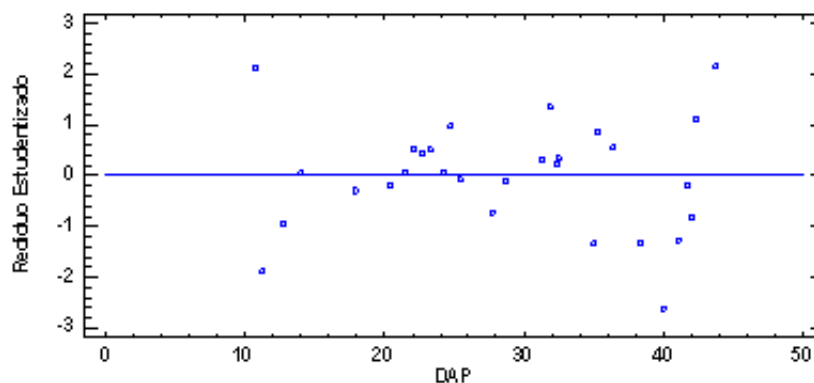


Tabla 7. Resumen de los estadísticos calculados para la ecuación ajustada de la biomasa de las hojas de *C. llanorum*.

Parámetro	Resultados
Modelo general	$Y = e^{a + \frac{b}{x}}$
Coefficiente de determinación (r^2)	69,13%
Error estándar del estimado	0,48
Error absoluto medio (MAE)	0,36
Estadístico Durbin-Watson ($p = 0,38$)	1,87
Autocorrelación de residuos en retraso	1 = 0,06

El estadístico coeficiente de determinación (r^2) indica que el modelo ajustado incorporando el dap explica 69,13% de la variabilidad en biomasa de las hojas. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,48. El error absoluto medio (MAE) de 0,36 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Puesto que el valor-p es mayor que 0,05, no hay indicación de una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0%, lo que indica que el modelo ajustado tendrá una predicción confiable para los individuos que estén por fuera de las categorías diamétricas tenidas en cuenta para el muestreo destructivo si se mantiene la tendencia.

Figura 13. Residuos estudiantizados del modelo para estimar la biomasa de las hojas para *C. llanorum*



Se presenta en la Figura 13 los residuos estudiantizados los cuales miden cuántas desviaciones estándar se desvía cada valor observado de la biomasa de las hojas del modelo ajustado. En este caso, se encuentran tres residuos estudiantizados mayores que 2, pero ninguno mayor que 3 en valor absoluto, indicando que la

mayoría de los residuos se encuentran agrupados cerca de la media, y que no existen datos atípicos dentro de los resultados de la estimación, tampoco se observa un patrón de distribución de los residuos.

4.3.2. Biomasa de las ramas. El modelo con mejor ajuste según la sumatoria de las calificaciones asignadas a cada indicador de calidad (r^2 , S y PRESS) fue el modelo de regresión múltiple, éste presentó un mejor ajuste aunque no tuviera el coeficiente de determinación más alto entre los modelos ajustados pero presentó los mejores valores en los otros indicadores (S y PRESS) como se muestra en el Anexo E; aunque para este caso no se escogió la ecuación con mejor calificación según el valor de los indicadores, ya que al analizar los coeficientes de ajuste de la ecuación presenta un comportamiento biológicamente ilógico en la predicción de la biomasa de las ramas; finalmente se tuvo en cuenta el modelo que presentó la segunda mejor calificación de los indicadores de calidad, la cual es presentada en la Tabla 8.

Tabla 8. Modelo seleccionado de biomasa para las ramas de *C. Ilanorum*.

Modelo ajustado	r^2	S	PRESS
$Br = e^{-12,6021 + 3,11051 \cdot \ln(dap)}$	0,899	0,432	0,187

Br: Biomasa de las ramas; r^2 : coeficiente de determinación, S: el error estándar de la estimación y PRESS: la suma de cuadrado de los residuos predichos

La ecuación resultante para estimar la biomasa de las ramas, considera como variable independiente el dap medido en centímetros y presentó un coeficiente de determinación de 0,90, lo que indica un buen ajuste del modelo, ya que explica en gran proporción los datos estimados por el modelo.

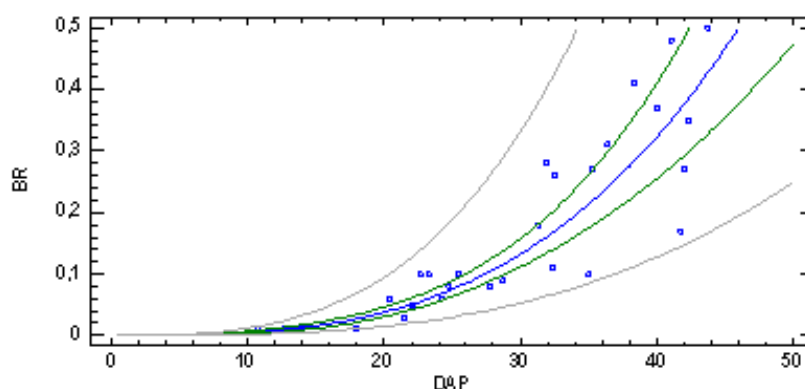
$$Biomasa\ de\ las\ ramas = e^{-12,6021 + 3,11051 \cdot \ln(dap)}$$

Se presentan a continuación los resultados estadísticos del modelo de regresión utilizado para estimar la biomasa de las ramas. Como se observa, el error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,439 mientras que el error absoluto medio de los residuos (MAE) fue de 0,35, indicando una baja variabilidad entre las observaciones y el modelo. Finalmente el estadístico de Durbin-Watson (DW) indicó que no existió una autocorrelación serial entre los residuos para un nivel de confianza del 95,0% (Tabla 9).

Tabla 9. Resumen de los estadísticos calculados para la ecuación ajustada de la biomasa de las hojas de *C. llanorum*.

Parámetro	Resultados
Coefficiente de determinación (r^2)	89,61%
Error estándar del estimado	0,439
Error absoluto medio (MAE)	0,355
Estadístico Durbin-Watson ($p=0,0793$)	1,47228
Autocorrelación de residuos en retraso	1=0,227

Figura 14. Modelo ajustado para estimar la biomasa de las ramas de *C. llanorum*.



El modelo ajustado no presenta cambios drásticos en la curva que lo representa, tal y como se muestra en la Figura 14, donde también muestra una lógica biológica en la distribución de los datos; y presentando que las bandas de intervalos de confianza se encuentran alejadas de la recta de regresión en los diámetros mayores, indicando que el modelo tiene menor confiabilidad al intentar predecir los datos en estos rangos diamétricos. De igual forma se ve una dispersión mas alejada de los puntos a la recta en las clases diamétricas mayores, tal y como se muestra en la Figura 15.

Figura 15. Relación entre los datos observados (y) y los estimados (x) para la biomasa de las ramas de *C. llanorum*

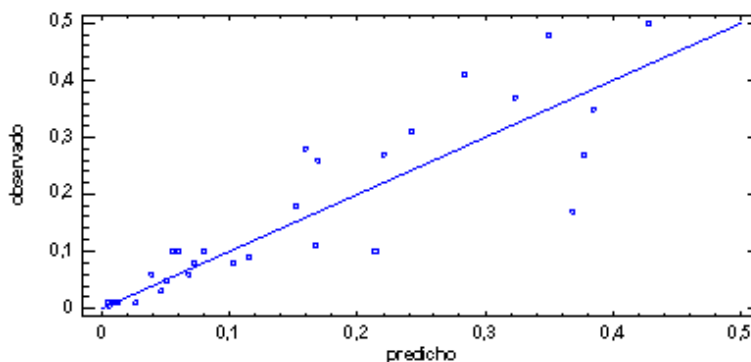
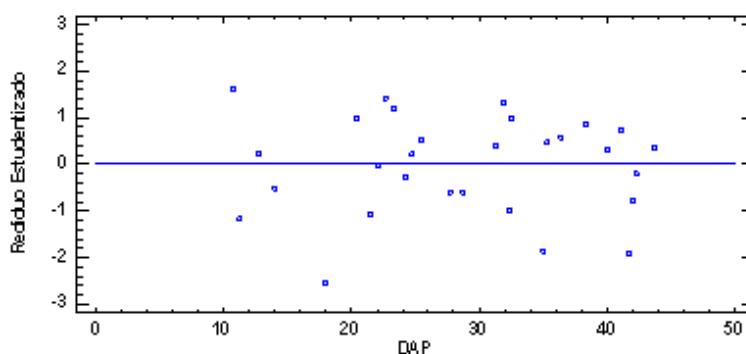


Figura 16. Residuos estudentizados del modelo ajustado para estimar la biomasa de las ramas



Para el compartimento de las ramas, hay un residuo estudentizado mayor que 2, pero no mayor que 3, lo que indica que la mayor parte de los residuos se encuentran agrupados cerca a la media de los datos observados y que no existen datos atípicos estimados, para este caso tampoco se ve un patrón de dispersión para los datos de los residuos (Figura 16).

4.3.3. Ecuación de volumen y biomasa del fuste. Los tres mejores modelos teniendo en cuenta los indicadores de calidad de los mismos se muestran en la Tabla 10 (Anexo E).

Tabla 10. Selección de los mejores modelos ajustados para estimar el volumen del fuste de *C. llanorum*

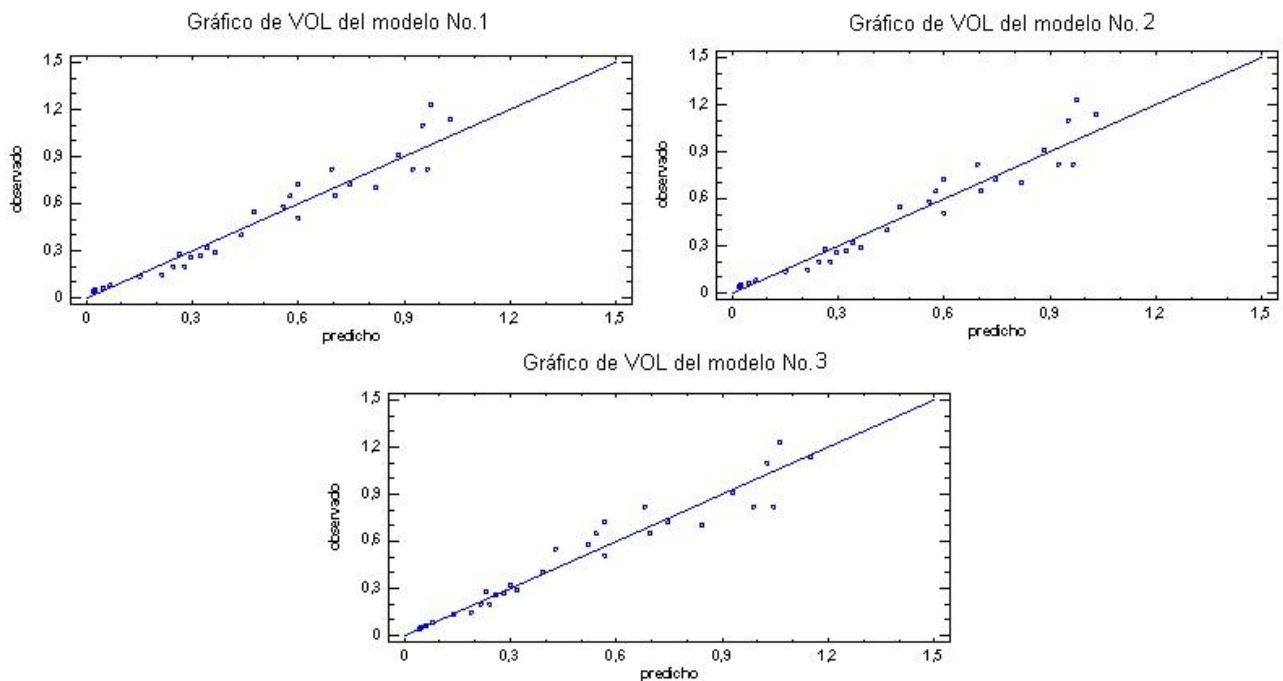
No.	Modelo	r^2		S		PRESS		Calificación total
		valor	calificación	valor	calificación	valor	calificación	
1	$Vf = (-0,0897986 + 0,0261839*dap)^2$	0,962	3	0,052	1	0,003	1	5
2	$Vf = (-0,726255 + 0,263452*\sqrt{dap})^2$ $Vf = e^{-8,7929 + 2,36436*\ln(dap)}$	0,955	4	0,058	2	0,003	2	8
3	$\ln(Vf) = -8,7929 + 2,36436*\ln(dap)$	0,980	1	0,140	4	0,020	3	8

Vf: volumen del fuste; r^2 : coeficiente de determinación; S: el error estándar de la estimación y PRESS: la suma de cuadrado de los residuos predichos

No se encontraron diferencias significativas entre los valores estimados por las tres ecuaciones y los datos observados para volumen del fuste para un nivel de confiabilidad del 100%. La Figura 17 muestra los valores estimados (x), por los tres modelos, contra los observados en los arboles muestreados (y) según recomienda Segura y Andrade (2008). La dispersión de puntos indica que los datos se agrupan a lo largo de la recta $y=x$ para los tres casos, mostrando una

mayor cercanía de los datos a la recta para la grafica del modelo No.3, indicando una mejor predicción de los datos. Este es un modelo multiplicativo con un r^2 de 0,98 mostrando que el dap, que fue la variable independiente que se utilizó en la ecuación seleccionada, es una buena variable para estimar el volumen del fuste (V_f) ya que se aproxima a 1, y en el modelo de las variable independiente escogida (dap) explica un 98% de la variación en la variable dependiente (V_f) (Kometter y Maravi, 2007)

Figura 17. Relación volumen de fuste observado y estimado, para los tres mejores modelos.



El modelo multiplicativo ajustado que fue escogido para calcular el volumen del fuste utiliza como variable dependiente el dap medido en centímetros, la cual se presenta a continuación.

$$Volumen\ del\ fuste = e^{-8,7929+2,36436*\ln(dap)}$$

El comportamiento del modelo ajustado frente a los datos de volumen del fuste (m^3) contra dap (cm) indica que no hay un cambio drástico en la curva del modelo, presentando buenos rangos de confiabilidad a lo largo de la curva (Figura 18).

Figura 18. Modelo ajustado para estimar el volumen del fuste de *C. llanorum*.

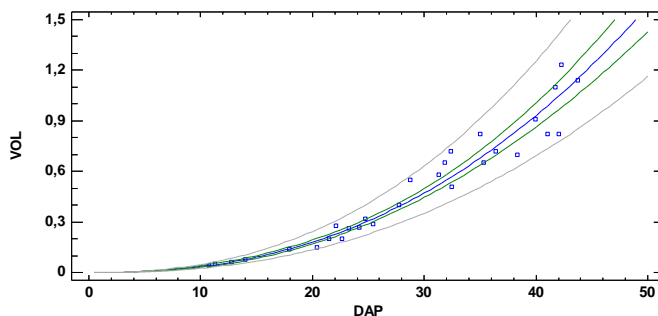
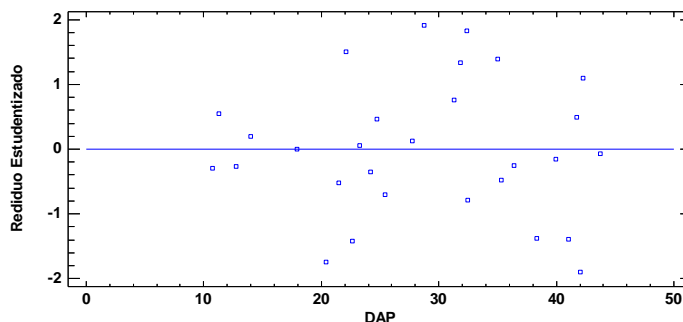


Tabla 11. Resumen de los estadísticos calculados para la ecuación ajustada del volumen del fuste de *C. llanorum*.

Parámetro	Resultados
Modelo	$Y = a * x^b$
Coefficiente de determinación (r^2)	97,99%
Error estándar del estimado	0,14
Error absoluto medio (MAE)	0,11
Estadístico Durbin-Watson ($\rho = 0,19$)	1,67
Autocorrelación de residuos en retraso	1 = 0,15

El coeficiente de determinación (r^2) indica que el modelo ajustado explica 97,99% de la variabilidad en volumen del fuste. El error estándar de los residuos fue de 0,14, mientras que el error absoluto medio (MAE) fue de 0,11; el estadístico de Durbin-Watson (DW) indicó que no hubo autocorrelación serial entre los residuos con un nivel de confianza del 95,0%, indicando que el modelo se ajusta para estimar datos que estén fuera del rango diamétrico de los individuos utilizados en el muestreo destructivo (Tabla 11).

Figura 19. Residuos estudentizados del modelo ajustado para estimar el volumen del fuste de *C. llanorum*



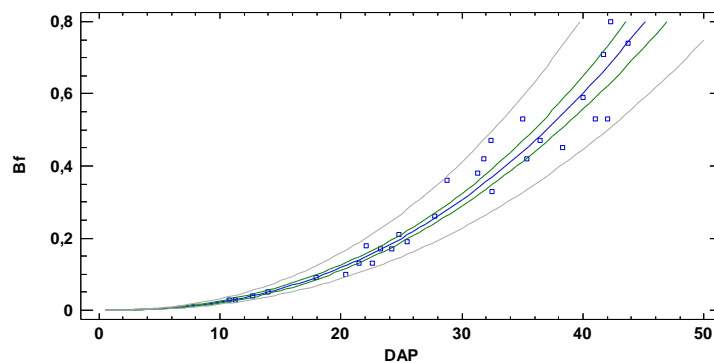
No existen residuos estudentizados mayores que 2, en valor absoluto, indicando que no hay residuos atípicos para las estimaciones de este modelo, tampoco se observa un patrón en los residuos (Figura 19).

La densidad específica encontrada para la madera de *C. llanorum* fue de 0,65 Kg/m³, lo cual la clasifica como una madera semi-pesada (Díaz, 2005). Este dato fue fundamental para obtener la biomasa del fuste y a partir de estos resultados se pudo ajustar la ecuación con la que se puede estimar directamente la biomasa del fuste, la cual se presenta a continuación.

$$\text{Biomasa del fuste} = e^{-9,17463+2,34956*\ln(dap)}$$

El comportamiento que tiene el modelo sobre los datos estimados, indica el incremento de la curva en los diámetros mayores representando mayor biomasa en estos individuos, y sin presentar un cambio drástico en la curva del modelo de estimación (Figura 20)

Figura 20. Modelo ajustado para estimar la biomasa del fuste de *C. llanorum*.

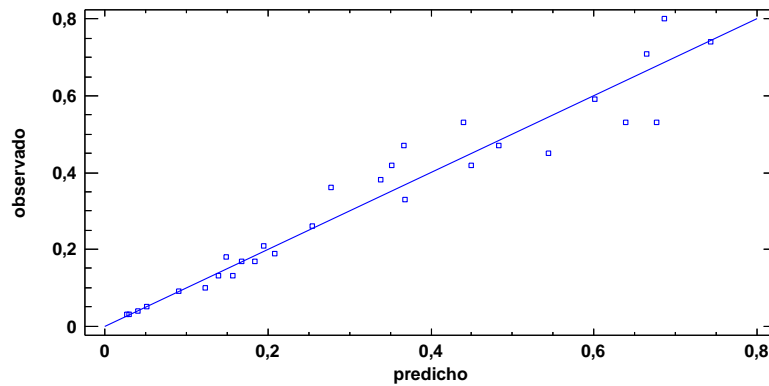


El modelo ajustado para estimar la biomasa del fuste dio como resultado los estadísticos mostrados en la Tabla 12, revelando el mejor ajuste en comparación con los modelos escogidos para estimar la biomasa en los otros compartimentos (Bh y Br), siendo esencial para el ajuste del modelo de biomasa total, ya que en el fuste se concentra la mayor cantidad de biomasa del árbol. Presentando resultados similares a los estadísticos calculados para el modelo de estimación de volumen del fuste. La confrontación de los datos medidos (y) contra los estimados por el modelo (x) dio como resultado una dispersión de puntos los cuales se agrupan sobre o cerca a la recta (y=x), indicando así una buena estimación por parte del modelo ajustado, tal y como se muestra en la Figura 21.

Tabla 12. Resumen de los estadísticos calculados para la ecuación ajustada la biomasa del fuste de *C. llanorum*.

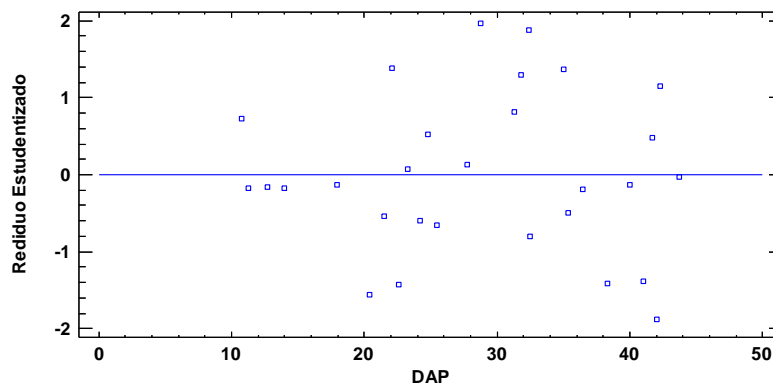
Parámetro	Resultados
Modelo	$Y = a * x^b$
Coefficiente de determinación (r^2)	97,94%
Error estándar del estimado	0,14
Error absoluto medio (MAE)	0,11
Estadístico Durbin-Watson ($p = 0,55$)	2,03
Autocorrelación de residuos en retraso	1 = -0,03

Figura 21. Relación biomasa del fuste observada y estimada para *C. llanorum*.



Los residuos estudentizados presentados por el modelo ajustado, indicaron que no existen residuos atípicos, ya que ninguno sobrepasa el valor de 2, en valor absoluto (Figura 22).

Figura 22. Residuos estudentizados para la biomasa del fuste de *C. llanorum*



4.3.4. Factor de expansión de biomasa (FEB). Los resultados del factor de expansión de biomasa (FEB) calculados para el muestreo destructivo se presentan en la Tabla 13, indicando que el promedio mas bajo fue de 1,26, el cual se encuentra registrado para los individuos presentes en la primera categoría diamétrica o primer estrato (individuos mayores o iguales a 10 centímetros hasta 20 centímetros de dap), así mismo se muestra que el promedio mas alto se presentó en el tercer estrato (individuos mayores a 30 centímetros hasta menores o iguales a 40 centímetros de dap), presentando un promedio de 1,69. El FEB no mostró relación con ninguna variable que permitiera la construcción de un modelo de predicción del mismo, coincidiendo con los resultados presentados por Montero y Kanninen (2002). En la tabla también se observa que el FEB total fue de 1,54 para la especie, siendo un dato cercano al reportado para diferentes tipos de bosques tropicales por Brown y Lugo (1984), el cual fue de 1,6.

Tabla 13. Resumen de estadísticos para el Factor de Expansión de Biomasa por categorías diamétricas de *C. llanorum*.

Parámetro	Rangos de dap (cm)				TOTAL
	≥10 hasta 20	>20 hasta 30	>30 hasta 40	>40	
N	5	10	10	5	30
Promedio	1,26	1,49	1,69	1,59	1,54
Desv. est	0,10	0,19	0,32	0,25	0,27
Valor min-máx	1,16 - 1,43	1,19 - 1,88	1,21 - 2,32	1,26 - 1,92	1,16 - 2,32

N: tamaño de la muestra, dap: diámetro del árbol a la altura de 1,30 m, Des. est: desviación estándar.

4.3.5. Biomasa total. Las ecuaciones con mejor ajuste para estimar la biomasa total (BT) se presentan en la Tabla 14 (Anexo F), con un coeficiente de determinación (r^2) de 0,978 y 0,984, indicando un buen ajuste de los dos modelos ya que explican en gran proporción la variabilidad de los datos estimados.

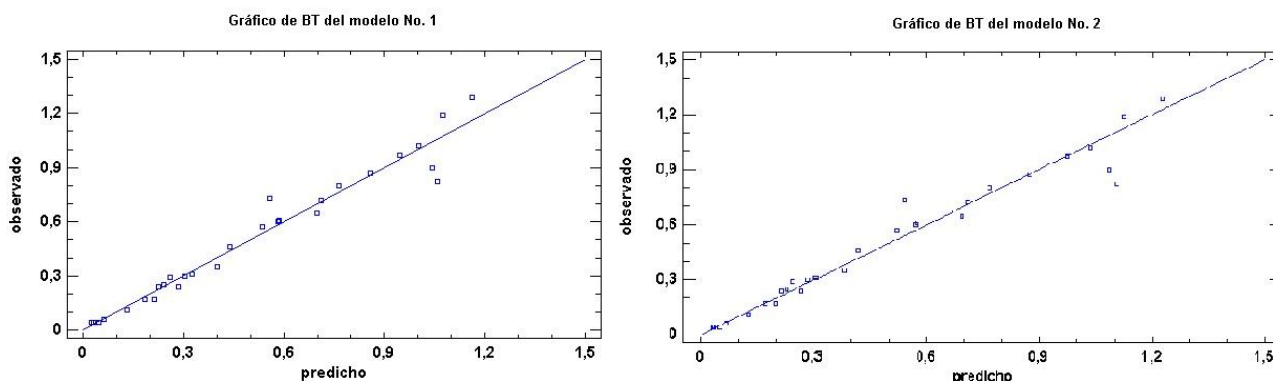
Tabla 14. Ecuaciones ajustadas para estimar la biomasa total de *C. llanorum*.

No.	Modelos	r^2		S		PRESS		Calificación total
		valor	calificación	valor	calificación	valor	calificación	
1	$BT = (-0,135264 + 0,027715*dap)^2$	0,978	2	0,044	1	0,002	1	4
2	$BT = e^{-9,47559 + 2,56189*\ln(dap)}$ $\ln(BT) = -9,47559 + 2,56189*\ln(dap)$	0,984	1	0,133	5	0,018	5	11

BT: Biomasa total; r^2 : coeficiente de determinación; S: el error estándar de la estimación y PRESS: la suma de cuadrado de los residuos predichos

En el análisis de dispersión de puntos de los datos medidos (y) contra los estimados (x), se presentó una mejor agrupación de los puntos sobre la recta (x=y) para para el modelo No.2 de la Tabla 14, indicando una mejor predicción de los datos por parte de este modelo (Figura 23).

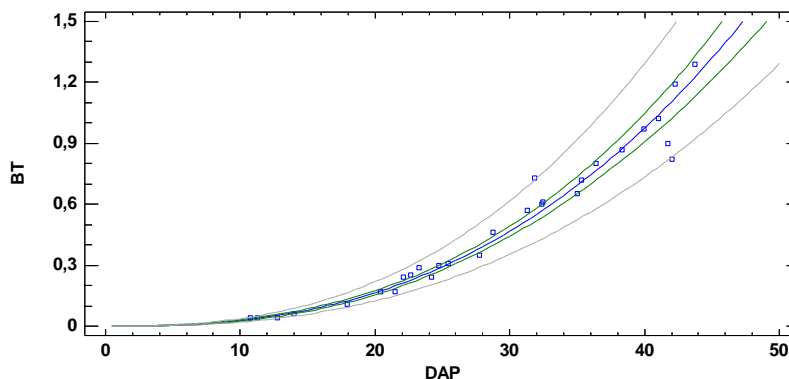
Figura 23. Relación biomasa total observada y biomasa estimada para los dos mejores modelos.



El modelo multiplicativo presentó una dispersión de puntos que se agrupan sobre la recta o muy cerca a ella, tal y como se muestra en la Figura 23, lo que indica una buena estimación de la biomasa total por parte del modelo ajustado. Asimismo la Figura 24, muestra que no existen cambios drásticos sobre la curva que representa el modelo ajustado. El modelo seleccionado se presenta a continuación.

$$Biomasa\ total = e^{-9,47559 + 2,56189 \cdot \ln(dap)}$$

Figura 24. Modelo ajustado para estimar la biomasa total de *C. llanorum*.



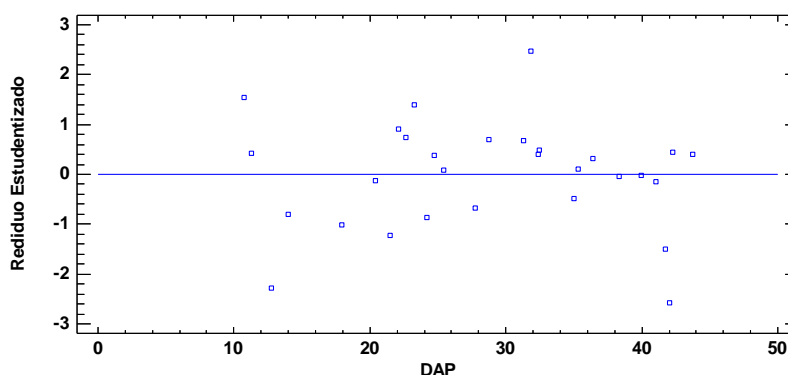
En la Tabla 15 se muestran los estadísticos calculados para el modelo ajustado que se utilizó para estimar la biomasa total. El coeficiente de determinación (r^2) indica que el modelo ajustado explica 98,44% de la variabilidad en volumen del fuste, presentando esta ecuación el valor más alto de ajuste con respecto a los otros. El error estándar de los residuos fue 0,13 y el error absoluto medio (MAE) de 0,10. El estadístico de Durbin-Watson (DW) reportó que no existe una autocorrelación serial entre los residuos con un nivel de confianza del 95,0%, indicando que el modelo se ajusta para estimar datos que estén fuera del rango diamétrico de los individuos utilizados en el muestreo destructivo.

Tabla 15. Resumen de los estadísticos calculados para la ecuación ajustada para estimar la biomasa total de *C. llanorum*.

Parámetro	Resultados
Modelo	$Y = a * x^b$
Coficiente de determinación (r^2)	98,44%
Error estándar del estimado	0,13
Error absoluto medio (MAE)	0,10
Estadístico Durbin-Watson ($p = 0,57$)	2,04
Autocorrelación de residuos en retraso	1 = -0,05

Los residuos estudentizados se presentan en la Figura 25, estos indican cuántas desviaciones estándar se desvía cada valor observado de biomasa total del modelo ajustado. Para esta estimación, hay tres residuos estudentizados mayores que 2 en valor absoluto, pero ninguno mayor que 3, lo que indica que la mayor parte de los residuos se encuentran agrupados cerca a la media de los datos observados y que no existen datos atípicos estimados.

Figura 25. Residuos estudentizados para el volumen del fuste de *C. llanorum*



Contenido de Carbono. El análisis elemental dio como resultado que la madera de la especie *C. llanorum* tiene un contenido de carbono de 52,96 %, indicando un valor superior a los obtenidos para diferentes especies latifoliadas registradas en bosques tropicales como las reportadas por Domínguez, *et ál* (2009), Figueroa, *et ál* (2005), Gayoso y Guerra (2005) y De Petre, *et ál* (2005). No hay diferencia significativa al comparar los resultados de la cantidad de carbono medidos con el resultado del análisis elemental (52,96%) y con el valor que se asume generalmente en las estimaciones de la cantidad de carbono almacenado para biomasa aérea sin diferenciar especies (50%) (Brown y Lugo, 1984)

El ajuste de la ecuación de biomasa total para estimar directamente el contenido de carbono para cada árbol de la especie *C. llanorum*, se presenta a continuación.

$$\text{Contenido de Carbono} = e^{-10,2355+2,59771*\ln(dap)}$$

Los resultados de los estadísticos calculados para la ecuación ajustada se presentan en la Tabla 16, mostrando un coeficiente de determinación (r^2) de 0,984, explicando en un 98% la variabilidad de los datos estimados por el modelo. La ecuación ajustada para estimar el carbono contenido en los individuos de Saladillo presentó una calidad de ajuste similar a la que presentaron las ecuaciones ajustadas para la biomasa del fuste y biomasa total; esto se debió a que en el fuste se encuentra concentrado el mayor porcentaje de biomasa del árbol, determinando así, los modelos que más se ajustan para determinar el contenido de biomasa total, coincidiendo con el mismo modelo utilizado para estimar la biomasa total aérea que ajustaron Montero y Kanninen (2002) y Díaz, *et ál* (2007). Asimismo la curva que representa el comportamiento del modelo muestra un comportamiento normal (Figura 25). En la Figura 27, se observó que la mayoría de los datos se agruparon sobre la recta o cerca a ella, representando una buena estimación por parte del modelo; igualmente se analizó la dispersión de los residuos estandarizados del modelo en la Figura 28, la cual muestran dos valores medidos que se alejan 2 desviaciones estándar del valor estimado con el modelo ajustado, para este caso tampoco se encuentran desviaciones estándar mayores a 3 en valor absoluto, indicando que no existen datos atípicos en la estimación del modelo, sin mostrar patrones de tendencia de los residuos.

Tabla 16. Resumen de los estadísticos calculados para la ecuación ajustada para estimar el contenido de Carbono de *C. llanorum*

Parámetro	Resultados
Modelo	$Y = a * x^b$
Coefficiente de determinación (r^2)	98,43%
Error estándar del estimado	0,14
Error absoluto medio (MAE)	0,10
Estadístico Durbin-Watson ($\rho = 0,60$)	2,07
Autocorrelación de residuos en retraso	1 = -0,06

Figura 26. Modelo ajustado para estimar el contenido de Carbono de *C. llanorum*.

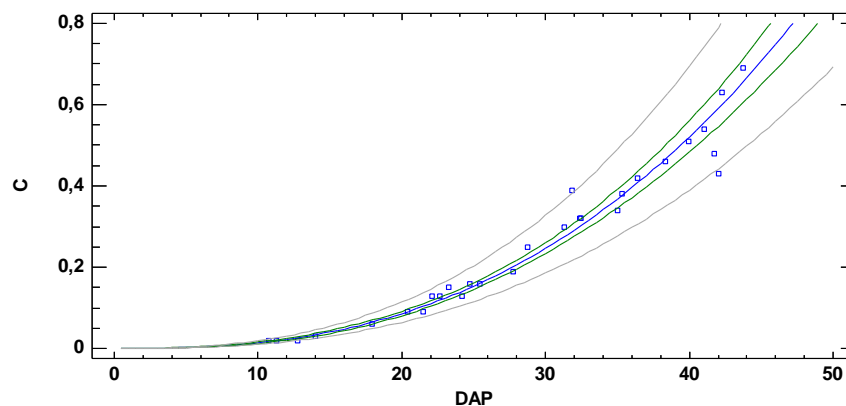


Figura 27. Relación del contenido de Carbono observado y el estimado con el modelo.

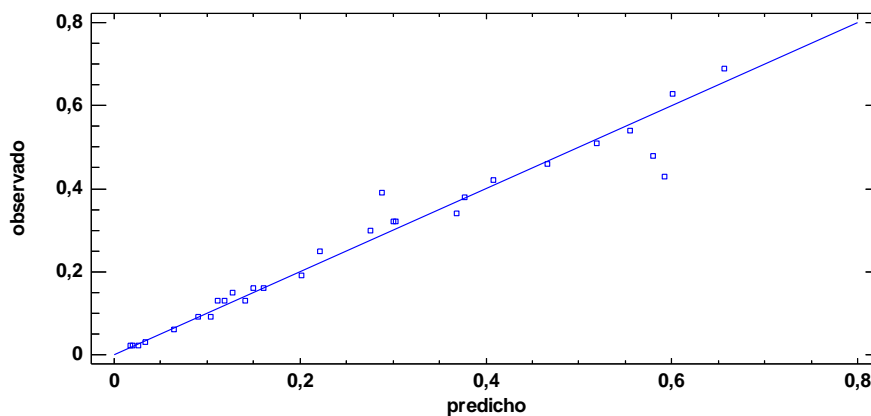
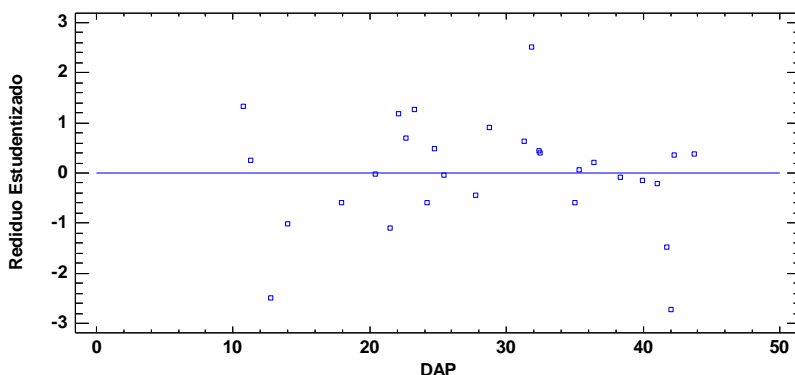


Figura 28. Residuos estudentizados para el contenido de carbono de *C. llanorum*



La biomasa estimada fue de 50 toneladas por hectárea, indicando un resultado bajo en comparación con los obtenidos para especies de bosques tropicales, donde una especie latifoliada con una densidad de 341 individuos por hectárea presentó una biomasa total de 99 toneladas por hectárea (Domínguez, *et ál*, 2009), asimismo Brown y Lugo (1984) reportaron una biomasa total de 61 toneladas por hectárea para bosque abierto sin intervenir; este bajo indicador se debe a que la mayoría de los individuos se encontraron en las primeras clases diamétricas. La cantidad de Carbono contenida en una hectárea de saladilla se estimó en 26,3 toneladas por hectárea (Tabla 17).

Tabla 17. Resumen de estadísticos calculados de las estimaciones por hectárea en bosques de *C. llanorum*.

Parámetro	Densidad	BT (ton)	C (ton)
Promedio	342,7	50,2	26,3
Desv. est	214,7	22,1	11,5
E. est	39,2	8,2	2,1
E %	11,4	16,3	8,0

BT: Biomasa total, C: contenido de carbono, Desv. est: desviación estándar, E. est: error estándar. E%: Error relativo.

5. CONCLUSIONES

El dap fue la variable que mejor se correlacionó estadísticamente con los diferentes compartimentos de la biomasa aérea concordando con los resultados registrados en la literatura, este hecho revela una ventaja ya que en los inventarios de plantaciones o bosques naturales siempre consideran esta variable por su fácil medición en campo.

Según los indicadores estadísticos de ajuste calculados se puede inferir que las ecuaciones ajustadas para la estimación de la biomasa y carbono para el Saladillo (*Caraipa llanorum*) son adecuadas y confiables para usarse bajo las mismas condiciones o el mismo ámbito de datos con los que fueron ajustados.

Las ecuaciones de biomasa y los factores de expansión obtenidos facilitan el adelanto de proyectos dirigidos a la determinación de contenido de biomasa y carbono en la especie Saladillo, sin necesidad de utilizar métodos destructivos que implican altos costos y jornadas exhaustivas.

Todas las ecuaciones ajustadas dieron como resultado un coeficiente de determinación (r^2) mayor al 0,69, lo que indica una buena proporción de datos explicados por los modelos ajustados.

Se presentó un mayor contenido de biomasa en el fuste en comparación con los otros compartimentos medidos, igualmente se encontró un mejor ajuste para la ecuación que se utilizó para estimar esta variable

Con este primer estudio se tiene un punto de partida para conocer la dinámica del carbono en este tipo de cobertura, que abre la posibilidad de poder aprovechar un servicio ambiental que está siendo requerido a nivel mundial y que de ser bien manejado podría generar beneficios.

Mediante la aplicación de métodos estadísticos se logró avanzar en la construcción de modelos matemáticos útiles para el campo de las ciencias forestales.

6. RECOMENDACIONES

Es importante trabajar en el ajuste de modelos de cuantificación y monitoreo de CO₂ a partir de modelos que integren herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) complementando lo generado por esta investigación.

Considerando que los individuos de las parcelas del inventario forestal fueron georeferenciados, se puede continuar con el monitoreo de la dinámica de la especie y ajustar modelos dinámicos que permitan estimar el servicio que prestan estos bosques como sumideros de CO₂.

Es importante que antes de adelantar estudios de este tipo, se cuente con la cartografía actualizada de los bosques, con el fin de facilitar la planificación y ejecución del inventario forestal y asociar a los modelos variables espaciales.

Es recomendable poder cuantificar el contenido de carbono almacenado en los diferentes compartimentos (hojas y ramas) para próximos estudios.

Se recomienda la metodología utilizada de modelación estadística a partir del análisis de regresión, como una ruta importante que permite estimar parámetros que son requeridos para la planificación del manejo forestal.

BIBLIOGRAFIA

ACPC. Asociación Para la Conservación del Patrimonio de Cutivireni. Aprendamos a cubicar nuestra madera, Lima, 2004, p 14.

AGUDELO, M. Biomasa aérea y contenido de carbono en bosques de *Quercus humboldtii* y *Colombobalanus excelsa*: corredor de conservación de robles Guantiva –la Rusia-Iguaque (Santander-Boyacá). Cali, 2009, 110 p. Trabajo de grado (Administrador del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales). Universidad autónoma de occidente. Facultad de ciencias básicas.

AGUILAR, S. ABUNDIZ, L. Y BARAJAS, J. Comparación de la Gravedad Específica y Características Anatómicas de la Madera de dos Comunidades Vegetales en México. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica 72(2): 171-185. 2001. México. 2001, p. 172.

AGUILELLA, A. RIOS, S. Bosques, Sotos y Herbazales: Quintaesencia de la ribera. [Diapositivas]. Valencia. Universidad de Valencia. 2004.

ANDENMATTEN, E. LETOURNEAU, F. Modelo de rendimiento forestal. Rio Negro. 2006, p 34

ARREAGA, W. Almacenamiento del carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Turrialba, 2002, p. 86.

AVENDAÑO, J. Modelos genéricos de biomasa aérea para especies forestales en función de la arquitectura y la ocupación del rodal. Turrialba, 2008, 91 p. tesis (Magister Scientiae en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Programa de educación para el desarrollo y la conservación escuela de posgrado.

BROWN, S. LUGO, A. Biomass of Tropical Forests: A New Estimate Based on Forest Volumes. Science 223:1290-1293. 1984, p. 2

----- GUILLESPIE, A. LUGO, A. Biomass Estimation Methods for Tropical Forest with Applications to forest Inventory Data: Forest Science. Vol 35, 1989, p 881 – 902.

----- Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: A Primer. Food and Agriculture Organization. Roma, 1997, p. 58.

CHAVE, J. Medición de densidad de madera en árboles tropicales manual de campo. Lab. Evolution et Diversité Biologique Université Paul Sabatier 31000 Toulouse, France. 2006, p. 7.

CIEFAP. Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico. Eco Clima 2011: Bosques, Sociedad y Cambio Climático. [Citado 8 abril de 2011].

COGOLLUDO, M. Inventario Forestal. Planificación y Cálculo de Existencias. Universidad de Vigo. 2000, p. 1.

CORPORINOQUIA. Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia. Localización Municipal Puerto Carreño. Vichada. 21 de Febrero de 2011.

DE PETRE, A. ALI, S. REYNERO, N. Proyectos de Investigación Aplicada a los Recursos Forestales Nativos (PIARFON): Alternativas de sustentabilidad del bosque nativo del Espinal. Banco Mundial - N° 4085-AR Argentina, p. 4

DÍAZ, P. Evaluación de Propiedades Físicas y Mecánicas de Madera de *Nothofagus glauca* (Hualo) Proveniente de la Zona de Cauquenes. Universidad de Talca. Chile. 2005, p. 11.

DÍAZ, R. ACOSTA, M. CARRILLO, F. BUENDIA, R. FLORES E. ETCHEVERS J D. Madera y Bosques: Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula schl.* Et cham. Xalapa-México. 2007, p. 26

DOMÍNGUEZ, G. AGUIRRE, O. JIMENEZ, J. RODRIGUEZ, R. DIAZ, J. Biomasa aérea y factores de expansión de especies arbóreas en bosques del sur de Nuevo León. En: Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. No. 15 (Febrero 2009), p. 59-64.

ESARTE, J. Determinación de la Humedad de la Madera y Materiales de Construcción Métodos e Instrumentos de Medida. 2001, p 1.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Manual of forest inventory. FAO forestry paper. 1981, p. 27.

FIGUEROA, C. ETCHEVERS, J. VELASQUES, ACOSTA, M. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la sierra norte de Oaxaca. TERRA Latinoamericana, vol.23, Núm 1, 2005, p. 57.

FONSECA, W. ALICE, F y REY J M. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. 2009, p. 37-38.

GAYOSO, J. GUERRA, J. Contenido de carbón en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. Valdivia. 2005, p 33.

GÓMEZ, C. SÁNCHEZ, R. JARAMILLO, O. DEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá-Colombia. 2003, p. 15.

HOLMQUIST, O., CADENAS, Pietrantonio. BRACAMONTE L., COLMENTER, C. y VALLADARES, Y. Durabilidad natural de maderas comunes en el bajo apure de Venezuela: Chigo y Saladillo. 2006, p. 13.

IPCC. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Ginebra, Suiza, p. 104.

JARAMILLO, F. Proyecto Tala Materia Maderable puerto Carreño Departamento del Vichada. Medellín-Antioquia. 2007, p. 4.

KOMETTER, R. MARAVI, E. CCAD. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. Tabla de conservación para el cálculo de volúmenes de madera aserrada-caoba (*Swietenia macrophylla*). Metodología para elaborar tablas nacionales de conversión volumétrica de madera rolliza en pie a madera aserrada calidad exportación 2007, p. 18.

LOUMAN, B. QUIRÓS, D. NILSON, M. (ED). Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Turrialba-Costa rica. 2001, p. 177,178.

MÁRQUEZ, L. ROY, A. CASTELLANOS, E. Elementos técnicos para inventarios de carbono: Cambio Climático. Guatemala, 2000, p. 20,798.

MONTERO, M. M. KANNINEN, M. Comunicación técnica: Biomasa y carbono en plantaciones de *Terminalia amazonia* en la zona Sur de Costa Rica. 2002, p 50-52.

MORRISON, R. BOYD, Robert. Química orgánica quinta edición. México. 1998, p. 70.

NAKAMA, V; LUPI, A; FERRERE, P y ALFIERI, A. Las plantaciones forestales como sumideros de carbono atmosférico: Estudio de caso en la provincia de Buenos Aires. Instituto de Suelos y Recursos biológicos CIRN INTA. p. 11. [Consultado en Agosto 26 de 2011].

ORTEGA-P., S.C., A. GARCÍA-GUERRERO, C-A. RÚÍZ, J. SABOGAL. & J.D. VARGAS. Deforestación Evitada. Una Guía REDD + Colombia. Bogotá, 2010, p. 72.

PINELO, Gustavo. WWF. Manual de Inventario Forestal Integrado Para Unidades de Manejo. Serie Técnica #4. Petén, Guatemal.2004, p. 9.

PRODAN, M. PETERS, R. COX, F. REAL, P. Mensura forestal: serie investigación y educación en desarrollo sostenible. 1997, p. 39,51

PNNC. Parques Naturales Nacionales de Colombia: Reserva Natural Palmarito Casanare. 2009. [Consultado 29 de Julio de 2011].

QUINTERO TABARES, M. Distribución Espacial De *Caraipa Ilanorum*, *Xylopia ligustrifolia* y *Calophyllum brasiliense*, teniendo en cuenta su comportamiento demográfico y heterogeneidad ambiental en un bosque aluvial del río Yucao. Bogotá, 2001. Trabajo de grado (Ecólogo). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de estudios ambientales y rurales.

RUSSO, R O. Guía práctica para la medición de la captura de carbono en la biomasa forestal. Guácimo, Limón, 2009. p. 5,6.

SCHLEGEL, B, GAYOSO J y GUERRA J. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial: Manual de procedimientos muestreos de biomasa forestal. Valdivia, 2000, p. 9,10.

------. Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde. Chile 2001, p. 2

SEGURA, M. ANDRADE, H J. Agroforestería en las Américas: Captura de carbono en fincas cacaoteras indígenas: Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes. 2000, p. 89-95.

------.KANNINEN, M. Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. 2005, p. 2-8

VALLEJO, JOYAS; M.I; LONDOÑO, A.C; LÓPEZ, R.; GALEANO, G; ALVAREZ, E y DEVIA, W. Establecimiento de parcelas permanentes en bosques de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá – Colombia. 2005. 310 p. (Serie: Métodos para estudios ecológicos a largo plazo; No. 1)

VANCLAY, J. K. 1994. Modeling forest growth and yield: applications to mixed tropical forest. Biddles Ltda, Guildford UK. 312p.

VILLA, A. RAMIREZ, J. Caracterización diamétrica de las especies maderables en bosques primarios del cerro murrucú. Medellín, 2005 91 p. Tesis (Ingeniero Forestal). Universidad nacional de Colombia, facultad de ciencias agropecuarias.

WADSWORTH, F. Producción forestal para América. Departamento de agricultura de los Estados Unidos. 2000, p. 73.

ANEXOS

Anexo A. Coordenadas de las parcelas del inventario forestal.

SITIO	PARCELA	COORDENADAS	
		N	W
1	1	1.728.863	1.170.195
1	2	1.696.080	1.149.121
1	3	1.695.827	1.149.319
1	4	1.696.019	1.149.262
1	5	1.695.805	1.149.365
1	6	1.695.878	1.149.372
1	7	1.695.773	1.149.350
1	8	1.695.721	1.149.440
1	9	1.695.705	1.149.349
1	10	1.695.734	1.149.600
2	11	1.697.376	1.148.221
2	12	1.697.464	1.148.132
2	13	1.697.581	1.148.109
2	14	1.697.633	1.147.999
2	15	1.697.636	1.147.931
2	16	1.697.580	1.147.882
2	17	1.697.610	1.147.846
2	18	1.697.707	1.147.840
2	19	1.697.786	1.147.831
2	20	1.697.872	1.147.789
3	21	1.696.127	1.146.853
3	22	1.695.990	1.147.021
3	23	1.695.838	1.147.004
3	24	1.695.552	1.146.913
3	25	1.695.497	1.146.792
3	26	1.695.343	1.146.720
3	27	1.695.334	1.146.572
3	28	1.695.370	1.146.477
3	29	1.695.474	1.146.454
3	30	1.695.749	1.146.431

Anexo C. Formulario de campo utilizado para registrar las variables del muestreo destructivo.

Estimación de la biomasa aérea, contenido de carbono de la especie forestal Saladillo (<i>Caraipa llanorum</i>), en la Finca Canapro Forestal, Puerto Carreño, Vichada										
Medición de Biomasa aérea										
Formulario de Campo										
Fecha:			Responsable:	Andrés Felipe Ardila - Diego Fernando Martínez	Hoja No.		Coordenadas:			
Sitio:			Hora de inicio:		Hora de finalización:					
No. Árbol	Medidas generales		Cubicación y biomasa				Submuestras			
			Fuste			Peso (Kg)				
	En pie		hi (m)	ci (cm)	ccentral (cm)	Hojas		Rodelas	Ph (Kg)	Ps (Kg)
	Cap (cm)		1			Ramas 1		Rodela 1		
	Altura total (m)		2			Ramas 2		Rodela 2		
	Altura comercial (m)		3			Ramas 3		Rodela 3		
	Derribado		4			Ramas 4		Hojas (g)		
	Altura total (m)		5					Peso de bolsa		
	Altura comercial (m)		6			Peso de cortes		Peso total		
	Ctocón (cm)		7					P. seco con bolsa		
	htocón (cm)		8					P. seco sin bolsa		
			9					Probeta		
			10					Peso (g)		
			11					Peso (Kg)		

Anexo D. Selección de modelos ajustados para estimar la biomasa de las hojas de *C. llanorum*.

Modelos	r^2		S		PRESS		Calificación total
	valor	calificación	valor	calificación	valor	calificación	
$Bh = e^{-8,03112 + 0,689109*\sqrt{dap}}$	0,596	3	0,567	3	0,321	3	9
$Bh = e^{-10,0923 + 1,73216*\ln(dap)}$	0,637	2	0,538	2	0,289	2	6
$Bh = e^{-2,95918 - \frac{36,1291}{dap}}$ *	0,690	1	0,509	1	0,259	1	3
$Bh = \frac{e^{-6,28415 + 0,0662452*dap}}{1 + e^{-6,28415 + 0,0662452*dap}}$	0,548	4	0,608	4	0,370	4	12

*Modelo escogido para estimar la biomasa de las hojas (Bh), r^2 : coeficiente de determinación, S: el error estándar de la estimación y PRESS: la suma de cuadrado de los residuos predichos

Anexo E. Selección de modelos ajustados para estimar la biomasa de las ramas de *C. llanorum*.

Modelos	r^2		S		PRESS		Calificación total
	valor	calificación	valor	calificación	valor	calificación	
$Br = -0,00604138 + 0,0209041*dap - 0,0363437*h$	0,859	5	0,058	1	0,003	1	7
$Br = e^{-(9,07213 + 1,26988*\sqrt{dap})}$	0,885	2	0,457	4	0,208	4	10
$Br = e^{-12,6021 + 3,11051*\ln(dap)}$ *	0,899	1	0,432	4	0,187	4	9
$Br = \frac{e^{-6,20222 + 0,140312*dap}}{1 + e^{-6,20222 + 0,140312*dap}}$	0,869	4	0,553	5	0,305	5	14
$Br = normal(-3,18445 + 0,0691929*\ln(dap))$	0,872	4	0,268	3	0,072	3	10

*Modelo escogido para estimar la biomasa de ramas (Br), r^2 : coeficiente de determinación, S: el error estándar de la estimación y PRESS: la suma de cuadrado de los residuos predichos

Anexo F. Selección de modelos ajustados para estimar la biomasa total de *C. llanorum*.

Modelos	r^2		S		PRESS		Calificación total
	valor	calificación	valor	calificación	valor	calificación	
$BT = (-0,135264 + 0,027715*dap)^2$	0,978	2	0,044	1	0,002	1	4
$BT = (-0,807657 + 0,278614*\sqrt{dap})^2$	0,964	4	0,053	2	0,003	2	8
$BT = e^{-6,56534 + 1,04536*\sqrt{dap}}$	0,970	3	0,185	6	0,034	6	15
$BT = e^{-9,47559 + 2,56189*\ln(dap)}$	0,984	1	0,133	5	0,018	5	11
$\ln(BT) = -9,47559 + 2,56189*\ln(dap)$	0,958	5	0,076	4	0,006	4	13
$BT = -0,0752002 + 0,000637881*dap^2$	0,949	6	0,064	3	0,004	3	12

BT: Biomasa total; r^2 : coeficiente de determinación; S: el error estándar de la estimación y PRESS: la suma de cuadrado de los residuos predichos.

Anexo G. Selección de modelos ajustados para estimar el volumen del fuste de *C. llanorum*

Modelo	r^2		S		PRESS		Calificación total
	valor	calificación	valor	calificación	Valor	calificación	
$Vf = -0,611363 + 0,026684*dap + ,0300429*h$	0,927	9	0,098	3	0,009	2	14
$Vf = (-0,0897986 + 0,0261839*dap)^2 *$	0,962	3	0,052	1	0,003	1	5
$Vf = e^{-3,71919 + 0,0938905*dap}$	0,935	7	0,253	9	0,064	9	25
$Vf = (-0,726255 + 0,263452*\sqrt{dap})^2 *$	0,954	5	0,058	1	0,003	1	7
$Vf = e^{-6,10985 + 0,965288*\sqrt{dap}}$	0,966	3	0,181	6	0,033	5	14
$Vf = (-1,41066 + 0,63072*\ln(dap))^2$	0,923	9	0,075	2	0,006	1	12
$Vf = e^{-8,7929 + 2,36436*\ln(dap)} *$	0,980	1	0,140	4	0,020	3	8
$\ln(Vf) = -8,7929 + 2,36436*\ln(dap) *$							
$Vf = -0,0476785 + 0,000602286*dap^2$	0,939	7	0,088	2	0,008	1	10
$Vf = (0,239826 + 0,000458295*dap^2)^2$	0,933	8	0,070	1	0,005	1	10

* Tres ecuaciones ajustadas que obtuvieron mejor calificación total para estimar el volumen del fuste; r^2 : coeficiente de determinación; S: el error estándar de la estimación y PRESS: la suma de cuadrado de los residuos predichos.

Anexo H. Imagen de saladilla



Anexo I. Medición de las variables dap, altura total y altura comercial.



Anexo J. Imágenes del pesaje de la biomasa de ramas y hojas.



Anexo K. Medición de variables del fuste en el suelo.

