



PROGRAMA
ONU-REDD



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

**“GENERACIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA
DETERMINAR BIOMASA AÉREA A NIVEL DE ESPECIES,
MEDIANTE EL MÉTODO DESTRUCTIVO DE BAJA
INTENSIDAD PARA EL ESTRATO BOSQUE SECO
PLUVIESTACIONAL DEL ECUADOR”**

**TESIS DE GRADO PREVIA A
LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO
FORESTAL**

AUTORES:

Darío Javier Solano Carrión

Carlos Gabriel Vega Ojeda

DIRECTOR:

Ing. Víctor Hugo Eras Guamán Mg.Sc.

LOJA - ECUADOR

2014

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA
CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Nosotros Darío Javier Solano Carrión y Carlos Gabriel Vega Ojeda, declaramos ser autores, de la tesis titulada **“GENERACIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA DETERMINAR BIOMASA AÉREA A NIVEL DE ESPECIES, MEDIANTE EL MÉTODO DESTRUCTIVO DE BAJA INTENSIDAD PARA EL ESTRATO BOSQUE SECO PLUVIESTACIONAL DEL ECUADOR”**, como requisito para obtener al grado de: Ingeniero Forestal, autorizamos al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios podrán consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los 28 días del mes de Enero del 2014.

Firma:



Autores:	Darío Javier Solano Carrión	Carlos Gabriel Vega Ojeda
Pasaportes:	1103723969	1104203920
Dirección:	Cdla. Del Chofer “Pitas 1”. Av. Eduardo Mora Moreno 19-62 entre José Antonio Távara y Expreso	Cdla. Lojana de Turismo. Villa 15. Casa 16-90
Correo Electrónico	darsolforest@gmail.com	calitosgabriel4@hotmail.com
Teléfono	0989066161 2 540452	0993547809 2 575188

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Víctor Hugo Eras Guamán Mg.Sc.
Tribunal de Grado: Ing. Héctor Maza Chamba Mg.Sc.
Ing. Nikolay Aguirre Mendoza Ph.D.
Ing. Edwin Pacheco Pineda Mg.Sc.

“GENERACIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA DETERMINAR BIOMASA AÉREA A NIVEL DE ESPECIES, MEDIANTE EL MÉTODO DESTRUCTIVO DE BAJA INTENSIDAD PARA EL ESTRATO BOSQUE SECO PLUVIESTACIONAL DEL ECUADOR”

TESIS DE GRADO

Presentada al tribunal calificador, como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Carrera de ingeniería forestal

Área agropecuaria y de recursos naturales renovables

Universidad nacional de Loja

APROBADA:



Ing. Héctor Maza Chamba Mg.Sc.

PRESIDENTE



Ing. Nikolay Aguirre Mendoza Ph.D.

VOCAL



Ing. Edwin Pacheco Pineda Mg.Sc.

VOCAL

Ing. Víctor Hugo Eras Guamán Mg.Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Que la tesis titulada “**GENERACIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA DETERMINAR BIOMASA AÉREA A NIVEL DE ESPECIES, MEDIANTE EL MÉTODO DESTRUCTIVO DE BAJA INTENSIDAD PARA EL ESTRATO BOSQUE SECO PLUVIESTACIONAL DEL ECUADOR**”, de autoría de los señores egresados Darío Javier Solano Carrión y Carlos Gabriel Vega Ojeda, ha sido dirigida, revisada y aprobada en su integridad, por lo que autorizo su publicación y defensa.

Loja, 28 de Enero de 2014.



Ing. Víctor Hugo Eras Guamán Mg.Sc.

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Héctor Maza Chamba Mg.Sc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL CALIFICADOR DE LA TESIS.

CERTIFICA:

Que la tesis titulada “**GENERACIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA DETERMINAR BIOMASA AÉREA A NIVEL DE ESPECIES, MEDIANTE EL MÉTODO DESTRUCTIVO DE BAJA INTENSIDAD PARA EL ESTRATO BOSQUE SECO PLUVIESTACIONAL DEL ECUADOR**”, de autoría de los señores egresados Darío Javier Solano Carrión y Carlos Gabriel Vega Ojeda, ha sido revisada, y en la misma se han incorporado todas las sugerencias hechas por el Tribunal Calificador y luego de su revisión se ha procedido a su calificación y aprobación, por lo que autorizo su presentación y publicación definitiva.

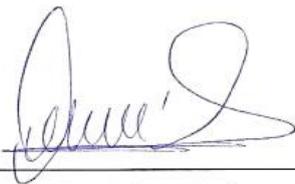
Loja, 28 de Enero de 2014.



Ing. Héctor Maza Chamba, Mg. Sc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

AUTORIA

Las ideas, conceptos, información y opiniones que contiene esta investigación, así como los resultados y discusión son de exclusiva responsabilidad de los autores, por lo que se prohíbe la reproducción total o parcial de esta tesis sin permiso previo de las titulares de los derechos de la propiedad intelectual.



Darío Javier Solano Carrión



Carlos Gabriel Vega Ojeda

DEDICATORIA

De manera muy especial a mis padres Félix Solano y Flora Carrión quienes con su esfuerzo, sacrificio y comprensión me apoyaron durante toda la vida estudiantil para obtener mi profesión, a mis hermanos Jorge, Diego y Andrea, por apoyarme en los momentos más difíciles de mi vida, a mi cuñada Karla por sus palabras de ánimo en todos los instantes compartidos, mis sobrinos Isaac y Daniela por darnos la alegría y la unión en nuestro hogar; y, a todos mis familiares y amigos por brindarme su cariño y apoyo incesante en todos los momentos especiales de la vida.

Darío Javier

A Dios por haberme brindado la vida, a mis padres Gabriel Vega y Rosa Angélica por brindarme su apoyo incondicional en todo momento, por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracteriza, a mis hermanos Jhuliana, Yadira, Milena, Diego María, Santiago y Geonanny por los consejos y el apoyo que me han brindado durante mi vida estudiantil, a mis abuelitos Simón†, Rosa; Carlos† Rosa, por los consejos sabios brindados durante todo mi vida, a mi tía Olga O. y demás, familiares.

A mi mejor amiga y enamorada Viviana Castillo, por todo el apoyo y consejos brindados, a mis amigos y compañeros de carrera universitaria por todos sus buenos consejos.

Carlos Gabriel

AGRADECIMIENTO

Al Proyecto denominado “UN REDD FAO UNPJ/ECU/083/UNJ”, por habernos facilitado el tema de investigación, el apoyo económico, logístico y técnico incondicional en el desarrollo de la investigación.

Al Ministerio del Ambiente (MAE), por habernos brindado los permisos necesarios para el desarrollo de la investigación dentro de las Áreas Protegidas del Ecuador.

A la Universidad Nacional de Loja (UNL) por habernos acogido en la aulas donde nos formamos, también a todos los ingenieros que forman parte de la planta docente de la Carrera de Ingeniería Forestal, por habernos influido sus conocimientos técnicos y científicos, al Ing. Víctor Hugo Eras Guamán por la eficiente dirección de la tesis, al Ing. Manuel Quizphe por su excelente atención como Coordinador de la CIF.

A los Ing. Bolivar Merino y Eduardo Cueva por su ayuda incondicional en campo como en el Herbario “Reinaldo Espinosa” Loja

De manera muy especial a nuestros padres, hermanos y familiares en general por habernos brindado el apoyo emocional, ético y económico para poder solventar y salir adelante en nuestro proyecto.

Finalmente, agradecemos a nuestros compañeros de clase y amigos por el apoyo que nos brindaron en el desarrollo de la presente investigación.

Gracias a todos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	RESUMEN.....	1
	ABSTRACT.....	2
2.	INTRODUCCIÓN.....	3
	Objetivo General.....	5
	Objetivos específicos.....	5
3.	MARCO TEÓRICO.....	6
3.1.	BOSQUE SECO DEL ECUADOR.....	6
3.1.1.	Importancia del bosque seco.....	6
3.1.2.	Clasificación del bosque seco.....	7
3.2.	BOSQUE SECO PLUVIESTACIONAL (BSP).....	7
3.3.	BOSQUE SECO ANDINO (BSA).....	8
3.4.	CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL.....	8
3.4.1.	Causas y Efectos del cambio climático.....	9
3.4.2.	Efecto invernadero.....	10
3.4.3.	Dióxido de carbono.....	11
3.4.3.1.	El ciclo global del carbono.....	12
3.4.3.2.	Flujo y reservorios de carbono.....	13
3.4.3.3.	Los bosques como reservorios de carbono.....	14
3.5.	DEFINICIÓN, IMPORTANCIA Y CONCENTRACIÓN DE BIOMASA AÉREA DEL ÁRBOL.....	15
3.5.1.	Métodos para la estimación de biomasa.....	16
3.5.1.1.	Método directo (destructivo).....	16
3.5.1.2.	Método indirecto (tradicional).....	17
3.6.	MODELOS ALOMÉTRICOS.....	17
3.6.1.	Descripción de modelos alométricos.....	18
3.6.2.	Modelos alométricos para la estimación de biomasa.....	19
3.6.3.	Selección de ecuaciones y modelos alométricos para biomasa.....	20
4.	METODOLOGÍA.....	23
4.1.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	23
4.2.	EQUIPOS Y MATERIALES REQUERIDOS.....	25
4.3.	METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA BIOMASA AÉREA DE LAS ESPECIES DEL BOSQUE PLUVIESTACIONAL, A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA OFICIAL DESARROLLADA POR EL MAE.....	26
4.3.1.	Determinación del número de UM a medir por estrato.....	26
4.3.2.	Identificación de las especies.....	28
4.3.3.	Medición de las variables en árboles en pie y toma de muestras.....	29
4.3.4.	Secado en laboratorio y determinación de materia seca.....	34
4.3.4.1.	Calculo de la biomasa seca del fuste.....	34
4.3.4.2.	Cálculo de la biomasa seca de la copa.....	35
4.3.4.3.	Cálculo de la biomasa aérea del árbol.....	36
4.3.5.	Medición destructiva de los individuos.....	37
4.3.5.1.	Medición de variables en pie.....	37

4.3.5.2.	Tala de árboles y separación de partes.....	37
4.3.5.3.	Pesado de las partes.....	38
4.3.6.	Calculo del Factor expansión de biomasa.....	40
4.4.	METODOLOGÍA PARA ELABORAR MODELOS ALOMÉTRICOS DE LA BIOMASA AÉREA ESTADÍSTICAMENTE VALIDADOS PARA LAS ESPECIES DEL BOSQUE SECO PLUVIESTACIONAL..	40
4.4.1.	Generación de ecuaciones alométricas.....	40
4.4.1.1.	Programa estadístico.....	41
4.4.1.2.	Definición de las variables independientes.....	41
4.4.1.3.	Selección de ecuaciones de regresión.....	42
4.4.1.4.	Selección de los modelos alométricos de biomasa.....	42
4.4.1.5.	Comparación de las observaciones reales contra las estimaciones de los mejores modelos.....	43
4.5.	METODOLOGÍA PARA DIFUNDIR LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN A LOS ACTORES INTERESADOS PARA SU CONOCIMIENTO Y APLICACIÓN EN LA CONSERVACIÓN DEL BOSQUE SECO PLUVIESTACIONAL.....	44
5.	RESULTADOS.....	45
5.1.	DETERMINACIÓN DE LA BIOMASA AÉREA DE LAS ESPECIES DEL BOSQUE SECO PLUVIESTACIONAL, A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA OFICIAL DESARROLLADA POR EL MAE.....	45
5.1.1.	Factor de forma (f).....	45
5.1.2.	Parámetros ecológicos para selección de especies para método destructivo de baja intensidad.....	46
5.1.3.	Factor de expansión de biomasa (FEB).....	47
5.1.4.	Biomasa aérea total almacenada a nivel de especies por hectárea, en Bosque Seco Pluviestaconal.....	48
5.2.	ELABORACIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS DE LA BIOMASA AÉREA ESTADÍSTICAMENTE VALIDADOS PARA LAS ESPECIES DEL BOSQUE SECO PLUVIESTACIONAL.....	50
5.2.1.	Modelos alométricos para determinación de biomasa aérea de 19 especies de Bosque Seco Pluviestacional y parámetros para su validación.....	50
5.2.1.1.	Descripción y representación gráfica del modelo alométrico para <i>Tabebuia chrysantha</i>	52
5.2.1.2.	Descripción y representación gráfica del modelo alométrico para <i>Cecropia trichistandra</i>	55
5.2.1.3.	Descripción y representación gráfica del modelo alométrico para <i>Eriotheca ruizii</i>	57
6.	DISCUSIÓN.....	60
6.1.	Factor de forma.....	60
6.2.	Factor de expansión de biomasa FEB.....	60
6.3.	Biomasa aérea total almacenada a nivel de especies por hectárea, en Bosque Seco Pluviestaconal.....	61

6.4.	Modelos alométricos para determinación de biomasa aérea de 19 especies de Bosque Seco Pluviestacional y parámetros para su validación.....	62
7.	CONCLUSIONES.....	64
8.	RECOMENDACIONES.....	65
9.	LITERATURA CITADA.....	66
10.	ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Ecuaciones alométricas que más se emplean para estimación de volumen, biomasa y carbono para estratos de bosque.....	21
Cuadro 2.	Parámetros estadísticos utilizados para seleccionar los mejores modelos alométricos.....	21
Cuadro 3.	Coordenadas UTM y localización de conglomerados establecidos en Bosque Seco Pluviestacional.....	24
Cuadro 4.	Listado de instrumentos y materiales para el levantamiento de cada unidad de muestreo.....	25
Cuadro 5.	Estimación del volumen de copa como una función de la forma de la copa.....	36
Cuadro 6.	Relaciones estadísticas genéricas para generación de modelos alométricos.....	42
Cuadro 7.	Parámetros estadísticos de selección de ecuaciones alométricas...	43
Cuadro 8.	Parámetros ecológicos de las cuatro especies de mayor importancia en las diferentes áreas de estudio de Bosque Seco Pluviestacional.....	46
Cuadro 9.	Modelos alométricos de mejor ajuste para estimación de biomasa aérea de 19 especies de Bosque Seco Pluviestacional.....	51
Cuadro 10.	Análisis de regresión lineal para el modelo alométrico de la especie <i>Tabebuia chrysantha</i>	54
Cuadro 11.	Análisis de regresión lineal para el modelo alométrico de la especie <i>Cecropia trichistandra</i>	56
Cuadro 12.	Análisis de regresión lineal para el modelo alométrico de la especie <i>Eriotheca ruizii</i>	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Pasos generales empleados en el método directo o destructivo para la determinación de la biomasa aérea.....	17
Figura 2.	Medición de variables en campo para la posterior utilización de ecuaciones alométricas.....	17
Figura 3.	Mapa de ubicación de los cuatro conglomerados establecidos en Bosque Seco Pluviestacional del Ecuador Continental.....	24
Figura 4.	Representación gráfica del diseño del conglomerado de 3 parcelas..	27
Figura 5.	Representación gráfica de la parcela de inventario y el sub-diseño en fajas que facilito el establecimiento en campo y medición.....	27
Figura 6.	Ubicación y medición de árboles en la parcela, (a) Descripción de filas y carril central. Los carriles centrales de cada faja constituyen los ejes Y. Perpendicularmente hacia los lados del carril central se define el eje X. Por norma los árboles a la izquierda son negativos (-X) y a la derecha positivos (+X). (b) Ejemplo de ubicación y registro de dos árboles en la primera faja: $Dy = 13$ y $Dx = 4$, y $Dy = 40$ y $Dx = -7$, y en la segunda faja $Dy = 35$ y $Dx = -3$	28
Figura 7.	Variables medidas en los árboles en pie para el cálculo de los volúmenes de fuste y copa.....	29
Figura 8.	Puntos de muestreos de densidad de madera para árboles menores a 7 m de altura comercial (a) y mayores a 7 m de altura comercial (b) .	30
Figura 9.	Puntos de toma de muestras del fuste con el barreno de incremento y pilodyn.....	31
Figura 10.	Ilustración de la medición de la densidad de la copa a través de: (a) la extracción una rama representativa, (b) medición del volumen y pesaje de las partes de la rama y (c) obtención de una muestras de ramas gruesas, ramas finas y hojas, para pesar y secar en el laboratorio.....	32
Figura 11.	Ejemplo de la medición del volumen de una rama, para lo cual se apilo las ramas gruesas, finas y hojas en una pirca de largo (1 m) y ancho (0.5 m), variando en altura con base en la cantidad de biomasa de la rama. Se recomienda apilar primero las ramas gruesas, luego las finas y finalmente las hojas.....	32
Figura 12.	Colocación de las muestras de ramas gruesas, finas y hojas, en la estufa a una temperatura de 75-90°C.....	34
Figura 13.	(a) Se cortan los árboles al ras del suelo y se divide en partes: tronco, ramas gruesas, ramas finas y hojas, (b) Se midió varios diámetros del tronco para establecer su factor de forma y el volumen exacto del fuste.....	38
Figura 14.	Pesaje total de las partes del árbol, (a) hojas, (b) ramas finas, (c) ramas gruesas, (d) tronco; para obtener el peso fresco, desarrollado en cada conglomerado.....	39
Figura 15.	Cubicación total de la copa de un árbol por el método destructivo.	39
Figura 16.	Diagrama de dispersión de factor de forma.....	45
Figura 17.	Diagrama de dispersión de factor de expansión de especies taladas.	48
Figura 18	(a, b, c, d) . Diagrama de distribución de biomasa aérea a nivel de especies por hectárea en Bosque Seco Pluviestacional.....	49

Figura 19.	a) Logaritmo natural de la biomasa aérea total en función del logaritmo natural del DAP, b) Logaritmo natural de la biomasa aérea total en función del logaritmo de la altura comercial, c) Distribución de los residuos estudentizados y valores predichos, d) Gráfico Q-Q plot de los cuantiles observados en relación a los cuantiles de una normal.....	53
Figura 20.	a) Biomasa aérea total en función de DAP2, b) Biomasa aérea total en función de la altura comercial, c) Distribución de los residuos estudentizados de la biomasa y valores predichos, d) Gráfico Q-Q plot de los cuantiles observados en relación a los cuantiles de una normal.....	55
Figura 21.	a) Logaritmo natural de la biomasa aérea total en función del logaritmo natural del DAP, b) Logaritmo natural de la biomasa aérea total en función del logaritmo de la altura comercial, c) Distribución de los residuos estudentizados y valores predichos, d) Gráfico Q-Q plot de los cuantiles observados en relación a los cuantiles de una normal.....	57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Guía para medición de diámetros de fuste, diámetros de copa y alturas en árboles en pie.....	76
Anexo 2.	Síntesis del método de barrenado de incremento para la medición de la densidad de la madera.....	85
Anexo 3.	Síntesis del método para la medición de la densidad de la madera con el uso del Pilodyn.....	89
Anexo 4.	Normas INEN para determinación de la densidad de la madera.....	92
Anexo 5.	Formularios para la toma de datos, en los conglomerados para determinación de modelos alométricos.....	97
Anexo 6.	Poster que presenta el resumen de los principales resultados alcanzados en la presente Investigación.....	121
Anexo 7.	Cuadro resumen de resultados totales del promedio del factor de expansión de biomasa, del factor de forma y la biomasa total en kg/ha.....	122
Anexo 8.	Cuadro de parámetros ecológicos de todas las especies de los cuatro conglomerados de Bosque Seco Pluvial.....	127
Anexo 9.	Cuadro resumen de los once modelos alométricos realizados para cada especie de este estudio.....	130

1. RESUMEN

En el presente estudio responde a la necesidad de disponer de un conocimiento sobre la generación de modelos alométricos para determinar biomasa aérea a nivel de especies mediante el método destructivo de baja intensidad para el estrato Bosque Seco Pluviestacional del Ecuador. En este contexto los objetivos que motivaron la realización del presente estudio fue generar modelos alométricos para determinar biomasa aérea de las especies de Bosque Seco Pluviestacional y difusión de los resultados obtenidos.

Para generar los modelos alométricos para estimación de biomasa se instalaron cuatro conglomerados en los sitios de Mangahurco, Loja; Chacras, El Oro; Mamey, Guayas; y, Piñas del Julcuy, Manabí; en los mismos que se instalaron tres parcelas, cada una de ellas de 60 x 60 m, separadas en tres fajas; en la primera faja se midieron todos los individuos con $DAP \geq 10$ cm, en las fajas dos y tres se midieron los individuos ≥ 20 cm; a estos árboles se les midió los parámetros dasométricos (DAP, HT, HT, DC, medición de barreno de incremento, pylodin); para la identificación de especies se colectaron muestras que fueron llevadas al Herbario Loja. Se calcularon los parámetros ecológicos para determinar que especies son taladas; a estos individuos se les realizó el pesaje total de hojas, ramas gruesas, ramas finas, fuste y viruta, para obtener el volumen total de cada árbol; se determinó el factor de forma y el factor de expansión de biomasa para cada especie.

Entre los principales resultados se manifiesta que se registraron un total de 633 individuos, que mediante la identificación taxonómica se las agrupo en 44 especies; del total registrado se tomaron 19 para la elaboración de modelos alométricos, con la ayuda del programa infostat; para las especies que se determinó los modelos se realizó 11 relaciones estadísticas destacándose los siguientes: $B = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * HT$; $B = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 + \beta_2 * HC$ y $B = \beta_0 + \beta_1 * LN DAP + \beta_2 * LN HC$ (B en Kg; DAP en cm; HT y HC en m); considerando los siguientes parámetros para su validación ($R^2 \geq 70$, AIC, $VIF \leq 10$, p-valor ≤ 0.05).

Los modelos alométricos ajustados para cada especie pueden ser utilizados en condiciones similares a las del presente estudio para estimar biomasa aérea total de manera confiable.

ABSTRACT

This study responds to the need for knowledge on the generation of allometric biomass models to determine the species level by the destructive method for low-intensity stratum pluviseasonal Dry Forest of Ecuador. In this context the objectives that led to the completion of this study was to generate allometric models to determine aboveground dry forest species pluviseasonal and dissemination of results.

To generate the allometric models for biomass estimation four clusters were installed at sites Mangahurco, Loja; Chacras, El Oro; Mamey, Guayas; and Piñas del Julcuy, Manabi; in the same three plots were established, each them 60 x 60 m, separated into three bands, the first band all individuals with DBH \geq 10 cm were measured at two and three belts individuals \geq 20 cm were measured, these trees are measured parameters dasometric (DBH, HT, HT, DC, measuring increment borer, pylodin) for species identification samples were taken to Loja Herbarium were collected. Ecological parameters were calculated to determine which species are felled; these individuals are performed total weighing leaves, thick branches, thin branches, stem and chip to obtain the total volume of each tree, the form factor was determined and the biomass expansion factor for each species.

Among the main results states that a total of 633 individuals, who by the taxonomic identification is grouped into 44 species were recorded, the total registered 19 were taken for developing allometric models, with the help of InfoStat program, for species models was determined 11 summaries highlighting the following took place: $B = \beta_0 + \beta_1 * DBH + \beta_2 * HT$; $B = \beta_0 + \beta_1 * DBH^2 + \beta_2 * HC$ y $B = \beta_0 + \beta_1 * LN DBH + \beta_2 * LN HC$ (B in kg and cm DBH, HT and HC in m), considering the following parameters for validation ($R^2 \geq 70$, AIC, VIF \leq 10, p-value \leq 0.05).

The allometric models adjusted for each species may be similar to those used in this study to estimate total aboveground biomass conditions reliably.

2. INTRODUCCIÓN

Los bosques a través del proceso fotosintético capturan dióxido de carbono atmosférico (CO₂), lo fijan en sus estructuras vivas y parte de éste lo acumulan en su biomasa, lo transfieren al mantillo en descomposición y al suelo; de esta manera constituyen reservas de carbono. La acumulación de carbono es influenciada principalmente por factores físicos, edáficos y por patrones de disturbio que afectan la estructura comunitaria y las reservas de biomasa y carbono en los bosques tropicales (Vásquez y Arellano, 2012).

El Ecuador en diciembre de 1999, firmó el Protocolo de Kioto, en el contexto de la importancia de los problemas que generan el cambio climático a nivel mundial y su efecto a nivel nacional y local; y, de la necesidad de desarrollar medidas de control y mitigación. El país ha reconocido el potencial de los proyectos que incluyen el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), así como los proyectos que no se incluyen en el MDL, como es el caso de proyectos forestales (Cordelim, 2001).

El Ministerio del Ambiente ha implementado a partir del mes de agosto del 2000 la Unidad de Cambio Climático, instancia técnico-científica, en la cual se incluyen los Grupos de Trabajo sobre los temas relacionados directa o indirectamente con el cambio climático. El Reglamento Funcional del Comité Nacional del Clima fue aprobado en el mes de octubre del 2000.

En este contexto el Ministerio del Ambiente de Ecuador ha promovido proyectos como Socio Bosque y proyecto de Adaptación al Cambio Climático (PACC) con el objetivo de mitigar los efectos del cambio climático; y, ayudar a la conservación de los recursos naturales para beneficio de las comunidades y generaciones futuras del País.

Según Pizzurno 2010, manifiesta que en la parte aérea del bosque se almacenan 22,91 tC¹ en 1000 m², y que por lo tanto hay un *stock* de 229,1 tC/ha.

La estimación del potencial de fijación de carbono (C) en los estratos de Bosque Seco Pluviestacional del Ecuador, son de gran importancia frente al incremento del dióxido de carbono (CO₂) en la atmosfera y por su potencial efecto en el clima global.

Sin embargo, a pesar de la gran importancia que tiene los Bosques en la captura de

¹ Toneladas de Carbono (tC)

carbono, existe un desconocimiento general por parte de los pobladores acerca del papel fundamental que cumplen los bosques en la fijación de carbono, lo que da como resultado que la población no esté participando en actividades implementadas por el estado, a fin de contribuir con la conservación y de forma indirecta en el almacenamiento de carbono en las áreas boscosas.

En Ecuador los bosques secos costeros forman parte de la Región Tumbesina (Ecuador – Perú) y abarcan aproximadamente 135 000 km², los mismos que se encuentran ubicados al suroeste Ecuatoriano y noroeste Peruano desde 0 hasta 1000 msnm (Aguirre *et al.*, 2006). Los bosques secos de la provincia de Loja, se presentan en pequeños remanentes y en otros escenarios solamente algunos árboles aislados, como resultado de las actividades humanas. Sin embargo, según Neill (2000), el estado actual de conservación es considerado como bueno, ya que su composición florística y estructura presentan mejores características que los bosques de las provincias de Manabí, Guayas, y El Oro e incluso mejor que los del norte del Perú.

La conservación de los bosques secos es urgente y fundamental para mantener procesos funcionales del ecosistema y garantizar los servicios ambientales que reciben las poblaciones locales, entre los que se puede mencionar: la protección de suelo, provisión de agua, almacenamiento y secuestro de carbono, el control de la erosión, protección contra deslizamientos e inundaciones, recursos alimenticios, forraje para el ganado, y otros productos forestales no maderables, como producción de miel, algarrobina, algodón, palo santo, entre otros. (Aguilar, 2008).

Según Álvarez 2008, los modelos alométricos ayudan al cálculo de la biomasa de grandes áreas forestales, valiéndose de la correlación existente entre las variables de difícil medición (pesos) y aquellas directamente medidas en inventarios forestales (diámetro a la altura del pecho y altura comercial o total). El empleo de los modelos alométricos desarrollados en regiones diferentes para la estimación de la biomasa presentan limitaciones debido a las distintas condiciones que rigen el crecimiento de los árboles, entre las cuales se incluyen la genética, las subpoblaciones locales, el clima y los suelos. Estos factores son determinantes en el incremento de biomasa y por tanto en la fijación de CO₂. De ahí la importancia de la generación de modelos alométricos locales.

Con estos antecedentes, se desarrolló esta investigación en la que se determinó modelos

alométricos para estimar la biomasa de las especies seleccionadas en el estrato Bosque Seco Pluviestacional, aplicando la metodología propuesta por el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), utilizada en la Evaluación Nacional Forestal (ENF), la misma que cumple con las exigencias del mecanismo de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD). Además, se constituye el primer estudio investigativo donde se elabora modelos alométricos para especies de Bosque Seco del Ecuador.

El estudio se lo realizó en la cobertura vegetal más representativa de este tipo de Bosque Seco Pluviestacional, en el periodo comprendido de Julio 2012 hasta Diciembre 2013, siendo el área de estudio los siguientes sectores: en la provincia de Loja, en el cantón Zapotillo, parroquia Mangahurco; en la provincia de El Oro, en el cantón Huaquillas, parroquia Chacras; en la provincia de Guayas, cantón Guayaquil, en la parroquia Progreso, recinto Mamey; y, en la provincia de Manabí, cantón Jipijapa, parroquia Piñas de Julcuy.

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo General:

- Contribuir al desarrollo de modelos alométricos estadísticamente validados, para cuantificar la biomasa y contenido de carbono a nivel de especies, en el Bosque Seco Pluviestacional del Ecuador.

Objetivos específicos:

- Determinar la biomasa aérea de las especies del Bosque Seco Pluviestacional, a través de la aplicación de la metodología oficial desarrollada por el MAE.
- Elaborar modelos alométricos de la biomasa aérea estadísticamente validados para las especies del Bosque Seco Pluviestacional.
- Difundir los resultados de la investigación a los actores interesados para su conocimiento y aplicación en la conservación del Bosque Seco Pluviestacional.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. BOSQUE SECO DEL ECUADOR

La existencia del bosque seco en el Ecuador se atribuye a la presencia de la corriente fría de Humboldt y a la Cordillera de los Andes, que no permite el paso de la humedad de la Amazonia, de ahí que la gran mayoría de este ecosistema se encuentra en la costa. (Aguirre, 2012 y Martínez *et al.*, 2006).

Los bosques secos se encuentran en el centro y sur de la región occidental de los Andes, en las provincias de Esmeraldas, Manabí, Guayas, El Oro y Loja. Originalmente cerca del 35% (28 000 km²) del Ecuador occidental estaba cubierto por bosque seco, se estima que el 50% habría desaparecido (Aguirre, 2012 y Aguirre & Kvist, 2005).

La mayor superficie de estos ecosistemas se encuentra entre 0 – 1 000 msnm que incluye las tierras bajas, estribaciones occidentales bajas de la cordillera de los Andes, ubicados sobre terrenos colinados y abruptos. Según Sánchez *et al.* (2006), también se encuentran en valles interandinos de la sierra ubicados entre 1 000 – 2 600 msnm. Los suelos los cuales se desarrollan los bosques secos son arcillosos, que en la temporada lluviosa forman lodazales y en la temporada seca se manifiestan con grandes grietas. Ocasionalmente pueden desarrollarse en suelos pedregosos y arenosos (Herbario LOJA *et al.*, 2001).

Los bosques secos se desarrollan en condiciones climáticas extremas, una precipitación anual de 400 – 1 000 mm, en un periodo de 3-4 meses (Aguirre, 2012 y Martínez *et al.* 2006) y una estación seca que abarca un periodo superior a los 5 meses (Paladines 2003); la temperatura media anual es de 24,9°C (Herbario LOJA *et al.*, 2001). La evapotranspiración potencial es de 1 783 mm/año (Contento, 2000).

3.1.1. Importancia del bosque seco

Los bosques secos del occidente del Ecuador junto a los bosques del noroccidente del Perú constituyen “**El Centro de Endemismo Tumbesino**”, considerada una de las regiones más importantes del planeta por su riqueza biológica y endemismo, y uno de los puntos calientes de biodiversidad del planeta. De acuerdo a estudios de “Birdlife International” en esta zona existen 800 especies de aves con 55 endémicas (7%), 142 de mamíferos con 54 endémicas (38%) y 6.300 de plantas con 1290 endémicas (20,5%). En lo que respecta a las aves, la región Tumbesina se identifica como “Endemic Bird

Area” (EBA), y sobresale por tener más de 50 especies con rango restringido (< de 50.000 Km²), un número que solo 4 de las 221 “EBAs” en el mundo alcanzan (Paladines, 2003 y Aguirre & Kvist, 2005).

3.1.2. Clasificación del bosque seco

Bajo el Proyecto Evaluación Nacional Forestal, se clasifica al bosque seco en: bosque seco pluviestacional y bosque seco andino.

3.2. BOSQUE SECO PLUVIESTACIONAL (BSP)

Este tipo de bosque se sitúa en la región centro-sur occidental del Ecuador, abarca las provincias de Manabí, Guayas, El Oro y Loja. De preferencia en las tierras bajas, entre el rango altitudinal de 0 y 700 msnm, se caracteriza porque más del 75% de sus especies pierden las hojas durante la época seca del año, como es el caso de *Ceiba trichistandra*, *Eriotheca ruizii*, *Cochlospermum vitifolium* y *Tabebuia chrysantha*, que son las especies más conspicuas de estas formaciones. El estrato superior llega hasta los 20 m y en algunos casos 25 m; mientras que el estrato intermedio posee alturas entre 10-15 m (Aguirre *et al.*, 2006b).

Estos ecosistemas se caracterizan porque su precipitación está generalmente por debajo de los 1 600 mm con cinco a seis meses secos, donde la precipitación total es menor a 100 mm. Esto condiciona la estructura de la vegetación, resultando en bosques de menor estatura y área basal que los bosques húmedos, aunque con una composición florística particular. Los bosques estacionalmente secos de esta región están ubicados en áreas con gran cantidad de población humana (Aguirre *et al.*, 2006b).

La diversidad florística del bosque seco pluviestacional del Ecuador es muy interesante, aproximadamente el 80 % de sus componentes son endémicos regionales, que se comparten con el Perú, por estar ubicados en el corazón del *Centro de endemismo tumbesino*; una de las regiones más importantes para la conservación en el mundo. Los bosques secos tumbesinos están restringidos a un área geográfica pequeña, 50 000 km², entre Ecuador y Perú. (Aguirre, 2012).

Las especies vegetales características de los bosques secos pluviestacionales son: *Ceiba trichistandra*, *Cavanillesia platanifolia*, *Eriotheca ruizi*, *Tabebuia chrysantha*, *Cordia lutea*, *Terminalia valverdae*, *Machaerium millei*, *Cochlospermum vitifolium*, *Bursera*

graveolens, *Coccoloba ruiziana*, *Caesalpinia glabrata*, *Piscidia carthagenensis* y especies de cactáceas como: *Armatocereus cartwrightianus*, *Opuntia ficus indica* y *Enpostoa lanata* (Aguirre, 2012 y Aguirre & Kvist, 2005).

3.3. BOSQUE SECO ANDINO (BSA)

Según Aguirre et al. (2006), estos bosques secos se ubican en el callejón interandino del Ecuador, desde las provincias de Imbabura y Pichincha en el norte hasta Azuay, Zamora Chinchipe y Loja en el sur. Se ubican entre 800 y 2 600 m de altitud. Principalmente en las hondonadas y valles de las cuencas altas, debido a la profundidad del suelo y a la humedad. En estos ambientes se desarrollan bosquetes de *Acacia macracantha*, *Anadenanthera colubrina*, *Ceiba insignis*, *Hura crepitans* y *Cybistax antisyphilitica*, donde el dosel superior puede alcanzar hasta los 12 m, también son sobresalientes especies como *Echinopsis pachanoi* y *Dodonaea viscosa*.

En algunas zonas donde la influencia antrópica ha sido fuerte la vegetación es arbustiva, espinosa, xerofítica, poco densa y con alturas de hasta 4 m, pero en algunos lugares protegidos o de difícil acceso se encuentra un bosque mejor desarrollado, con un dosel de hasta 8 m de altura. Sin embargo, la diversidad de especies arbóreas es baja (Aguirre et al., 2006b).

3.4. CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

Según Becerril 2007, define el cambio climático global como un cambio atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. Se incluyen en este término aquellas actividades que, aunque ejercidas localmente, tienen efectos que trascienden el ámbito local o regional para afectar el funcionamiento global del sistema Tierra (Duarte, 2006).

El uso de combustibles y el cambio en el uso de suelo son considerados a nivel mundial como las dos principales fuentes netas de CO₂ a la atmósfera relacionadas con el cambio climático global (Mintzer, 1992). A pesar de que son negativos los efectos del incremento de CO₂ desde el punto de vista antropogénico, existe un escenario que puede considerarse positivo y puede ocurrir en ciertas zonas, ya que un incremento de temperatura y precipitación aumentaría la productividad primaria neta de ecosistemas y cosecha en zonas en las que el crecimiento de la vegetación está limitado por uno o

ambos factores (Becerril, 2007). Según Reams & Noejd (1996), demostraron que al producirse un aumento en la concentración del CO₂ en la atmósfera, produce un efecto fertilizante en los árboles y la vegetación en general.

La Tierra, al calentarse bajo el influjo de la energía solar que atraviesa su atmósfera, devuelve parte de esta energía al espacio en forma de radiación infrarroja. Los “gases de efecto invernadero” en la atmósfera impiden que la radiación infrarroja escape directamente de la superficie al espacio, en tanto esta radiación no puede atravesar directamente el aire como la luz visible (Chenost *et al.*, 2010).

El (CO₂) tiene un efecto proporcional de 49-67 % en el calentamiento global con respecto a los otros gases como el óxido de nitrógeno (NO₂), metano (CH₄), Ozono (O₃), haloclorofluorocarbonos (CHFC) y el vapor de agua (H₂O), (Brown, 1997 y Chenost *et al.*, 2010).

Si bien estos gases en su conjunto representan menos del 1% de la composición de la atmósfera, cumplen la vital función de producir el “efecto invernadero natural”, gracias al cual existe la vida en el planeta tal y como la conocemos (Baethgen & Martino, 2002).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) usa el término cambio climático sólo para referirse al cambio por causas humanas; el cual “se entiende como el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. Al producido por causas naturales lo denomina variabilidad natural del clima (IPCC, 2001).

3.4.1. Causas y Efectos del cambio climático

Ministerio del Ambiente Ecuatoriano 2011, expresa que las actividades humanas han alterado los ciclos de la naturaleza y en los últimos años hay una mayor concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Las principales causas son:

- Desde hace 200 años los seres humanos empezamos a utilizar más máquinas para la producción industrial, esto significó que se queme más carbón, más gas, más gasolina, más petróleo para mover las máquinas. La quema de estos combustibles

representa cerca del 80% de las emisiones mundiales de carbono a la atmósfera.

- La deforestación, el cambio de uso del suelo (por ejemplo en lugar de la siembra de alimentos el suelo sirve ahora para urbanizaciones o para pastizales).
- Una parte de los gases provienen del corte de árboles y la quema de los bosques.

Según Chenost *et al.*, (2010), los modelos climáticos estiman que la temperatura media mundial ha de aumentar entre 1,4 y 5,8° C (2,5 – 10,4° F) para el año 2100. Esta proyección utiliza como año de referencia 1990 y parte de la base de que no se adopten políticas para reducir al mínimo las causas del cambio climático. También toma en cuenta las respuestas climáticas y los efectos de los aerosoles, tal como se entienden actualmente.

El cambio climático generaría mayor sequedad en América Central y Noroeste de América del sur, mayor humedad e incremento de temperaturas y de los vientos, ciclones e inundaciones, el retroceso de glaciares reduciría el caudal de los ríos, lo que a su vez produciría menor rendimiento de cultivos y de la pesca comercial; pérdida de la biodiversidad, degradación de ecosistemas forestales y ecosistemas de manglares; incremento de la mortalidad por la mayor frecuencia de olas de calor y por la frecuencia de lluvias e incremento del riesgo de vulnerabilidad de los habitantes de asentamientos poblacionales precarios a inundaciones (Pizzurno, 2010).

Las consecuencias de los cambios climáticos en el conjunto de las actividades económicas, la población y los ecosistemas son significativas, aumentarán a lo largo del siglo y en muchos casos son difícilmente reversibles (Cepal, 2009).

3.4.2. Efecto invernadero

El efecto invernadero natural es beneficioso y normal cuando los ciclos de la naturaleza funcionan con normalidad, pero como sabemos los seres humanos hemos alterado esos ciclos. Cuando el ciclo de carbono se altera, aumenta en la atmósfera la presencia de gases que atrapan el calor, causando el cambio climático a nivel de todo el planeta (Ministerio del Ambiente Ecuatoriano, 2011).

Según Ortiz & Riascos (2006), el efecto invernadero es un fenómeno natural que ha permitido mantener la temperatura de la tierra a niveles constantes y apropiados. Este fenómeno ocurre, cuando la radiación solar visible penetra hasta la superficie de la tierra y la calienta, y ésta a su vez emite radiación térmica, parte de la cual es retenida por los

denominados *Gases de Efecto Invernadero* (GEI) entre los que se destacan: el dióxido de Carbono, el metano, los clorofluocarbonos y el óxido nitroso. Cuando el sistema climático se encuentra equilibrado, la radiación solar absorbida está en armonía con la radiación emitida al espacio por la tierra, pero cuando la concentración de GEI en la atmósfera aumenta, este equilibrio se rompe y se provoca un aumento artificial en la temperatura media global del planeta.

La atmósfera recibe la radiación procedente del sol y emite longitudes de onda diferentes: radiación ultravioleta (absorbida, en parte, por el ozono estratosférico antes de que llegue a la superficie terrestre), radiación visible que pasa a través de la atmósfera y recibimos en la superficie terrestre como luz, y la radiación infrarroja que cruza la atmósfera y recibimos en forma de calor. Los rayos infrarrojos son absorbidos principalmente por el CO₂ y el vapor de agua de la atmósfera. De la radiación que llega a la superficie terrestre, una parte se retiene y la otra se reemite a la atmósfera en forma de calor. Este calor es captado de nuevo, por el CO₂ y el vapor de agua atmosférico, generando el denominado efecto invernadero (Yquise *et al.*, 2008).

El problema del cambio climático está estrechamente vinculado al desarrollo sostenible. Las emisiones de gases de efecto invernadero, constituyen uno de los impactos de los patrones del crecimiento económico sobre el medio ambiente y la sociedad. La Región de América Latina y el Caribe no es ajena a esta relación, su participación en las emisiones globales de GEI refleja de alguna forma su intervención en la economía mundial, que es relativamente baja, y guarda una correlación general con la de la participación de su población en la del mundo. De igual manera, la capacidad de adaptación al problema del cambio climático, deriva de la fortaleza de las instituciones y de su posibilidad de generar respuestas anticipadas y coordinadas a los retos que crecientemente impondrá (Chenost *et al.*, 2010).

3.4.3. Dióxido de carbono

El CO₂ es el gas con mayor contribución relativa al efecto invernadero intensificado, la principal fuente de emisiones de CO₂ proviene del uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural) para producir energía que a su vez se utiliza para transporte, calor, y generación de electricidad (Baethgen & Martino, 2002 y Smith *et al.*, 1993).

Según el IPCC (1996), estima que entre el 15 y el 20% del CO₂ emitido a la atmósfera

proviene del resultado de cambios en el uso de la tierra, por motivos de corta y quema de especies menos valiosas para la obtención de cultivos apreciables; es decir, que es mayor la emisión de CO₂ al cultivar la tierra que lo que se fija en los cultivos y los suelos (Baethgen & Martino, 2002).

La captación y almacenamiento de dióxido de carbono CO₂ es un proceso consistente en la separación del CO₂ de origen industrial y energético, su transporte al lugar de almacenamiento y su aislamiento de la atmósfera durante largos períodos. La inyección de CO₂ en el espacio poroso y en las fracturas de una formación permeable podría desplazar el fluido existente, disolverse en él, mezclarse con él o reaccionar con las partículas de mineral, o podrían darse varios de estos procesos conjuntamente. Al atravesar la formación geológica, parte del CO₂ se disuelve en el agua allí contenida. Una vez disuelto, el CO₂ es transportado por el flujo freático regional. La fuga de CO₂ de los pozos de inyección o de los pozos abandonados y las fugas a lo largo de fallas geológicas y a través de capas de confinamiento insuficientes podrían degradar la calidad de las aguas subterráneas; además, la liberación de CO₂ en la atmósfera podría crear problemas de salud y de salubridad a nivel local (Bates *et al.*, 2008).

3.4.3.1. El ciclo global del carbono

El ciclo del Carbono comienza con la fijación del anhídrido carbónico (CO₂) atmosférico a través de los procesos de la fotosíntesis realizados por las plantas y ciertos microorganismos. En este proceso, el CO₂ y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno a la atmósfera. Parte del carbohidrato se consume directamente para suministrar energía a la planta y el CO₂ así formado, se libera a través de sus hojas o de sus raíces. Otra parte es consumida por los animales que también respiran y liberan CO₂. Las plantas y los animales mueren y son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo lo que da como resultados que el Carbono de sus tejidos se oxide en CO₂ y regrese a la atmósfera (Ortiz & Riascos, 2006).

A través de la fotosíntesis, los árboles en crecimiento despiden oxígeno y consumen agua, luz y CO₂. Por ello, los bosques en expansión son calificados como “sumideros de carbono”: absorben gas carbónico. Cuando dejan de crecer, los árboles ya no son

sumideros, sino receptáculos de carbono: almacenan enormes cantidades de este elemento, en la superficie y en los suelos, pero cumplen un papel neutro en el balance final de CO₂. Por último, cuando se queman, los bosques despiden gas carbónico y se convierten así en fuentes de carbono. El gas carbónico que se desprende cuando los árboles viejos se descomponen se compensa con el que absorben los jóvenes que crecen en su lugar (Boukhari, 2000).

La importancia del CO₂ y el vapor de agua en la atmósfera para la regulación de la temperatura del planeta, es tal que sin su presencia, la temperatura promedio actual del planeta sería aproximadamente de 33 °C más fría; en la naturaleza el C se encuentra por doquier: en el agua bajo la forma de compuestos carbónicos disueltos y en el aire como dióxido de carbono o anhídrido carbónico. Todos los organismos vivos están constituidos por compuestos de carbono, aproximadamente, el 50 % del peso seco de cualquier organismo lo constituye este elemento, por lo que es uno de los más importantes para la generación de la vida (Becerril, 2007 y Smith *et al.*, 1993).

3.4.3.2. Flujo y reservorios de carbono

Granados & Corner (2002), mencionan dos principios físicos básicos para entender la relación entre los flujos y reservorios de carbono: El primero expresa que cuando un sistema (fuente-reservorio-sumidero) se encuentra en balance la tasa de suministro de la fuente es igual a la tasa de absorción del sumidero, por lo que el tiempo de residencia del material en el reservorio está dado por el cociente entre el tamaño del reservorio y la tasa de suministro de la fuente o la tasa de absorción del sumidero. El segundo principio determina que cuando dos reservorios de tamaño considerablemente dispar se encuentran interconectados, la tasa de transferencia entre los reservorios determinará el tamaño del reservorio más pequeño.

De acuerdo con Körner (2000), la cantidad de carbono fijado en las plantas es similar en magnitud al contenido en la atmósfera. Considerando el carbono fijado al suelo (incluyendo el humus) la biota contiene aproximadamente 3 veces más carbón fijado que el contenido actualmente en la atmósfera y aun 2 veces más que el carbono contenido en la atmósfera más el reservorio de carbono en la superficie oceánica.

Los reservorios y flujos que componen el ciclo del carbono a escala global son múltiples y de diversa complejidad. Así, tanto el fitoplancton en los océanos, las plantas en los

bosques y las actividades antropogénicas (por ejemplo, emisión de CO₂, tala de bosques, etc.) tienen un peso específico en el ciclo de carbono. Sin embargo, lo que representa el aspecto central a entender es el tamaño relativo de los reservorios y la velocidad de los flujos entre estos (Walker, 1994).

3.4.3.3. Los bosques como reservorios de carbono

Según Granados & Corner (2002), expresan que una gran variedad de tipos de vegetación se pueden incluirse en el término “bosques”; desde sabanas hasta bosques húmedos ecuatoriales de tierras bajas; mencionando que las selvas tropicales contienen aproximadamente 42 % de carbono fijado a nivel global en la biomasa, y cerca del 11% del carbono orgánico fijado en el suelo a nivel global. Todo esto sumado representa cerca del 50 % del total del reservorio de carbono orgánico. Esto destaca claramente la importancia de las selvas tropicales y subtropicales en el ciclo global del carbono.

La mayoría del carbono en la vegetación se encuentra fijado en la madera de los árboles adultos de los bosques. De esta forma, cualquier evento que modifique, ya sea directamente a los árboles adultos, y/o indirectamente, a los procesos de regeneración de los mismos, tendrá una influencia directa en el tamaño del reservorio vegetal de carbono (Philips, 1997).

De acuerdo con Chenost *et al.*, (2010), la deforestación tiene gran contribución en las emisiones antrópicas de GEI, los ecosistemas forestales también intervienen en la lucha contra el cambio climático a través de la absorción de grandes cantidades de CO₂ gracias a la fotosíntesis; esta situación explica el aumento de la superficie boscosa en los países del hemisferio Norte y Sur.

Según el IPCC (2007), existen múltiples opciones para reducir las emisiones mundiales de GEI, uno de los sectores que más contribuye a mitigar esos efectos adversos es el de las actividades forestales mediante la forestación; reforestación; gestión de bosques; reducción de la deforestación; gestión de productos de madera cultivados; utilización de productos forestales para la obtención de biocombustibles que sustituyan los combustibles de origen fósil; mejora de las especies de árboles para aumentar la productividad de biomasa y el secuestro de carbono y secuestro de carbono en la vegetación el suelo.

Philips (1997), propone los siguientes grupos de procesos como factores que afectan el

reservorio vegetal de carbono:

- Extracción selectiva de plantas
- Invasión biológica
- Fragmentación de las selvas
- El cambio climático
- El cambio en la composición atmosférica
- Cambios en la tasa de reposición de los árboles

De los seis aspectos anteriormente mencionados la extracción selectiva de plantas, la fragmentación de las selvas y el cambio climático son las que ejercen una mayor influencia en el papel que juegan las selvas tropicales en el ciclo global del carbono (Philips, 1997). La fragmentación de selvas incrementa (hasta en un 40 %) la mortalidad de los árboles adultos, lo que trae consigo consecuencias negativas para el reservorio de carbono en la vegetación tropical (Laurence *et al.*, 2000).

La extracción selectiva de plantas, afecta directamente los reservorios más grandes de carbono (árboles adultos) en las selvas tropicales. Esto es principalmente debido a que las actividades forestales hacen uso de especies de lento crecimiento (por ejemplo *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Manilkara zapota*, etc.) que son especies que dominan en la estructura de la vegetación de las selvas tropicales, más por su tamaño (biomasa acumulada) que por su abundancia (Philips, 1997).

En un lapso de solamente 200 años, la concentración atmosférica de CO₂ se ha elevado en un 30% (de 280 ppm, la concentración preindustrial a aproximadamente 360 ppm en la actualidad; para mitigar dicho incremento se requiere aumentar la biomasa de los bosques en 1.2 % anual (Joos, 1996). Si se aplicara dicho incremento a una selva madura (con al menos 100 años de crecimiento) se lograría un incremento anual del 11 % en la ganancia neta de carbono; un incremento de esta naturaleza estimularía fuertemente la tasa de recambio de las selvas, originando un cambio en el papel que las selvas tropicales tienen en el ciclo global del carbono (Granados & Corner 2002).

3.5. DEFINICIÓN, IMPORTANCIA Y CONCENTRACIÓN DE BIOMASA AÉREA DEL ÁRBOL

De acuerdo con el IPCC (2001), la biomasa es considerada como la masa total de organismos vivos en una zona o volumen determinado; a menudo se incluyen los restos

de plantas que han muerto recientemente (necromasa).

La biomasa es importante para cuantificar la cantidad de nutrientes en diferentes partes de las plantas y estratos de la vegetación, permite comparar distintos tipos de especies o vegetación o comparar especies y tipo de vegetación similares en diferentes sitios. Además, la cuantificación de la biomasa y el crecimiento de la vegetación en los ecosistemas son críticos para las estimaciones de fijación de carbono, un tema actualmente relevante por sus implicaciones en relación al cambio climático (Fonseca *et al.*, 2009; Becerril, 2007 y FAO, 1998).

La biomasa forestal se define como el peso de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema por encima y por debajo del suelo. Normalmente es cuantificada en toneladas por hectárea de peso verde o seco, generalmente es separada por componentes: masa del fuste, ramas, hojas, corteza, raíces y madera muerta (Walker, 2011 y Schlegel, *et al.*, 2000).

En términos porcentuales, el fuste del árbol concentra la mayor cantidad de biomasa aérea, representando entre 55 y 77 % del total: luego están las ramas con 5 a 37 %; y por último las hojas y la corteza del fuste entre 1 y 15 % y 4 a 16 % respectivamente (Gayoso *et al.*, 2002).

3.5.1. Métodos para la estimación de biomasa

En general, existen dos métodos para medir y estimar la biomasa aérea o biomasa sobre el suelo: el método directo y el indirecto.

3.5.1.1. Método directo (destrutivo)

El método directo o destructivo es utilizado para la construcción de ecuaciones alométricas y factores de expansión de la biomasa (FEB²), y consiste en cosechar la biomasa de todos los árboles en un área conocida, secarla y pesarla (Rügnitz *et al.*, 2009), (Figura 1). Posteriormente, el valor obtenido de biomasa seca, se convierte a carbono aplicando un factor de conversión de 0.5, debido a que se ha establecido que el contenido de carbono corresponde a cerca del 50 % de la biomasa (Yepes *et al.*, 2011). Este método destructivo es utilizado convencionalmente para proyectos locales, pero

² El factor de expansión de biomasa (FEB) es multiplicado por el volumen del fuste de cada árbol permitiendo estimar la biomasa aérea total. Este factor es menos preciso, promovido y utilizado que las ecuaciones alométricas.

implica altas inversiones de tiempo, recursos y mano de obra (Walker *et al.*, 2011).

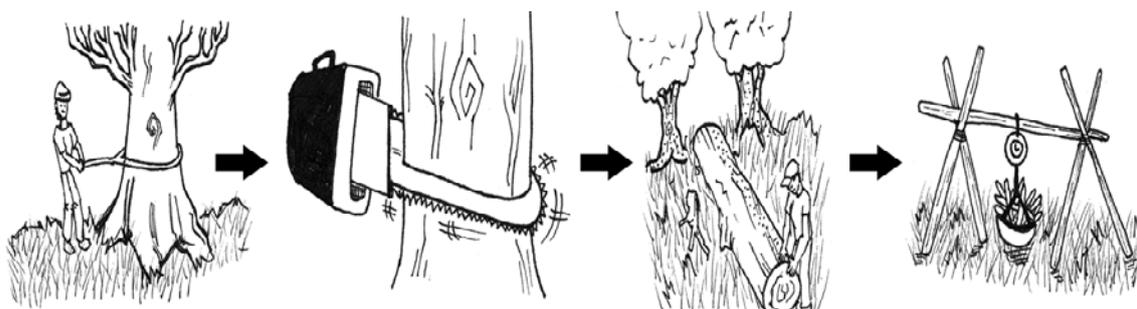


Figura 1. Pasos generales empleados en el método directo o destructivo para la determinación de la biomasa aérea

3.5.1.2. Método indirecto (tradicional).

El método indirecto, por su parte, consiste en utilizar las ecuaciones alométricas (Araújo *et al.*, 1999) o factores de expansión que actualmente existen en la literatura, y que fueron generados a partir del método directo, con el fin de realizar los cálculos de biomasa necesarios para los proyectos (Yepes *et al.*, 2011). En este caso, solo es necesario medir las variables más relevantes en campo (ejemplo; diámetro y/o altura), e incluirlas posteriormente en la ecuación seleccionada (Figura 2).

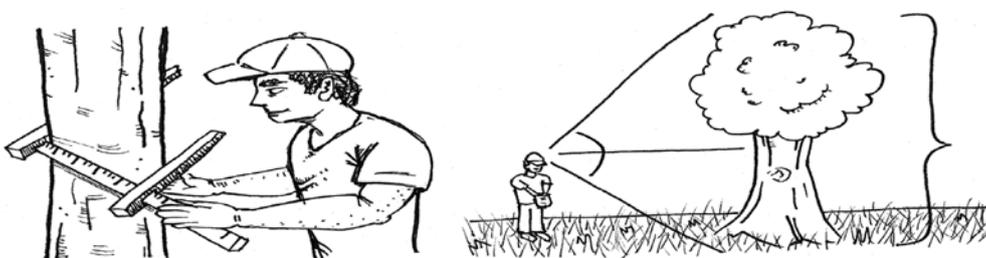


Figura 2. Medición de variables en campo para la posterior utilización de ecuaciones alométricas

Por ejemplo, se puede utilizar una ecuación que permita calcular la biomasa total de un árbol mediante la medición de su diámetro. Estas ecuaciones son generadas por medio de una técnica estadística llamada análisis de regresión (Rügnitz *et al.*, 2009).

3.6. MODELOS ALOMÉTRICOS

Segura *et al.*, (2008), manifiesta que los modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono (VBC) ayudan a estimar el almacenamiento de carbono en sistemas forestales y agroforestales; indican que para la elaboración de modelos alométricos de Volumen,

Biomasa y Carbono (VBC) de árboles individuales de especies leñosas perennes (árboles, arbustos y palmas), se debe aplicar el siguiente proceso:

- Selección del sitio y de las especies
- Estimación del tamaño de la muestra
- Selección de los individuos por muestrear
- Corte, medición y pesaje de los individuos muestreados
- Prueba de modelos genéricos
- Selección de los mejores modelos alométricos.

3.6.1. Descripción de modelos alométricos

Un modelo alométrico es una relación matemática entre una variable independiente y una dependiente. La primera puede ser estimada a partir de métodos destructivos (peso de componentes de individuos) o a partir de parámetros biométricos estimados en campo directamente (DAP y altura). A partir de estos datos, se puede establecer el grado de relación entre ésta y alguna variable derivada como biomasa (Chacín, 1998).

Segura *et al.*, (2001) proponen el uso de metodologías destructivas (muestreos para la estimación en campo mediante la tumba de individuos) siguiendo criterios estadísticos y la generación de los modelos alométricos que incluyen la variables DAP y biomasa aérea total principalmente. Su aplicación en Nicaragua y Guatemala son estimaciones reales que han servido de base para la estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea total.

Para determinar la biomasa, es muy frecuente el uso de ecuaciones alométricas cuando se ha obtenido el peso por componente o árbol total el cual se relacionan con algunas variables del árbol, siendo la variable más usada el DAP tanto para biomasa aérea y de raíces. La mayoría de estudios utilizan la forma del modelo siguiente: ³($Y=a*X^b$) (Gayoso *et al.*, 2002).

Los modelos alométricos son ecuaciones matemáticas que permiten estimar el volumen,

³ Y = Biomasa; a, b = parámetros del modelo; X = variable (DAP)

biomasa o el carbono de los árboles en función de variables de fácil medición, como el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) y/o la altura total de los árboles (Parresol, 1999).

Sin embargo, en trabajos realizados en zonas tropicales se ha encontrado que la variable independiente que mejor explica la biomasa de un árbol es el DAP (Overman *et al.*, 1994).

Una ecuación alométrica es generada a partir de los análisis de regresión. Dependiendo del número de variables independientes (datos dimensionales) la ecuación puede ser una regresión lineal simple (una única variable, ej. DAP) o una regresión lineal múltiple (más de dos variables, ej. DAP, altura total), e incluso puede ser no lineal (Rügnitz *et al.*, 2009).

3.6.2. Modelos alométricos para la estimación de biomasa

La biomasa es una variable fundamental de la estructura arbórea, ya que guarda relación directa con la productividad primaria. Adicionalmente, influyen en las condiciones ambientales del sotobosque al modificar la incidencia de luz, el ciclado de nutrientes y la demanda atmosférica de agua bajo el dosel (Waring, 1983 y Bond-Lamberty *et al.*, 2002). La biomasa foliar puede determinarse directamente mediante cosecha y pesado de todas las hojas, pero en el caso de árboles, la tarea resulta sumamente laboriosa, destructiva y poco práctica. Por esta razón, usualmente se estima mediante regresiones alométricas, basadas en otras dimensiones de los árboles de más fácil determinación (Zimmermann, 1983; Norman & Campbell, 1991 y Bond-Lamberty *et al.*, 2002).

La alometría, que es definida como “las relaciones entre las dimensiones de los organismos y los cambios en las proporciones relativas de estas dimensiones con los cambios en el tamaño absoluto” (Goldman *et al.*, 1990). En virtud de lo anterior y en el caso particular de un individuo arbóreo, un modelo alométrico es una ecuación matemática que relaciona la biomasa con variables del árbol, fácilmente medibles en pie, tales como el diámetro normal, altura de la copa libre, altura a la primera ramificación, altura total de la planta, ya sea en combinación simple o múltiple de estos atributos (Vallejo *et al.*, 2008).

Existen dos métodos comúnmente usados para estimar la biomasa: el método directo y el indirecto. Dentro del primero está el destructivo, que consiste en cortar el árbol y determinar la biomasa pesando directamente cada componente (Klinge & Herrera, 1983

y Araujo *et al.*, 1999). Dentro de los indirectos se utilizan métodos de cubicación del árbol donde se suman los volúmenes de madera, se toman muestras de ésta y se pesan en el laboratorio para calcular los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la gravedad o densidad específica (Segura, 1997). Otra forma de estimar la biomasa es mediante ecuaciones o modelos basados en análisis de regresión, que utilizan variables colectadas en el campo tales como el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura comercial (HC) y total (HT), el crecimiento diamétrico, el área basal y la densidad específica de la madera (Jordan & Uhl, 1978; Saldarriaga *et al.*, 1988; Brown, 1997; Araujo *et al.*, 1999 y Francis, 2000). Este método no es destructivo y es extrapolable a situaciones de crecimiento similares (Parresol, 1999).

Los modelos de biomasa han aumentado en los últimos años, y posiblemente sean más los desarrollados para árboles individuales que para bosques (Segura, 1997; Loguercio & Defossé, 2001; Sierra *et al.*, 2001; Acosta *et al.*, 2002; Gaillard *et al.*, 2002; Montero & Kanninen, 2002; Pérez & Kanninen, 2003; Segura & Kanninen, 2005; Montero & Montagnini, 2006; Segura *et al.*, 2006 y Dauber *et al.*, 2008). Estas ecuaciones facilitan la toma de decisiones y permiten la estimación de biomasa y carbono a gran escala.

Para estimar la biomasa se usan diferentes tipos de modelos de regresión y combinación de variables. En general, y así se demuestra en muchas investigaciones, el DAP es la variable que mejor se correlaciona y predice la biomasa. Además, el DAP es una variable fácil de medir y que se registra en la mayoría de los inventarios forestales. Jordan y Uhl (1978), y Saldarriaga *et al.*, (1988), además de estas variables, incluyen la densidad específica de la madera. Otros autores utilizan transformaciones de estas variables (Montero & Kanninen, 2002; Montero & Montagnini, 2006), empleando posteriormente factores de corrección.

3.6.3. Selección de ecuaciones y modelos alométricos para biomasa

Segura y Andrade (2008), recomiendan probar modelos de regresión genéricos ya existentes en la literatura para estimar la cantidad de biomasa (total o del componente específico) a partir del diámetro (DAP), altura total, altura comercial, volumen, o una combinación de variables (usualmente entre DAP y altura total).

A continuación se presenta las ecuaciones alométricas genéricas más empleadas para la estimación de volumen, biomasa o carbono (VBC) de árboles, arbustos y palmas.

Cuadro 1. Ecuaciones alométricas que más se emplean para estimación de volumen, biomasa y carbono para estratos de bosque

Nombre	Ecuación
Berkhout	$VVBC = a + b * DAP$
Kopecky	$VVBC = a + b * DAP^2$
Hohenadl - Krenn	$VVBC = a + b * DAP + c * DAP^2$
Husch	$\ln VVBC = a + b * \ln DAP$
Spurr	$VVBC = a + b * DAP^2 * h$
Stoate	$VVBC = a + b * DAP^2 + c * DAP^2 * h + d * h$
Meyer	$VVBC = a + b * DAP^2 + c * DAP * h + d * DAP^2 * h$
Schumacher-Hall	$\ln VVBC = a + b * \ln DAP + c * \ln * h$

Nota: VVBC = volumen (m³ árbol-1), biomasa (kg árbol-1) o carbono (kg árbol-1); DAP = diámetro a la altura de pecho (o a otra altura de referencia; cm); *h* = altura total o comercial (m); *a*, *b*, *c*, *d* = parámetros del modelo; ln= logaritmo base e.

Para seleccionar el modelo que mejor se ajuste a los datos, utilizando los siguientes parámetros estadísticos.

Cuadro 2. Parámetros estadísticos utilizados para seleccionar los mejores modelos alométricos

Parámetros estadísticos	Análisis
Coefficiente de determinación (R ²)	Expresa la cantidad de variación de la variable dependiente que es explicada por las variables independientes. Cuanto más próximo a uno (1) es el valor de R ² , mejor es el ajuste del modelo.
Coefficiente de variación (CV%)	Es una medida relativa, que permite comparar la dispersión entre dos poblaciones, o la variación resultante de dos variables distintas, que tengan diferentes unidades de medidas. Cuanto menor es el valor de CV%, mejor es el modelo.
Prueba F (análisis de varianzas)	Utilizada en modelos lineales; es una prueba estadística que sirve para comparar varianzas.
Practicidad en el uso y lógica biológica de los modelos	Analiza el comportamiento de los modelos seleccionados en los extremos y fuera del rango de los datos con los cuales se construyeron. Si la curva de un modelo cambia drásticamente al usarlo fuera del rango mencionado, éstos deben ser reevaluados o descartados.

Una vez seleccionados los modelos de mejor ajuste, se grafican los valores estimados (*x*) para cada modelo contra los observados en los árboles muestreados (*y*). Esto permite apreciar la variabilidad de los datos y si se presenta algún sesgo del modelo (se

sobreestima, sin sesgo o se subestima).

Bajo este sistema estadístico de precisión se puede obtener modelos alométricos fiables para ser utilizados en el cálculo final de los stocks de carbono a nivel nacional, y además ponerse a disposición de los sistemas de monitoreo y verificación, y de otros inventarios a nivel subnacional.

4. METODOLOGÍA

4.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se desarrolló en diferentes sitios del Bosque Seco Pluviestacional (ver figura 1), que se sitúa en la región centro-sur occidental del Ecuador, abarcando las siguientes localidades: en la provincia de Loja, en el cantón Zapotillo, parroquia Mangahurco; en la provincia de El Oro, en el cantón Huaquillas, parroquia Chacras; en la provincia de Guayas, cantón Guayaquil, en la parroquia Progreso, recinto Mamey; y, en la provincia de Manabí, cantón Jipijapa, parroquia Piñas de Julcuy.

En las tierras bajas, que comprenden un rango altitudinal entre 0 - 700 msnm, se caracteriza porque más del 75 % de sus especies pierden las hojas durante la época seca del año, como es el caso de *Ceiba trichistandra*, *Eriotheca ruizii*, *Cochlospermum vitifolium* y *Tabebuia chrysantha*, que son las especies más conspicuas de estas formaciones vegetales. El estrato arbóreo llega hasta los 20 m y en algunos casos 25 m; mientras que el estrato intermedio posee alturas entre 10 - 15 m (Aguirre *et al.*, 2010).

Estos ecosistemas se caracterizan porque su precipitación está generalmente por debajo de los 1 600 mm con cinco a seis meses secos, donde la precipitación total es menor a 100 mm. Esto condiciona la estructura de la vegetación, resultando en bosques de menor estatura y área basal que los bosques húmedos, aunque con una composición florística particular. Los bosques estacionalmente secos de esta región están ubicados en áreas con gran cantidad de población humana (Aguirre *et al.*, 2010).

La mayor superficie de estos ecosistemas se encuentra entre 0 – 1 000 msnm que incluye las tierras bajas, estribaciones occidentales bajas de la cordillera de los Andes, ubicados sobre terrenos colinados y abruptos. Según Sánchez *et al.*, (2006), también se encuentran en valles interandinos de la sierra ubicados entre 1 000 – 2 600 msnm. Los suelos los cuales se desarrollan los bosques secos son arcillosos, que en la temporada lluviosa forman lodazales y en la temporada seca se manifiestan con grandes grietas. Ocasionalmente pueden desarrollarse en suelos pedregosos y arenosos (Herbario LOJA *et al.*, 2001).

Geográficamente el área de estudios se encuentra localizada en las siguientes coordenadas UTM.

Cuadro 3. Coordenadas UTM y localización de conglomerados establecidos en Bosque Seco Pluviestacional

LOCALIDAD	CONGLOMERADO	COORDENADAS UTM	
		X (Este)	Y (Norte)
El Oro – Chacras	001	591780.59	9598017.37
Loja – Mangahurco	002	565726.63	9542132.02
Manabí – Piñas de Julcuy	003	541462.42	9828267.10
Guayas – Mamey	004	571970.92	9739911.25

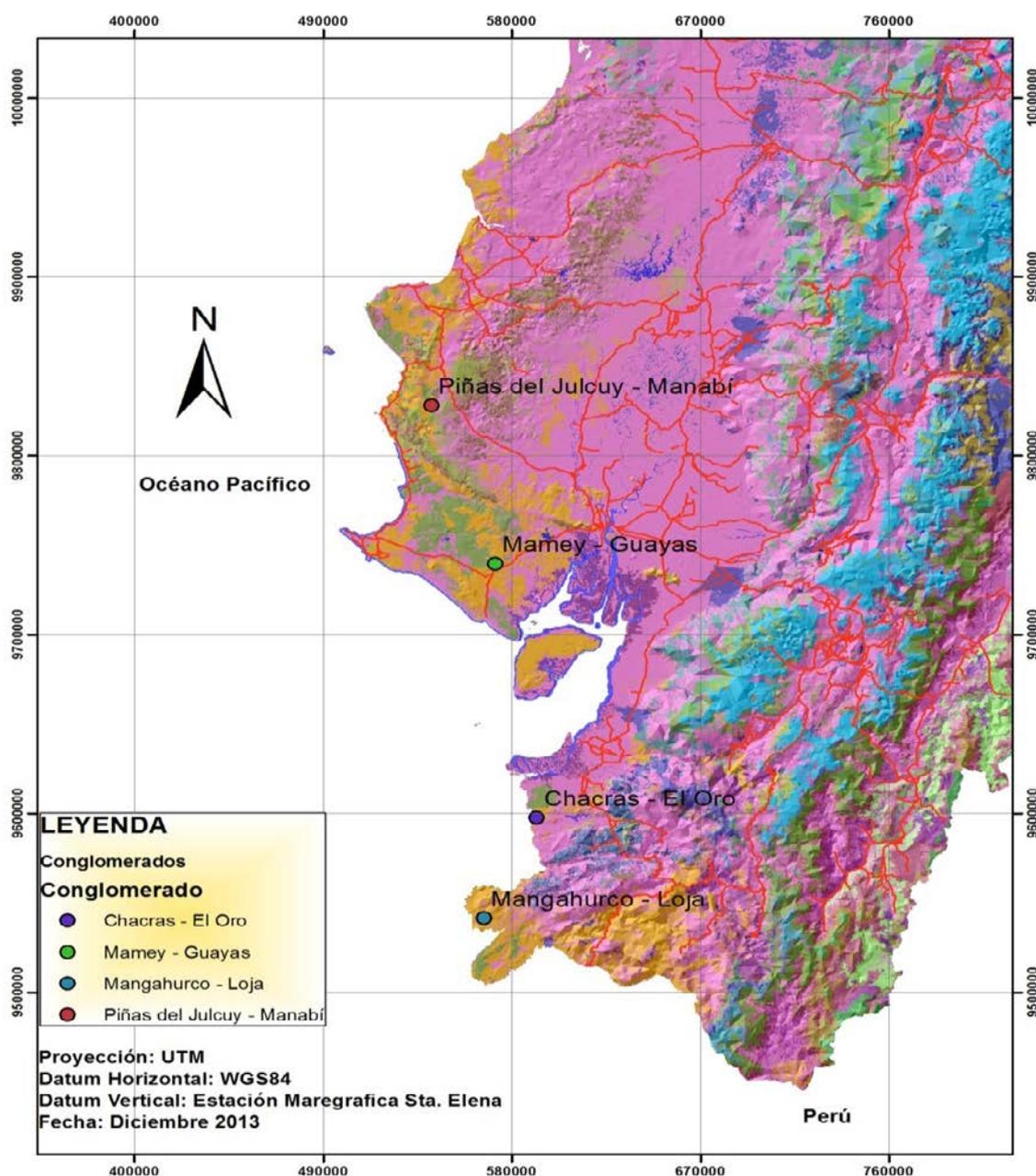


Figura 3. Mapa de ubicación de los cuatro conglomerados establecidos en Bosque Seco Pluviestacional del Ecuador Continental

4.2. EQUIPOS Y MATERIALES REQUERIDOS

A continuación se presenta la lista de materiales y equipos utilizados para el trabajo de campo:

Cuadro 4. Listado de instrumentos y materiales para el levantamiento de cada unidad de muestreo

Instrumentos/material	Cantidad	Disponibilidad
GPS (geoposicionador)	1	MAE-FAO
Cargador GPS	1	MAE-FAO
Brújula (360°)	1	MAE-FAO
Cinta métrica (50 m)	1	MAE-FAO
Cinta métrica (20 m)	2	MAE-FAO
Cinta diamétrica (10 m)	1	MAE-FAO
Hipsómetro Suunto (15-20 m y escalas en %)	1	MAE-FAO
Hipsómetro vertex laser	1	MAE-FAO
Reloscopio laser	1	MAE-FAO
Binoculares	1	MAE-FAO
Cámara fotográfica digital (mayor a 8 megapíxeles)	1	Estudiantes
Baterías para cámara fotográfica y GPS	4/conglomerado	Estudiantes
Machete	2	Líder/guía
Calculadora de mano	1	Líder
Mapas con la ubicación de conglomerados y parcelas (puntos de inicio de parcela)	1	MAE-FAO
Formularios		MAE-FAO
Tablero para portar formularios	1	MAE-FAO
Anillado con papel resistente para a humedad	1	MAE-FAO
Equipo para trepar en los árboles (arnes)	1	MAE-FAO
Barreno de incremento y accesorios	2	MAE-FAO
Cinta vinílica fluorescente	Las necesarias	MAE-FAO
Prensa para recolectar muestras botánicas	2	Estudiantes
Tijera de podar	2	Estudiantes
Sierra aérea	1	MAE-FAO
Podadora aérea	1	Estudiantes
Guía dendrología	1	MAE-FAO
Mochilas para los instrumentos de medición y Formularios	1	MAE-FAO
Linterna	2	Estudiantes
Equipo de camping	El necesario	Estudiantes
Teléfono celular	al menos 1	Estudiantes
Lápices y lapiceros	3	Estudiantes
Balanza portátil (precisión en kg)	1	Estudiantes
Balanza portátil (precisión gramos)	1	MAE-FAO
Botiquín de primeros auxilios	1	MAE-FAO

4.3. METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA BIOMASA AÉREA DE LAS ESPECIES DEL BOSQUE PLUVIESTACIONAL, A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA OFICIAL DESARROLLADA POR EL MAE

4.3.1. Determinación del número de UM a medir por estrato

Manteniendo el tamaño y forma de las unidades de muestreo de la Evaluación Nacional Forestal (ENF), en el estrato de Bosque Seco Pluviestacional del Ecuador se seleccionaron para muestreo 4 conglomerados abarcando un área total de 4.32 ha, en cada sector se ubicó un conglomerado constituido por tres parcelas, dando un total 12 parcelas en el estudio, donde se realizó las mediciones de las variables.

⁴Con base en el análisis de los coeficientes de correlación entre la variable DAP y el VBC (Volumen, Biomasa o Carbono) de los grupos de especies a establecerse, se confirmara la suficiencia de los 4 conglomerados, y se estableció el número conglomerados finales requeridos.

La correlación se consideró como aceptable cuando el coeficiente de determinación R^2 será > 0.8 (sin corrección).

En caso que R^2 sea < 0.8 , se procederá a calcular el número requerido de la muestra (n), con base en el Coeficiente de Variación (CV) del VBC de las especies agrupadas, aplicando un error del 10% y un nivel de confiabilidad del 95%.

La ecuación para el cálculo de n (por individuos) para poblaciones infinitas es la siguiente:

$$n = \frac{t^2(CV\%)^2}{(E\%)^2}$$

Donde:

- n** = Número final de la muestra
- t** = es un valor de t-Student definido a una significancia alpha (α), y con n-1 grados de libertad (gl)
- CV** = Coeficiente de variación
- E** = Error de muestreo requerido

Las Figuras 4 y 5 se presentan un croquis de las dimensiones y forma de los conglomerados y parcelas de muestreo:

⁴ Esta variable no se la considero debido que la presente investigación es a nivel de especies.

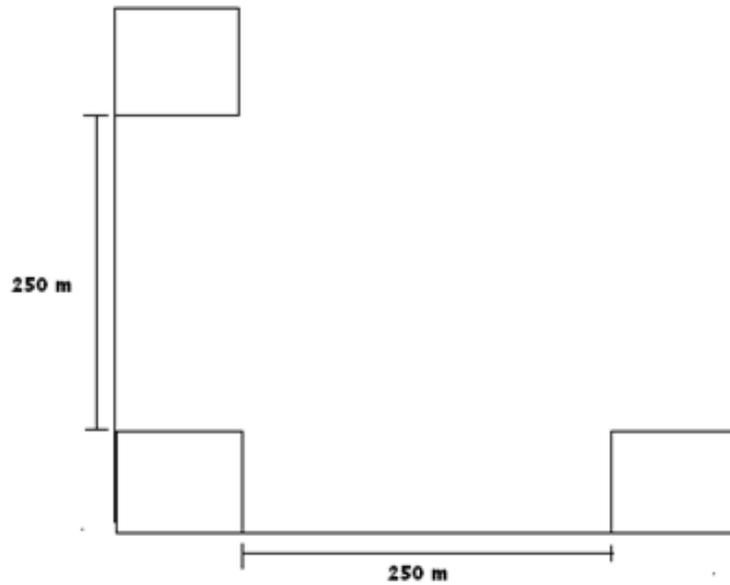


Figura 4. Representación gráfica del diseño del conglomerado de 3 parcelas

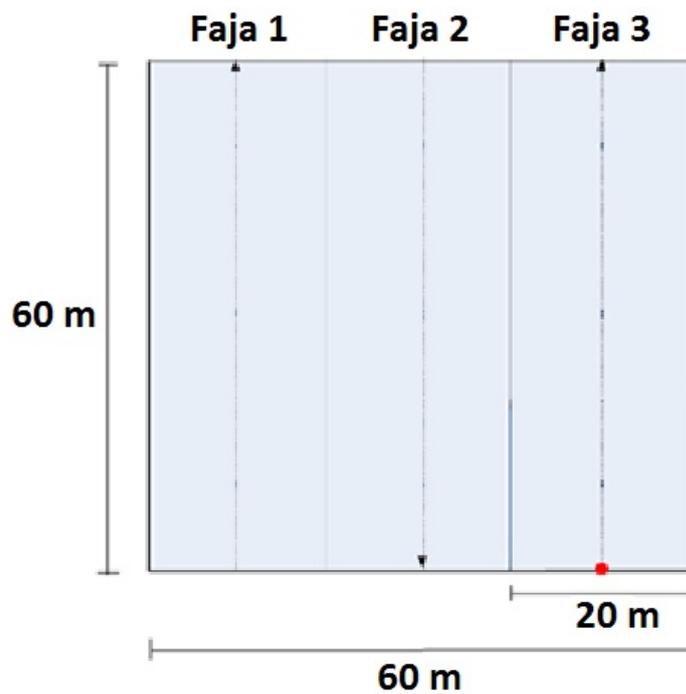


Figura 5. Representación gráfica de la parcela de inventario y el sub-diseño en fajas que facilitó el establecimiento en campo y medición

Para ubicar y verificar la medición de los árboles en la parcela, se registró las distancias en X y Y de cada individuo, con respecto al eje central de cada una de las 3 fajas.

La Figura 6, se presenta un ejemplo de la ubicación de los árboles con respecto a las coordenadas en X y Y.

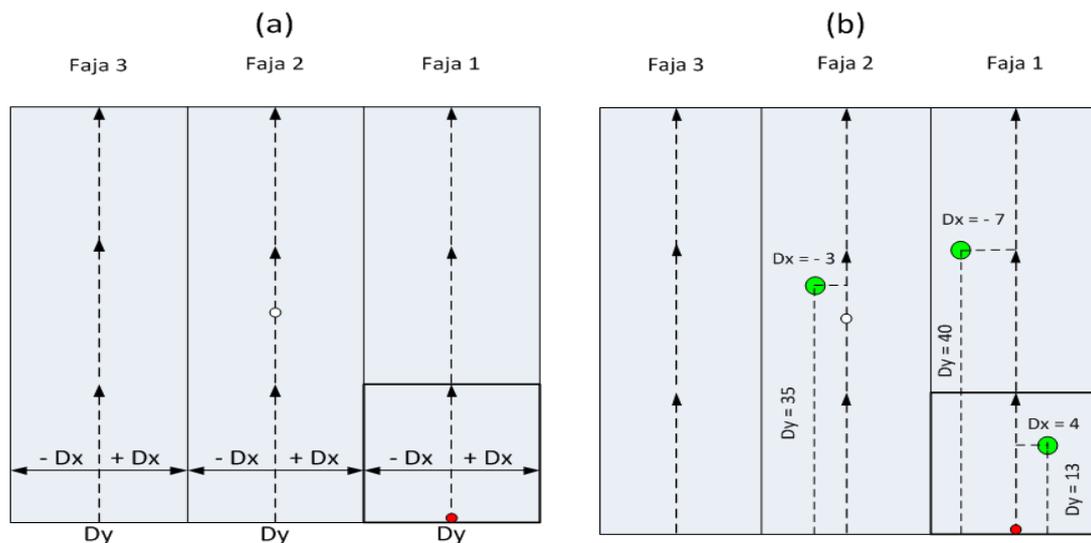


Figura 6. Ubicación y medición de árboles en la parcela, **(a)** Descripción de filas y carril central. Los carriles centrales de cada faja constituyen los ejes Y. Perpendicularmente hacia los lados del carril central se define el eje X. Por norma los árboles a la izquierda son negativos (-X) y a la derecha positivos (+X). **(b)** Ejemplo de ubicación y registro de dos árboles en la primera faja: $Dy = 13$ y $Dx = 4$, y $Dy = 40$ y $Dx = -7$, y en la segunda faja $Dy = 35$ y $Dx = -3$

4.3.2. Identificación de las especies

Debido a la variabilidad de los contenidos de VBC en la cobertura vegetal, la identificación de especies, fue una actividad esencial para generar los modelos alométricos.

Para las especies más frecuentes y que alcanzaron un número superior a los 8 individuos en las 12 parcelas de muestro se identificó a nivel de especie, para lo cual fue necesario recoger muestras botánicas en campo para verificar con certeza su especie en el herbario Reinaldo Espinosa de la Universidad Nacional de Loja (UNL).

Las especies que no alcanzaron este número fueron identificadas a nivel de género o familia.

Para facilitar este proceso, los equipos de campo contaron con un técnico con experticia en identificación de especies arbóreas de bosque seco. Además, como herramienta de apoyo se utilizó el Manual de Identificación de Familias y Géneros del Ecuador, elaborado por el MAE-FAO.

4.3.3. Medición de las variables en árboles en pie y toma de muestras

En primer lugar se midió el DAP, la altura comercial (Hc), altura total (Ht) del fuste, y el diámetro promedio de la copa (Ac) de todos los árboles mayores a 10 cm de DAP en la parcela de 60 x 60 m (Figura 6). Se consideró todas las variantes morfológicas de los árboles para medir su DAP, alturas, diámetro promedio de copa, tal como se detalla en el Anexo 1.

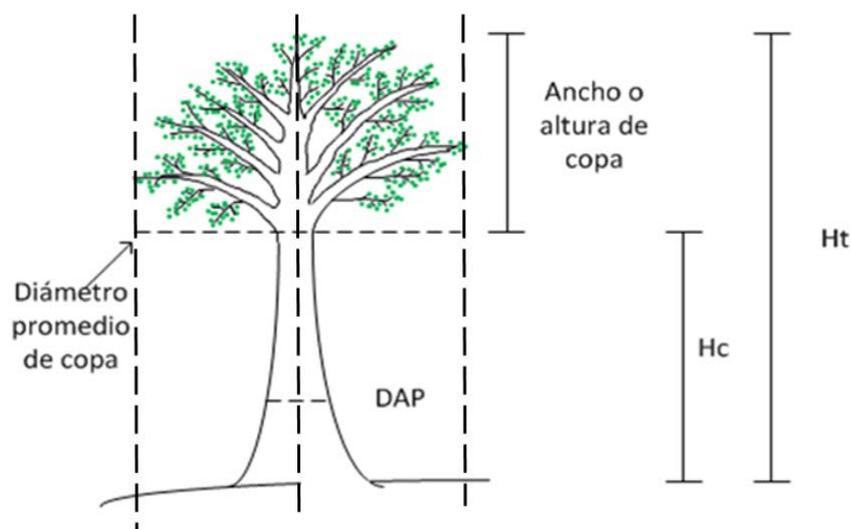


Figura 7. Variables medidas en los árboles en pie para el cálculo de los volúmenes de fuste y copa

Para la toma de datos de **densidad de fuste** se midieron las variables establecidas en todos los individuos registrados en los cuatro conglomerados (12 parcelas) de muestreo.

Este número de muestra tomada, se justifica por resultados previos y recomendaciones para modelos alométricos realizadas por Rüginitz *et al.*, (2009) y Etchevers *et al.*, (2002).

Complementando el método de barrenos de incremento y con el uso del Pylodin (ver detalles en el Anexo 2 y 3), se realizó mediciones y se extrajo dos muestras de madera del fuste con base en las siguientes clases de altura:

- Para árboles con altura comercial $<$ a 7 m, se tomaron las muestras a 1,10 m y al final de la altura comercial,
- Para árboles con altura comercial \geq a 7 m, se tomaron las muestras a 1,10 m y a 7 m de altura (ver Figuras 8 y 9).

Se utilizó el barreno de incremento en todos los individuos encontrados, distribuidos en las 3 clases diamétricas establecidas; complementando la medición de las densidades de todos los individuos encontrados se usó el Pylodin.

La medición a 7 m como límite para la toma de la segunda muestra del árbol, se estableció por constituir una altura que sobrepasa la $\frac{1}{2}$ del promedio de las alturas comerciales de los árboles.

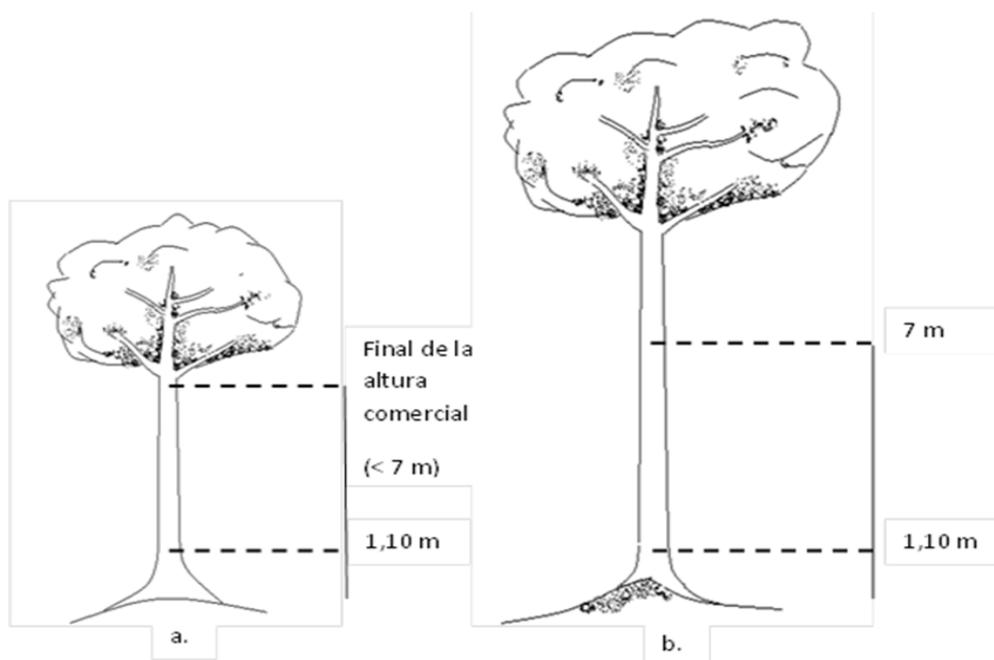


Figura 8. Puntos de muestreos de densidad de madera para árboles menores a 7 m de altura comercial (a) y mayores a 7 m de altura comercial (b)

Para una mayor representatividad, a nivel de especie, los individuos medidos se agruparon en tres clases diamétricas, proponiendo las siguientes: **10 a 20 cm, 20 a 30 y > 30 cm.**

Para el caso de la medición de la **densidad de las copas**, para los árboles con presencia de ramas a una altura \leq a 7 m, se extrajo una rama representativa y se dividió (trozo) en secciones: ramas gruesas $>$ 7 cm de diámetro, ramas finas $<$ 7 cm de diámetro y hojas, para pesar cada sección en fresco (Montero *et al.*, 2005). Luego se tomó tres submuestras que incluyen una rodaja de madera de la parte gruesa, una porción de ramas finas y una porción de hojas que fueron llevadas a los laboratorios de Bromatología, Fisiología Vegetal y Suelos del Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja. (Ver Figura 10).

Antes de extraer las submuestras para el laboratorio, los tres segmentos de la rama representativa (ramas gruesas, ramas finas y hojas), se apilaron en una “pirca” de dimensiones conocidas, sugiriéndose 1 m de largo por 0.5 m de ancho, por la altura que alcanzo la cantidad de biomasa, para establecer el volumen bruto de la rama (ver Figura 11). Posteriormente, se obtuvo el volumen neto de la rama (sin espacios o vacíos) se multiplicando por un factor de 0.5.

Para aquellos árboles con disposición de ramas a una altura mayor a 7 m, se utilizó los valores promedios de biomasa obtenidos para las ramas de los individuos medidos.

Bajo esta metodología se obtuvo dos datos de densidad por individuo: a 1.10 m, \leq 7 m de altura del fuste y de la copa; con estos datos se estableció las tendencias de los cambios en la densidad por la altura de los individuos. Además, la agrupación en las tres clases diamétricas permitió establecer la variación y tendencia con base al estadio de crecimiento del árbol (latizales y 2 etapas de fustales).

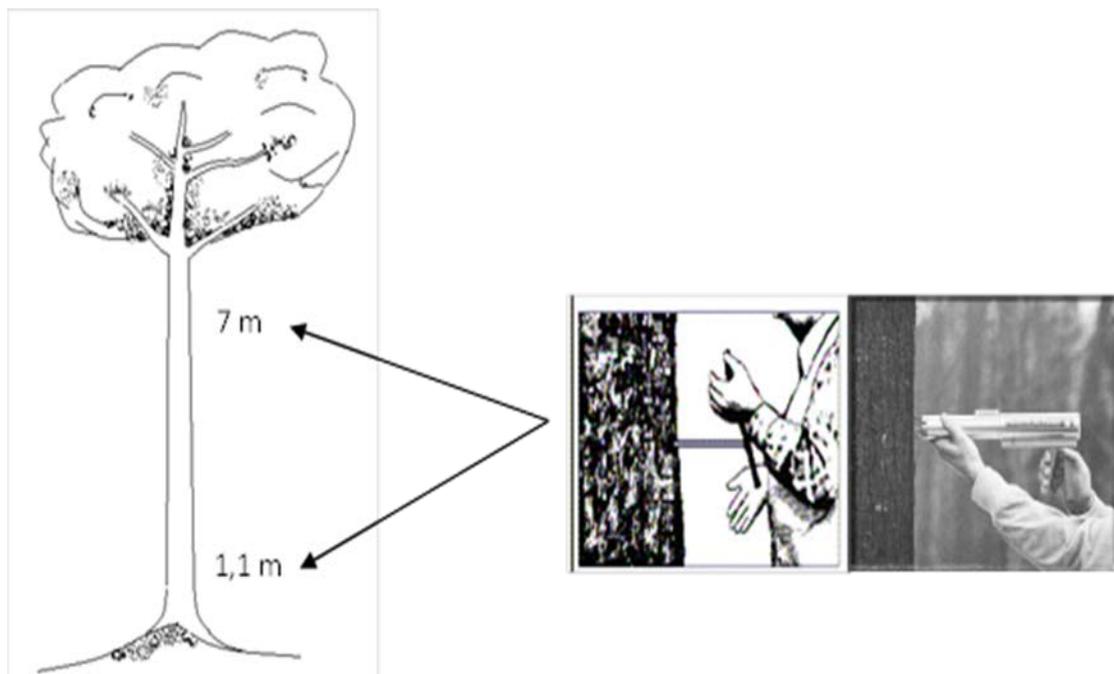


Figura 9. Puntos de toma de muestras del fuste con el barreno de incremento y pilodyn

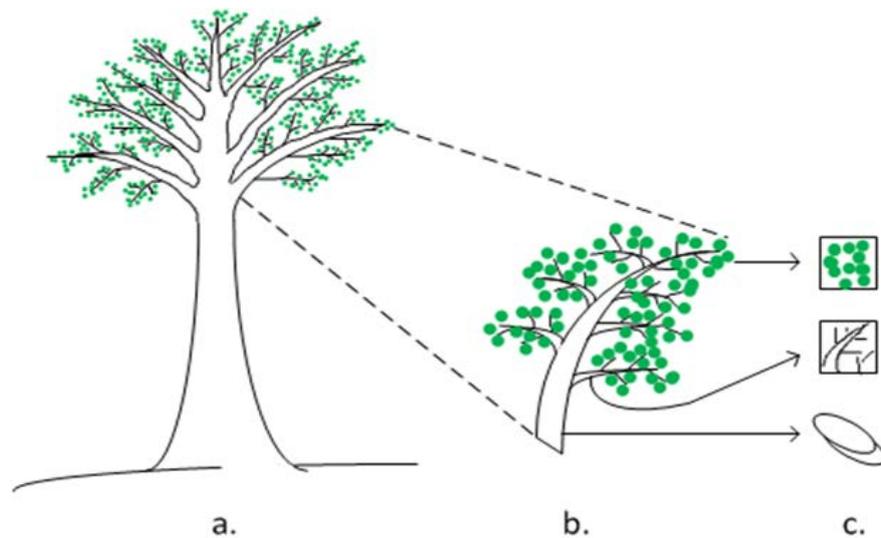


Figura 10. Ilustración de la medición de la densidad de la copa a través de: (a) la extracción una rama representativa, (b) medición del volumen y pesaje de las partes de la rama y (c) obtención de una muestras de ramas gruesas, ramas finas y hojas, para pesar y secar en el laboratorio

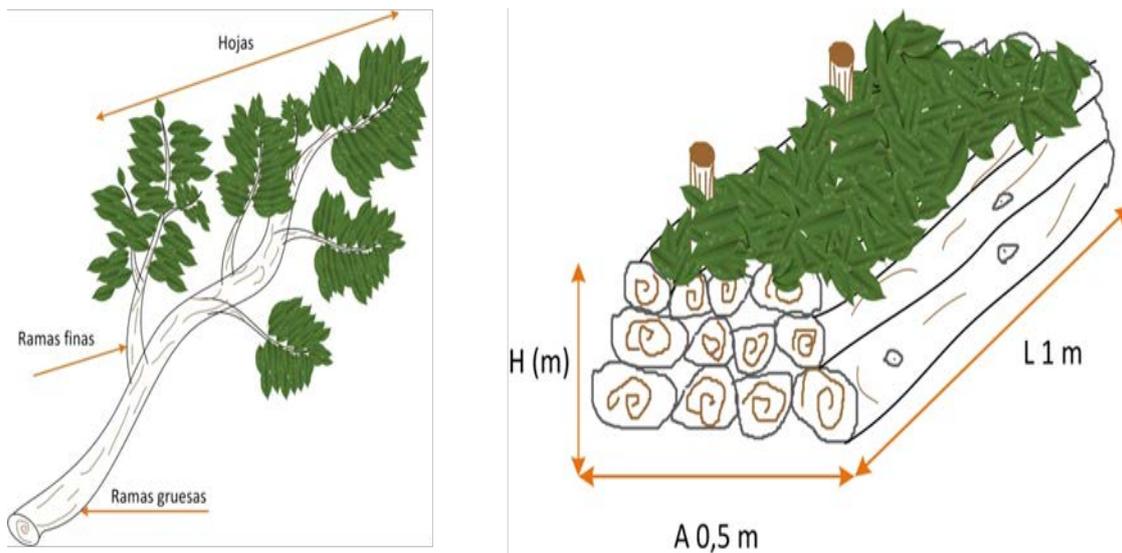


Figura 11. Ejemplo de la medición del volumen de una rama, para lo cual se apiló las ramas gruesas, finas y hojas en una pirca de largo (1 m) y ancho (0.5 m), variando en altura con base en la cantidad de biomasa de la rama. Se recomienda apilar primero las ramas gruesas, luego las finas y finalmente las hojas

Para calcular el **factor de forma (f)** de cada especie, se procedió a medir varios diámetros del fuste, hasta el límite de la altura comercial, tomando en consideración los siguientes rangos:

- Árboles < 6 m de altura comercial se midieron diámetros cada 1.5 m de altura a partir de la base (1.5 m, 3 m, 4.5 m y 6 m).
- Árboles \geq 6 m y < 9 m de altura comercial se midieron diámetros cada 2 m de altura a partir de la base del fuste (2 m, 4 m, 6 m, 8 m).
- Árboles \geq 9 m y < 16 m de altura comercial se midieron diámetros cada 3 m de altura a partir de la base del fuste (3 m, 6 m, 9 m, 12 m, 15 m).
- Árboles \geq 16 m de altura comercial se midieron diámetros cada 4 m de altura a partir de la base del fuste (4 m, 8 m, 12 m, 16 m).

Estos rangos permitieron obtener mínimo 3 diámetros a diferentes alturas del fuste, lo cual hace un acercamiento detallado a su forma.

La medida de los diámetros se realizó con el relascopio electrónico (CRITERION), el cual permitió leer paralelamente el diámetro y la altura de medición, en los árboles en pie.

Las mediciones de los diámetros para factores de forma se realizaron hasta alcanzar una muestra mínima de 8 individuos por cada especie en los 4 conglomerados (peso estadístico suficiente).

Esta medición de los diámetros permitió cubicar los árboles por secciones y despejar el factor de forma (f) a partir del volumen y la altura total del fuste.

En la primera sección el área basal 1 se calculó a partir del DAP.

La fórmula de SMALIAN para cubicar cada sección (troza) es la siguiente:

$$V = \frac{G1 + G2}{2} * L$$

Donde:

V = Volumen de la sección (m³)
G1 = Área basal 1 (m²)
G2 = Área basal 2 (m²)
L = Largo de la sección (m)

La última sección constituyó un cono, donde el volumen se obtuvo a partir del área basal calculada con el último diámetro medido (muy cercano o en el límite de la altura comercial), multiplicada por la restante altura del árbol (aproximadamente el ancho o altura de la copa).

El volumen total del fuste se calculó mediante la sumatoria del volumen de todas las secciones, así:

$$V = V1 + V2... + Vn$$

Donde:

- V** = Volumen total del fuste (m³)
- V1** = Volumen sección 1 (m³)
- V2** = Volumen sección 2 (m³)
- Vn** = Volumen de la última sección (m³)

4.3.4. Secado en laboratorio y determinación de materia seca

Las muestras fueron llevadas a los laboratorios de Bromatología, Fisiología Vegetal y Suelos de la UNL, en donde fueron secadas en horno a una temperatura de 75° a 90°C recomendada por Acosta-Mireles *et al.*, (2002). El tiempo de secado se extendió hasta que la muestra alcanzo un peso constante, aproximadamente en 72 horas.



Figura 12. Colocación de las muestras de ramas gruesas, finas y hojas, en la estufa a una temperatura de 75-90°C

4.3.4.1. Calculo de la biomasa seca del fuste

La biomasa seca (o materia seca) del fuste se determinó mediante el cálculo de la densidad de la madera y su relación con el volumen, aplicando la siguiente ecuación:

$$Bsf \left(\frac{\text{Densidad muestra 1} + \text{Densidad muestra 2}}{2} \right) * Vf$$

Donde: **Bsf** = Biomasa seca del fuste (Kg)

El volumen del fuste se calculó por la siguiente fórmula:

$$Vf = G * Ht * f$$

Donde:

- Vf** = Volumen del fuste (m³);
- G** = Área basal (m²);
- Ht** = Altura total del fuste (m);
- f** = Factor de forma de la especie

En el Anexo 2 se detalla el cálculo de la densidad de la madera por el método del barreno de incremento.

4.3.4.2. Cálculo de la biomasa seca de la copa

La biomasa seca de la rama representativa de copa se determinó por la sumatoria de la biomasa seca de cada componente así:

$$BS \text{ de copa (Kg)} = BS \text{ parte gruesa} + BS \text{ ramas finas} + BS \text{ hojas}$$

La ecuación para el cálculo de la biomasa de cada componente (ramas y hojas) es la propuesta por Rüginitz et al (2009):

$$BS Rg = \frac{PS m}{PH m} * PH Rg$$

Donde:

- BS Rg** = Biomasa seca de ramas gruesas (kg);
- PS m** = Peso seco de la muestra (g);
- PH m** = Peso húmedo de la muestra (g);
- PH Rg** = Peso húmedo de ramas gruesas (kg).

$$BS Rf = \frac{PS m}{PH m} * PH Rf$$

Donde:

- BS Rf** = Biomasa seca de ramas finas (kg);
- PS m** = Peso seco de la muestra (g);
- PH m** = Peso húmedo de la muestra (g);
- PH Rf** = Peso húmedo de ramas finas (kg).

$$BS h = \frac{PS m}{PH m} * PH h$$

Donde:

- BS h** = Biomasa seca de hojas(kg);
- PS m** = Peso seco de la muestra (g);
- PH m** = Peso húmedo de la muestra (g);
- PH h** = Peso húmedo de hojas (kg).

Finalmente la biomasa total de la copa se calculó relacionando la BS de la rama con el volumen total de la copa.

El volumen de copa se estimó considerando las propiedades geométricas de la forma de copa propuestas por Ponce-Hernández (2004). En este sentido y a pesar de la heterogeneidad en la arquitectura de copas presentes en los bosques del Ecuador, la

presente metodología abordo este procedimiento con el fin de estandarizar y dar operatividad a la medición en campo. Para esto, se clasifico las copas según su forma cónica, parabólica o esférica, y se aplicó las siguientes ecuaciones, tal como se indica en el cuadro 2.

Cuadro 5. Estimación del volumen de copa como una función de la forma de la copa

Forma aproximada de la copa	Formula FAO / volumen de copa	Figura
Cónico	$Vc(m^3) = \pi \cdot \frac{Dc^2 \cdot Hc}{12}$	
Parabólico	$Vc(m^3) = \pi \cdot \frac{Dc^2 \cdot Hc}{8}$	
Hemisférica	$Vc(m^3) = \frac{\pi \cdot Dc^2}{12}$	

Fuente: Ponce-Hernández (2004)

Dónde:

$$\pi = 3.141592;$$

Dc^5 = diámetro promedio de la base de la copa (m^2);

Hc = altura desde el suelo hasta la base de la copa (m).

4.3.4.3. Cálculo de la biomasa aérea del árbol

Se determinó por la suma de los resultados de la biomasa seca del fuste y la biomasa seca de la copa.

$$BAa = Bsf + Bsc$$

Donde:

BAa = Biomasa Aerea del árbol (Kg)

Bsf = Biomasa seca del fuste

Bsc = Biomasa seca de copa

⁵ Calculado a partir del promedio entre el diámetro mayor y diámetro menor de la base de la copa. $Dc = (DM + Dm)/2$

4.3.5. Medición destructiva de los individuos

4.3.5.1. Medición de variables en pie

Se procedió a medir en pie el DAP, la altura comercial, la altura total y el diámetro promedio de copa de los árboles seleccionados a tumar.

Para determinar las especies tumbadas se consideró calcular el índice de valor de importancia (IVI) en cada conglomerado establecido. Para los cálculos se aplicaron las fórmulas de Aguirre & Aguirre (1999) y Cerón (1993).

Para establecer un factor de corrección de los modelos alométricos, se procedió a tumar de 12 a 14 árboles por cada especie con mayor **IVI**, encontradas en los 4 conglomerados, lo cual represento 52 individuos talados por estrato de bosque.

Para una mejor representatividad los árboles están distribuidos en las tres clases diamétricas propuestas.

4.3.5.2. Tala de árboles y separación de partes

Se tumbó cada uno de los árboles, luego se dividió las partes del árbol en fuste (tronco), ramas gruesas, ramas finas y hojas (Figura 13).

Con base en la altura comercial del fuste, se midió los diferentes diámetros para cubicar el fuste con mayor precisión y se estableció su factor de forma, utilizando los rangos planteados para determina el factor de forma de los árboles en pie.



Figura 13. (a) Se cortan los árboles al ras del suelo y se divide en partes: tronco, ramas gruesas, ramas finas y hojas, (b) Se midió varios diámetros del tronco para establecer su factor de forma y el volumen exacto del fuste

4.3.5.3. Pesado de las partes

En campo se realizó el pesado de todas las partes del árbol para conocer su peso fresco (ver figura 14). De cada una de las partes: tronco, ramas gruesas, ramas finas y hojas se extrajo una submuestra que fue llevada al laboratorio.

De acuerdo a la altura comercial del fuste, se extrajo de 1 a 2 rodajas (probetas) de madera de 7 cm de ancho, como submuestras para determinar la densidad promedio de la madera y su variación con la altura del tronco:

- Primera probeta a 1,10 m.
- Segunda probeta al límite de la altura comercial o hasta 7 m (altura del fuste ≤ 7 m).
- Tercera probeta a 14 m (altura del fuste ≥ 14 m).

La determinación de la densidad de la madera del fuste se realizó siguiendo los estándares del INEN, (ver anexo 4).

De las ramas gruesas de la copa, se extrajo una rodaja como submuestra (de 7 cm de ancho), para las ramas finas una muestra de 1.5 Kg; y, hojas una porción de 1 Kg. Todas las submuestras se depositaron en una funda plástica serrada herméticamente, y fueron llevadas inmediatamente al laboratorio para su secado y pesaje. En las submuestras de hojas se incluyó aquellas ramillas ≤ 5 mm.

Para facilitar el pesaje del fuste en campo, se dividió (aserrar) en trozas de 1 a 2 m (con base en su diámetro). Finalmente se sumó el pesaje de todas las trozas incluyendo el peso de la viruta generada.



Figura 14. Pesaje total de las partes del árbol, (a) hojas, (b) ramas finas, (c) ramas gruesas, (d) tronco; para obtener el peso fresco, desarrollado en cada conglomerado

Para el cálculo del volumen de la copa del árbol, se siguió el procedimiento señalado para la cubicación de la rama representativa (establecida para los árboles en pie). Para este caso se apiló los segmentos (ramas gruesas, finas y hojas) en una pirca de 3 m de largo, por 1.5 m de ancho y por la altura que sume el total de la biomasa de la copa, tal como se observa en la figura 15.

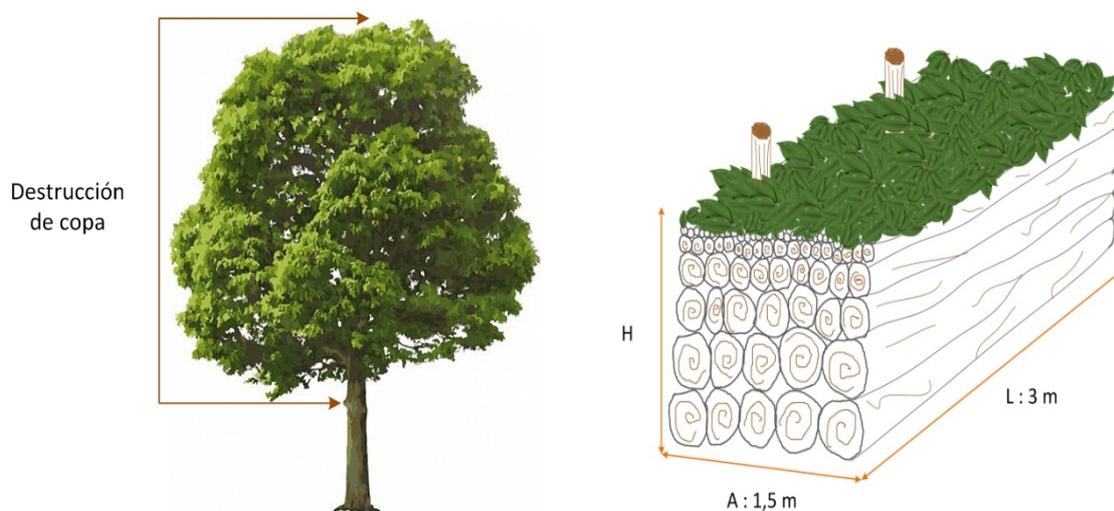


Figura 15. Cubicación total de la copa de un árbol por el método destructivo

Este procedimiento, permite establecer un factor de corrección entre el volumen perfecto de las figuras geométricas (cónico, parabólico y hemisférico), y el volumen bruto del arreglo en la pirca (cubo perfecto). Para posteriormente, aplicando el factor de 0,5 eliminar los espacios o vacíos dentro de la pirca, obteniendo el volumen neto de la copa total del árbol.

Todos los datos recolectados en los conglomerados fueron anotados en los respectivos formularios de campo, tanto para toma de datos para arboles vivos y toma de datos para árboles abatidos; estos formularios se detallan en el Anexo 5.

4.3.6. Cálculo del Factor expansión de biomasa

Este cálculo se realizó midiendo la biomasa total del árbol y la biomasa total del fuste para varios árboles y calculando el promedio del FEB cabe mencionar que este cálculo se realiza en los 52 árboles cosechados, aplicando la siguiente formula (Avendaño, 2008 y Alvarez, 2008).

$$\mathbf{FEB} = \frac{\mathbf{BT}}{\mathbf{BF}}$$

Donde: **FEB** = Factor de expansión de la biomasa.
 BT = Biomasa total (kg).
 BF = Biomasa de fuste (kg).

4.4. METODOLOGÍA PARA ELABORAR MODELOS ALOMÉTRICOS DE LA BIOMASA AÉREA ESTADÍSTICAMENTE VALIDADOS PARA LAS ESPECIES DEL BOSQUE SECO PLUVIESTACIONAL

4.4.1. Generación de ecuaciones alométricas

Los modelos alométricos se generaron para aquellas especies que sumen más de 8 árboles medidos, ya que según varios trabajos como los de Etchevers *et al.*, (2002), con este peso estadístico se obtuvo un coeficiente de determinación R² superior a 0.8.

⁶Para el caso de los modelos alométricos por grupos de especies, se consideraran las siguientes clases de densidades y morfología de los individuos:

Clases de densidades: < 0.5 de 0.51 a 0.7 y > 0.71

⁶ En la presente investigación no se considera este procedimiento ya que se lo aplica en la generación de modelos por grupo de especies.

Clases de morfología:

- Especies con fuste comercial ≤ 8 m de altura
- Especies con fuste comercial > 8 m de altura
- Especies con bifurcaciones o ramificaciones gruesas ≤ 3 m de altura

Estas clases de morfología permiten agrupar los individuos en tres categorías: **árboles bifurcados y pequeños, árboles medianos y árboles altos.**

Cada una de estas clases de morfología se consideran como habitual para la especie en árboles $>$ a 20 cm de DAP.

Bajo la combinación de las clases de densidades y morfologías propuestas se obtuvo modelos alométricos hasta para 9 grupos de especies.

Para la generación del modelo alométrico por estrato de bosque se consideraran los datos de todos los individuos medidos en los 4 conglomerados (12 parcelas).

4.4.1.1. Programa estadístico

Para facilitar los cálculos y la generación de información estadística se contó con un programa estadístico adecuado, “Infostat”.

Además, se contó con el apoyo técnico y la capacitación de un especialista en estadística y manejo del programa.

4.4.1.2. Definición de las variables independientes

Se organizó la información en un cuadro, con una fila por individuo, detallando en las columnas las mediciones de todas las variables independientes (DAP, *Ht*, *Hc*, área de copa) y dependientes (volumen, biomasa y carbono VBC).

Luego, se graficó el VBC contra cada variable independiente (diagramas de dispersión) para ver las tendencias de los datos y definir cuáles modelos de regresión utilizar, ya sean modelos lineales o no (Walpole & Myers, 1992).

Las variables independientes se seleccionaron con base en los más altos coeficientes de correlación de Pearson (*r*) con VBC (Steel & Torrie, 1988). Los valores de 1 y -1 indican una perfecta correlación lineal o una perfecta relación funcional entre las dos variables, positiva y negativa respectivamente. Se esperaba una alta correlación entre el

DAP y VBC de fustes y ramas; no así entre el DAP y la biomasa de hojas o ramas pequeñas (Segura & Andrade, 2008).

Se priorizó la correlación entre el DAP y la biomasa, ya que esta constituye la variable que frecuentemente más se correlaciona con la biomasa y es la más fácil de ser medida en campo, ya que la altura y otras variables son menos precisas de identificar y medir.

4.4.1.3. Selección de ecuaciones de regresión

Se probó modelos de regresión genéricos ya existentes en la literatura para estimar la cantidad de biomasa (total o del componente específico) a partir del diámetro (DAP), altura total, altura comercial, volumen, o una combinación de variables (usualmente entre DAP y altura total).

Cuadro 6. Relaciones estadísticas genéricas para generación de modelos alométricos

N°	Modelos Lineales
1	$B = \beta_0 + \beta_1 * DAP$
2	$B = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2$
3	$B = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * HT$
4	$B = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * HC$
5	$B = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 + \beta_2 * HT$
6	$B = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 + \beta_2 * HC$
7	$B = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * HT + \beta_3 * HC$
8	$B = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 + \beta_2 * HT + \beta_3 * HC$
9	$B = \beta_0 + \beta_1 * HT$
10	$B = \beta_0 + \beta_1 * HC$
11	$B = \beta_0 + \beta_1 * LN DAP + \beta_2 * LN HC$

Biomasa = B; Parámetros del modelo = $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3...$; Altura Total = HT; Altura Comercial = HC; Diámetro a la altura del pecho = DAP; Logaritmo natural = LN.

4.4.1.4. Selección de los modelos alométricos de biomasa

Se seleccionó el modelo que mejor se ajustó a los datos, utilizando los siguientes parámetros estadísticos.

Cuadro 7. Parámetros estadísticos de selección de ecuaciones alométricas

Parámetros estadísticos	Análisis
Coeficiente de determinación (R^2)	El R^2 expresa la cantidad de variación de la variable dependiente que es explicada por las variables independientes. Cuanto más próximo a uno (1) es el valor de R^2 mejor fue realizado el ajuste.
Coeficiente de variación (CV%)	El coeficiente de variación es una medida relativa, que permite comparar la dispersión entre dos poblaciones, o la variación resultante de dos variables distintas (originadas de una misma población), que tengan diferentes unidades de medidas. Cuanto menor es el valor de CV %, mejor es el modelo.
Prueba F (análisis de varianza)	Prueba estadística que sirve para comparar varianzas. Utilizada en modelos lineales.
Practicidad en el uso y lógica biológica de los modelos	Se debe analizar el comportamiento de los modelos seleccionados en los extremos y fuera del rango de los datos con los cuales se construyeron. Si la curva de un modelo cambia drásticamente al usarlo fuera del rango mencionado, éstos deben ser reevaluados o descartados.
AIC	Sirve para seleccionar el mejor modelo alométrico; permite determinar con que eficiencia los modelos que se ajustan a la base de datos; mientras el modelo de cada especie mejor se ajuste, este valor tiende a disminuir.
VIF	Permite verificar que tan significativo es cada modelo; este valor siempre tiene que ser menor a 10.
P-valor	Es el nivel de significancia que sirve para elegir los mejores modelos alométricos de cada especie; (si este valor se acerca a cero ($p < 0.0001$), la variable regresora es muy significativa); y, mientras se aleja de cero hasta un límite de ($p < 0.05$), la variable regresora es poco significativa.

4.4.1.5. Comparación de las observaciones reales contra las estimaciones de los mejores modelos

Una vez seleccionados los modelos de mejor ajuste, se graficaron los valores estimados (x) para cada modelo contra los observados en los árboles muestreados (y). Esto permitió apreciar la variabilidad de los datos y si se presenta algún sesgo del modelo (se sobreestima, sin sesgo o se subestima).

Bajo este sistema estadístico de precisión se obtuvo modelos alométricos fiables para ser utilizados en el cálculo final de los stocks de carbono a nivel nacional, y además, ponerse a disposición de los sistemas de monitoreo, verificación y de otros inventarios a nivel subnacional.

4.5. METODOLOGÍA PARA DIFUNDIR LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN A LOS ACTORES INTERESADOS PARA SU CONOCIMIENTO Y APLICACIÓN EN LA CONSERVACIÓN DEL BOSQUE SECO PLUVIESTACIONAL

Para el cumplimiento del objetivo de difusión de la información, se preparó un artículo científico, basado en los resultados obtenidos en la investigación, como complemento a la difusión de estos resultados se elaboró un poster (ver anexo 6) que presenta un resumen de los principales modelos alométricos obtenidos para cada especie.

Se efectuó una socialización a las entidades cooperantes MAE–FAO; a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Forestal de cuarto y quinto año; a las personas de los sectores donde se estableció los conglomerados y a la ciudadanía interesada en el tema.

Se hizo la entrega de ejemplares del documento, a las instituciones cooperantes MAE y FAO, Herbario Reinaldo Espinosa de Loja, Carrera de Ingeniería Forestal y Biblioteca del Área Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja.

5. RESULTADOS

5.1. DETERMINACIÓN DE LA BIOMASA AÉREA DE LAS ESPECIES DEL BOSQUE SECO PLUVIESTACIONAL, A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA OFICIAL DESARROLLADA POR EL MAE

5.1.1. Factor de forma (f)

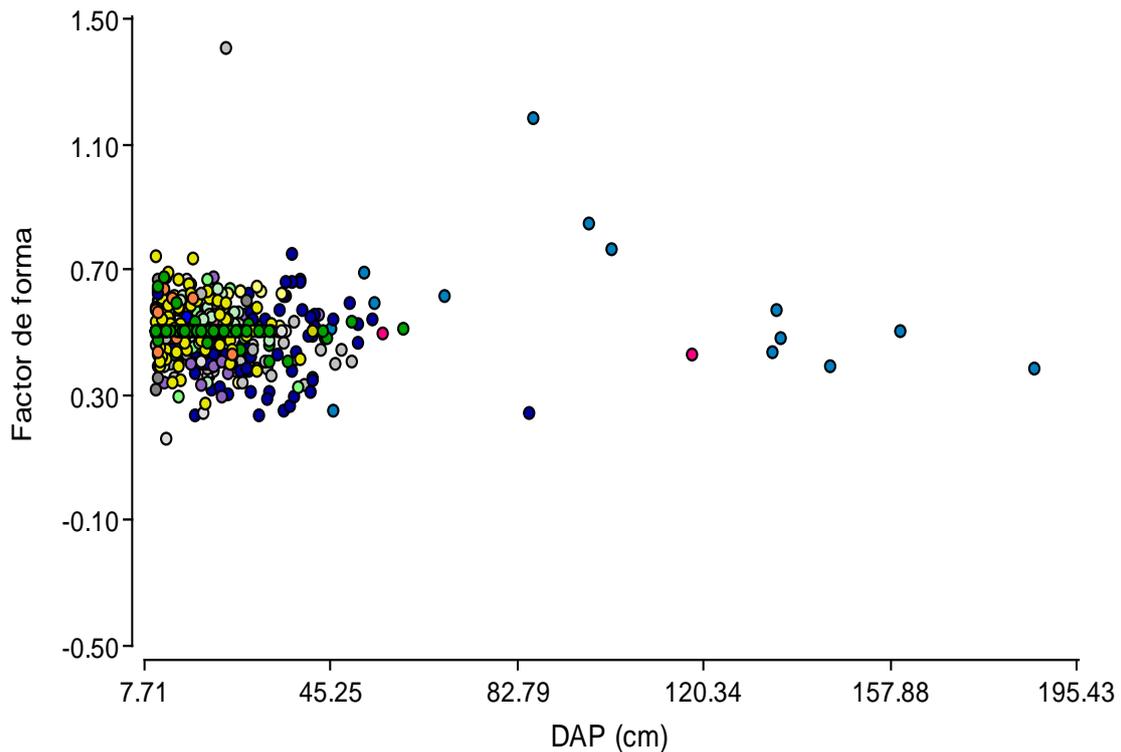


Figura 16. Diagrama de dispersión de factor de forma

Según el muestreo de 633 individuos arbóreos, a partir de un DAP de 10 cm; en cuatro conglomerados, con tres parcelas cada uno de ellos, establecidos en Bosque Seco Pluviestaconal, con una superficie total del estudio de 4.32 hectáreas, se obtuvo un factor de forma promedio de ($\bar{f}=0.5$).

Los valores promedio del factor de forma para cada una de las especies se detallan en el Anexo 7.

5.1.2. Parámetros ecológicos para selección de especies para método destructivo de baja intensidad

Las especies que fueron seleccionadas para este método son las más importantes ecológicamente, determinadas en base al Índice de Valor de Importancia IVI para cada conglomerado, una vez realizadas las mediciones en campo. El total de las especies con los valores del IVI se las indica en el Anexo 8.

Cuadro 8. Parámetros ecológicos de las cuatro especies de mayor importancia en las diferentes áreas de estudio de Bosque Seco Pluviestacional

Conglomerado	Especie	F	DR %	DmR %	FR	I.V.I
Conglomerado 001 Arenillas	<i>Eriotheca ruizii</i> (K. Schum.) A. Robyns.	61	33.8889	37.2762	10.3448	27.1700
	<i>Bursera graveolens</i> (Kunth) Triana & Planch.	51	28.3333	23.8771	10.3448	20.8518
	<i>Ceiba trichistandra</i> (A. Gray) Bakh	10	5.5556	14.4728	10.3448	10.1244
	<i>Geoffroea spinosa</i> Jacq	19	10.5556	8.5404	10.3448	9.8136
Conglomerado 002 Mangahurco	<i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.) G. Nicholson	70	35.8974	21.4424	8.5714	21.9704
	<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	30	15.3846	23.1890	8.5714	15.7150
	<i>Eriotheca ruizii</i> (K. Schum.) A. Robyns.	19	9.7436	21.0201	8.5714	13.1117
	<i>Erythrina velutina</i>	10	5.1282	12.1811	2.8571	6.7221
Conglomerado 003 Jipijapa	<i>Ceiba trichistandra</i> (A. Gray) Bakh	10	6.5789	62.2745	5.4545	24.7693
	<i>Salacia</i> sp.	31	20.3947	7.7516	5.4545	11.2003
	<i>Eriotheca ruizii</i> (K. Schum.) A. Robyns.	9	5.9211	9.5473	5.4545	6.9743
	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	10	6.5789	3.1025	5.4545	5.0453
Conglomerado	<i>Ziziphus thyrsoiflora</i>	70	65.4206	63.4116	15.7895	48.2072

Conglomerado	Especie	F	DR %	DmR %	FR	I.V.I
004 Mamey	Benth.					
	<i>Pisonia aculeata</i> L.	19	17.7570	23.1182	15.7895	18.8882
	<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	4	3.7383	8.9022	10.5263	7.7223
	<i>Leucaena trichodes</i> (Jacq.) Benth.	4	3.7383	1.9041	10.5263	5.3896

F = Frecuencia, DR% = Densidad relativa, DmR% = Dominancia relativa, FR = Frecuencia relativa, IVI = Índice de valor de importancia.

Del total de las especies, se seleccionó la que alcanzo el índices de valor de importancia más alto en el conglomerado 001, 002 y 004 para realizar la tala de los individuos y realizar las mediciones respectivas totales del árbol; en el conglomerado 003, se tomó la especie con el cuarto IVI mas alto, esto por la dificultad presentada de realizar la corta dentro del Parque Nacional Machalilla; esta corta se la realizo en los alrededores del Parque; y, esta especie se la eligió por el valor de importancia que tiene para las personas debido que en la zona tiene muy alta representatividad para las comunidades de la localidad.

Las cuatro especies que se seleccionó para realizar la tala, suman un total de 52 individuos; las especies por conglomerado y el número de individuos son las siguientes: Conglomerado 001 – *Eriotheca ruizii* (K. Schum.) A. Robyns. – 12 individuos talados; Conglomerado 002 – *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson – 14 individuos talados; Conglomerado 003 – *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken – 12 individuos talados; Conglomerado 004 – *Ziziphus thyrsoiflora* Benth. – 12 individuos talados.

5.1.3. Factor de expansión de biomasa (FEB)

El Factor de expansión promedio para las especies que fueron taladas en los cuatro conglomerados de Bosque Seco Pluviestacional, correspondientes para *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken. es de 1.72; para *Eriotheca ruizii* (K. Schum.) A. Robyns. es de 1.41; para *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson es de 1.75; para *Ziziphus thyrsoiflora* Benth es de 3.93; estos datos se asignaros para especie, género y familia respectivamente.

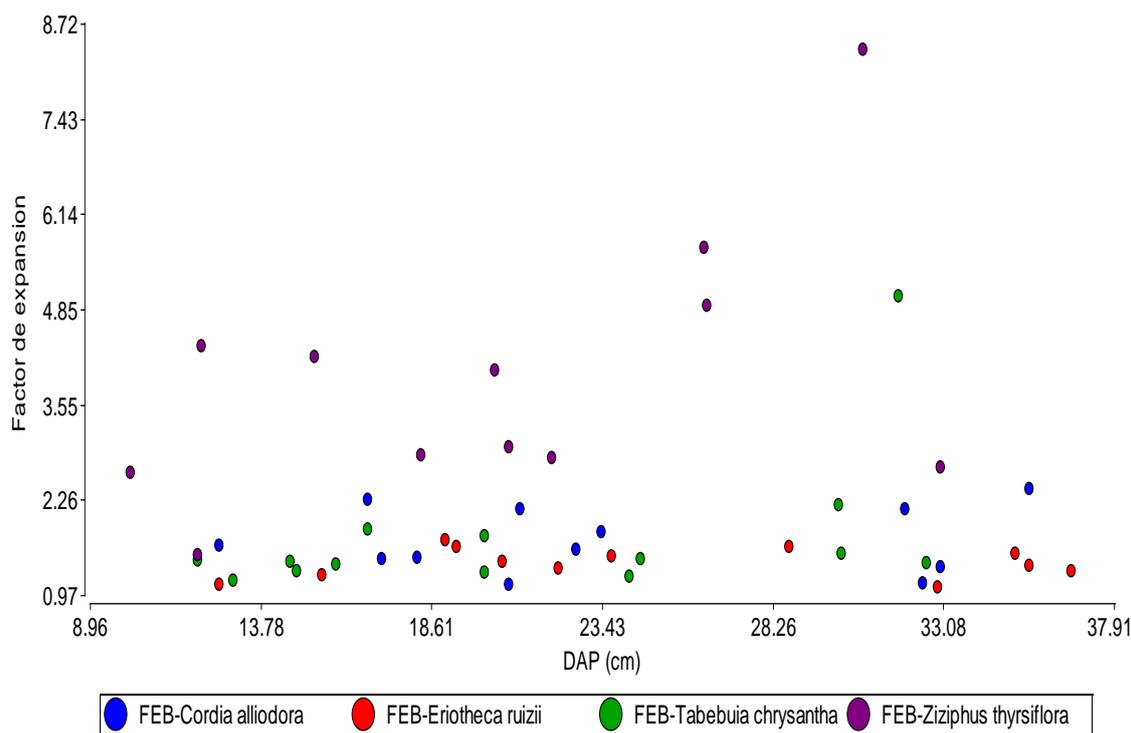


Figura 17. Diagrama de dispersión de factor de expansión de especies taladas

Se obtuvo un promedio general de 2.17 como nuevo factor de expansión. Este valor se fijó a especies, géneros y familias que no se talaron.

Los valores promedio del factor de expansión de biomasa de cada una de las especies se detallan en el Anexo 7.

5.1.4. Biomasa aérea total almacenada a nivel de especies por hectárea, en Bosque Seco Pluviestaconal

En el estudio se identificó 633 individuos que mediante una verificación en campo con botánico experto se las agrupó en 44 especies, las mismas que se determinó la cantidad de biomasa aérea total en kilogramos por hectárea (Kg/ha); la mayor cantidad de biomasa reportada es 5010,26 kg/ha para *Ceiba trichistandra* (A. Gray) Bakh; y, la menor biomasa es 0.61 kg/ha para *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth. En el Anexo 7, se detallan los valores del total de biomasa de cada una de las especies. A continuación se presentan las especies identificadas en los cuatro conglomerados con su respectiva biomasa almacenada en cada una de ellas (Figura 18).

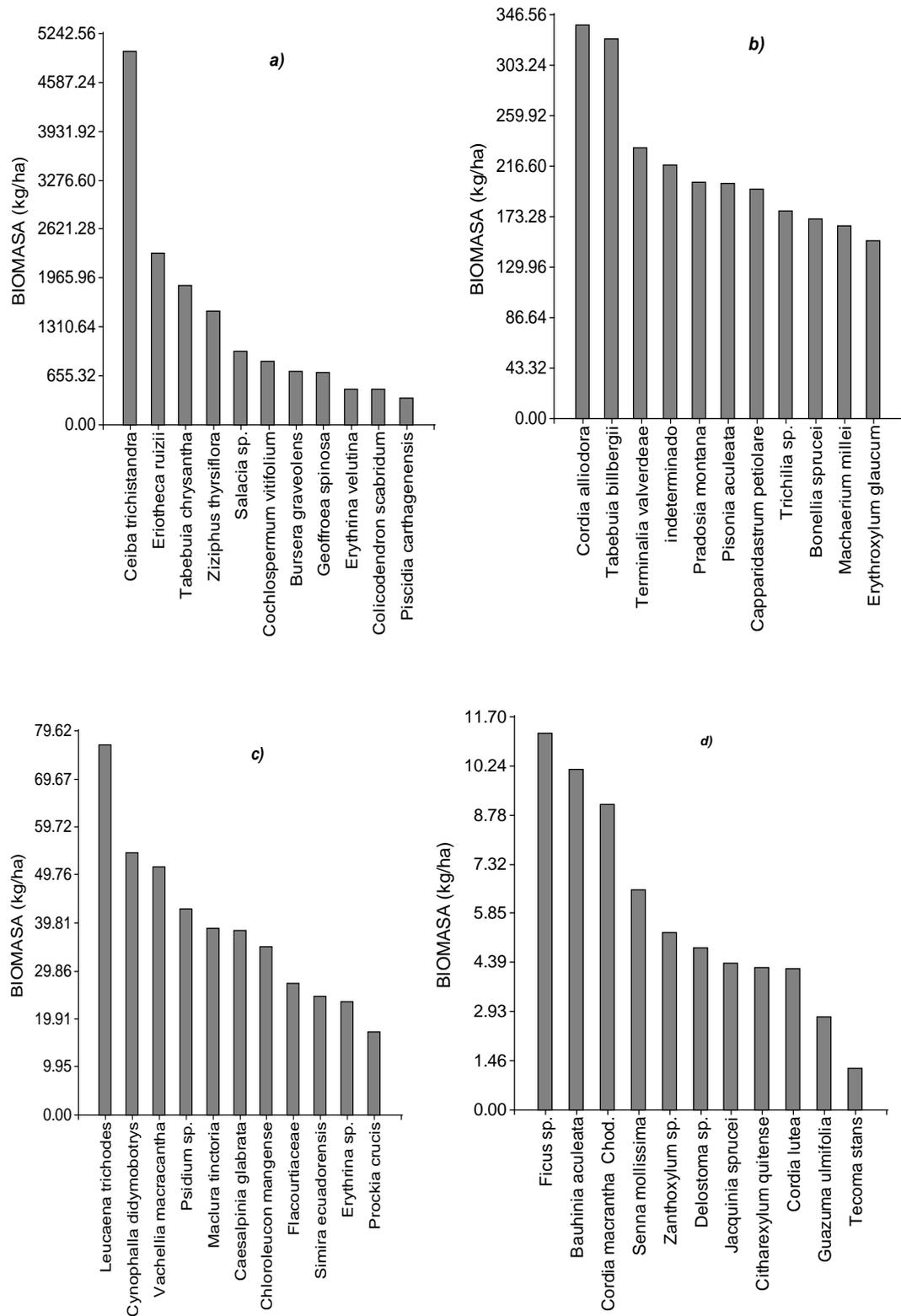


Figura 18 (a, b, c, d). Diagrama de distribución de biomasa aérea a nivel de especies por hectárea en Bosque Seco Pluvial

En la figura 18 se visualiza las especies con su rango de biomasa (cabe recalcar que esos datos se obtuvieron en un muestreo de cuatro conglomerados en Bosque Seco Pluvestacional en una superficie de 4.32 ha), **(a)** se observó que las especies con mayor biomasa en estudio fueron: *Ceiba trichistandra* (A. Gray) Bakh que reporto 5010,26 kg/ha de 20 árboles medidos, seguido de la especie *Eriotheca ruizii* (K. Schum.) A. Robyns. con 90 árboles medidos reporto 2294,76 kg/ha, *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson con un total de 18.62.14 kg/ha de un total de 94 árboles medidos en el estudio y *Ziziphus thrysiflora* Benth. con un muestreo de 78 individuos medidos en campo, reporto 1518.08 kg/ha de biomasa; **(b y c)** se observó que las especies con biomasa intermedio en el estudio fueron: *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken que reporto 337.33 kg/ha de 11 árboles medidos, seguido de la especie *Tabebuia billbergii* (Bureau & K. Schum.) Standl. Subs. ampla A. Gently con 14 árboles medidos reporto 326.34 kg/ha; *leucaena trichodes* (Jacq.) Benth. con un total de 76.65 kg/ha de un total de 6 árboles medidos en el estudio y *Cynophalla didymobotrys* (Ruiz & Pav. ex DC.) Cornejo & Iltis con un muestreo de 4 individuos medidos en campo, reporto 54.39 kg/ha de biomasa; **(d)** se registró mediciones de biomasa muy bajos, esto debido a que se encontró un solo individuo de especies como: *Citharexylum quitense* Spreng. que registro un total de biomasa almacenada de 2,11 kg/ha, seguida por *Cordia lutea* Lam. que registro 2.10 kg/ha, *Guazuma ulmifolia* Lam. con 1.39 kg/ha y la especie con el menor registro de biomasa por hectárea es, *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth que registro 0.61 kg/ha de biomasa.

5.2. ELABORACIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS DE LA BIOMASA AÉREA ESTADÍSTICAMENTE VALIDADOS PARA LAS ESPECIES DEL BOSQUE SECO PLUVIESTACIONAL

5.2.1. Modelos alométricos para determinación de biomasa aérea de 19 especies de Bosque Seco Pluviestacional y parámetros para su validación

Para la elaboración de modelos alométricos; se seleccionó las especies con frecuencias mayores a ocho individuos medidos en campo, con el fin de que sean estadísticamente validados; de las 44 especies obtenidas en el inventario, son 20 especies las que cumplen con este mínimo de ocho arboles medidos; de estas, se tomó 19 especies debido a que una de ellas no fue identificada por el botánico experto, lo que significa que está puede ser nueva para la ciencia. Se establecieron los modelos con la ayuda del programa Infostat; se determinaron once modelos por especie que se presentan en el

Anexo 9. Seguido se presenta el mejor modelos alométricos por especie tomado de un total de once que fueron analizados.

Cuadro 9. Modelos alométricos de mejor ajuste para estimación de biomasa aérea de 19 especies de Bosque Seco Pluviestacional

Nombre especie	N° ind	Modelo Alométrico	R2	AIC	VIF	p-valor
<i>Bonellia sprucei</i>	8	$B = -2.74 + 1.94 (\text{LN DAP}) + 0.95 (\text{LN HC})$	0.98	-0.60	1.26 1.26	0.0039 0.0002 0.0005
<i>Bursera graveolens</i>	53	$B = -4.20 + 2.29 (\text{LN DAP}) + 0.91 (\text{LN HC})$	0.97	-38.45	1.16 1.16	<0.0001 <0.0001 <0.0001
<i>Capparidastrum petiolare</i>	9	$B = - 3.65 + 2.30 (\text{LN DAP}) + 0.91 (\text{LN HC})$	0.95	-2.72	1.00 1.00	0.0043 0.0001 0.0008
<i>Ceiba trichistandra</i>	20	$B = - 4.19 + 1.95 (\text{LN DAP}) + 1.07 (\text{LN HC})$	0.88	40.29	1.21 1.21	0.0002 <0.0001 0.0155
<i>Chloroleucon mangense</i>	8	$B = - 10.26 + 0.09 (\text{DAP}^2) + 7.33 (\text{HC})$	0.97	31.65	1.12 1.12	0.0128 0.0001 0.0006
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	36	$B = - 3.78 + 1.84 (\text{LN DAP}) + 1.06 (\text{LN HC})$	0.90	20.96	1.05 1.05	<0.0001 <0.0001 <0.0001
<i>Cordia alliodora</i>	11	$B = - 3.34 + 1.95 (\text{LN DAP}) + 1.09 (\text{LN HC})$	0.94	7.49	1.01 1.01	0.0017 <0.0001 0.0001
<i>Eriotheca ruizii</i>	90	$B = - 3.84 + 2.17 (\text{LN DAP}) + 0.52 (\text{LN HC})$	0.70	150.21	1.05 1.05	<0.0001 <0.0001 0.0005
<i>Erythrina velutina</i>	11	$B = - 6.04 + 2.72 (\text{LN DAP}) + 0.74 (\text{LN HC})$	0.98	-1.92	1.97 1.97	<0.0001 <0.0001 0.0129
<i>Erythroxylum glaucum</i>	14	$B = - 2.49 + 1.97 (\text{LN DAP}) + 0.93 (\text{LN HC})$	0.98	-20.36	1.00 1.00	<0.0001 <0.0001 <0.0001
<i>Geoffroea spinosa</i>	21	$B = - 227.60 + 0.32 (\text{DAP}^2) + 52.04 (\text{HC})$	0.93	216.66	1.04 1.04	<0.0001 <0.0001 <0.0001
<i>Piscidia carthagenensis</i>	9	$B = - 267.10 + 14.66 (\text{DAP}) + 29.21 (\text{HC})$	0.99	84.09	1.56 1.56	<0.0001 <0.0001 0.0027
<i>Pisonia aculeata</i>	28	$B = - 2.96 + 1.97 (\text{LN DAP}) + 0.64 (\text{LN HC})$	0.75	29.07	1.07 1.07	0.0003 <0.0001 0.0020
<i>Salacia sp.</i>	31	$B = - 2.57 + 1.95 (\text{LN DAP}) + 1.06 (\text{LN HC})$	0.97	-25.04	1.00 1.00	<0.0001 <0.0001

Nombre especie	N° ind	Modelo Alométrico	R2	AIC	VIF	p-valor
						<0.0001
<i>Tabebuia billbergii</i>	14	$B = - 1.76 + 1.63 (\text{LN DAP}) + 0.93 (\text{LN HC})$	0.97	-6.05	1.03 1.03	0.0020 <0.0001 <0.0001
<i>Tabebuia chrysantha</i>	94	$B = - 2.86 + 1.98 (\text{LN DAP}) + 1.06 (\text{LN HC})$	0.91	4.55	1.02 1.02	<0.0001 <0.0001 <0.0001
<i>Terminalia valverdeae</i>	9	$B = - 2.64 + 2.00 (\text{LN DAP}) + 1.01 (\text{LN HC})$	0.98	- 4.67	1.17 1.17	0.0009 <0.0001 <0.0001
<i>Trichilia sp.</i>	12	$B = - 164.96 + 7.08 (\text{DAP}) + 14.83 (\text{HT})$	0.92	108.80	1.48 1.48	0.0001 0.0013 0.0012
<i>Ziziphus thyrsoflora</i>	78	$B = - 2.10 + 1.96 (\text{LN DAP}) + 1.08 (\text{LN HC})$	0.95	-60.31	1.00 1.00	<0.0001 <0.0001 <0.0001

N° ind = número de individuos; R2 = coeficiente de determinación múltiple =; AIC = criterio de información de Akaike; VIF = factor de inflación de varianza; p-valor = nivel de significancia, B = Biomasa total aérea.

Entre todos los modelos obtenidos; con una, dos y tres variables independientes, se seleccionó el que alcanzo los mayores valores del coeficiente de determinación (R^2), los mejores p-valores, tomando en cuenta el valor del AIC y el VIF; que son los criterios que nos ayudaron a tomar los mejores modelos alométricos para las especies del estudio que se indican en cuadro anterior.

A continuación se indica el proceso, análisis y los parámetros que se tomaron en cuenta para elegir los mejores modelos alométricos para las especies del estudio; se toman como ejemplo tres especies del estudio y se especifica la validación y el por qué de la significancia que se tomó en cuenta para la elección del mejor modelo entre un total de diez realizados para cada una de estas.

5.2.1.1. Descripción y representación gráfica del modelo alométrico para *Tabebuia chrysantha*

Al relacionar el LN de la biomasa y el LN del DAP y el LN de la HC (Figura 19 a y b), se representa una relación lineal positiva entre la biomasa y las variables consideradas para el modelo alométrico de esta especie; se puede observar que el modelo funciona bien para los diámetros considerados en el estudio, esto considerando antes que se normalizo los datos mediante la aplicación de logaritmos.

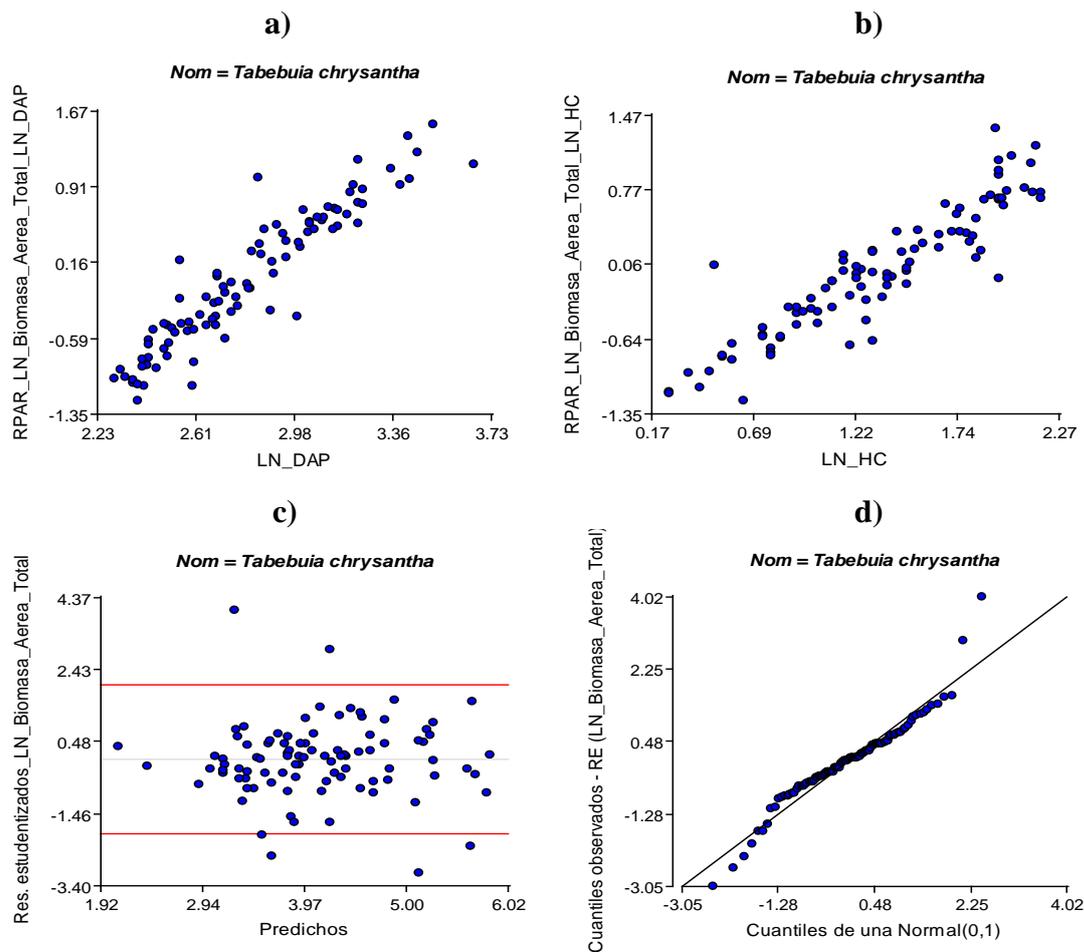


Figura 19. a) Logaritmo natural de la biomasa aérea total en función del logaritmo natural del DAP, b) Logaritmo natural de la biomasa aérea total en función del logaritmo de la altura comercial, c) Distribución de los residuos estudentizados y valores predichos, d) Gráfico Q-Q plot de los cuantiles observados en relación a los cuantiles de una normal

En la Figura 19 c, se visualizan los elementos de diagnóstico; dentro de estos límites están inmersos más del 75 % de todos los individuos muestreados, esto nos indica que el modelo si es significativo; los valores que se encuentran fuera de los límites puede dar problemas en el modelo, debido a que estos valores son anómalos, por encontrarse en los extremos mínimo y máximo del modelo.

En la Figura 19 d, los puntos se disponen en una recta de 45° indicando que el supuesto distribucional de los residuos de cumple.

Cuadro 10. Análisis de regresión lineal para el modelo alométrico de la especie *Tabebuia chrysantha*

Análisis de regresión lineal

Nom	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Tabebuia chrysantha	LN Biomasa Aerea Total	94	0.91	0.91	0.06	4.55	14.72

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-2.86	0.24	-3.34	-2.38	-11.88	<0.0001		
LN DAP	1.98	0.08	1.82	2.13	25.21	<0.0001	630.85	1.02
LN HC	1.06	0.05	0.96	1.15	21.37	<0.0001	453.86	1.02

Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	55.84	2	27.92	478.90	<0.0001
LN DAP	37.06	1	37.06	635.75	<0.0001
LN HC	26.63	1	26.63	456.81	<0.0001
Error	5.31	91	0.06		
Total	61.15	93			

Modelo alométrico para la especie:

$$B = - 2.86 + 1.98 (\text{LN DAP}) + 1.06 (\text{LN HC})$$

Donde:
B = Y (Biomasa (Kg))
LN DAP = X (cm)
LN HC = Z (m)

Para determinar el mejor modelo para esta especie se tomaros en cuenta los parámetros R² que debe ser mayor a 0.70 para que sea moderadamente significativo o a su vez como en este caso es de 0.91; esto indica que el modelo es muy significativo; también se tomó el valor AIC que en este caso de 4.55 nos indica que se ajusta de manera adecuada el modelo; el valor del VIF no debe ser mayor a 10, en este modelo es de 1.02 lo que nos indica que es muy significativo; también tomamos el p-valor que en este caso es <0.0001, esto quiere decir que la variable regresora es muy significativa; este valor no debe ser mayor a <0.05.

5.2.1.2. Descripción y representación gráfica del modelo alométrico para *Ceiba trichistandra*

Se relacionó el LN de la biomasa y el LN del DAP y el LN de la HC (Figura 20 a), se representa una relación lineal positiva entre la biomasa y las variables LN DAP se observa la existencia de datos anómalos al inicio de la gráfica y los datos están divididos en dos grupos esto debido a la variabilidad de datos de esta especie; en la (figura 21 b) se puede observar que el modelo no funciona bien para la variable LN HC considerados en el estudio, existen datos anómalos, esto considerando antes que se realizó la normalidad de datos mediante la aplicación de logaritmos.

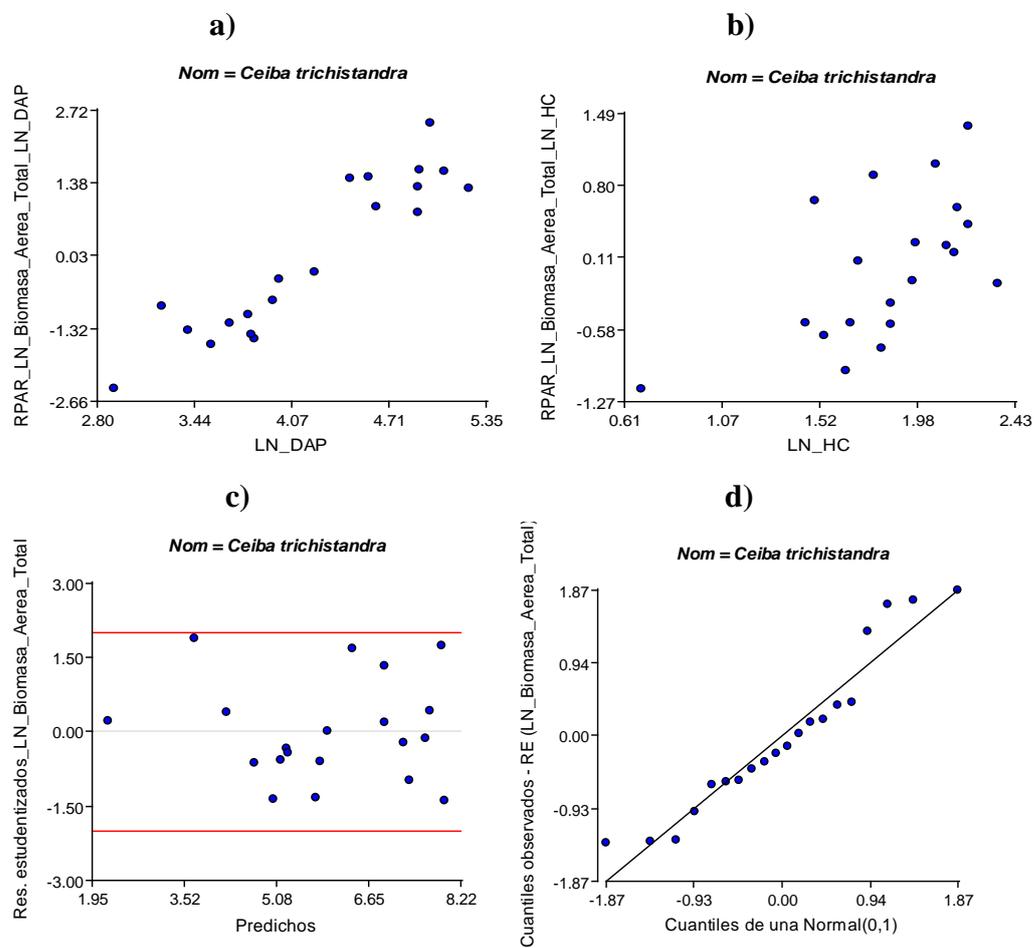


Figura 20. a) Biomasa aérea total en función de DAP2, b) Biomasa aérea total en función de la altura comercial, c) Distribución de los residuos estudentizados de la biomasa y valores predichos, d) Gráfico Q-Q plot de los cuantiles observados en relación a los cuantiles de una normal

En la Figura 20 c, se visualizan los elementos de diagnóstico están inmersos el 100 % de los individuos muestreados dentro de los límites de significancia, esto nos indica que el modelo si tiene validez.

En la Figura 20 d, los puntos se disponen en una recta de 45° pero se observan datos anómalos al final lo que hace una palanca en el modelo; esto nos indica que el supuesto distribucional de los residuos no se cumple en su totalidad, a pesar de ser un muy buen modelo para esta especie.

Cuadro 11. Análisis de regresión lineal para el modelo alométrico de la especie *Cebia trichistandra*

Análisis de regresión lineal

Nom	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Ceiba trichistandra	LN_Biomasa_Aerea_Total	20	0.88	0.87	0.46	40.29	44.28

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-4.19	0.91	-6.11	-2.27	-4.61	0.0002		
LN DAP	1.95	0.22	1.49	2.41	8.94	<0.0001	77.60	1.21
LN HC	1.07	0.40	0.23	1.91	2.69	0.0155	8.89	1.21

Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	45.13	2	22.56	65.17	<0.0001
LN DAP	27.70	1	27.70	79.99	<0.0001
LN HC	2.50	1	2.50	7.23	0.0155
Error	5.89	17	0.35		
Total	51.02	19			

Modelo alométrico para la especie:

$$B = - 4.19 + 1.95 (LN DAP) + 1.07 (LN HC)$$

Donde: B = Y (Biomasa (Kg))
LN DAP = X (cm)
LN HC = Z (m)

Para determinar el mejor modelo alométrico para esta especie se tomaros en cuenta los parámetros R² que debe ser mayor a 0.70 para que sea moderadamente significativo; en este caso es de 0.88; esto indica que el modelo es significativo; también se tomó el valor AIC que en este caso de 40.29 y nos indica que se ajusta bien al modelo; el valor del

VIF no debe ser mayor a 10, en este modelo es de 1.21 lo que nos indica que es muy significativo; también tomamos el p-valor que en este caso es 0.0002, <0.0001 y 0.0155, esto quiere decir que la variable regresora es muy significativa; puesto que este valor no debe ser mayor a 0.05.

5.2.1.3. Descripción y representación gráfica del modelo alométrico para *Eriotheca ruizii*

Se relacionó el LN de la biomasa y el LN del DAP y el LN de la HC (Figura 21 a), se representa una relación lineal positiva entre la biomasa y las variables LN DAP se observa la existencia de datos anómalos al inicio y final de la gráfica; en la (figura 21 b) se puede observar que el modelo no funciona bien para la variable LN HC considerados en el estudio, existen datos anómalos, esto considerando antes que se debe realizar la normalidad de datos mediante la aplicación de logaritmos.

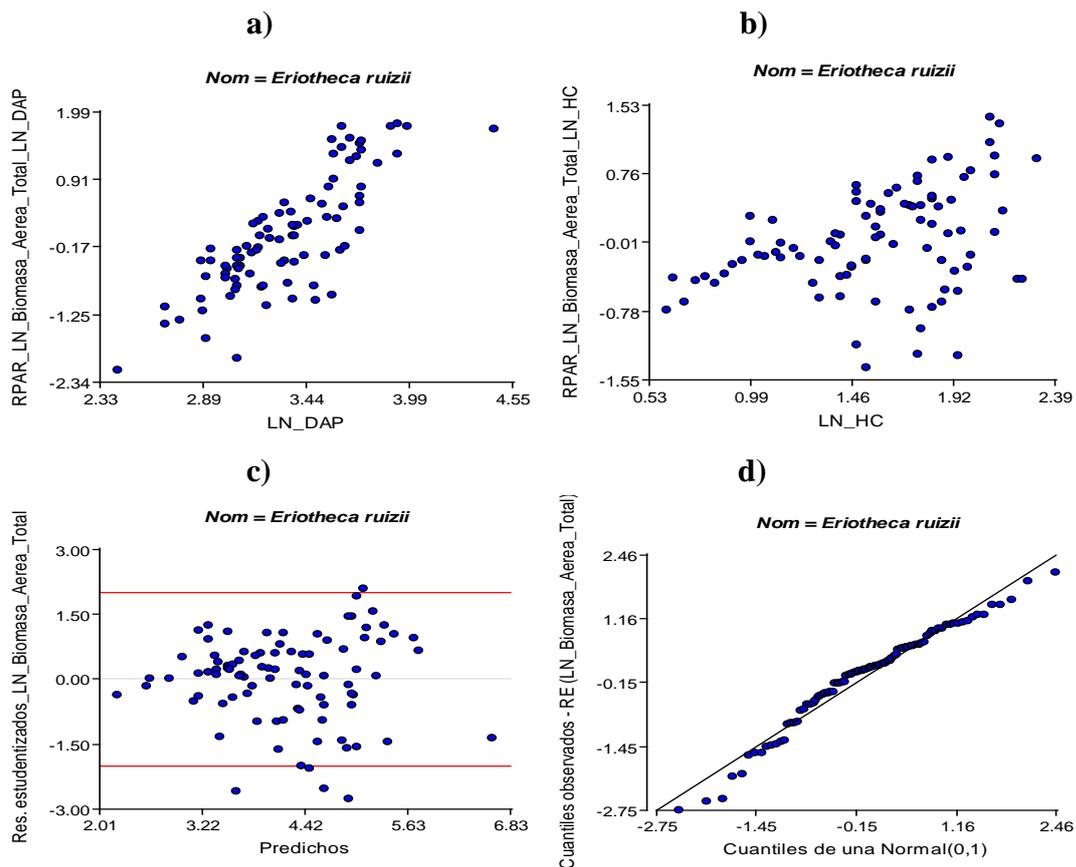


Figura 21. a) Logaritmo natural de la biomasa aérea total en función del logaritmo natural del DAP, b) Logaritmo natural de la biomasa aérea total en función del logaritmo de la altura comercial, c) Distribución de los residuos estudentizados y

valores predichos, **d)** Gráfico Q-Q plot de los cuantiles observados en relación a los cuantiles de una normal

En la Figura 21 c, se visualizan los elementos de diagnóstico; dentro de estos límites están inmersos más del 75 % de todos los individuos muestreados, esto nos indica que el modelo si es significativo; los valores que se encuentran fuera de los límites puede dar problemas en el modelo, debido a que estos valores son anómalos, por encontrarse en los extremos mínimo y máximo del modelo.

En la Figura 21 d, los puntos se disponen en una recta de 45° indicando que el supuesto distribucional de los residuos de cumple.

Cuadro 12. Análisis de regresión lineal para el modelo alométrico de la especie *Eriotheca ruizii*

Análisis de regresión lineal

Nom	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Eriotheca ruizii	LN_Biomasa_Aerea_Total	90	0.70	0.69	0.31	150.21	160.21

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-3.84	0.57	-4.99	-2.70	-6.69	<0.0001		
LN DAP	2.17	0.17	1.82	2.51	12.56	<0.0001	158.05	1.05
LN HC	0.52	0.14	0.24	0.81	3.62	0.0005	14.96	1.05

Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	58.62	2	29.31	99.66	<0.0001
LN DAP	46.42	1	46.42	157.83	<0.0001
LN HC	3.85	1	3.85	13.10	0.0005
Error	25.59	87	0.29		
Lack of Fit	25.57	86	0.30	17.33	0.1892
Error Puro	0.02	1	0.02		
Total	84.21	89			

Modelo alométrico para la especie:

$$B = - 3.84 + 2.17 (\text{LN DAP}) + 0.52 (\text{LN HC})$$

Donde: **B** = Y (Biomasa (Kg))
LN DAP = X (cm)
LN HC = Z (m)

Para determinar el mejor modelo para esta especie se tomaros en cuenta variables con R2 que debe ser mayor a 0.70 para que sea moderadamente significativo o a su vez como en este caso es de 0.70; esto indica que el modelo es moderadamente significativo para esta especie; también se tomó el valor AIC que en este caso de 150.21 nos indica que se ajusta de moderada al modelo; el valor del VIF no debe ser mayor a 10, en este modelo es de 1.05 lo que nos indica que es muy significativo; también tomamos el p-valor que en este caso es <0.0001, <0.0001 y 0.005 para las variables que se tomaros para desarrollar el modelo, esto quiere decir que la variable regresora es muy significativa; este valor no debe ser mayor a 0.05.

6. DISCUSIÓN

6.1. Factor de forma

El factor de forma obtenido para este estudio varía desde 0.43 para la especie *Cynophalla didymobotrys* que tiene mayor conicidad, hasta 0.72 para la especie *Cordia lutea* que es la que presenta menor conicidad. El factor de forma promedio para todas las especies de este estudio es de ($\bar{f} = 0.5$). El factor de forma varía en relación inversa con el tamaño del árbol, los árboles más pequeños tienen un factor de forma más alto, lo que quiere decir que estos son más cilíndricos; y los árboles más grandes un factor de forma más bajo, lo que especifica que estos son más cónicos.

6.2. Factor de expansión de biomasa FEB

El coeficiente técnico denominado factor de expansión de la biomasa (FEB) permite hacer la relación porcentual entre la biomasa del fuste estimada mediante inventarios forestales y el valor de biomasa total aérea (Loguercio & Defossé, 2001). Éste factor se define como el cociente entre la biomasa aérea total y la biomasa de los fustes (Dauber, 2001), varía entre especie y condiciones particulares de los ecosistemas forestales.

Para este estudio el factor de expansión de biomasa (FEB) fue de 2.17; este valor resultado del promedio para las especies que fueron taladas en los cuatro conglomerados de Bosque Seco Pluviestacional, que corresponden a *Cordia alliodora* con un valor de 1.72, *Eriotheca ruizii* con 1.41, *Tabebuia chrysantha* con 1.75 y *Ziziphus thyrsoiflora* con 3.93; estos datos se asignaron para especie, género y familia respectivamente.

Según Schlegel (2001), el factor de expansión de biomasa (FEB), que es la razón entre la biomasa total y la biomasa comercial, varía según el grado de intervención del bosque. Por lo tanto, existe un menor FEB para bosques cerrados y menos alterados y un mayor FEB para bosques abiertos y con mayor alteración.

Abendaño (2008), manifiesta que el factor de expansión de biomasa para la especie *Cordia alliodora* es de 1,26; comparada con la del estudio es más baja, esto se podría deber a las condiciones en las que se midieron las variables en el campo o a las características del ecosistema muestreado.

Según Álvarez (2008), el factor de expansión de biomasa se encuentra entre 1.9 a 2.4 para ecosistemas secos.

Para un bosque seco secundario el FEB promedio fue de 1,44, con un error de muestreo del 3,84%, mientras que la raíz representó el 25% de la biomasa aérea total y el 37% de la biomasa del fuste, (Fonseca *et al.*, 2009).

6.3. Biomasa aérea total almacenada a nivel de especies por hectárea, en Bosque Seco Pluviestaconal

En este estudio se identificaron 44 especies en un área de 4.32 ha, en las que se determinó la cantidad de biomasa aérea total en kilogramos por hectárea (Kg/ha).

Para nuestro estudio se obtuvieron los siguientes datos de algunas especies con mayor y menor biomasa aérea total en cuatro conglomerados; estos datos son para los de mayor biomasa: *Ceiba trichistandra* 5010,26 kg/ha, *Eriotheca ruizii* 2294,76 kg/ha, *Tabebuia chrysantha* 18.62.14 kg/ha, *Ziziphus thyrsoiflora* 1518.08 kg/ha, *Citharexylum quitense* 2,11 kg/ha de biomasa respectivamente

En el estudio de Ruiz & Tinoco (2013), obtienen los siguientes datos de biomasa, en comparación con los datos de nuestro estudio; cabe recalcar que ellos obtienen estos datos en tres conglomerados y sus datos fueron transformados a kg/ha; estos datos son: *Ceiba trichistandra* 6646,61 kg/ha, *Eriotheca ruizii* 3240,02 kg/ha, *Tabebuia chrysantha* 8357.88 kg/ha, *Ziziphus thyrsoiflora* 93,71 kg/ha, *Citharexylum quitense* 129,86 kg/ha de biomasa aérea respectivamente.

En el estudio de Ruiz & Tinoco (2013), el grado de confiabilidad de los datos son del 95% según las pruebas estadísticas aplicadas; en este estudio el programa estadístico por defecto da el grado de confiabilidad del 95%.

Existe diferencias muy significativas entre este estudio y el de Ruiz & Tinoco (2013); esto, posiblemente se debe a los factores ambientales presentes en cada conglomerado y a la distancia entre conglomerados en comparación con los dos estudios; (Ruiz & Tinoco, (2013), tres conglomerados ubicados en un solo cantón; el presente estudio cuatro conglomerados, cada uno de ellos ubicado en diferentes provincias de la Costa Ecuatoriana donde existe Bosque Seco Pluviestacional).

Benítez *et al.*, (2006), indica que en un muestreo destructivo para determinar el peso de la biomasa total aérea y por componentes se deben abatir por lo menos el 50% del total de árboles tipo de cada especie del estudio, y estos deben estar distribuidos en todo el

rango diamétrico. En el presente estudio se abatieron del 40 – 70 % del total de los árboles de las especies con mayor IVI.

Carrera (2010), menciona que un bosque secundario tiene un bajo incremento de biomasa debido al lento crecimiento; y, al empezar la etapa de madurez los valores de biomasa empiezan a incrementarse hasta que los valores se disparan cuando la planta está en plena etapa de madurez, de ahí paulatinamente llega a su periodo de senescencia en donde su crecimiento se estabiliza y por ende deja de ganar biomasa.

6.4. Modelos alométricos para determinación de biomasa aérea de 19 especies de Bosque Seco Pluvial y parámetros para su validación

En el estudio se seleccionaron los modelos alométricos con mayor significancia elegidos para cada especie de este estudio. En estos modelos se relacionan más las variables diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total del árbol (HT), la altura comercial del árbol (HC), el diámetro a la altura del pecho al cuadrado (DAP²), y las variables logarítmicas de DAP y HC; siendo estas últimas las que mejor ajuste presentaron en los modelos.

Todos los modelos seleccionados para las distintas especies, se toman en cuenta para que sean significantes algunos valores como el de $R^2 \geq 0.70$; en el caso de *Eriotheca ruizii* $R^2 = 0.70$; este valor indica que el 70 % de los datos en el modelo tiene variabilidad, esto indica que el modelo es adecuado entre la relación de la Biomasa aérea total y el DAP x HC; así mismo para *Piscidia carthagenensis* $R^2 = 0.99$, lo que indica un gran variabilidad en los datos y que el modelo para esta especie es muy adecuado y significativo; en todos los modelos seleccionados se tomaron las ecuaciones con los mejores valores de R^2 , se tomó en cuenta el p-valor que debe ser menor a ($p < 0.05$), en estos modelos se tomaron valores que se acercaban a cero ($p < 0.0001$), valores como el VIF que debe ser menor a 10 para que la significancia del modelo sea el correcto y el valor del AIC que mientras disminuye el modelo va a ser el más adecuado.

Cuando se combinan las variables altura total, altura comercial y DAP, se obtienen modelos que se ajustan bien a los datos, cuando se utilizan ecuaciones de dos o más variables se consiguen estimaciones de biomasa más exactas, (Segura *et al.*, 2005; Segura, 2006 y Schlegel, 2001).

Según Schlegel (2001), los modelos que mejor estiman biomasa son los de tipo alométrico, de la forma $Y=a \cdot X^n \cdot b$ con transformación logarítmica e incluyen variables de DAP, diámetro del tocón (DAT) y HT; afirma que estos modelos presentan un alto coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado) y un bajo error estándar de estimación (SEE) y tanto los modelos como los parámetros son significativos ($p < 0.05$).

Cabe recalcar que en el presente estudio los modelos alométricos con variables logarítmicas y con exponente (2) son los que mejor ajuste presentaron para estimar la biomasa aérea en las especies de la investigación; el grado de confiabilidad de los modelos alométricos obtenidos es del 95 % (± 2) y estos son de tipo:

$$B = \beta_0 + \beta_1(DAP) + \beta_2(HT)$$

$$B = \beta_0 + \beta_1(DAP^2) + \beta_2(HC)$$

$$B = \beta_0 + \beta_1(LN DAP) + \beta_2(LN HC)$$

Donde:

B = Biomasa

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = Parámetros del modelo

HT = Altura Total

HC = Altura Comercial

DAP = Diámetro a la altura del pecho

LN = Logaritmo natural

7. CONCLUSIONES

- Las especies forestales consideradas para la formulación de las ecuaciones alométricas son las siguientes: *Bonellia sprucei* (Mez) B. Ståhl & Källersjö, *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch, *Capparidastrium petiolare* Kunth in H.B.K., *Ceiba trichistandra* (A. Gray) Bakh, *Chloroleucon mangense* (Jacq) Britton & Rose, *Cochlospermum vitifolium* (Willd.) Spreng, *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav) Oken, *Eriotheca ruizii* (K. Schum) A. Robyns, *Erythrina velutina* Willd., *Erythroxyllum glaucum* O. Schulz, *Geoffroea spinosa* Jacq, *Piscidia carthagenensis* Jacq, *Pisonia aculeata* L, *Salacia* sp, *Tabebuia billbergii* (Bureau & K. Schum) Standl Subs ampla A Gentry, *Tabebuia chrysantha* (Jacq) G. Nicholson, *Terminalia valverdae* A.H. Gentry, *Trichilia* sp, *Ziziphus thyrsoiflora* Benth.
- La biomasa encontrada por especies en el Bosque Seco Pluvestaconal fue variable, siendo la especie *Tecoma stans* la que reportó el menor valor con 0.61 kg/ha; mientras que la de mayor de biomasa aérea, se presentó en la especie *Ceiba trichistandra* con 5 010.26 kg/ha. Estos valores se deben a las diferencia en el número de individuos encontrados en el área de estudio.
- Los modelos alométricos desarrollados en el presente estudio en el Bosque Seco Pluvestacional del Ecuador, mostraron altos coeficientes de determinación (R^2), con valores mayores que van desde $R^2=0.85$ hasta un máximo registrado de $R^2=0.99$; a excepción de las especie *Eriotheca ruizii* y *Pisonia aculeata* con coeficientes de 0.70 y 0.75 respectivamente, lo que significa un alto grado de confiabilidad de los mismos.
- En la especie *Piscidia carthagenensis*, la combinación de variables como el DAP y HC, genero el mejor modelo alométrico calculado para determinar la biomasa aérea total, alcanzando un coeficiente de determinación de $R^2=0.99$.
- Los modelos alométricos con variables logarítmicas y con exponente cuadrado, son los que mejor grado de significancia tienen; es decir son los modelos más confiables y que mejor se ajustan para calcular la biomasa aérea de las especies forestales de Bosque Seco Pluviestacional.

8. RECOMENDACIONES

- En el presente trabajo de investigación se determinó únicamente la biomasa aérea de las especies forestales de Bosque Seco Pluviestacional, por lo que sería importante realizar investigaciones posteriores para determinar la biomasa de raíces con lo cual se completaría la biomasa total del árbol.
- Monitorear las parcelas permanentes ya establecidas, para poder llevar un control más detallado y a la vez cuantificar la biomasa aérea de las especies de Bosque Seco Pluviestacional del Ecuador.
- Si se desea utilizar los modelos alométricos generados en esta investigación, se debe tener en cuenta el ámbito de datos con los que fueron generados (metodología desarrollada por ENF) y las condiciones de la región del presente estudio (clima, topografía, temperatura, precipitación, etc.).
- Los modelos alométricos evaluados para estimar la biomasa aérea total en este estudio, aplican para diámetros entre los 15 a 60 cm (± 10) de DAP, alturas totales entre 7 a 20 m (± 5) de altura total y 3 a 15 m (± 3) de altura comercial, esto según la especie; por lo tanto, estos modelos no deberían ser utilizados para *Ceiba trichistandra* (A. Gray) Bakh y otro tipo de árboles con diámetros, alturas totales y comerciales menores o mayores a los indicados.

9. LITERATURA CITADA

- Acosta, M.; Vargas, H.; Velázquez, M.; Etchevers J. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agro ciencia* 36(6): 725-736 p.
- Aguilar, Z. 2008. Guía de Vida Silvestre del Área Conservación y Desarrollo – La Ceiba. Naturaleza y Cultura Internacional (NCI). Quito, Ecuador. 87 p.
- Aguirre Z. 2010. Especies forestales claves y cultivos objetivos para sistemas agroforestales en zonas áridas y semiáridas de Latinoamérica. Deliberable 23. Proyecto WAFLA. Loja, Ecuador, 80 p. Consultado 10 mayo 2013. Disponible en: <http://www.wafla.com/183.0.html?&L=1>
- Aguirre Z. 2012. Especies forestales de los bosques secos del Ecuador. Guía dendrológica para su identificación y caracterización. Proyecto Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático. MAE/FAO – Finlandia. Quito, Ecuador. 140 p.
- Aguirre Z. y P. Kvist. 2005. Composición florística y estado de conservación de los bosques secos del sur-occidente del Ecuador. 35 p. Consultado 18 marzo de 2013. Disponible en: <http://www.darwinnet.org/docs/Articulo%20Floristica%20memorias%20Loja.pdf>
- Aguirre Z., Linares-Palomino, R. Peter L. 2006. Especies leñosas y formaciones vegetales en los bosques estacionalmente secos de Ecuador y Perú. Consultado 12 marzo 2013. Disponible en www.scielo.org.pe.
- Aguirre, Z., Peter, L., Sánchez, O. (2006b). Bosques secos en Ecuador y su diversidad. Consultado el 13 Octubre 2013. Disponible en www.beisa.dk.
- Aguirre, N; Añasco, M; Cueva, K; Ordóñez, L; Pekkarinen, A; Ramírez, C; Román, R; Sánchez, G; Velasco, C. 2010. Metodología para desarrollar el estudio piloto de la Evaluación Nacional Forestal, en conformidad con el mecanismo REDD+.
- Aguirre, Z.; & Aguirre, N. 1999. Guía práctica para realizar estudios de comunidades vegetales. Herbario Loja # 5. Departamento de Botánica y Ecología de la Universidad Nacional de Loja. Loja – Ecuador, 30 p.

- Álvarez, G. 2008. Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Tesis de Magister. Turrialba, Costa Rica. 80 p.
- Araujo T., Higuchi N., Carvalho J. 1999. Comparison of formula for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Par. Brazil. *Forest Ecology and Management* 117: 43-52.
- Avendaño, J. 2008. Modelos genéricos de biomasa aérea para especies forestales en función de la arquitectura y la ocupación del rodal. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 114 p.
- Baethgen, W., Martino, L. 2002, Cambio Climático, Gases de Efecto Invernadero e Implicancias en los Sectores Agropecuario y Forestal del Uruguay. (International Fertilizer Development Center); (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, GRAS). Paper. 16 p.
- Bates, C., Kundzewicz, Z., Wu, S., Palutikof, J. 2008. El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra, 224 págs.
- Becerril, R. 2007. Estimación del contenido y captura de carbono en zonas semiáridas microcuenca “El Carmen”, GTO. Tesis en Maestro en Gestión Integrada de Cuencas. Querétaro, México. 82 p.
- Bond-Lamberty, B., Wang C., Gower, S. 2002. Aboveground and belowground biomass and sapwood area allometric equations for six boreal tree species of northern Manitoba. *Can. J. For. Res.* 32: 1441-1450 p.
- Boukhari, S. 2000. Bosques y Clima: Intereses en Juego. UNESCO. Disponible en: http://www.unesco.org/courier/1999_12/sp/planete/txt1.htm.
- Brown S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer. Roma, Italia. FAO. (Informe Montes N°134). 55 p.
- Carrera, V. 2010. Almacenamiento de carbono en plantaciones forestales de balsa (*Ochroma lagopus Sw.*) ubicadas en las Regiones de Chimoré, Mariposas y

Puerto Villarroel Subtrópico de Cochabamba – Bolivia. UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN. VICERRECTORADO. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y Aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales Cochabamba, Bolivia. 56 p.

Cepal. 2009. La economía del cambio climático de América Latina y el Caribe: síntesis (en línea). CL. (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). Consultado 15 mayo de 2013. Disponible en: http://www.cambioclimaticopnud.org.bo/doc_pdf/01_La_economia_del_cambio_climatico_-_Sintesis_2009.pdf. 45 p.

Cerón, M.; Carlos. 1993. Manual de botánica ecuatoriana, sistemática y métodos de estudio en el Ecuador. Ediciones Abya – Ayala. Quito, Ecuador. p 315.

Chacín, F. 1998. Análisis de regresión y superficie de respuesta. Comisión de biblioteca, información, documentación y publicaciones. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Maracay, VE. 279p.

Chenost, C., Gardatte, M., Demenois, J., Grondard, N., Perrier, M., Wemaëre, M. 2010. Los mercados de carbón forestal. Libro. Virginie Chaume from ONF International. 176 p.

Contento, R. 2000. Estudio de la composición florística y regeneración natural forestal del bosque seco en la Ceiba Grande, cantón Zapotillo. Tesis Ing. For. Loja, Ecuador. Universidad Nacional de Loja Área Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables. 72 p.

Cordelim. 2010. Recuperación y destrucción del gas metano en el Relleno Sanitario de Pichacay y en el Vertedero de El Valle - Cantón Cuenca.

Dauber, E., Terán, J., Guzmán, R. 2008. Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. *Revista Forestal Iberoamericana* 1(1):1-10. Consultado 25 abril 2013. Disponible en <http://www.revforiberoamericana.ula.ve/archivos/DOC2.pdf>

Duarte, C. 2006. Cambio global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. Consejo superior de investigaciones científicas CSIC. Madrid-España. Edición a cargo de Cyan, Proyectos y Producciones Editoriales, S.A. 177 p.

- Etchevers, J., Vargas, J., Acosta, M., Velázquez. A. 2002. Estimación de la Biomasa Aérea Mediante el Uso de Relaciones Alométricas en Seis Especies Arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* Vol. 36 N° 006. 725 – 736 p.
- FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1998. Terms and Definitions. FAO Forest Resources Assessment Programme, Working Paper 1. Roma, Italia.
- Fonseca, G., Alice, F., Rey J. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *BOSQUE* 30(1): 36-47 p.
- Francis, J. 2000. Estimating biomass and carbon content of saplings in Puerto Rican secondary forests. *Caribbean Journal of Science* 36(3-4): 346-350.
- Gaillard, C., Pece, M., Juárez, M. 2002. Biomasa aérea de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) en dos localidades del Parque Chaqueño Seco. *Revista Ciencias Ambientales - Quebracho* 9: 116-127.
- Gayoso, J., Alarcón, D. 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Valdivia, Chile.: Universidad Austral de Chile
- Gayoso, J., Guerra, J., Alarcon, D. 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Proyecto FONDEF. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 154p
- GOLDMAN, C., SNELL, R., THOMASON, J., BROWN, D. 1990. Principles of allometry. Association for Biology Laboratory Education. Toronto (Canadá). ABLEWEB. Disponible en: <http://www.ableweb.org/volumes/vol-11/4-goldman.pdf>
- Granados, J., Corner, C. 2002. Respuesta de las selvas tropicales al incremento de CO₂ en la atmósfera. CEFAP. Paper. 8 p.
- Herbario Loja, UNISIG, CINFA. 2001. Zonificación y determinación de los tipos de Bosque seco en el sur occidente de la provincia de Loja. 144 p.

- IPCC, (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Cambio climático 2007: informe de síntesis (en línea). Suiza. Consultado en 25 mayo 2013. Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- IPCC, (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2001. Climate Change 2001: Glosario de términos. Anexo B. Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O.R. Davidson, R. Swart, y J. Pan (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK y, US, 752 pp.
- IPCC, 1996. The Science of Climate Change, Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, U.K. 150 p.
- Joos, F. 1996. The atmospheric carbon dioxide perturbation. *Europhysic News* 27: 213 – 218 p.
- Jordan, C., Uhl, C. 1978. Biomasa of a “tierra firme” forest of the Amazon Basin. *Oecologia Plantarum* 13(4): 387-400.
- Klinge, H., Herrera, R. 1983. Phytomass structure of natural plant communities on spodosolsin Southern Venezuela: The tall Amazon Caatinga Forest. *Vegetation* 53: 65-64.
- Körner, Ch. 2000. Biosphere response to CO2 enrichment. *Ecological applications*, 10: 1590 – 1619 p.
- Laurance, F., Delamonica. P., Laurance, G., Vasconcelos, L., Lovejoy, E. 2000. *Nature*. 89 p.
- Loguercio, G., Defossé, G. 2001. Ecuaciones de biomasa aérea, factores de expansión y de reducción de la lenga *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl) Krasser, en el Sur del Chubut, Argentina. *In* Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 18 al 20 de octubre de 2001. 11 p.
- MAE. 2011. El cambio climático y sus implicaciones en los países andinos. Ministerio del Ambiente. Proyecto PACC–MAE, CAMAREN. Quito-Ecuador. Libro. Primera edición. 68 p.

- Martínez, V., Graber, Y., Harris, M. 2006. Estudios interdisciplinarios en la costa centro-sur de la provincia de Manabí (Ecuador): nuevos enfoques. Bulletin de l'Institut français d'études andines. N° Temático: Avances de investigación en el Ecuador prehispánico. Tomo 35(3). 433-444 p. Consultado 25 abril 2013. Disponible en: [http://www.ifeanet.org/publicaciones/boletines/35\(3\)/433.pdf](http://www.ifeanet.org/publicaciones/boletines/35(3)/433.pdf)
- Mintzer, M. 1992. *Confronting Climate Change. Risk Implications and Responses*. Cambridge, University Press, Great Britain. 82 p.
- Montero, M., Montagnini, F. 2006. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*. 118-125 p.
- Montero, M., Kanninen, M. 2002. Biomasa y Carbono en plantaciones de *Terminalia amazonia* (Gmel.) Excell en la zona Sur de Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana* 39-40 y 50-55 p.
- Montero, M., Montagnini, F. 2005. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*. 45: 112 – 119 p.
- Neill, D. 2000. Observations on the conservation status of Tropical Dry Forest in the Zapotillo Area, Loja. Consultado 13 Abril 2013. Disponible en: www.mobot.org/MOBOT/research/Ecuador/Zapotillo.
- Norman, J., Campbell, M. 1991. Canopy structure. In *Plant Physiological Ecology*. Ed. Pearcy RW; JR Ehleringer; HA Mooney & PW Rundel. Chapman and Hall.
- Ortiz, A., Riascos, L. 2006. Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao *Theobroma cacao* L y Laurel *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken en la reserva indígena de talamanca, Costa Rica. Tesis. UNIVERSIDAD DE NARIÑO. FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS. PROGRAMA DE INGENIERIA AGROFORESTAL. SAN JUAN DE PASTO. 145 p.
- Overman, J., Witte H., Saldarviaga, J. 1994. Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazon rainforest. *Journal of Tropical Ecology* pp. 218 – 297.

- Paladines, R. 2003. Propuesta de conservación del Bosque seco en el Sur de Ecuador. *Lyonia* 4 (2): 183-186 p. Consultado 18 marzo 2013. Disponible en: [http://www.lyonia.org/Archives/Lyonia%204\(2\)%202003\(103-230\)/Paladines%20P.,%20R.%3B%20Lyonia%204\(2\)%202003\(183-186\).pdf](http://www.lyonia.org/Archives/Lyonia%204(2)%202003(103-230)/Paladines%20P.,%20R.%3B%20Lyonia%204(2)%202003(183-186).pdf)
- Parresol, B. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science* 45(4): 573-593.
- Pérez, D., Kanninen, M. 2003. Aboveground biomass of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science* 15(1): 199-213: 1-9.
- Philips, O. 1997. The changing ecology of tropical forests. *Biodiversity and Conservation*, 6: 291- 311 p.
- Pizzurno, M. 2010. Estimación preliminar del *stock* de carbono en diferentes tipos de bosques en el parque nacional caazapá, departamento Caazapá. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. 87 p. Consultado: 26 Marzo 2010. Disponible:
- Ponce-Hernández, R. 2004. Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes. FAO. Roma, IT. 166 p.
- Reams, G., Noejd, P. 1996. Increasing CO₂ and tree growth: drawing conclusions from observational data. XX World Congress of the International Union Forestry Research Organizations. Tampere, Finland. 89 - 97 p.
- Rügnitz, T., Chacón, M., Porro, R. 2009. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales -- 1. ed. -- Lima, Perú.: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 79 p.
- Ruiz, I., Tinoco, H. 2013. Cuantificación de las reservas de carbono en bosque seco dentro de tres áreas de conservación del programa socio bosque en el cantón zapotillo, provincia de Loja. Tesis de grado de ingeniero forestal. Universidad Nacional de Loja. Area Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables. Loja – Ecuador. 159 p.

- Saldarriaga, J., West, D., Tharp, M., Uhl, C. 1988. Long-term chronosequence of forest succession in the upper Río Negro of Colombia and Venezuela. *Journal of Ecology* 76: 938-958.
- Sánchez, O., Kvist, P., Aguirre, Z. 2006. Bosques secos en Ecuador y su diversidad. Botánica Económica de los Andes Centrales. Editores: M. Moraes R., B. Øllgaard, L. P. Kvist, F. Borchsenius & H. Balslev. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 2006: 162-187. Consultados 18 marzo 2013. Disponible en: <http://www.beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdf/Capitulo%2011.pdf>
- Schlegel, B. 2001. Estimaciones de biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempre verde. In Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 13 p.
- Schlegel, B., Gayoso, J., Guerra, J. 2000. Manual de procedimientos de muestreos de biomasa forestal. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Proyecto FONDEF. Universidad Austral de Chile.
- Segura, M., Kanninen, M., Suárez, D. 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. *Agroforest Systems* 68:143-150.
- Segura, M., Kanninen, M. 2005. Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. *Biotrópica* 37(1): 2-8.
- Segura, M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costarricensis*, en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. Escuela de Ciencias Ambientales. 126 p.
- Segura, M., Kanninen, M. 2001. Inventario para estimar carbono en ecosistemas tropicales en América central. CATIE. Serie Técnica Manual Técnico N° 50. 264p.

- Segura, M., Kanninen, M., Alfaro, M., Campos, J. 2005. Almacenamiento y fijación de carbono en bosques de bajura de la zona atlántica de Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana*. 6 p.
- Segura, M., Andrade, H. 2008. Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes. *Agroforestería en las Américas (CATIE)*. 122 pag.
- Sierra, C., Valle, J., Orrego, S. 2001. Ecuaciones de biomasa de raíces y sus tasas de acumulación en bosques sucesionales y maduros tropicales en Colombia. *In Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*. Valdivia, Chile. 18 al 20 de octubre del 2001. 16 p.
- Smith, T., Cramer, W., Dixon, R., Leemans, R., Neilson, A. 1993. The Global Terrestrial Carbon Cycle. *Water, Air and Soil Pollution*. 19-37 p.
- Steel, R., Torrie, H. 1988. *Bioestadística: principios y procedimientos*. México, McGraw-Hill. 613 p.
- Vallejo, A., Hernández, P., Jong, B., Martínez, C., Rodríguez, P. 2008. Preguntas frecuentes sobre la estimación de carbono para proyectos forestales MDL. Guía para el diseño de proyectos MDL forestales y de bioenergía. CATIE – CIFOR (Turrialba, Costa Rica). 43-66 p.
- Vásquez, A., Arellano, H. 2012. Estructura, biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del sur y noroccidente de córdoba. Colombia. Artículo científico. 40 p.
- Vásquez, A., Arellano, H. 2012. Estructura, biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del sur y noroccidente de córdoba. Colombia. Artículo científico. 40 p.
- Walker, J. 1994. Global Geochemical Cycles of Carbon. In: Tolbert, N. E. and J. Preiss (editors). *Regulation of atmospheric CO₂ and O₂ by photosynthetic Carbon metabolism*. Oxford University Press. 75 – 89 p.
- Walker, W., Baccini, A., Nepstad, M., Horning, N., Knight, D., Braun, E., y A. Bausch. 2011. *Guía de Campo para la Estimación de Biomasa y Carbono Forestal*. Versión 1.0. Woods Hole Research Center, Falmouth, Massachusetts, USA.

- Walpole, R., Myers, R. 1992. Probabilidad y estadística. 4 ed. México, McGraw-Hill. 797 p.
- Waring, H., 1983. Estimating forest growth and efficiency in relation to canopy leaf area. *Advances in Ecological Research* 13:327-354.
- Yepes, A., Navarrete, D., Duque, A., Phillips, J., Cabrera, K., Álvarez, E., García, M., Ordoñez, M. 2011. Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 162 p.
- Yquise, A., Pérez, V., Pocomucha, Y., Vargas C. 2008. Carbono almacenado en diferentes sistemas de uso de la tierra del distrito de José Crespo y Castillo, Huánuco, Perú. Paper. 49 p.
- Zimmermann, M. 1983. Xylem structure and the ascent of sap. Springer-Verlag. Berlín.

10. ANEXOS

Anexo 1. Guía para medición de diámetros de fuste, diámetros de copa y alturas en árboles en pie

Medición de diámetros en árboles vivos en pie

Antes de proceder a explicar los procedimientos prácticos para la medición del diámetro, se especifican algunas consideraciones generales que deben ser tomadas en cuenta:

- El diámetro se medirá sobre la corteza a 1,3 m de la altura del pecho (DAP). Se recomienda a las personas que realizarán esta medición conozcan el punto exacto de su cuerpo donde calza el 1,3 m, con la finalidad de elevar la precisión de los datos, o en su defecto utilizar una vara con la medida exacta.
- Usando la cinta diamétrica, el registro será en centímetros con un decimal (milímetros). Se debe tener cuidado que la cinta esté totalmente estirada alrededor del árbol, en una posición perpendicular al tronco.
- Se deben evitar los bejucos enrollados en el tronco y otros obstáculos que eviten medir el diámetro directamente sobre la corteza.

Para identificar los árboles o palmas en el formulario 3, se utilizarán los códigos integrados por las letras iniciales de árboles vivos (AV) más tres dígitos. Como ejemplo para el árbol número 1, su código sería: AV001.

A continuación se presentan algunos casos que soportarán la toma de decisiones para la medición correcta del diámetro en el campo (ver Figuras 22 a la 27).

En la Figura 22, se presenta la forma correcta de medir el diámetro en terrenos planos. Tome atención cuando el árbol está inclinado, donde la medición del 1,3 m de diámetro debe iniciarse sobre el extremo hacia donde el árbol está inclinado. El diámetro se toma en forma perpendicular al eje central del tronco.

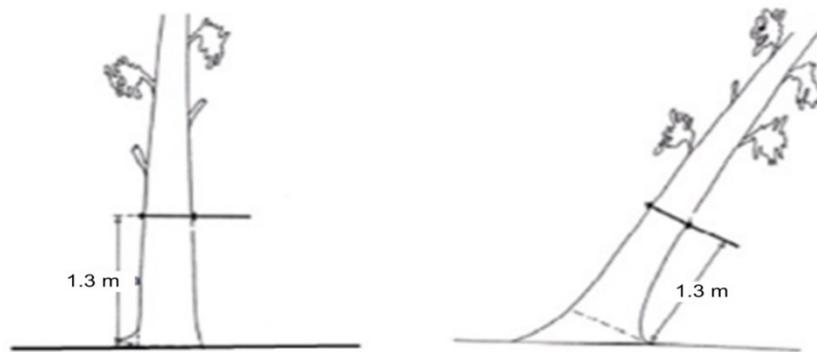


Figura 22. Medición del diámetro en terrenos planos.

En terrenos inclinados, el punto de medición se ubica en la parte superior de la pendiente. Esta regla también aplica para árboles inclinados en terrenos con pendiente (Figura 23).

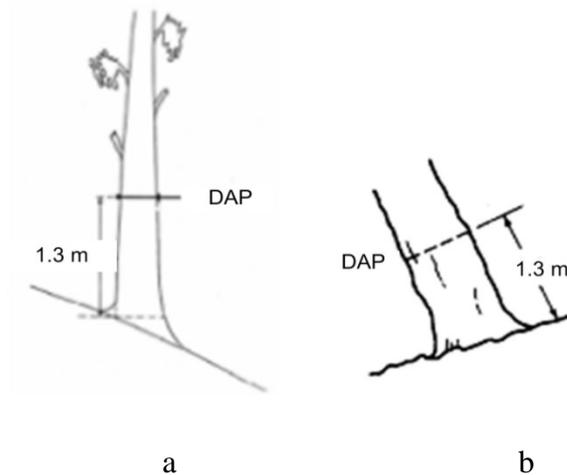


Figura 23. Medición de diámetro de árboles en terrenos inclinados, a) para árboles rectos, b) para árboles inclinados.

Para árboles con raíces tablares mayores de 1,3 m, las mediciones se realizarán a 30 cm arriba de donde se normaliza el diámetro del árbol, tal como se ilustra en la Figura 24. En el caso de manglares, existen raíces en constante crecimiento, es por ello que se considerarán aquellas que se originan del tronco principal y están muy bien establecidas en el suelo del manglar.

Cuando las raíces tablares alcanzan más de 2 m de altura, el diámetro del fuste será medido con el relascopio. El diámetro final será en promedio de 2 mediciones contrapuestas del fuste.

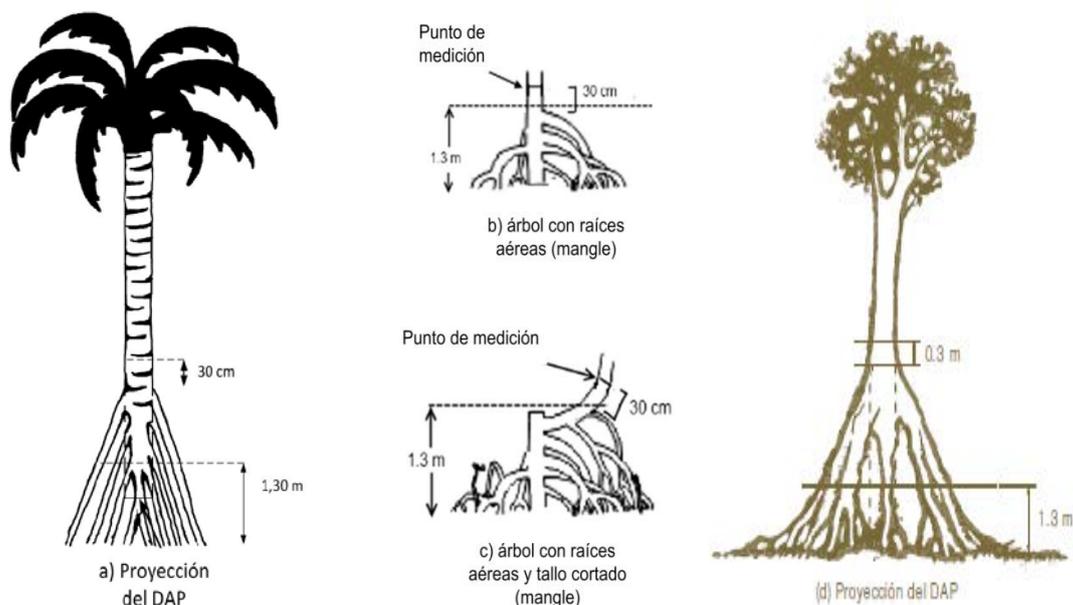


Figura 24. Medición de diámetro de árboles con raíces tablares con altura mayor de 1,3 m, (a) árbol con raíces tablares o gambas, (b) árbol con raíces aéreas (mangle), (c) árbol con raíces aéreas y el tallo principal cortado.

Para árboles con troncos bifurcados, trifurcados o con más divisiones se debe analizar el punto donde el árbol se divide. Los rebrotes de árboles también deben ser considerados como árboles y aplica estas mismas condiciones. A continuación se presentan tres casos comunes y algunos fundamentos para decidir la forma correcta de la medición del diámetro en este tipo de árboles:

- Si la bifurcación, trifurcación o más divisiones se originan **bajo los 1,3 m de altura** (Figura 24a), cada división que alcance el límite del diámetro establecido debe ser medido. Para el registro en el formulario **cada división tendrá su propio código, la cual incluye la letra F, más la condición de vivo (V) y tres dígitos para su numeración respectiva.** Por ejemplo, si el árbol 25 tiene 3 divisiones del tronco con más de 10 o 20 cm de DAP, el código para el tronco 1 será FV025, para el tronco 2 será FV026 y para el tronco 3 tendremos FV027.
- Si el árbol es **bifurcado** y esta se origina arriba de 1,3 m, el árbol debe ser **considerado como uno solo** (Figura 25 b). La medición del diámetro se realiza debajo de la bifurcación si es exacta a 1,3 m de altura. **Sin embargo, para estos casos el código del árbol será como árbol bifurcado.**

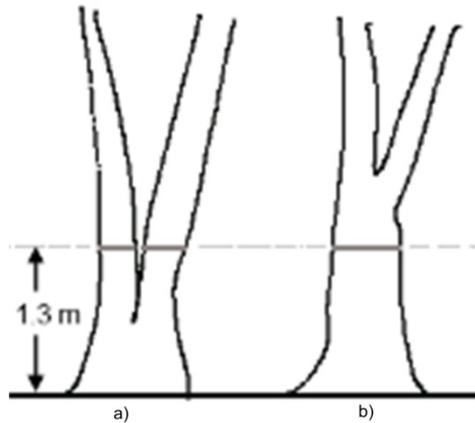


Figura 25. Medición del diámetro de árboles bifurcados: (a) ejemplo de medición para árboles bifurcados debajo de 1,3 m de altura, en este caso los dos fustes se consideran como árboles individuales (se requiere tomar dos mediciones de DAP); (b) ejemplo de medición para arboles bifurcados sobre el 1,3 m de altura, en este caso solo de mide un diámetro a 1,3 m.

- Si el tronco del árbol es **trifurcado o con mayores divisiones arriba de 1,30 m**, se requiere realizar la medición individual de los diámetros de las divisiones a 1,30 m del nudo de división, y medir el DAP del tronco principal (Figura 26). Estos datos serán registrados en filas individuales en el formulario 3 (tanto el DAP del tronco principal y de las divisiones). El tronco principal se registrara en la columna “Código árbol” utilizando como código la letra F y su condición de vivo (siempre en mayúsculas) y su número respectivo; por su parte, las divisiones se anotaran en la columna igual o mayor a la trifurcación “ \geq Trifurcación”, identificándose con los números 1, 2, 3 o más según el número de divisiones, el orden de numeración se basará en el diámetro de mayor a menor. Para la medición de los diámetros se utilizará el relascopio.

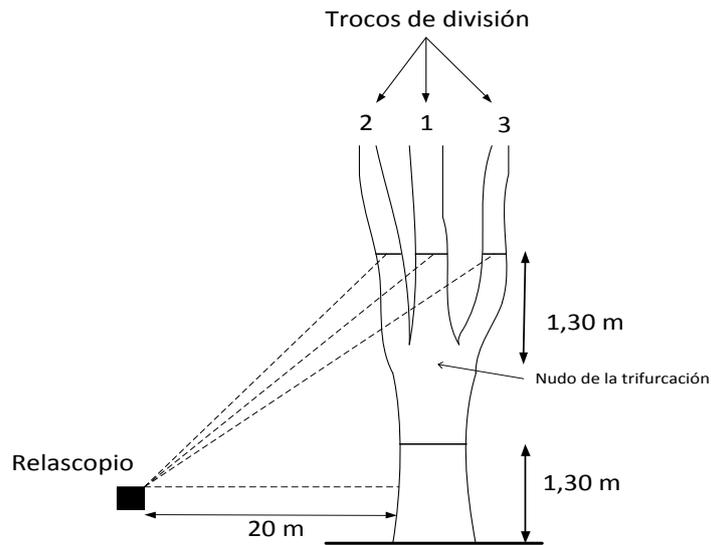


Figura 26. Medición del diámetro de los árboles con divisiones iguales o mayores a la trifurcación. Se medirá el DAP con cinta diamétrica para el tronco principal, y el diámetro de cada división con el relascopio.

Para **árboles con forma irregular a los 1,3 m** (Figura 27), como por ejemplo protuberancias, heridas, huecos, ramas u otras razones que causen la irregularidad a la altura del pecho, se debe medir arriba y debajo de la deformación y obtener un promedio del DAP. En este caso puede considerarse a las especies de Ceibo (p.ej., *Ceiba trichistandra*).

Cuando la altura d1 (Figura 27) es superior al alcance de la persona, se debe medir con el relascopio.

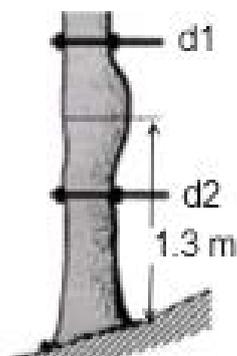


Figura 27. Ejemplo de medición de DAP en árboles con deformación a 1,3 m de altura, donde se deben medir 2 diámetros arriba y abajo (d1 y d2).

Medición de alturas en árboles vivos en pie

Para la medición de la altura de los arboles considere que:

- La altura total (H_t) es la distancia vertical entre el nivel del suelo y el extremo superior del árbol.
- La altura comercial (H_c) es la longitud de un tronco o fuste desde su parte inferior hasta su extremo superior donde empiezan las ramificaciones de la copa del árbol (Figura 28).

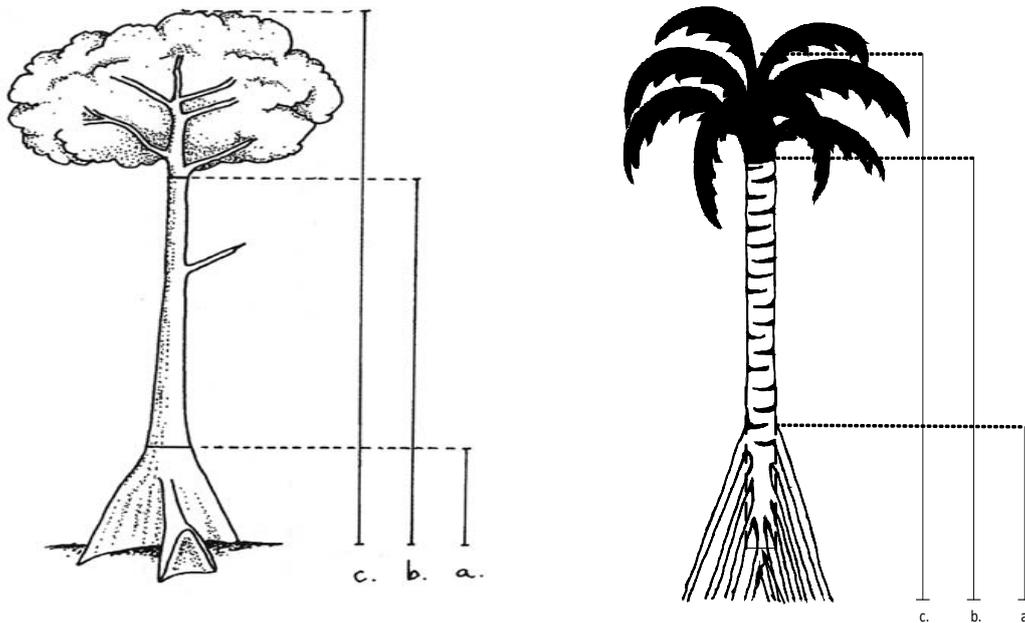


Figura 28. Diferentes tipos de altura de los árboles que serán medidas: (a) altura de la modificación de la raíz, desde el nivel de suelo hasta la parte superior de la modificación; (b) altura comercial desde el nivel del suelo hasta el punto donde se inician las ramificaciones, y (c) altura total desde el nivel del suelo hasta el punto superior del árbol.

Para la medición de las alturas con el hipsómetro electrónico vertex IV laser, se debe seguir el procedimiento del manual de uso que la unidad técnica facilitará. Además, se realizará una capacitación para el uso de los equipos electrónicos de alta precisión.

Siguiendo la lógica del procedimiento para la medición de los diámetros, las Figuras 29, 30 y 31, detallan el proceso para las mediciones de las alturas comerciales y totales para árboles bifurcados, trifurcados o con más divisiones.

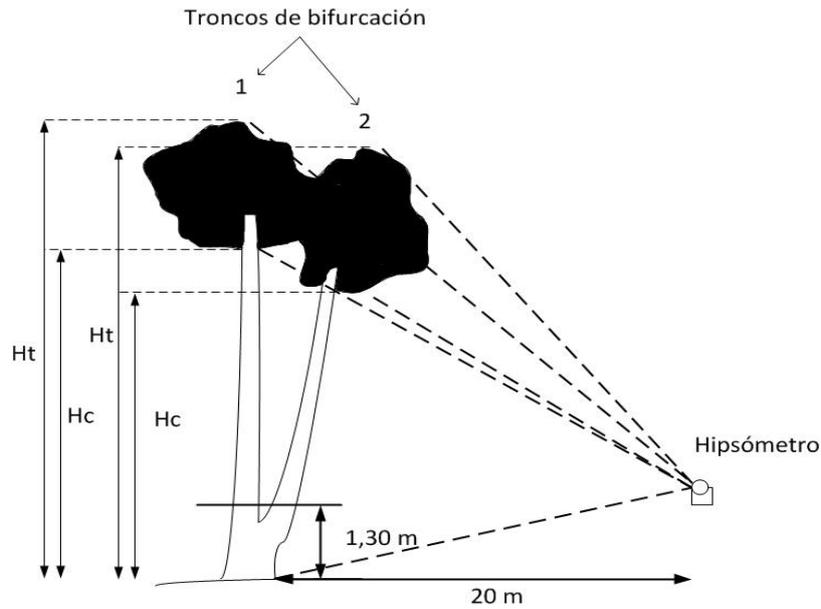


Figura 29. En árboles bifurcados ó con más divisiones a menos de 1,3 m, y mayores a 10 o 20 cm de DAP según corresponda, las alturas comerciales H_c y totales H_t se medirán individualmente para cada tronco, con el uso del hipsómetro vertex, y se registrarán como árbol individual en el formulario 3.

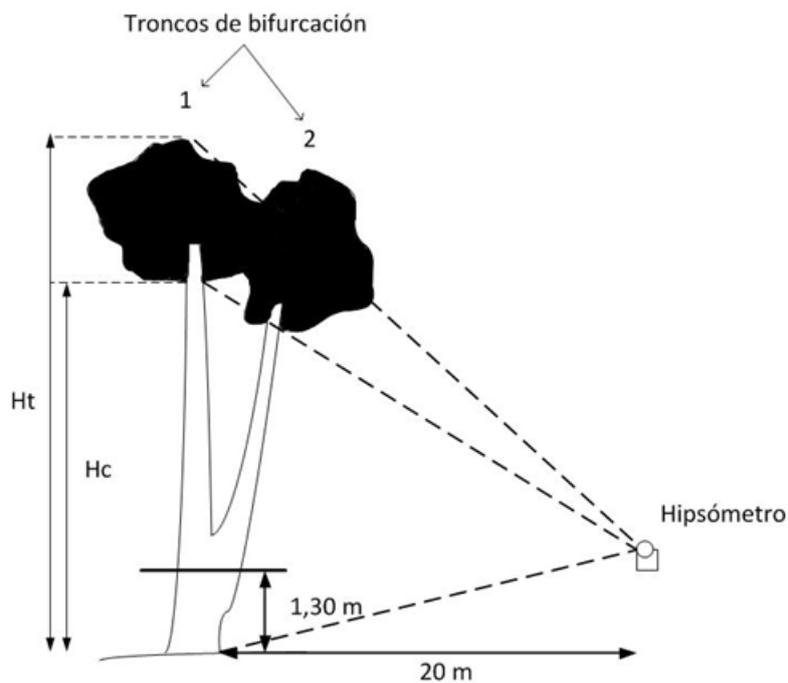


Figura 30. En árboles bifurcados sobre el 1,3 m, las alturas comerciales H_c y totales H_t se medirán únicamente del tronco principal (mayor diámetro), con el uso del hipsómetro vertex, y se registrarán como un solo árbol en el formulario 3.

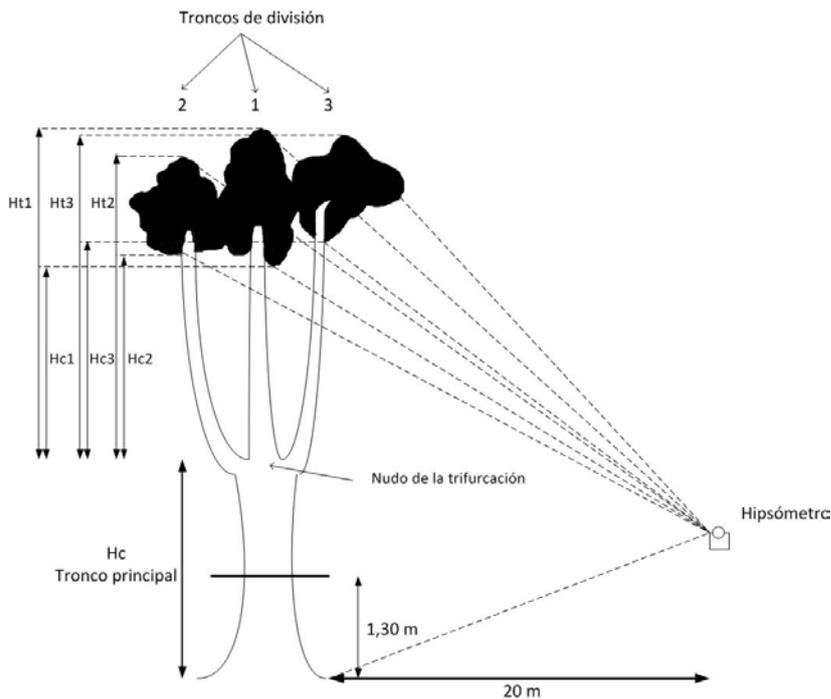


Figura 31. En árboles trifurcados o con más divisiones del tronco sobre el 1,3 m, primeramente se medirá la altura del tronco principal (Hc); luego se medirán individualmente las alturas comerciales de cada división (en el gráfico Hc1, Hc2 y Hc3) tomando como base el nudo de la trifurcación o división; paralelamente se va midiendo la altura total de cada tronco (en el gráfico Ht1, Ht2 y Ht3). Las mediciones realizadas con el hipsómetro vertex se registrarán individualmente (tanto tronco principal y divisiones) en las columnas de alturas comerciales Hc y totales Ht del formulario 3.

Medición de diámetro de copa en árboles vivos en pie

Se medirá el diámetro promedio de la copa de todos los árboles mayores a 10 cm de DAP, y se registrarán en los dos casilleros respectivos del formulario.

Para los casos de árboles bifurcados o con más de dos ramificaciones, debido al entrecruzamiento y combinación de la masa de copa, se medirá el diámetro promedio de la copa unificada de todas las ramificaciones mayores a 10 cm de DAP, indistintamente si el DAP está bajo o sobre la bifurcación.

El diámetro promedio de la copa individual o unificada se determinará midiendo el diámetro máximo y mínimo observado (ver Figura 32).

Los diámetros de copa se medirán utilizando el relascopio de bitterlich.

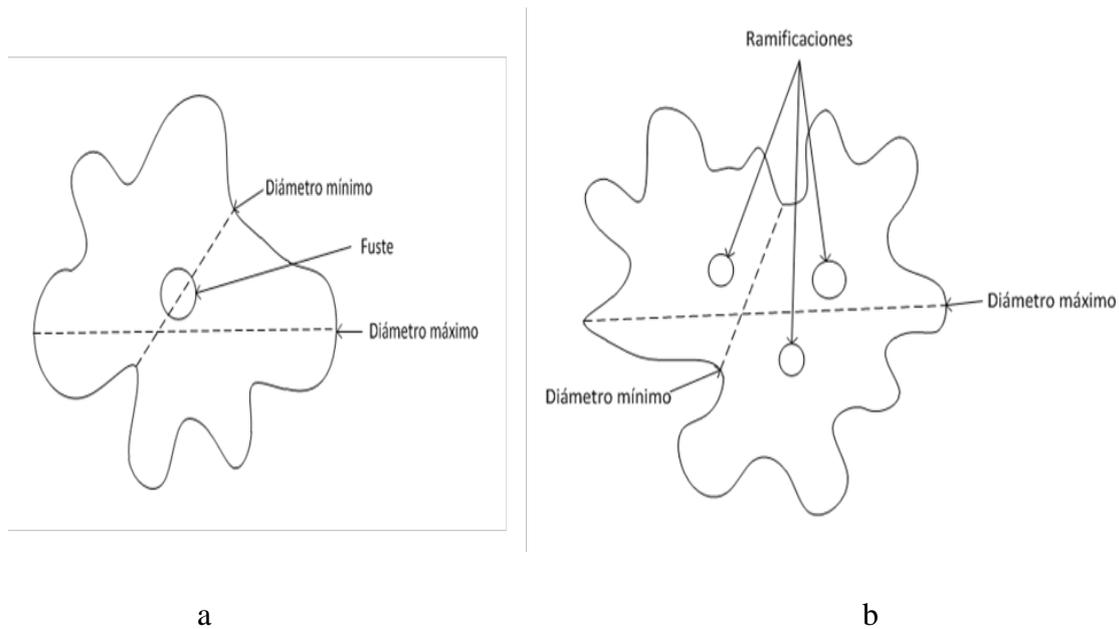


Figura 32. Representación horizontal de la copa para ilustrar la medición del diámetro máximo y mínimo para determinar el diámetro promedio de la copa: (a) para el caso de árboles de un solo fuste, y (b) para el caso de árboles bifurcados o con varias ramificaciones mayores a 10 cm de DAP.

Medición de ancho de copa en árboles vivos en pie

Para los árboles de un solo fuste el ancho de copa o altura (A_c) se determinará restando la altura comercial (H_c) de la altura total del árbol (H_t).

$$A_c = H_t - H_c$$

Para los árboles bifurcados o con ramificaciones se considerará el promedio de los anchos o alturas de copa de cada fuste o ramificación.

$$A_c = ((H_{t1} - H_{c1}) + (H_{t2} - H_{c2}) + \dots (H_{tn} - H_{cn})) / \text{número de ramificaciones}$$

Anexo 2. Síntesis del método de barrenado de incremento para la medición de la densidad de la madera

Es fundamental disponer de información sobre densidad de madera, pues condiciona en gran medida las estimaciones de biomasa aérea total. Árboles de estructura grande de madera liviana pueden contribuir de forma similar a árboles de estructuras más pequeñas pero madera más densa. Para extraer muestras de madera en el campo utilizaremos un “barreno de incremento” (Figura 33).

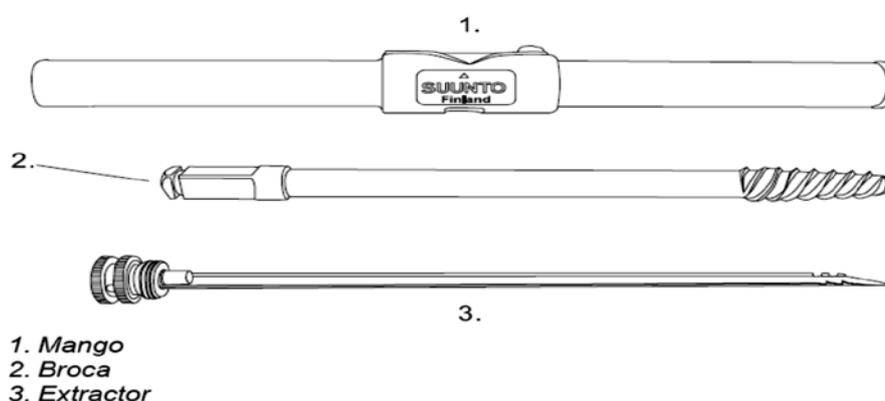


Figura 33. Barreno de incremento para extraer testigos de madera (de izquierda-derecha: manivela, pieza de incisión y barra extractora)

En la región donde se pretende extraer el testigo de madera se debe retirar con una navaja cualquier elemento adherido a la corteza (e.g. briófitos), así como la propia parte exterior de la corteza. De forma ideal, la extracción del testigo de madera debería realizarse a la altura del tronco a la que el usuario tenga estabilidad y pueda optimizar su fuerza. Para una persona de 1.70 metros, una altura adecuada sería aproximadamente un poco más arriba de la altura de su cintura: 1.10 metros. Por debajo de esta altura, el usuario tendría que inclinarse en exceso para hacer fuerza, y mucho más arriba tendría dificultades para reclinar su peso sobre la barra de extracción. La extracción del testigo de madera debe ser realizada por una sola persona, para mantener la homogeneidad de la extracción. Otra persona puede ayudar con el material para guardar el testigo (e.g. una pequeña bolsa debidamente identificada) y con las piezas del barreno de incremento que no se utilizan en la primera fase (e.g barra de extracción).

La mayor dificultad está en comenzar la incisión del barreno en el árbol. Para iniciar el proceso de extracción, se debe sostener la manivela justo detrás de las dos piezas, como

muestra la Figura 33. Reclínate sobre la barra para proporcionar la mayor presión posible. Pausadamente, comienza a girar la manivela hasta que las dos piezas de cuerda se hayan enroscado completamente y contribuyan al proceso de extracción. No se debe emplear NUNCA fuerza bruta para iniciar el proceso de barrenado en el árbol. El responsable del proceso NO tiene que ser el más fuerte sino el que tenga una mayor estabilidad.

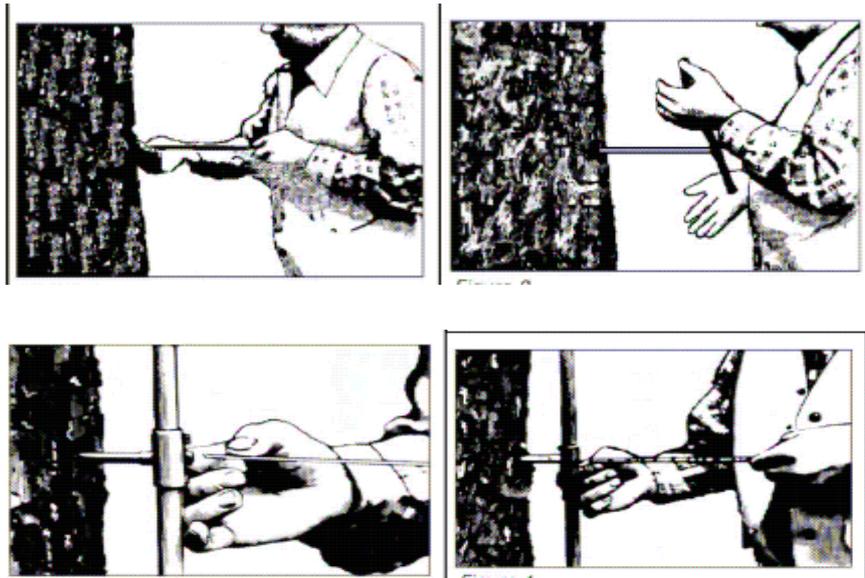


Figura 34. Pasos en el proceso de extracción de un testigo de madera

Si después de tres intentos no puedes conseguir introducir el final de la barra de extracción en el tronco, la madera es demasiado dura. Es aconsejable no insistir pues probablemente sólo resulte en la ruptura de la barra de incisión. Para madera dura, suele ser de gran ayuda atar una cuerda alrededor del tronco y del barreno de incremento (Figura 35). Cuando comiences a girar la manivela, la tensión de la cuerda incrementará, ayudando la entrada de la barra extractora en el tronco.

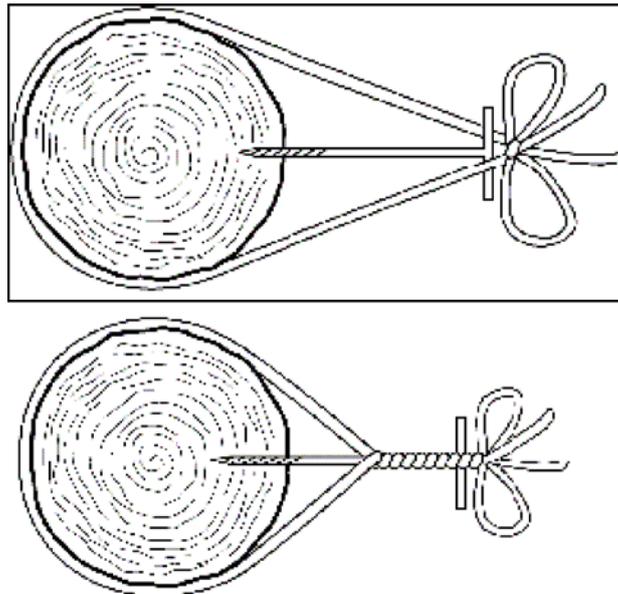


Figura 35. Empleo de una cuerda para facilitar el proceso de extracción del testigo de madera

Cuando se ha alcanzado la profundidad de extracción adecuada, retira la pieza de incisión girándola completamente, introduce la barra extractora en el hueco del barreno de incremento. Eleva ligeramente el final de la barra de extracción al introducirlo en el barreno de incremento, para asegurar que la parte inicial se coloca debajo del core. Introduce la barra extractora en toda su longitud. Dependiendo de las especies de árbol, es posible que tengas que ejercer cierta presión con la palma de la mano al final del avance de la barra. Nunca introduzcas la barra extractora con ayuda de un martillo u otro utensilio.

Retira lentamente la barra de extracción de la manivela o manija de incremento. Deberías recuperar un testigo de madera intacto. Retira el barreno de incremento del árbol tan rápido como sea posible, para evitar que se quede atascado en el árbol.

Coloca el testigo de madera inmediatamente en una cañita de plástico, como las que se emplean para beber, tapona los extremos y marca la muestra con un número identificador ID (este número debe repetir el marcado en la hoja de campo, que contiene información adicional sobre el árbol y el lugar). Si se rompe el core, puedes decidir quedarte sólo con las dos o tres partes más largas (el objetivo no es leer los anillos de crecimiento). Resguarda las cañitas de plástico en un contenedor de plástico mientras estés en el campo.

Los barrenos de incremento deben limpiarse después de cada colecta y antes de guardarlas. La colecta de buenos cores de los árboles o ramas depende en gran medida del estado del barreno de incremento. La sabia del árbol y la humedad pueden rayar o dañar la barra, volviéndola inservible. Las especies de Sapotaceae, Euphorbiaceae, Apocynaceae, y Moraceae, en particular, suelen producir sabia en abundancia. Para limpiar la barra, utiliza lubricante o cualquier aceite ligero, con ayuda de un pañuelo o pieza de ropa. Si la pieza interna se oxida, substituye el pañuelo por lana de acero. Como cualquier otro equipo para perforar, el barreno de incremento debe estar bien afilado para funcionar adecuadamente. Una barra bien afilada, extraerá numerosos testigos de madera antes de necesitar ser afilada de nuevo. La madera de alta densidad desafilará la barra antes que la madera de baja densidad. Asegúrate que todas las partes del material están secas antes de guardarlo. Para guardar la barra, gira el seguro en dirección opuesta y extrae la pieza interna. Coloca la barra extractora dentro de esta pieza y ambas dentro de la manivela o manija. Enrosca la manivela fuertemente. Guarda el material en un lugar seco.

Los testigos de madera extraídos hay que secarlos y mantenerlos en un espacio seco para evitar que se malogren. La medición de sus densidades de madera tendrá que realizarse en un laboratorio mediante la técnica del volumen desplazado.

Anexo 3. Síntesis del método para la medición de la densidad de la madera con el uso del Pilodyn

El pilodyn es un instrumento (ver Figura 36) que permite determinar la densidad de la madera viva a través de un método rápido y no destructivo; pero se puede utilizar en general para determinar la calidad y dureza de todo tipo de elementos de madera.



Figura 36. Muestra gráfica del Pilodyn

El pilodyn funciona mediante el disparo de una aguja de acero (\varnothing 2,5 mm o \varnothing 2,0 mm) sobre la madera con una energía uniforme. La profundidad de penetración se lee en una escala. La punta se cambia cada 5.000 golpes aproximadamente.

El pasador de 2,0 mm tendrá una penetración más profunda en la madera que el pasador de 2,5 mm. En las especies con densidad de la madera suave y baja, el pasador de 2,0 mm puede no ser factible ya que la penetración de pin alcanza un máximo de 40 mm en todos los árboles (ver Figura 37). En cambio, en maderas duras, el pasador de 2,5 mm puede sólo muestrear una penetración muy pequeña. Se recomienda que los dos diámetros de pasador se pongan a prueba, y el más adecuado para la especie en cuestión es elegido.

La profundidad a la que penetra el pasador se indica en el instrumento y es inversamente proporcional a la densidad de la madera.

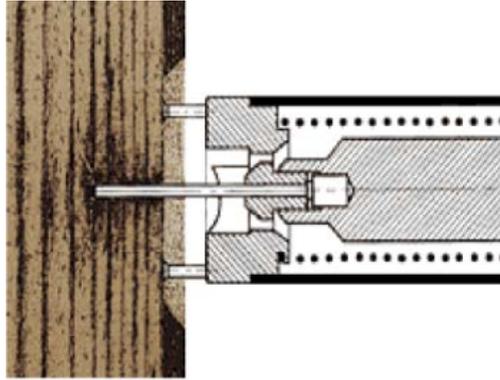


Figura 37. Muestra grafica de la penetración del pilodyn en la madera

Para obtener mediciones precisas, es esencial que se elimine la corteza en el punto de muestra antes de la evaluación. La corteza se extrae del punto de la muestra con un cuchillo, alcanzando un espacio suficiente para los dos pasadores de separador del Pilodyn (ver Figura 38). No hay necesidad de eliminar más corteza, ya que esto aumentaría el riesgo de infestación de plagas y enfermedades. El punto de la muestra debe estar libre de cualquier aberración visible como nudos o bolsas de resina. El punto de la muestra normalmente es colocado a la altura del pecho (1,3 m por encima del suelo), pero, en principio, otra posición podría ser utilizada.

Lo importante es mantener la posición fija durante toda la evaluación, es decir, para medir en la misma altura sobre el suelo en todos los árboles.

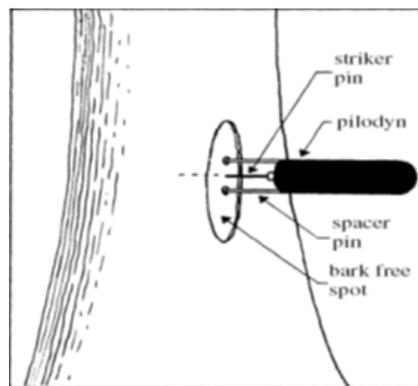


Figura 38. Muestra del retiro de la corteza para lograr una buena penetración del pilodyn

No cargue el Pilodyn hasta inmediatamente antes de su uso. Nunca transporte el instrumento cargado o lo deje solo cuando está cargado. Siempre apunte el instrumento cargado hacia el suelo.

Al apretar el gatillo, se activa el disparo y el percutor es impulsado en la madera. La profundidad de penetración del punzón, mientras se registra el Pilodyn sigue presionada contra el árbol. La penetración se lee en milímetros (0 - 40 mm, sin decimales) en la escala. Cuando la penetración se ha registrado, el percutor se extrae del árbol con cuidado para evitar que se doblen las patillas.

Por lo general, se necesitan dos o más mediciones de cada árbol. Cuando las mediciones se han completado, la cubierta protectora se coloca de nuevo en el instrumento.

La primera lectura se debe colocar de forma aleatoria, es decir, sin orientación fija; sin embargo se puede utilizar una dirección predeterminada (por ejemplo, en relación al norte). Esto es para evitar un posible efecto de la madera de compresión / reacción que pueden haberse desarrollado, por ejemplo debido a una pendiente o dirección del viento dominante. La segunda lectura debe estar en ángulo recto a la izquierda o a la derecha de la primera (ver Figura 39).

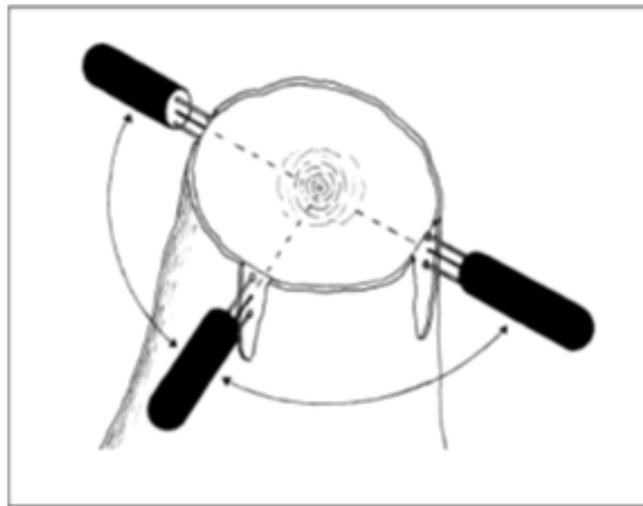


Figura 39. Muestra grafica de las dos mediciones contrapuestas con el Pilodyn para obtener un promedio.

Anexo 4. Normas INEN para determinación de la densidad de la madera.



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1162:2012

Primera Revisión

MADERAS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE.

Primera edición

WOOD. DETERMINATION OF APPARENT DENSITY

First edition

DESCRIPTORES: Maderas, densidad aparente, método de ensayo.

CDU: 674:629.13:531.42

AG: 05.01-304

ICS: 79

1. OBJETO

1.1 Esta norma describe el método de ensayo para determinar la densidad aparente de las maderas.

2. ALCANCE

2.1 Para tener relación con las otras propiedades de la madera, puede servir de índice para clasificación y/o evaluación previa de las propiedades mecánicas.

3. DEFINICIONES

3.1 Para efectos de esta norma, se adopta la siguiente definición:

3.1.1 Densidad aparente. Es la masa de la unidad de volumen de una especie maderable, con determinado contenido de humedad.

4. DIPOSICIONES GENERALES

4.1 Como la densidad aparente de la madera varía con su contenido de humedad, se debe determinar el contenido de humedad de la probeta al momento de efectuar el ensayo, según la Norma INEN 1160.

5. MÉTODO DE ENSAYO 5.1 Resumen

5.1.1 La densidad aparente de la madera se determina por la relación de la masa-volumen. La masa de la pieza de ensayo se determina mediante el pesaje en gramos y el volumen por el método directo o indirecto, en centímetros cúbicos.

5.2. Equipos

5.2.1 Balanza. Que permita determinar la masa con una exactitud de 0,1 g.

5.2.2 Micrómetro. Con una exactitud de 0,1 mm.

5.2.3 Volumenométrico de mercurio. Con una exactitud de 0,1 cm³.

5.3 Preparación de la pieza de ensayo

5.3.1 Las piezas de ensayo deben ser de forma prismática de 20 mm de lado como mínimo.

5.4 Procedimiento

5.4.1 Determinar de la masa. La masa de la pieza de ensayo se obtiene mediante lectura de la balanza.

5.4.2 Determinar del volumen. El volumen de la pieza de ensayo puede determinarse por dos métodos;

5.4.2.1 Medición directa, utilizando el micrómetro, con la precisión requerida, de acuerdo a la finalidad del ensayo.

5.4.2.2 Medición indirecta, empleando el volumenométrico de mercurio o mediante el procedimiento de inmersión en agua.

5.5 Cálculos

5.5.1 La densidad aparente se calcula con la fórmula siguiente:

$$D = \frac{M}{V}$$

En donde:

D= densidad aparente, en gramos sobre centímetros cúbicos.

M= masa de la pieza de ensayo, en gramos

V= volumen de la pieza de ensayo, en centímetros cúbicos.

5.6 Informe de resultados

5.6.1 El resultado de la densidad aparente debe estar adjunto al de contenido de humedad, obtenido de acuerdo a la Norma INEN 1160.

5.6.2 El contenido de humedad con que se ha realizado el ensayo de densidad aparente se puede indicar por medio de un subíndice; por ejemplo: D12, D0 etc.

APENDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1160. *Maderas. Determinación del contenido de humedad.*

Z.2 BASES DE ESTUDIO

Norma ISO 3131:1975. *Determination of density for physical and mechanical tests.* International Organization for Standardization. Ginebra 1975

Norma Española UNE 28012 H2. *Maderas de empleo en Aviación. Ensayo de densidad aparente.* Instituto Nacional de Racionalización. Asociación Española de Certificación y Normalización. AENOR Madrid, 1954.

Dirección General: E-Mail:direccion@inen.gob.ec

Área Técnica de Normalización: E-Mail:normalizacion@inen.gob.ec

Área Técnica de Certificación: E-Mail:certificacion@inen.gob.ec

Área Técnica de Verificación: E-Mail:verificacion@inen.gob.ec

Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail:inenlaboratorios@inen.gob.ec

Regional Guayas: E-Mail:inenguayas@inen.gob.ec

Regional Azuay: E-Mail:inencuenca@inen.gob.ec

Regional Chimborazo: E-Mail:inenriobamba@inen.gob.ec

URL:www.inen.gob.ec

Anexo 5. Formularios para la toma de datos, en los conglomerados para determinación de modelos alométricos.

**MODELOS ALOMÉTRICOS
Formulario 1 – Acceso al Conglomerado**

Bosque Seco Andino
Bosque Seco Pluvioestacional

Ingreso al Conglomerado

¿Ha ingresado al conglomerado directamente por esta parcela?
(Registre una sola respuesta)

	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Llenar las preguntas de formulario 1
Sí	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
No	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Pase al formulario 2

Ubicación del LUGAR DE SALIDA
(Se considera lugar de salida al sitio más cercano a un conjunto de conglomerados donde el equipo de campo puede hospedarse y contar con servicios (ejemplo: capital provincial, cabecera cantonal o cabecera parroquial))

1. Identificación del lugar de salida:
(Ingresar el nombre en la línea punteada, e ingresar los códigos en la oficina)

Códigos

1.01 Provincia.....

1.02 Cantón.....

1.03 Cabecera cantonal o parroquia rural.....

Información del VEHÍCULO antes de iniciar el acceso

2. ¿Cuál es el medio de transporte y el tipo de vehículo utilizado para trasladarse desde el LUGAR DE SALIDA hacia la parcela del conglomerado?:
(Marcar todos los medios de transporte que utilizó desde la salida, y registrar el tipo de vehículo utilizado para cada medio de transporte)

Tipo

2.01 Aéreo →

2.02 Acuático →

2.03 Terrestre →

3. ¿Cuánto fue el tiempo del viaje, en el vehículo, y cuál fue la distancia aproximada, en kilómetros, desde el lugar de salida (Pregunta 1) hasta comenzar la caminata a la parcela?
(Registre el tiempo y la distancia)

3.01 Tiempo: Horas : Minutos

3.02 Distancia aproximada: Kilómetros km

4. Ubicación del lugar donde termina el viaje en el vehículo, antes de emprender la caminata a la parcela: (Utilizar el GPS)

4.01 UTM → 1. X (longitud) m
→ 2. Y (latitud) m

4.02 Altitud → msnm

4.03 Código foto →

Información de la CAMINATA de ACCESO a la parcela

5. Fecha y hora a la que comienza la caminata de acceso:

5.01 Fecha de inicio de la caminata de acceso a la parcela Día / Mes / Año

5.02 Hora de inicio de la caminata de acceso a la parcela Horas : Minutos

5.03 Hora de llegada al punto de inicio de la parcela Horas : Minutos

(Continuar a la siguiente sección.....)

Acceso a la PARCELA

6. Puntos de referencia (PR) identificados en la caminata de acceso a la parcela:
(Ingresar al menos 3 puntos de referencia PR)

Código PR	Descripción del PR	UTM X	UTM Y	Código foto	Azimet (°)	Distancia m
PR 01						
PR 02						
PR 03						
PR 04						
PR 05						

7. Croquis de Acceso (Se sugiere hacer un croquis, con la ayuda del GPS, indicando el punto de inicio de la caminata hasta llegar al punto de inicio de la parcela. Incluya la leyenda de ser necesario)

Descripción del croquis:

Ubicación del CONGLOMERADO

8. Identificación del conglomerado:
(Registrar el nombre en la línea punteada, e ingresar los códigos en la oficina)

Códigos

8.01 Clase de uso de la tierra (CUT) teórico

8.02 Conglomerado

8.03 Parcela **P**

8.04 Distribución Zonal MAE

8.05 Provincia.....

8.06 Cantón.....

8.07 Cabecera cantonal o parroquia rural.....

8.08 Nombre localidad, comunidad, recinto

8.09 Nombre Carta Topográfica

8.10 Número Carta Topográfica -

(El DATUM que se debe utilizar es WGS84)

8.11 Zona UTM

(FIN DEL FORMULARIO 1)

INSTRUCCIONES PARA LLENAR EL FORMULARIO

Recomendaciones generales para todos los formularios

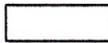
Para el llenar el formulario debe tener presente las siguientes recomendaciones:



Se marca con visto o con X según su respuesta



Indica el salto o flujo de secuencia de las preguntas dependiendo del registro realizado



Se registra los nombres o números de acuerdo a lo solicitado



Ayuda a identificar que la pregunta viene de un flujo o salto.

Código

Lenar con un sólo valor por casilla

Instrucciones para el llenado del Formulario 1

Códigos de Provincia, Cantón, Cabecera cantonal o parroquia rural y Carta Topográfica

Numerales:

1,
8.04, 8.05, 8.06, 8.08, 8.09

Instrucciones:

La Unidad Técnica (UT) ha facilitado una guía con los códigos definidos por el INEC para todas las provincias, cantones y parroquias del Ecuador, a cada equipo de campo.

El número y nombre de la Carta Topográfica se encuentra en la parte superior de la misma. En caso que no conozca dichos códigos, o que no disponga de una Carta Topográfica, no se registrará esta información.

Códigos de Clase de Uso de la Tierra (CUT), Conglomerado y Distribución Zonal MAE

Numerales:

8.01

Instrucciones:

Las CUT según el nivel II y III de la clasificación realizada por el IPCC para la ENF son:

Numerales:

8.02

Instrucciones:

La UT ha facilitado, a cada equipo de campo, una guía con los códigos definidos para cada conglomerado dependiendo del tipo de bosque en el que se encuentra. En caso que no conozca dichos códigos, por favor informar la situación a la UT una vez concluido el trabajo.

Numerales:

8.03

Instrucciones:

La UT ha facilitado, a cada equipo de campo, una guía con los códigos definidos por el MAE para cada zona del Ecuador. En caso que no conozca dichos códigos, por favor informar la situación a la Unidad Técnica una vez concluido el trabajo.

Nivel II	Nivel III	Código
Bosque Nativo	Bosque Seco Andino	01
	Bosque Seco Fluvioestacional	02
	Bosque Siempreverde Andino Montano	03
	Bosque Siempreverde Andino de Pie de Monte	04
	Bosque Siempreverde Andino de Caja Andina	05
	Bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonia	06
	Bosque siempre verde de tierras bajas del Chocó	07
	Manglar	08
	Miretales	09

Nombre de localidad, comunidad, barrio o recinto

Numerales:

8.07

Instrucciones:

Realizar la indagación al guía local sobre el nombre de la localidad, comunidad, barrio o recinto, y asegurarse de registrarlo correctamente. Tomar en cuenta que se puede dar el caso que exista más de una localidad o barrio con el mismo nombre para una misma parroquia. Informar a la UT cualquier duda, una vez concluido el trabajo.

Zona UTM

Numerales:

8.10

Instrucciones:

Las únicas posibilidades son: N17, S17, N18 y S18 para Ecuador continental. Debe utilizar el GPS para asegurarse de la zona en la que se encuentra.

Información de acceso a la Parcela

Numerales:

6

Instrucciones:

Descripción de las columnas de la tabla:

* *Código PR.*- código asignado al punto de referencia de la caminata de acceso.

* *Descripción del PR.*- Descripción de un objeto identificado como punto de referencia (río, casas, puente, etc.).

* *UTM X.*- longitud del punto de referencia (dato del GPS).

* *UTM Y.*- latitud del punto de referencia (dato del GPS).

* *Código Foto.*- código asignado para la foto del punto de referencia identificado en la caminata. Es importante que al momento de entregar el formulario escaneado en digital, se adjunte también el respaldo de las fotos tomadas, para la base de datos. El código de la foto debe facilitar la identificación del conglomerado y parcela a la cual pertenece.

* *Ázimit Foto.*- valor registrado utilizando la brújula en dirección al punto de referencia.

* *Distancia.*- valor registrado de la distancia aproximada del sendero al punto de referencia.

MODELOS ALOMÉTRICOS
Formulario 2 - Datos Generales de la Parcela 1/2

Ubicación de la PARCELA

1. Identificación de la Parcela

1.01 Clase de Uso de la Tierra (CUT) teórico Códigos

1.02 Conglomerado

1.03 Parcela

(Este campo puede tomar los valores P1, P2 o P3.)

Caracterización del Medio Natural

6. ¿Cuál es la Accesibilidad de la parcela?: (Seleccionar una sola opción)

6.01 Fácil 6.03 Muy difícil

6.02 Difícil 6.08 ¿Cual es la dificultad principal?

.....

.....

Información del PUNTO de INICIO de la PARCELA

2. Fecha y hora en la que inician las mediciones en la Parcela:

2.01 Fecha en la que inician las mediciones en la parcela

Día / Mes / Año

* / /

2.02 Hora de inicio de las mediciones

Horas / Minutos

* / :

2.03 Hora de finalización de las mediciones

Horas / Minutos

* / :

* (Llenar si las mediciones tardan más de un día)

7. ¿Cuál es la fisiografía del medio natural?: (Seleccionar una sola opción)

7.01 Cima de colina 7.06 Terraza

7.02 Ladera alta 7.07 Depresión

7.03 Ladera media 7.08 Planicie

7.04 Pie de monte 7.09 Otro

7.05 Valle

8. Pendiente promedio estimada de la parcela:

% Considerar un promedio de la pendiente luego de recorrer las tres fajas de la parcela

3. Coordenadas UTM del Punto de Inicio (PI) de Campo:

UTM

3.01 X (longitud) m

3.02 Y (latitud) m

3.03 Código de la foto de la lectura de GPS:

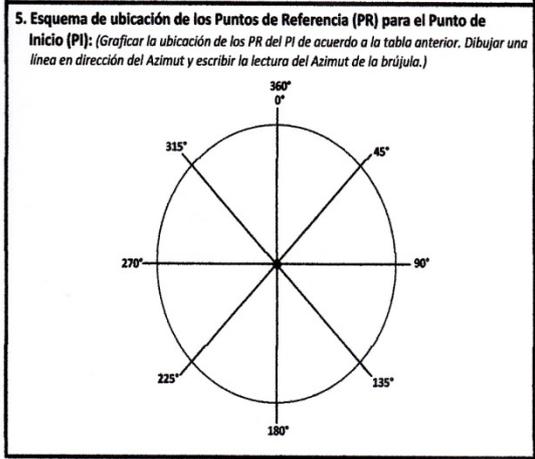
3.04 Altitud: msnm

3.05 Distancia al punto de inicio teórico: * Metros m

* (Llenar sólo en caso de que el punto de inicio teórico NO sea igual al punto de inicio de campo)

4. Puntos de Referencia (PR) para identificar la posición del Punto de Inicio (PI):
 (Registrar los 3 PR con base en los puntos cardinales)

Código PR del PI	Descripción del PR del punto de inicio	Código foto	Azimut (°)	Distancia m
PI 01				
PI 02				
PI 03				



(Continuar a la siguiente sección.....)

INSTRUCCIONES PARA LLENAR EL FORMULARIO

Instrucciones para el llenado del Formulario 2 (1/2)

Códigos de Conglomerado y Clase de Uso de la Tierra (CUT) teórico

Numerales:
1.01,
6.01

Instrucciones:
Las CUT según el nivel II y III de la clasificación realizada por el IPCC para la ENF son:

Numeral:
1.02

Instrucciones:
La UT ha facilitado, a cada equipo de campo, una guía con los códigos definidos para cada conglomerado dependiendo del tipo de bosque en el que se encuentra. En caso que no conozca dichos códigos, por favor informar la situación a la UT una vez concluido el trabajo.

Nivel II	Nivel III	Código
Bosque Nativo	Bosque Seco Andino	01
	Bosque Seco Fluviostacional	02
	Bosque Siempreverde Andino Montano	03
	Bosque Siempreverde Andino de Pie de Monte	04
	Bosque Siempreverde Andino de Caja Andina	05
	Bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonia	06
	Bosque siempre verde de tierras bajas del Chocó	07
	Manglar	08
	Montales	09

Coordenadas UTM del punto de inicio de campo

Numerales:
3

Instrucciones:
Hay ocasiones en las que el punto de inicio teórico de la parcela, determinado por la UT, no puede ser accedido o si es accesible pero no es conveniente situarlo allí debido a distintos accidentes geográficos o circunstancias propias del terreno. En ese caso se debe establecer un punto de inicio de campo y se debe registrar las coordenadas de este NUEVO punto de inicio para facilitar los accesos a la parcela en el futuro.

Puntos de Referencia del Punto de Inicio

Numeral:
4

Instrucciones:
Descripción de las columnas de la tabla:
* *Código PR del PI*- código asignado al punto de referencia identificado para el punto de inicio de la parcela donde iniciarán las mediciones.
* *Descripción del PR del punto de inicio*- Descripción de un objeto identificado como punto de referencia (roca, camino, quebrada, árbol predominante, etc.).
* *Código Foto*- código asignado para la foto del punto de referencia identificado. Es importante que al momento de entregar el formulario escaneado en digital, se adjunte también el respaldo de las fotos tomadas, para la base de datos. El código de la foto debe facilitar la identificación del conglomerado y parcela a la cual pertenece.
* *Ángulo*- valor registrado utilizando la brújula desde el PI a PR.
* *Distancia*- valor registrado de la distancia aproximada del PI al punto de referencia.

Accesibilidad de la Parcela

Numerales:
6

Instrucciones:
Esta información debe ser llenada luego de que ha concluido la caminata de acceso al punto inicial de la parcela que se está evaluando. Todo esto se debe a que puede darse el caso en el que el acceso a la parcela sea muy difícil y el equipo se vea forzado a realizar el trabajo en mayor tiempo. Si esto sucede, favor informar a la UT una vez finalizado el trabajo de campo.

Fisiografía del medio natural

Numerales:
7

Instrucciones:
Se debe definir la ubicación fisiográfica de la parcela en el paisaje. Acordar la respuesta con todos los miembros del equipo, en caso de no llegar a un acuerdo, informar a la UT una vez concluido el trabajo de campo.
Cima de colina- área más alta y plana de una colina o montaña
Ladera alta- falda de una montaña, colina o cerro que se ubica hacia la mitad superior.
Ladera media- falda de una montaña, colina o cerro que se ubica hacia la mitad inferior.
Pie de monte- área de inicio de una falda o ladera de montaña.
Valle- depresión de la superficie terrestre, de forma alargada e inclinada hacia una cuenca de río, lago o mar. Generalmente se forma por erosión fluvial.
Terraza- plataforma en un área intermedia de una colina, puede ser natural o hecha por el hombre.
Depresión- área más baja de un barranco o cárcava, no forma parte de un río o quebrada.
Planicie- área llana o plana sin presencia de cerros o colinas. Llanura.

Pendiente estimada de la parcela

Numerales:
8

Instrucciones:
Los siguientes factores de conversión permitirán hacer una mejor estimación de la pendiente:
5° = 9%; 10° = 18 %; 15° = 27%; 20° = 36%; 30° = 58%; 40° = 84% y 45° = 100%

MODELOS ALOMÉTRICOS
Formulario 2 – Datos Generales de la Parcela 2/2

Propietario / Ocupante de la Parcela

9. Identificación del Propietario / Ocupante de la Parcela (PP):

Código del propietario	Área que ocupa el propietario (%) <i>Estimar en base al total de la parcela</i>	Tenencia de la Tierra 1 - Estatal 2 - Municipal 3 - Comunitario 4 - Privado independiente 5 - Privado empresarial 6 - Mixta 7 - Se desconoce 8 - Otro	Tipo de tenencia 1 - Con título de propiedad 2 - Sin título de propiedad
PP 01			
PP 02			
PP 03			

Perturbaciones y Estados de la Vegetación

10. ¿Cuál es la función asignada para el bosque?

10.01 <input type="radio"/> No aplica	10.07 <input type="radio"/> Energético
10.02 <input type="radio"/> Conservación	10.08 <input type="radio"/> Sociocultural
10.03 <input type="radio"/> Producción forestal	10.09 <input type="radio"/> Científico - Educativo
10.04 <input type="radio"/> Múltiple	10.10 <input type="radio"/> Recreación
10.05 <input type="radio"/> Regulación hídrica	10.11 <input type="radio"/> Turístico
10.06 <input type="radio"/> Protección de suelos	10.12 <input type="radio"/> No determinado

Perturbaciones Naturales:

11. ¿Qué perturbaciones naturales se detectan?:
Seleccionar todas las opciones que apliquen

11.01 Sin perturbación → **Pase a Pregunta 14**

11.02 Sequía

11.03 Inundación

11.04 Erosión

11.05 Deslizamiento de tierra

11.06 Daños por viento

11.07 Plagas y enfermedades

11.08 Erupción volcánica

11.09 Otro *Especifique*

12. ¿Cuál es la magnitud de la perturbación natural?:

12.01 Ligeramente perturbado

12.02 Moderadamente perturbado

12.03 Fuertemente perturbado

12.04 No determinado

13. Código de la Foto de la perturbación *(Se sugiere utilizar una nomenclatura adecuada. Por ejemplo, para este caso podría usarse el código F_PN)*

14. Estructura vertical del bosque:

14.01 No aplica

14.02 Tres doseles: dominante (superior), co-dominante (intermedio) y sotobosque

14.03 Dos doseles: dosel dominante y codominante

14.04 Dos doseles: dosel dominante o codominante y sotobosque

14.05 Un dosel

(Continuar a la siguiente sección.....)

Perturbaciones humanas y aprovechamiento:

15. ¿Qué perturbaciones humanas se detectan?:
(Seleccionar todas las opciones que apliquen)

15.01 Sin perturbación → **Pase a Pregunta 18**

15.02 Incendio → **A) Tipo de incendio:**

15.03 Pastoreo

15.04 Minería

15.05 Infraestructura vial

15.06 Cultivos

15.07 Otro *Especifique*

B) Tiempo de incendio:

1. Copas

2. Rastrero o superficial

1. Sin evidencia

2. Incendio reciente (< 1 año)

3. Incendio antiguo (> 1 año)

16. ¿Cuál es la magnitud de la perturbación humana?:

16.01 Ligeramente perturbado

16.02 Moderadamente perturbado

16.03 Fuertemente perturbado

16.04 No determinado

17. Código de la Foto de la perturbación *(Se sugiere utilizar una nomenclatura adecuada. Por ejemplo, para este caso podría usarse el código F_PH)*

18. ¿Qué aprovechamiento se detecta?:
(Seleccionar todas las opciones que apliquen)

18.01 Sin aprovechamiento → **Pase a Pregunta 21**

18.02 Aprovechamiento de madera

18.03 Aprovechamiento de leña

18.04 Aprovechamiento de postes

18.05 Aprovechamiento de carbón

18.06 Aprovechamiento de resina

18.07 Aprovechamiento de plantas medicinales

18.08 Aprovechamiento de plantas ornamentales (Ej. musgos, orquídeas, bromelias)

18.09 Otro *(Especifique)*

18.10 No aplica

1. Doméstico

2. Comercial

19. ¿Cuál es la magnitud del aprovechamiento?:

19.01 Ligeramente aprovechado

19.02 Moderadamente aprovechado

19.03 Fuertemente aprovechado

19.04 No determinado

20. Código de la Foto del aprovechamiento *(Se sugiere utilizar una nomenclatura adecuada. Por ejemplo, para este caso podría usarse el código F_PA)*

21. Existencia y aplicación del plan de manejo:

21.01 No aplica

21.02 Plan de manejo formulado y no aplicado

21.03 Plan de manejo formulado y aplicado

21.04 Sin plan de manejo

22. Sucesión del bosque:

22.01 No aplica

22.02 Bosque primario

22.03 Bosque primario intervenido

22.04 Bosque secundario maduro

22.05 Bosque secundario joven

23. Origen del bosque

23.01 No aplica

23.02 Plantación

23.03 Natural

23.04 Mixto (enriquecimiento)

23.05 Otro *Especifique*

(FIN DEL FORMULARIO 2)

INSTRUCCIONES PARA LLENAR EL FORMULARIO

Instrucciones para el llenado del Formulario 2 (2/2)

Identificación del Propietario u Ocupante de la parcela

Numeral:

9

Instrucciones:

Para llenar los 3 campos de la tabla, se debe estar asesorado por el guía local e incluso se debe entrevistar a las personas (ocupantes) en caso de que se desconozca la pertenencia del terreno.

El Área debe ser estimada en porcentaje con relación a la extensión total de la parcela. Para los campos de *Tenencia de la tierra* y *Tipo de tenencia*, ingrese el número de la opción que corresponda.

Perturbaciones y Estados de la Vegetación

Se recomienda llenar paralelamente o luego del formulario 3

Funciones asignadas

Numerales:

10

Instrucciones:

Las funciones o propósitos asignados a una porción de tierra, se refiere tanto a aquellas funciones asignadas a través de medidas legislativas, como a aquellas asignadas mediante decisiones de quién administra la tierra. Tomar en cuenta que la función primaria es la función más importante respecto a las otras. Si se debe dividir en función primaria y secundaria, considerar que la función primaria es selección única y la secundaria puede ser múltiple.

Conservación.- destinado exclusivamente para la conservación, por ejemplo área protegida, bosque protector público o privado, etc.

Producción forestal.- destinado a la producción de bienes forestales, tanto maderables como no maderables.

Múltiple.- cuando el área es designada a más de una función, donde una no es más importante que la otra.

Regulación hídrica.- destinada para la protección de cuerpos de agua (quebrada, ríos, fuentes de agua, etc.).

Protección de suelos.- conservación de los suelos.

Energético.- para la producción de leña o biocombustibles.

Sociocultural.- para actividades culturales, espirituales o sociales.

Científico - Educativo.- para realizar investigación o educación ambiental.

Recreación.- para realizar actividades recreativas sin fines de lucro.

Turístico.- actividades turísticas con fines de lucro y empresariales.

No determinado.- no se le ha designado una función específica o no se conoce.

Estructura Vertical del Bosque

Numerales:

14

Instrucciones:

Definición de la estructura vertical del bosque de forma general donde se ubica la parcela. Considerar la opinión de todo el equipo. En caso de no llegar a un acuerdo, registrar la opinión de la mayoría, y comunicar a la UT esta situación.

Dominante (superior).- Árboles con copas que se extienden sobre el nivel general del dosel y reciben luz total por arriba y parte por los costados; son más grandes que los árboles de tamaño promedio; tienen copas bien desarrolladas y densas.

Co-dominante (intermedio).- Árboles cuyas copas forman parte del nivel general o promedio del dosel, están por debajo de los dominantes; reciben luz solar total por arriba, pero solo cantidades moderadas lateralmente; tienen copas de tamaño medio.

Soto bosque.- Esta situado por debajo del dosel vegetal principal de las especies arbóreas, esta integrado de árboles jóvenes, arbustos y hierbas.

Perturbaciones Naturales y Humanas

Numerales:

11, 15, 18

Instrucciones:

Son las perturbaciones que afectan al ecosistema de forma natural o debido a actividades humanas y aprovechamiento. Si selecciona la opción 11.01, la 15.01 o la 18.01; no puede seleccionar otra más.

Si selecciona las opciones 11.02, 15.02 y 18.02 en adelante, se puede seleccionar más de una opción.

Numerales:

12, 16

Instrucciones:

No determinado.- No se observó perturbación.

Ligeramente perturbado.- La perturbación es mínima, el sistema puede recuperarse si se aplican medidas básicas de conservación, o por restauración natural.

Moderadamente perturbado.- La perturbación es evidente y existe riesgo de degradar el ecosistema permanentemente.

Pueden aplicarse medidas para recuperación (restauración asistida, mejoramiento y enriquecimiento leve).

Fuertemente perturbado.- La perturbación es muy seria casi irreversible. Deben aplicarse medidas severas de recuperación (Replacación o reforestación con plantaciones mixtas de spp. Nativas, etc.)

Numerales:

19

Instrucciones:

No determinado.- No se observa aprovechamiento.

Ligeramente aprovechado.- Se observa aprovechamiento de PFNM, leña en baja intensidad y muy pocos árboles talados.

Cobertura $\pm > 70\%$.

Moderadamente aprovechado.- Se observa aprovechamiento selectivo o entresaca de madera, leña intensa ó carbón. Cobertura \pm entre 50 y 70%.

Fuertemente aprovechado.- Se observa claros de bosque por aprovechamiento de madera, árboles dispersos, evidencias de tala raza en ciertos sectores. Cobertura entre 30 y 50%.

Plan de Manejo

Numerales:

21

Instrucciones:

Se refiere a la existencia de un plan de manejo en el área de la parcela y conocimiento de su aplicación. Esta respuesta debe considerar la información más relevante de la entrevista realizada al propietario, administrador o guía.

Sucesión del Bosque

Numerales:

22

Instrucciones:

Bosque primario.- compuesto de especies arbóreas nativas donde no existe una clara indicación de actividades humanas y los procesos ecológicos no se han visto alterados considerablemente, presenta un sotobosque ralo.

Bosque primario intervenido.- es un bosque primario donde los niveles de intervención no han alterado su estructura y composición florística; presentan indicios de extracción selectiva leve de madera, leña o PFNM.

Bosque secundario.- Compuesto de especies leñosas maduras de carácter sucesional que se desarrollan sobre tierras originalmente destinadas para actividades humanas. Posee un sotobosque denso.

Bosque secundario joven.- compuesto de especies leñosas jóvenes de carácter sucesional que se desarrollan sobre tierras abandonadas observándose indicios de la clase de uso de tierra anterior; presenta un sotobosque denso.

Instrucciones para el llenado del Formulario 3

Códigos de Clase de Uso de la Tierra (CUT) y Conglomerado

Numeral: 1.01

Instrucciones:
Las CUT según el nivel II y III de la clasificación realizada por el IPCC para la EML san.

Nivel II	Nivel III	Código
	Bosque Seco Andino	01
	Bosque Seco Rufo-asociacional	02
	Bosque Siempreverde Andino Montano	03
	Bosque Siempreverde Andino de Pá de Monte	04
	Bosque Siempreverde Andino de Olla Andina	05
Bosque Nativo	Bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonia	06
	Bosque siempre verde de tierras bajas del Chocó	07
	Manglar	08
	Matorrales	09

Nombre científico

Instrucciones:
Estrictamente se debe determinar el nombre científico de la especie tomando una muestra botánica para ratificar su identificación en el herbario o con expertos.
En último de los casos de debe identificar el individuo a nivel de género.

Árboles a medir

Instrucciones:
Se medirán todos los árboles sanos, que no presenten malformaciones causadas por lesiones físicas o por plagas y enfermedades.

Columnas: - Código del árbol - > trifur.

Instrucciones:
Los códigos se escriben con letras mayúsculas, manteniendo el orden de numeración en la columna "código del árbol" según el orden que se han medido en la parcela, indistintamente sean árboles individuales, bifurcados, trifurcados o con más divisiones, o sean troncos.

Para los árboles vivos en pie se utilizará el código con las letras AV y tres dígitos: AV000. Para los árboles muertos en pie se utilizará el código con las letras AM y tres dígitos: AM000.

Para todos los árboles vivos bifurcados o con más divisiones del tronco se utilizará el código con las letras FV y tres dígitos: FV000. Para todos los árboles muertos bifurcados o con más divisiones del tronco se utilizará el código con las letras FM y tres dígitos: FM000.

Para el caso de los árboles con el nudo de trifurcación o de más divisiones del tronco a una altura mayor a 1,30 m, el fuste principal (desde la base del árbol hasta el nudo de trifurcación) se identificará con el código FV000 o FM000 de acuerdo a su condición de vivo o muerto, y se registrará en la columna "código árbol". Cada tronco de división se identificará en orden numérico: 1, 2, 3, etc., iniciando por la de mayor a menor diámetro; y registrándose en la columna igual o mayor a la trifurcación "2s trifur".

Para el caso de los árboles con el nudo de trifurcación o de más divisiones del tronco en la base del árbol, o a una altura menor a 1,30 m; se medirán todos los troncos que alcancen un DAP \geq a 10 ó 20 cm, de acuerdo a su posición en la parcela de 20 x 20 m ó de 60 x 60 m respectivamente. Los troncos se registran en la columna "código árbol", identificándose con los códigos FV000 o FM000

Los árboles con la bifurcación a una altura menor a 1,30 m, se miden como árboles individuales y se registran en la columna "código árbol", identificándose con los códigos FV000 o FM000

Los árboles con la bifurcación a una altura igual o mayor a 1,30 m se considera como un solo árbol, midiéndose el DAP y las alturas del tronco mayor, y registrándose en la columna "código árbol", identificándose con los códigos FV000 o FM000

Diámetros

Se debe medir el DAP a la altura exacta de 1,30 m, con la cinta diamétrica y utilizando una vara de 1,30 m.

Según la altura comercial (Hc) del árbol, con el uso del relascopio electrónico o de Biterlich se deben medir varios diámetros así:

-Para árboles < 6 m se medirán diámetros cada 1 m de altura, a partir del DAP (1,3 m).

-Para árboles \geq 6 m y < 9 m se medirán diámetros cada 2 m de altura, a partir de la base del árbol hasta la altura comercial.

-Para árboles \geq 9 m y < 16 m se medirán diámetros cada 3 m de altura, a partir de la base del árbol hasta la altura comercial.

-Para árboles \geq a 16 m se medirán diámetros cada 4 m de altura, a partir de la base del árbol hasta la altura comercial.

Alturas

Altura total: - desde la base del árbol hasta el ápice de la copa

Altura comercial: - desde la base del árbol hasta las primeras ramificaciones de la copa

Altura de raíz aérea (zancuda o tablar): - desde la base del árbol hasta la modificación de la raíz.

Instrucciones para el llenado del Formulario 3

Códigos de Clase de Uso de la Tierra (CUT) y Conglomerado

Numeral:
1.01

Instrucciones:
Las CUT según el nivel II y III de la clasificación realizada por el IPCC para la ENF son:

Nivel II	Nivel III	Código
	Bosque Seco Andino	01
	Bosque Seco Pluviosacional	02
	Bosque Siempreverde Andino Montano	03
	Bosque Siempreverde Andino de Pie de Monte	04
	Bosque Siempreverde Andino de Caja Andina	05
Bosque Nativo	Bosque siempre verde de lierres bajas de la Amazonia	06
	Bosque siempre verde de lierres bajas del Chocó	07
	Menglar	08
	Moretiales	09

Arboles a medir

Instrucciones:
Se medirán todos los árboles sanos, que no presenten malformaciones causadas por lesiones físicas o por plagas y enfermedades.

Medición de árboles en pie (GUÍA PARA LLENAR LA TABLA)

Densidad

Se tomarán datos de densidad a tres alturas: a 1,10 m, 4 m, y a 7 m.

Cuando la altura comercial (Hc) sea menor a 4 m, no aplican la segunda y tercera lectura. Cuando la Hc es mayor a 4 m, la segunda lectura será exacta a 4 m. Cuando la Hc sea mayor a 4 m y menor a 7 m no aplica la tercera lectura. Cuando la Hc sea mayor a 7 m la tercera lectura será exacta a 7 m.

A 1,10 se tomará una muestra de madera con el Barreno de Incremento para ser pesada y medida en campo (largo de la muestra), y luego será codificada y llevada al laboratorio. A esta misma altura también se tomarán dos lecturas contrapuestas con el Pylodin

Las medidas a 1,10 m, con barreno y Pylodin, se realizarán en todos los árboles de la parcela.

La profundidad aproximada del Barreno de Incremento debe estar relacionada al radio del fuste; es decir a menor radio menor profundidad de muestreo. Se recomienda un rango entre 3 y 8 cm.

Con base a la frecuencia del número de árboles por parcela identificados en el INE, para el caso del bosque seco pluviosacional, se tomarán datos a las alturas de 4 y 7 m cada 2 árboles medidos, el árbol 2, 4, 6, 8, 10 y así sucesivamente hasta completar la parcela.

Para el caso de árboles bifurcados, trifurcados o con más ramificaciones \geq a 10 cm de DAP, se tomarán datos para densidad solo de la ramificación principal (con mayor DAP)

Largo- el largo de la muestra se mide con el calibrador, cuidando de no destruir la muestra
Peso- el pesaje de la muestra se realiza con la balanza (FESOL-A) de precisión para 10 g (capacidad desde 0,1 g).

Diámetro de copa

El diámetro mínimo y máximo de copa, para mayor precisión se medirá a través de proyecciones de los bordes de los diámetros máximos y mínimos, utilizando una regla con burbuja de nivel (regleta de nivel), alineando los dos bordes de la regla con los bordes máximo y mínimo de la copa del árbol, luego procedemos a medir el diámetro proyectado a nivel del suelo con la cinta métrica.

Forma de copa

Luego de medir los diámetros de copa, y de apreciar a detalle la forma de la copa, siguiendo los gráficos de la guía metodológica, el equipo de campo debe consensuar sobre la forma exacta de la copa, con base en las tres alternativas propuestas en el formulario.

Forma aproximada de copa	Figura
Cónica	
Parabólica	
Hemisférica	

Códigos de las submuestras

Para identificar las submuestras de madera obtenidas con barreno de incremento los códigos se componen así:

Código de la Clase de Uso de la Tierra (CUT), número de conglomerado, número de parcela, código del árbol, las iniciales de las palabras Barreno de Incremento, y la altura de la toma de la muestra.

Como ejemplo para la CUT Bosque seco Pluviosacional, conglomerado 3, parcela 1, árbol vivo 25, toma de muestra a 1,10 m, el código completo para identificar la muestra sería así:

02-003-01-AV025BI-1,1

El código sintesis registrado en el formulario sería: **025BI-1,1**

La numeración del conglomerado y del árbol va con tres dígitos, y el resto de numeraciones con dos dígitos.

Instrucciones para el llenado del Formulario 3

Códigos de Clase de Uso de la Tierra (CUT) y Conglomerado

Numeral: 1.01

INSTRUCCIONES: Las CUT según el nivel II y III de la clasificación realizada por el IPCC para la FENSA son:

Nivel II	Nivel III	Código
Bosque Nativo	Bosque Seco Andino	01
	Bosque Seco Fluvioestacional	02
	Bosque Siempreverde Andino Montano	03
	Bosque Siempreverde Andino	04
	Bosque Siempreverde Andino Sin Ho de Monte	05
	Bosque Siempreverde Andino de Cajas Andina	06
	Bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonía	07
	Bosque siempre verde de tierras bajas del Chocó	08
	Manglar	09
	Microterales	

Rama

En todos los árboles se debe proceder a cortar una rama representativa de la parte baja de la copa (inicio de la copa). En aquellos árboles con copas muy altas (mayores a 7 m de altura comercial de fuste no se recogerá la muestra (No Aplica) En la rama extraída se seguirá el siguiente proceso y toma de datos:

- La rama se dividirá en secciones: ramas gruesas ≥ 7 cm de diámetro, ramas finas < 7 cm de diámetro y hojas (las hojas incluyen ramillas menores a 5 mm de diámetro, peciolos y peciolulos).
- Las porciones totales de ramas gruesas, ramas finas y hojas se pesan en fresco por separado.
- Se toman submuestras de cada porción: una rodaja de rama gruesa (7 cm de ancho), porción de ramas finas (± 1500 g) y hojas (± 1000 g), se pesan en fresco (peso exacto), se depositan en dos fundas plásticas con cierre hermético - Ziploc, se identifican con el código y se depositan en el bulto respectivo.
- El volumen de la rama se mide al formar una pila rectangular con toda la biomasa de la rama, depositando las ramas gruesas en el fondo, una segunda capa de ramas finas y la capa superior con hojas. En el formulario se registra el largo, ancho y altura de la pila formada. Se recomienda las medidas de 1 m de largo por 0,5 m de ancho y por la altura que alcance la biomasa.

Códigos de las submuestras

Para identificar las submuestras los códigos se componen así:

Código de la Clase de Uso de la Tierra (CUT), número de conglomerado, número de parcela, código del árbol, las iniciales de la parte de la rama a la que corresponde la submuestra (rodaja de rama gruesa RG, ramas finas RF y hojas HJ), y la inicial de la palabra rama (R).

Como ejemplo para la CUT Bosque seco Fluvioestacional, conglomerado 3, parcela 1, árbol 25 y submuestra de hojas de la rama, el código completo sería así:
02-003-01-A-V025HJ-R

El código síntesis registrado en el formulario sería: **025HJ-R**

Nótese que la numeración del árbol y del conglomerado va con tres dígitos, y el resto de numeraciones con dos dígitos.

Medición de árboles en pie (GUÍA PARA LLENAR LA TABLA)

Grosor de corteza

En todos los árboles se tomarán datos de grosor de corteza, midiéndola en la zona de corte o limpieza de la corteza para aplicar el barrenado de incremento o el pylonid a una altura de 1,10 m

Fenología Defoliación

Para una mejor interpretación de la biomasa de ramas finas y hojas de la copa, que se obtengan en el momento de las mediciones, es necesario establecer el nivel de defoliación de cada uno de los árboles de la parcela.

Para facilitar esta medición, se utilizará el siguiente cuadro de valoración:

Código	Porcentaje observado	Interpretación
0	0 %	Defoliación nula
1	0,1 - 25 %	Defoliación ligera
2	25,1 - 50 %	Defoliación media
3	50,1 - 75 %	Defoliación alta
4	> 75 %	Defoliación completa

Instrucciones para el llenado del Formulario 4

Códigos de Clase de Uso de la Tierra (CUT) y Conglomerado

Numeral:
1.01

Instrucciones:
Las CUT según el nivel II y III de la clasificación realizada por el IPCC para la ENE, son:

Nivel II	Nivel III	Código
Bosque Nativo	Bosque Seco Andino	01
	Bosque Seco Rivadense	02
	Bosque Siempreverde Andino Montano	03
	Bosque Siempreverde Andino de Rio de Monte	04
	Bosque Siempreverde Andino de Cajas Andina	05
	Bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonia	06
	Bosque siempre verde de tierras bajas del Orinoco	07
	Manglar	08
	Montaños	09

Nombre científico

Instrucciones:
Estrictamente se debe determinar el nombre científico de la especie tomando una muestra botánica para ratificar su identificación en el herbario o con expertos.
En último de los casos de debe identificar el individuo a nivel de género.

Árboles a medir

Instrucciones:
Se medirán todos los árboles sanos, que no presenten malformaciones causadas por lesiones físicas o por plagas y enfermedades.

Medición de árboles en pie (GUÍA PARA LLENAR LA TABLA)

Columnas:
- Código del árbol
- > trífur.

Instrucciones:
Los códigos se escriben con letras mayúsculas, manteniendo el orden de numeración en la columna "código del árbol" según el orden que se han medido en la parcela, indistintamente sean árboles individuales, bifurcados, trifurcados o con más divisiones, o sean tocones.
Para los árboles vivos en pie se utilizará el código con las letras AV y tres dígitos: AV000. Para los árboles muertos en pie se utilizará el código con las letras AM y tres dígitos: AM000.
Para todos los árboles vivos bifurcados o con más divisiones del tronco se utilizará el código con las letras FV y tres dígitos: FV000. Para todos los árboles muertos bifurcados o con más divisiones del tronco se utilizará el código con las letras FM y tres dígitos: FM000.
Para el caso de los árboles con el nudo de trifurcación o de más divisiones del tronco a una altura mayor a 1,30 m, el fuste principal (desde la base del árbol hasta el nudo de trifurcación) se identifica con el código FV000 o FM000 de acuerdo a su condición de vivo o muerto, y se registrará en la columna "código árbol". Cada tronco de división se identificará en orden numérico: 1, 2, 3, etc., iniciando por la de mayor a menor diámetro, y registrándose en la columna igual o mayor a la trifurcación "> trífur."
Para el caso de los árboles con el nudo de trifurcación o de más divisiones del tronco en la base del árbol, o a una altura menor a 1,30 m, se medirán todos los troncos que alcancen un DAP \geq a 10 ó 20 cm, de acuerdo a su posición en la parcela de 20 x 20 m ó de 60 x 60 m respectivamente. Los troncos se registrarán en la columna "código árbol", identificándose con los códigos FV000 o FM000.
Los árboles con la bifurcación a una altura menor a 1,30 m, se miden como árboles individuales y se registran en la columna "código árbol", identificándose con los códigos FV000 o FM000.
Los árboles con la bifurcación a una altura igual o mayor a 1,30 m se considera como un solo árbol, midiéndose el DAP y las alturas del tronco mayor, y registrándose en la columna "código árbol", identificándose con los códigos FV000 o FM000.

Diámetros

Se debe medir el DAP a la altura exacta de 1,30 m, cuando el árbol está aún en pie.
Una vez tumbado el árbol se procederá a medir varios diámetros con la cinta diamétrica, considerando los siguientes rangos de altura comercial:
-Para árboles < 6 m se medirán diámetros cada 1,3 m de altura, a partir del DAP (1,3 m).
-Para árboles \geq 6 m y < 9 m se medirán diámetros cada 2 m de altura, a partir de la base del árbol hasta la altura comercial.
-Para árboles \geq 9 m y < 16 m se medirán diámetros cada 3 m de altura, a partir de la base del árbol hasta la altura comercial.
-Para árboles \geq a 16 m se medirán diámetros cada 4 m de altura, a partir de la base del árbol hasta la altura comercial.

Alturas

Altura total.- desde la base del árbol hasta el ápice de la copa
Altura comercial.- desde la base del árbol hasta las primeras ramificaciones de la copa
Altura de raíz aérea (zancuda o tablar).- desde la base del árbol hasta la modificación de la raíz.

Instrucciones para el llenado del Formulario 4

Códigos de Clase de Uso de la Tierra (CUT) y Conglomerado

Numeral:
1.01

Instrucciones:
Las CUT según el nivel II y III de la clasificación realizada por el IPCC para la ENE son:

Nivel II	Nivel III	Código
Bosque Nativo	Bosque Seco Andino	01
	Bosque Seco Ruvoestacional	02
	Bosque Siempreverde Andino Montano	03
	Bosque Siempreverde Andino de Pico de Monte	04
	Bosque Siempreverde Andino de Cajas Andino	05
	Bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonia	06
	Bosque siempre verde de tierras bajas del Chocó	07
	Manglar	08
	Micriales	09

Árboles a medir

Instrucciones:
Se medirán todos los árboles sanos, que no presenten malformaciones causadas por lesiones físicas o por plagas y enfermedades.

Medición de árboles en pie (GUÍA PARA LLENAR LA TABLA)

Peso del Fuste

Para facilitar el peso del fuste, se procederá dividir el fuste en trozas, que según su diámetro y peso pueden cortarse en secciones de 0,5 m de largo, 1 m, 1,5 m, de 2 m, ó de más largo según el caso.

Para el pesaje de los trozas se construirá un trípode con tres postes de madera contrapuestos y sujetos en el vértice con una cuerda de nylon. Parte de la cuerda permitirá suspender la balanza con capacidad para pesar 100 kg.

El trípode también servirá para pesar las ramas gruesas y finas de la copa.

Para el caso de las hojas de la copa, se utilizará la balanza de 30 o 5 kg, que necesariamente se pesaran en varias secciones hasta completar toda la biomasa.

También tendremos que almacenar y pesar toda la viruta obtenida del corte de las trozas del fuste, y anotar su peso total en el casillero del formulario.

Densidad del Fuste

En los árboles tumbados se tomarán muestras de madera para determinar la densidad con el uso del barrenado de incremento.

Las alturas exactas de toma de muestra son a 4, 7, 10, 15 y 20 m; según la altura comercial (Hc) que tenga el árbol.

La profundidad mínima aproximada con el barrenado de incremento debe alcanzar los 10 cm.

Para el caso de árboles bifurcados, trifurcados o con más ramificaciones \geq a 10 cm de DAP, se tomarán datos para densidad solo de la ramificación principal (con mayor DAP)

Largo- el largo de la muestra extraída se mide con el calibrador, cuidando de no destruir la muestra

Peso- el pesaje de la muestra se realiza con la balanza (PESOLA) de precisión para 10 g (capacidad desde 0,1 g).

Códigos de las submuestras

Para identificar las submuestras de madera obtenidas con barrenado de incremento (BI) los códigos se componen así:

Código de la Clase de Uso de la Tierra (CUT), número de conglomerado, número de parcela, código del árbol, las iniciales de las palabras Barreno de Incremento y la altura a la cual se tomo la muestra.

Como ejemplo para la CUT Bosque seco Pluviosacional, conglomerado 3, parcela 1, árbol vivo 25, muestra de madera a 7 m, el código completo para identificar la muestra sería así:

02-003-01-AV025BI-7

El código síntesis registrado en el formulario sería: **025BI-7**

La numeración del conglomerado y del árbol va con tres dígitos, y el resto de numeraciones con dos y un dígito.

Instrucciones para el llenado del Formulario 4

Códigos de Clase de Uso de la Tierra (CUT) y Conglomerado

Numeral:
1.01

Instrucciones:
Las CUT según el nivel II y III de la clasificación realizada por el IPCC para la ENL son:

Nivel II	Nivel III	Código
Bosque Nativo	Bosque Seco Andino	01
	Bosque Seco Fluvioestacional	02
	Bosque Siempreverde Andino Montano	03
	Bosque Siempreverde Andino de Rio de Monte	04
	Bosque Siempreverde Andino de Celia Andina	05
	Bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonia	06
	Bosque siempre verde de tierras bajas del Chocó	07
	Manglar	08
	Mbretiales	09

Árboles a medir

Instrucciones:
Se medirán todos los árboles sanos, que no presenten malformaciones causadas por lesiones físicas o por plagas y enfermedades.

Medición de árboles en pie (GUÍA PARA LLENAR LA TABLA)

Normas de laboratorio

Para lograr hacer buenas mediciones de laboratorio es necesario que las personas encargadas de este trabajo aplique rigurosamente las normas de laboratorio: ubicar las muestras en lugares predefinidos y que faciliten su manipulación, manejar las muestras con precaución, tratar adecuadamente la estufa, calibradores, balanzas y otros equipos.
Explicar de manera detallada el trabajo a realizar al responsable del laboratorio y coordinar los días y horas de trabajo.

Proceso de laboratorio

Cada muestra será colocada en la estufa del laboratorio a una temperatura entre 50 - 60 °C para lograr un secado uniforme y lento, debido a volumen muy pequeño de la muestra.
Se debe tener cuidado de mantener identificada la muestra con su código durante el proceso de secado. Será mejor secar la muestra en las mismas cajas metálicas donde se guardaron en campo.
Una vez que las muestras alcancen el peso constante, también se debe medir su largo y diámetro en seco, para ello utilizaremos el calibrador digital.
Es necesario tener mucha precaución de no dañar las muestras al momento del pesado y medición de largo y diámetro, ya que algunas especies son poco densas y frágiles; o la muestra puede presentar deformaciones al secarse (entrollarse).
Para el pesaje en laboratorio se debe utilizar una balanza de precisión de laboratorio, con la finalidad de medir objetivamente la variación del peso.
Con los nuevos datos de volumen (multiplicando el área de la base por el largo de la muestra seca), y la diferencia de pesos fresco de campo y seco de laboratorio, podemos calcular la densidad de la madera para cada altura del árbol.
La densidad se registrará en el casillero correspondiente de esta formulario para cada altura medida.

Instrucciones para el llenado del Formulario 4

Códigos de Clase de Uso de la Tierra (CUT) y Conglomerado

Numeral:
1.01

Instrucciones:

Las CUT según el nivel II y III de la clasificación realizada por el IPCC para la EML son:

Nivel II	Nivel III	Código
Bosque Nativo	Bosque Seco Andino	01
	Bosque Seco Revolucionario	02
	Bosque Siempreverde Andino	03
	Mozzato	
	Bosque Siempreverde Andino	04
	de Rio de Monte	
	Bosque Siempreverde Andino	05
	de Olla Andina	
	Bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonia	06
Bosque siempre verde de tierras bajas del Chocó	07	
Manglar	08	
Montañas	09	

Árboles a medir

Instrucciones:

Se medirán todos los árboles sanos, que no presenten malformaciones causadas por lesiones físicas o por plagas y enfermedades.

Medición de árboles en pie (GUÍA PARA LLENAR LA TABLA)

Lecturas con Pilodyn

Con la finalidad de calibrar las mediciones de la densidad de madera entre el método de muestreo de madera con barrenos de incremento y las lecturas de resistencia con Pilodyn, a la par que se toman muestras con barrenos, se deberán realizar lecturas con el Pilodyn a 4, 7, 10, 15 y 20 m, según el largo del fuste del árbol talado.

A cada altura se tomará dos lecturas de resistencia y el promedio.

Cuando las dos lecturas sean iguales a toda la capacidad de lectura del Pilodyn (40 mm), la lectura se inscribirá como > 40 mm.

Medición de corteza

Con la finalidad de contar con información más precisa del grosor de la corteza a lo largo del fuste del árbol, se aprovechará del corte de la corteza para aplicar el pilodyn, para registrar del dato de grosor de la corteza en mm, a los 4, 7, 10, 15 y 20 m, según el largo del fuste talado.

La medición del grosor de corteza se realizará con el medidor de corteza, graduado en mm.

Instrucciones para el llenado del Formulario 4

Códigos de Clase de Uso de la Tierra (CUT) y Conglomerado

Instrucciones:
Las CUT según el nivel II y III de la clasificación realizada por el IPCC para la FNE son:

Nivel II	Nivel III	Código
Bosque Nativo	Bosque Seco Andino	01
	Bosque Seco Pluviosacional Montano	02
	Bosque Siempreverde Andino	03
	Bosque Siempreverde Andino de Pá de Monte	04
	Bosque Siempreverde Andino de Cajas Andina	05
	Bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonia	06
	Bosque siempre verde de tierras bajas del Chocó	07
	Manglar	08
	Morotales	09

Medición de árboles en pie (GUÍA PARA LLENAR LA TABLA)

Volumen de la copa

El volumen real de la copa, se mide al formar una pila o pirca rectangular con el total de la biomasa de la copa, depositando las ramas gruesas en el fondo, una segunda capa de ramas finas y la capa superior con hojas. En el formulario se registra el largo, ancho y altura de la pila formada. Se recomiendan las medidas de 3 m de largo por 1,5 m de ancho y por la altura que alcance la biomasa.

Densidad de la copa

La copa se dividirá en secciones: ramas gruesas ≥ 7 cm de diámetro, ramas finas < 7 cm de diámetro y hojas (las hojas incluyen ramillas menores a 5 mm de diámetro, peciolos y peciolitos).
-Las porciones totales de ramas gruesas, ramas finas y hojas se pesan en fresco por separado.
Para el caso de las ramas gruesas, que seguro serán trozadas con motosierra, será necesario acoplar la viruta y aserrín y pesarlo, este peso se sumará al peso total de las ramas gruesas.
-Se toman submuestras de cada porción: una rodaja de rama gruesa (de 7 cm de ancho), porción de ramas finas (± 1500 g) y hojas (± 1000 g), se pesan en fresco (peso exacto), se depositan en dos fundas plásticas con cierre hermético -Ziploc, se identifican con el código y se depositan en el bulto respectivo.

Códigos de las submuestras

Para identificar las submuestras los códigos se componen así:
Código de la Clase de Uso de la Tierra (CUT), número de conglomerado, número de parcela, código del árbol, las iniciales de la parte de la copa a la que corresponde la submuestra (rodaja de rama gruesa RG, ramas finas RF y hojas HJ), y la letra inicial de copa (C) para diferenciar de las submuestras de ramas
Como ejemplo para la CUT Bosque Pluviosacional, conglomerado 3, parcela 1, árbol vivo 25, submuestra de hojas de la copa, el código completo sería así:
02-003-01-AV025HJ-C
El código síntesis registrado en el formulario sería: **025HJ-C**
Nótese que la numeración del árbol y del conglomerado va con tres dígitos, y el resto de numeraciones con dos dígitos.

INSTRUCCIONES PARA LLENAR LOS FORMULARIOS

Instrucciones para el llenado del Formulario 5

Códigos de Clase de Uso de la Tierra (CUT) y Conglomerado

Numeral:
A.01

Instrucciones:
Las CUT según el nivel II y III de la clasificación realizada por el IPCC para la ENF son:

Numeral:
1

Instrucciones:
Los equipos de campo deben estar integrados por Guías locales, con alto conocimiento para la identificación de especies, sobre sus propiedades y usos.

Se requiere contar con los nombres, direcciones y contactos locales de los Guías para futuros estudios en las parcelas.

Numeral:
2

Instrucciones:
Es necesario identificar y describir los datos de los equipos de campo: responsables de tesis, directores de tesis, asesores, etc.

Nivel II	Nivel III	Código
Bosque Nativo	Bosque Seco Andino	01
	Bosque Seco Pluvioestacional	02
	Bosque Siempreverde Andino Montano	03
	Bosque Siempreverde Andino de Pie de Monte	04
	Bosque Siempreverde Andino de Caja Andina	05
	Bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonia	06
	Bosque siempre verde de tierras bajas del Chocó	07
	Manglar	08
	Moretales	09

** Gracias por su colaboración y dedicación**

ANEXO 6. Poster que presenta el resumen de los principales resultados alcanzados en la presente investigación.



GENERACIÓN DE MODELOS ALOMÉTRICOS PARA DETERMINAR BIOMASA AÉREA A NIVEL DE ESPECIES MEDIANTE EL MÉTODO DESTRUCTIVO DE BAJA INTENSIDAD PARA EL ESTRATO BOSQUE SECO PLUVIESTRACIONAL DEL ECUADOR



¹Dario Solano, ¹Carlos Vega, ²Victor Eras y ³Kelvin Cueva
¹Testistas de la Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja
²Profesor del Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja
³Coordinador del proyecto UN REDD FAO UN/PE/ECU/083/UNJ

INTRODUCCIÓN

Los bosques a través del proceso de fotosíntesis capturan dióxido de carbono atmosférico (CO₂), lo fijan en sus estructuras vivas y parte de éste lo acumulan en su biomasa, lo transfieren al suelo en descomposición y al suelo, de esta manera constituyen reservas de carbono. La acumulación de carbono en superficies apropiadamente por factores físicos, químicos y por patrones de disturbio que afectan la estructura comunitaria y las reservas de biomasa y carbono en los bosques tropicales (Viquez y Jaramila, 2012). El Ecuador firmó el Protocolo de Kyoto en diciembre de 1999, en el contexto de un recuento nacional nacional sobre la importancia de los problemas de cambio climático, al nivel mundial y su efecto a nivel nacional y local, y de la necesidad de desarrollar medidas de control y mitigación. El país ha reconocido el potencial del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) de los proyectos que se inscriben en el MDL como una fuente de recursos para proyectos forestales (CORRELUM, 2001). En Ecuador los bosques secos y costeros forman parte de la región Tumbesina (Cuzco - Peru) y abarcan aproximadamente 115000 km². Se encuentran distribuidos al noroeste Ecuatoriano y sudeste Peruano desde 0 hasta 1800 metros (Aguiar et al., 2006). Los bosques secos de la provincia de Loja, se presentan en pequeñas extensiones y en otros escenarios solamente algunos árboles aislados, como resultado de las actividades humanas. Sin embargo, según Heil (2000), el estado actual de conservación es considerado como bueno, ya que su composición florística y estructura presentan rasgos característicos que los bosques de las provincias de Manabí, Oaxaca y El Oro e incluso mejor que los del norte del Perú. Los modelos alométricos ayudan en el cálculo de la biomasa de grandes áreas forestales, validados de la correlación existente entre las variables de difícil medición (peso) y aquellas directamente medidas en inventarios forestales (diámetro a la altura del pecho y altura comercial o total). El empleo de los modelos alométricos desarrollados en regiones diferentes para la estimación de la biomasa presenta limitaciones debido a las distintas condiciones que rigen el crecimiento de los árboles entre las cuales se incluyen la genética, las adaptaciones locales, el clima y los suelos. Con estos antecedentes, se desarrolló este estudio que tiene como objetivo determinar los modelos alométricos para estimar la biomasa de las especies seleccionadas en el estrato bosque seco pluviestraccional del Ecuador (MAB) y Organismo de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), utilizada en la Evaluación Nacional Forestal (ENF), la misma que cumple con las exigencias del mecanismo de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD). Además, se constituye el primer estudio inventario de las especies del Bosque Seco Pluviestraccional, a través de la aplicación de la metodología oficial desarrollada por el MAE. Elaborar modelos alométricos de la biomasa aérea estratificación validados para las especies del Bosque Seco Pluviestraccional.



Figura 1. Mapa de ubicación de los cuatro conglomerados en el Bosque Seco Pluviestraccional del Ecuador.

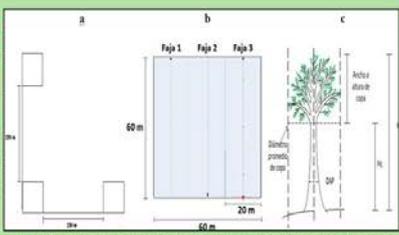


Figura 2. (a) Representación gráfica del diseño del conglomerado de 3 parcelas. (b) Representación gráfica de la parcela de muestreo y el sub-diseño en las que facilita el establecimiento en campo y medición. (c) Variables medidas en los árboles en pie para el cálculo de los volúmenes de fuste y copa.



Figura 3. Secado de muestras de ramas gruesas, finas y hojas, en la estufa a una temperatura de 75-90°C.



Figura 4. Prensa total de las partes del árbol: hojas, ramas finas, ramas gruesas y tronco, para obtener el peso seco, desarrollado en cada conglomerado.

METODOLOGIA

La investigación se desarrolló en diferentes sitios del Bosque Seco Pluviestraccional (ver figura 1) que se sitúa en la región centro-sur occidental del Ecuador, abarcando las siguientes localidades: Mangabito, Zapobillo, Loja, Chacra, Huaquillas, El Oro, Mamey, Progreso, Oaxayacu, Oaxay, Pájaros de Aloy, Jijapa, Manabí. Este estudio se desarrolló porque más del 75% de sus especies pierden las hojas durante la época seca del año, el estrato superior llega hasta los 28 m y en algunos casos 27 m, mientras que el estrato intermedio puede alcanzar entre 10-15 m (Aguiar et al., 2006).

Método para determinar la biomasa aérea de las especies del bosque pluviestraccional
Diseño de Muestra
 En cada sitio se estableció un conglomerado conformado de tres parcelas permanentes de muestreo de 60 x 60 m, distribuidas en forma de "L", con una separación de 250 m de una de otra (ver figura 2a); cada parcela está dividida en tres fajas, para la primera faja se muestrean todos los árboles > 10 cm DAP, para la segunda y tercera faja se muestrean todos los árboles > 20 cm de DAP (ver figura 2b). También se midieron parámetros alométricos (DAP, HT, HC, DC, biomasa de crecimiento y grillo) (ver figura 2c). Una vez tomados los datos alométricos se estratificaron las hojas, ramas finas, ramas gruesas de dos los árboles menores a 7 m de altura comercial, estos muestros fueron llevados a los laboratorios de Bromatología, Fisiología Vegetal y Suelos de la UNL para ser secados y pesados para la determinación de la biomasa aérea (ver figura 3).

Método destructivo de baja intensidad
 Para determinar las especies muestreadas se consideró calcular el índice de valor de importancia (IVI), formulado por Aguiar & Aguiar (1999) y Ceia (1993), en cada conglomerado establecido. Para establecer un factor de corrección de los modelos alométricos, se procedió a talar de 12 a 14 árboles por cada especie con mayor IVI encontradas en los 4 conglomerados, lo cual representó 52 individuos talados. Dentro de los 52 árboles talados se calculó el factor de expansión de biomasa de la copa aplicado la fórmula de (Arredondo, 2003 y Alvarez, 2006).

Método para la elaboración de modelos alométricos para estimación de biomasa aérea a nivel de especies.
 Las medidas alométricas se generaron para aquellas especies que sumen más de 8 árboles medidos, ya que según valores trabajos como los de Eklund et al., (2002), con este peso estadístico se obtuvo un coeficiente de determinación R² > 0.8, en el caso del presente estudio el coeficiente de determinación R² > 0.7.

Se probaron 11 regresiones estadísticas genéricas para la generación de los modelos alométricos, de los cuales se seleccionó el que mejor se ajustó a los datos (ver ecuación 1).
 Ecuación 1: $B = a + b(DAP)^c + d(HT)^e + f(HC)^g + h(DC)^i + j(HT)^k + l(HC)^m + n(DC)^o + p(HT)^q + r(HC)^s + t(DC)^u$

Bajo este sistema estadístico de pruebas se obtuvieron modelos alométricos fiables para ser utilizados en el cálculo final de los stocks de carbono a nivel nacional, y además poner a disposición de los sistemas de monitoreo, verificación y de otros aumentos a nivel sub-nacional.

RESULTADOS

Factor de forma (f)
 Según el muestreo de 633 individuos árboles, a partir de un DAP de 10 cm, en cuatro conglomerados, con tres parcelas cada uno de ellos, establecidos en Bosque Seco Pluviestraccional, con una superficie total del estudio de 4.32 hectáreas, se obtuvo un factor de forma promedio de (f=0.5), (ver figura 5).

Factor de expansión de biomasa (FEB)
 El Factor de expansión promedio para las especies que fueron taladas en los cuatro conglomerados de Bosque Seco Pluviestraccional, corresponden para Cordia alliodora (Ruiz & Pav.) Oken. es de 1.72, para Eriotheca ruziz (K. Schum.) A. Robyns. es de 1.41, para Tabebuia chrysantha (Jacq.) G. Nicholson es de 1.75, para Ziziphus thryrsiflora Benth. es de 3.93, estos datos se asignaron para especie, género y familia respectivamente. Se obtuvo un promedio general de 2.17 como nuestro factor de expansión. Este valor se fijó a especies, género y familias que no se talaron, (ver figura 6).

En el estudio se identificó 633 individuos que mediante una verificación en campo con botánico experto se las agrupó en 44 especies, las mismas que se determinó la cantidad de biomasa aérea total en kilogramos por hectárea (Kg/ha), la mayor cantidad de biomasa reportada es 5010.26 kg/ha para Ceiba trichostandra (A. Gray) Radlk., y la menor biomasa es 0.61 kg/ha para Treocoma stans (L.) Jus. ex Kuhn. A continuación se presentan las especies identificadas en los cuatro conglomerados con su respectiva biomasa almacenada en cada una de ellas (Figura 7).

Modelos alométricos para determinación de biomasa aérea de 19 especies de Bosque Seco Pluviestraccional y parámetros para su validación.
 Para la elaboración de modelos alométricos, se seleccionó las especies con frecuencias mayores a ocho individuos medidos en campo, con el fin de sean estadísticamente válidos, de las 44 especies obtenidas en el inventario, son 20 especies las que cumplen con este número de ocho árboles medidos, de estas, se tomaron 19 especies debido a que una de ellas no fue identificada por el botánico experto, lo que significa que está sujeta a ser nueva para la ciencia. Se establecieron los modelos con la ayuda del programa Infostat, se determinaron once modelos por especie. Seguido se presenta el mejor modelo alométrico por especie tomado de un total de once que fueron analizados (ver cuadro 1).

Cuadro 1. Modelos alométricos de mejor ajuste para estimación de biomasa aérea de 19 especies de Bosque Seco Pluviestraccional.

Nombre especie	Nº ind	Modelo Alométrico
<i>Bonellia spicata</i>	8	$B = -2.74 + 1.94 (LN DAP)^2 + 0.95 (LN HC)$
<i>Bursera graveolens</i>	53	$B = -4.20 + 2.29 (LN DAP)^2 + 0.91 (LN HC)$
<i>Cappadocianum petiolare</i>	9	$B = -3.65 + 2.30 (LN DAP)^2 + 0.91 (LN HC)$
<i>Ceiba trichostandra</i>	20	$B = -4.19 + 1.95 (LN DAP)^2 + 1.07 (LN HC)$
<i>Chloroleucon mangense</i>	8	$B = -10.26 + 0.09 (DAP)^2 + 7.33 (HC)$
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	36	$B = -3.78 + 1.84 (LN DAP)^2 + 1.06 (LN HC)$
<i>Cordia alliodora</i>	11	$B = -3.34 + 1.95 (LN DAP)^2 + 1.09 (LN HC)$
<i>Eriotheca ruziz</i>	90	$B = -3.84 + 2.17 (LN DAP)^2 + 0.52 (LN HC)$
<i>Erythrina velutina</i>	11	$B = -6.04 + 2.72 (LN DAP)^2 + 0.74 (LN HC)$
<i>Erythrocylum glaucum</i>	14	$B = -2.49 + 1.97 (LN DAP)^2 + 0.93 (LN HC)$
<i>Geoffroa spicata</i>	21	$B = -227.60 + 0.32 (DAP)^2 + 52.04 (HC)$
<i>Pavonia carthaginensis</i>	9	$B = -267.10 + 14.66 (DAP)^2 + 29.21 (HC)$
<i>Pavonia aculeata</i>	78	$B = -2.96 + 1.97 (LN DAP)^2 + 0.64 (LN HC)$
<i>Salacia sp.</i>	31	$B = -2.57 + 1.95 (LN DAP)^2 + 1.06 (LN HC)$
<i>Tabebuia hillbergii</i>	14	$B = -1.76 + 1.63 (LN DAP)^2 + 0.93 (LN HC)$
<i>Tabebuia chrysantha</i>	94	$B = -2.86 + 1.98 (LN DAP)^2 + 1.06 (LN HC)$
<i>Terminalia valdiveriaca</i>	9	$B = -2.64 + 2.00 (LN DAP)^2 + 1.01 (LN HC)$
<i>Trichilia sp.</i>	12	$B = -164.96 + 7.08 (DAP)^2 + 14.83 (HT)$
<i>Ziziphus thryrsiflora</i>	78	$B = -2.10 + 1.96 (LN DAP)^2 + 1.08 (LN HC)$

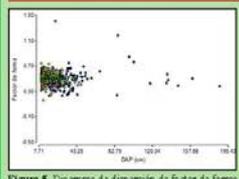


Figura 5. Diagrama de dispersión de factor de forma.

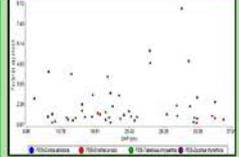


Figura 6. Diagrama de dispersión de factor de expansión de especies taladas.

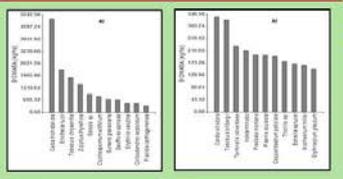


Figura 7 (a, b, c, d). Diagrama de distribución de biomasa aérea a nivel de especies por hectárea en Bosque Seco Pluviestraccional.

CONCLUSIONES:

- Las especies forestales consideradas para la formulación de los ecuaciones alométricas son las siguientes: Bonellia spicata (Mart) B. Sehlb & Klotzky, Bursera graveolens (Kunth) Tronka & Planch, Cappadocianum petiolare Kunth ex H.B.K., Ceiba trichostandra (A. Gray) Radlk., Chloroleucon mangense (Jacq) Britton & Rose, Cochlospermum vitifolium (Willd.) Spreng, Cordia alliodora (Ruiz & Pav) Oken, Eriotheca ruziz (K. Schum.) A. Robyns, Erythrina velutina Willd., Erythrocylum glaucum O. Schulz, Geoffroea spicata Jacq, Pavonia carthaginensis Jacq, Pavonia aculeata L., Salacia sp., Tabebuia hillbergii (Dorson & K. Schum) Daniel Solano Aguiar & Gentry, Tabebuia chrysantha (Jacq) G. Nicholson, Terminalia valdiveriaca A.H. Gentry, Trichilia sp., Ziziphus thryrsiflora Benth.
- La biomasa encontrada por especies en el Bosque Seco Pluviestraccional fue variable, siendo la especie Treocoma stans la que reportó el menor valor con 0.61 kg/ha, mientras que la de mayor biomasa aérea, se presentó en la especie Ceiba trichostandra con 5 010.26 kg/ha. Estos valores se deben a las diferencias en el número de individuos encontrados en el área de estudio.
- Los modelos alométricos desarrollados en el presente estudio en el Bosque Seco Pluviestraccional del Ecuador, mostraron altos coeficientes de determinación (R²), con valores mayores que van desde R²=0.85 hasta un máximo reportado de 0.94-0.99, a excepción de las especies Eriotheca ruziz y Pavonia aculeata con coeficientes de 0.70 y 0.75 respectivamente, lo que significa un alto grado de confiabilidad de los mismos.
- En la especie Pavonia carthaginensis, la combinación de variables como el DAP y HC, generó el mejor modelo alométrico calculado para determinar la biomasa aérea total, alcanzando un coeficiente de determinación de R²=0.99.
- Los modelos alométricos con variables logarítmicas y con ecuación cuadrada, son los que mejor grado de significancia tienen, es decir son los modelos más confiables y que mejor se ajustan para calcular la biomasa aérea de las especies forestales de Bosque Seco Pluviestraccional.



Agradecimientos: Al Proyecto denominado UN REDD FAO UN/PE/ECU/083/UNJ, al Ministerio del Ambiente (MAE), por habernos brindado el tema de investigación, el apoyo logístico y técnico incondicional en el desarrollo de los objetivos, a la Universidad Nacional de Loja (UNL) por habernos acogido en la sede donde se desarrollaron, también a todos los investigadores que forman parte de la planta docente de la Carrera de Ingeniería Forestal, por habernos inducido sus conocimientos técnicos y científicos, al Ing. Víctor Hugo Eras Guzmán por la eficiente dirección de la tesis, al Ing. Manuel Quiroga por su excelente atención como Coordinador de la CIP, a los Ing. Bismarck Méndez y Eduardo Cueva por su ayuda incondicional en campo como en el Herbario "Renaldó Espinoza" Loja y de manera muy especial a nuestros familiares por habernos brindado el apoyo emocional, ético y económico para poder solventar e indagar en nuestro proyecto.



Anexo 7. Cuadro resumen de resultados totales del promedio del factor de expansión de biomasa, del factor de forma y la biomasa total en kg/ha.

Nombre especie	F	\dot{X} DAP (cm)	\dot{X} HC (m)	\dot{X} HT (m)	\dot{X} Ff	\dot{X} FE B	\dot{X} VC (m ³)	\dot{X} VT (m ³)	\dot{X} VBCF (kg)	Σ BAT (kg/4.32ha)	Σ C (kg/4.32ha)	BIOMASA (kg/ha)	CARBONO (kg/ha)
<i>Ceiba trichistandra</i> (A. Gray) Bakh	20	82.08	6.65	13.44	0.57	1.41	2.65	5.77	767.53	21644.31	10822.15	5010.26	2505.13
<i>Eriotheca ruizii</i> (K. Schum.) A. Robyns.	4	54.35	4.75	10.35	0.50	2.17	0.71	1.97	239.04	9913.35	4956.67	2294.76	1147.38
<i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.) G. Nicholson	3	22.50	7.67	15.37	0.56	2.17	0.18	0.35	134.69	8044.43	4022.21	1862.14	931.07
<i>Ziziphus thyriflora</i> Benth.	11	34.98	5.31	13.44	0.48	2.17	0.32	0.82	86.94	6558.12	3279.06	1518.08	759.04
<i>Salacia</i> sp.	9	20.33	4.92	12.09	0.51	2.17	0.09	0.22	80.57	4234.68	2117.34	980.25	490.13
<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	1	24.60	4.60	13.90	0.62	2.17	0.14	0.41	77.25	3680.95	1840.47	852.07	426.04
<i>Bursera graveolens</i> (Kunth) Triana & Planch.	21	21.03	4.04	9.74	0.55	2.17	0.09	0.23	65.95	3076.51	1538.26	712.16	356.08
<i>Geoffroea spinosa</i> Jacq	31	20.49	4.40	10.04	0.53	2.17	0.08	0.20	62.95	3005.46	1502.73	695.71	347.85
<i>Erythrina velutina</i> Willd.	11	21.57	6.72	12.73	0.51	1.72	0.14	0.30	77.02	2075.26	1037.63	480.38	240.19

Nombre especie	F	\bar{X} DAP (cm)	\bar{X} HC (m)	\bar{X} HT (m)	\bar{X} Ff	\bar{X} FE B	\bar{X} VC (m ³)	\bar{X} VT (m ³)	\bar{X} VBCF (kg)	Σ BAT (kg/4.32ha)	Σ C (kg/4.32ha)	BIOMASA (kg/ha)	CARBONO (kg/ha)
Colicodendron scabridum (Kunth) Seem	6	17.40	5.63	11.93	0.46	2.17	0.07	0.14	54.75	2074.83	1037.41	480.28	240.14
Piscidia carthagenensis Jacq.	9	19.01	4.33	11.37	0.50	2.17	0.06	0.20	51.43	1573.55	786.78	364.25	182.12
Cordia alliodora (Ruiz & Pav.) Oken	90	29.79	5.20	11.42	0.46	1.41	0.20	0.43	78.12	1457.26	728.63	337.33	168.66
Tabebuia billbergii (Bureau & K. Schum.) Standl. Subs. ampla A. Gently	36	28.92	7.07	13.46	0.44	2.17	0.23	0.46	47.12	1409.80	704.90	326.34	163.17
Terminalia valverdeae A.H. Gentry	14	16.40	6.15	12.67	0.46	1.75	0.06	0.13	57.54	1004.45	502.23	232.51	116.26
indeterminado	9	20.74	3.54	11.08	0.49	2.17	0.06	0.21	43.52	941.38	470.69	217.91	108.96
Pradosia montana, T.D.Penn	8	19.48	4.12	8.58	0.49	2.17	0.07	0.15	42.65	876.82	438.41	202.97	101.48
Pisonia aculeata L.	94	17.64	4.32	10.23	0.51	1.75	0.06	0.15	48.90	871.13	435.56	201.65	100.82
Capparidastrum petiolare (Kunth) Hutch	78	17.09	2.15	7.23	0.50	3.93	0.03	0.10	21.39	849.93	424.97	196.74	98.37
Trichilia sp.	12	14.70	4.31	9.89	0.51	2.17	0.05	0.13	36.15	768.66	384.33	177.93	88.97

Nombre especie	F	\bar{X} DAP (cm)	\bar{X} HC (m)	\bar{X} HT (m)	\bar{X} Ff	\bar{X} FE B	\bar{X} VC (m ³)	\bar{X} VT (m ³)	\bar{X} VBCF (kg)	Σ BAT (kg/4.32ha)	Σ C (kg/4.32ha)	BIOMASA (kg/ha)	CARBONO (kg/ha)
Bonellia sprucei (Mez) B. Ståhl & Källersjö	12	13.68	3.97	8.91	0.53	2.17	0.03	0.08	29.52	740.35	370.18	171.38	85.69
Machaerium millei Standl.	2	21.20	2.10	10.05	0.50	2.17	0.04	0.18	27.20	712.85	356.43	165.01	82.51
Erythroxyllum glaucum O. Schulz	4	15.20	4.23	8.05	0.43	2.17	0.04	0.07	27.07	659.59	329.79	152.68	76.34
Leucaena trichodes (Jacq.) Benth.	53	20.99	3.48	10.37	0.49	2.17	0.07	0.20	26.75	331.12	165.56	76.65	38.32
Cynophalla didymobotrys (Ruiz & Pav. ex DC.) Cornejo & Iltis	6	13.07	3.78	8.67	0.54	2.17	0.04	0.08	25.43	234.96	117.48	54.39	27.19
Vachellia macracantha (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Seigler & Ebinger	2	27.65	2.05	8.60	0.50	2.17	0.06	0.39	23.27	221.91	110.96	51.37	25.68
Psidium sp.	1	20.30	2.50	7.40	0.50	2.17	0.04	0.12	22.31	185.02	92.51	42.83	21.41
Maclura tinctoria (L.) Steud. subsp. tinctoria	14	15.37	2.62	8.45	0.50	2.17	0.03	0.09	21.71	167.63	83.81	38.80	19.40
Caesalpinia glabrata Kunth	5	17.08	2.31	9.62	0.52	2.17	0.03	0.13	20.45	164.83	82.41	38.15	19.08

Nombre especie	F	\dot{X} DAP (cm)	\dot{X} HC (m)	\dot{X} HT (m)	\dot{X} Ff	\dot{X} FE B	\dot{X} VC (m ³)	\dot{X} VT (m ³)	\dot{X} VBCF (kg)	Σ BAT (kg/4.32ha)	Σ C (kg/4.32ha)	BIOMASA (kg/ha)	CARBONO (kg/ha)
Chloroleucon mangense (Jacq.) Britton & Rose	4	14.99	2.21	6.54	0.54	2.17	0.02	0.07	18.99	150.39	75.19	34.81	17.41
Flacourtiaceae	2	14.95	2.90	7.85	0.46	2.17	0.02	0.07	17.05	118.05	59.03	27.33	13.66
Simira ecuadorensis Standl.	28	18.25	2.61	7.63	0.47	2.17	0.03	0.11	14.34	106.55	53.28	24.66	12.33
Erythrina sp.	6	12.60	2.75	5.77	0.55	2.17	0.02	0.04	14.21	100.99	50.49	23.38	11.69
Prockia crucis P. Browne ex L.	1	11.70	2.60	5.20	0.50	2.17	0.01	0.03	10.50	74.01	37.01	17.13	8.57
Ficus sp.	2	14.15	1.60	6.70	0.50	2.17	0.01	0.05	10.09	48.41	24.20	11.21	5.60
Bauhinia aculeata Vell.	5	11.38	2.40	6.70	0.53	2.17	0.01	0.04	9.82	43.78	21.89	10.13	5.07
Cordia macrantha Chod.	2	12.90	2.25	7.35	0.50	1.72	0.02	0.05	11.41	39.25	19.63	9.09	4.54
Senna mollissima (Humb. & Bonpl. ex Willd.)H.S. Irwin & Barneby	1	10.65	2.90	9.60	0.50	2.17	0.01	0.04	8.69	28.32	14.16	6.55	3.28
Zanthoxylum sp.	8	12.11	2.12	8.49	0.51	2.17	0.01	0.05	8.66	22.79	11.39	5.27	2.64
Delostoma sp.	1	11.80	2.40	6.50	0.50	2.17	0.01	0.04	8.42	20.88	10.44	4.83	2.42
Jacquinia sprucei Mez	1	10.30	3.10	8.20	0.74	1.72	0.02	0.05	10.57	18.87	9.43	4.37	2.18

Nombre especie	F	\bar{X} DAP (cm)	\bar{X} HC (m)	\bar{X} HT (m)	\bar{X} Ff	\bar{X} FE B	\bar{X} VC (m ³)	\bar{X} VT (m ³)	\bar{X} VBCF (kg)	Σ BAT (kg/4.32ha)	Σ C (kg/4.32ha)	BIOMASA (kg/ha)	CARBONO (kg/ha)
Citharexylum quitense Speg.	2	11.60	1.65	5.20	0.50	2.17	0.01	0.03	6.52	18.26	9.13	4.23	2.11
Cordia lutea Lam.	1	10.00	5.40	5.80	0.49	1.41	0.02	0.02	8.54	18.18	9.09	4.21	2.10
Guazuma ulmifolia Lam.	2	11.00	2.10	7.45	0.50	1.75	0.01	0.04	5.97	12.04	6.02	2.79	1.39
Tecoma stans (L.) Juss. ex Kunth	1	10.00	1.40	7.30	0.50	1.75	0.01	0.03	3.03	5.29	2.65	1.23	0.61

F = Frecuencia; \bar{X} = Promedio; DAP = Diámetro a la altura del pecho; HC = Altura comercial; HT = Altura total; Ff = Factor de forma; FEB = Factor de expansión de biomasa; VC = Volumen comercial; VT = Volumen total; VBCF = Biomasa comercial del fuste; Σ = Sumatoria; BAT = Biomasa aérea total; C = Carbono.

Anexo 8. Cuadro de parámetros ecológicos de todas las especies de los cuatro conglomerados de Bosque Seco Pluviestacional.

IVI CALCULADO CONGLOMERADO 001 ARENILLAS

Especie	F	(DR %)	(DmR %)	(FR)	(I.V.I)
Bursera graveolens (Kunth) Triana & Planch.	51	28.3333	23.8771	10.3448	20.8518
Caesalpinia glabrata Kunth	3	1.6667	0.8954	6.8966	3.1529
Capparis scabrida Kunth	4	2.2222	4.9415	6.8966	4.6867
Ceiba trichistandra (A. Gray) Bakh	10	5.5556	14.4728	10.3448	10.1244
Chloroleucon mangense (Jacq.) Britton & Rose	2	1.1111	0.6977	3.4483	1.7524
Cordia lutea Lam.	1	0.5556	0.2341	3.4483	1.4127
Eriotheca ruizii (K. Schum.) A. Robyns.	61	33.8889	37.2762	10.3448	27.1700
Erythrina velutina	1	0.5556	0.4410	3.4483	1.4816
Erythroxylum glaucum O. Schulz	2	1.1111	0.5863	3.4483	1.7152
Geoffroea spinosa Jacq	19	10.5556	8.5404	10.3448	9.8136
Jacquinia sprucei Mez	1	0.5556	0.2419	3.4483	1.4153
Pisonia aculeata L.	3	1.6667	0.9272	6.8966	3.1635
Simira ecuadorensis Standl.	1	0.5556	0.2683	3.4483	1.4240
Tabebuia billbergii (Bureau & K. Schum.) Standl. Subs. ampla A. Gently	2	1.1111	0.7739	6.8966	2.9272
Tabebuia chrysantha (Jacq.) G. Nicholson	19	10.5556	5.8256	10.3448	8.9087
TOTAL	180	100	100	100	100

IVI CALCULADO CONGLOMERADO 002 MANGAHURCO

Acacia macracantha Humb. & Bonpl. ex Willd.	4	2.0513	1.2214	5.7143	2.9957
Bursera graveolens (Kunth) Triana & Planch.	2	1.0256	1.6566	2.8571	1.8465
Caesalpinia glabrata Kunth	1	0.5128	0.3482	2.8571	1.2394
Chloroleucon mangense (Jacq.) Britton & Rose	6	3.0769	0.6038	8.5714	4.0841
Cochlospermum vitifolium (Willd.) Spreng.	30	15.3846	23.1890	8.5714	15.7150
Eriotheca ruizii (K. Schum.) A. Robyns.	19	9.7436	21.0201	8.5714	13.1117
Erythroxylum glaucum O. Schulz	12	6.1538	2.7518	8.5714	5.8257
Erythrina velutina	10	5.1282	12.1811	2.8571	6.7221
Geoffroea spinosa Jacq.	2	1.0256	1.7996	2.8571	1.8941

<i>Machaerium millei</i> Standl.	4	2.0513	1.2378	8.5714	3.9535
<i>Piscidia carthagenensis</i> Jacq.	9	4.6154	3.5435	5.7143	4.6244
<i>Pisonia aculeata</i> L.	1	0.5128	0.4263	2.8571	1.2654
<i>Simira ecuadorensis</i> (Standl) Steger	1	0.5128	0.1207	2.8571	1.1636
<i>Tabebuia billbergii</i> (Bureau & K. Schum.) Standl. Subs. ampla A. Gently	12	6.1538	2.6710	8.5714	5.7988
<i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.) G. Nicholson	70	35.8974	21.4424	8.5714	21.9704
<i>Terminalia valverdae</i> A.H. Gentry	9	4.6154	3.1214	5.7143	4.4837
<i>Ziziphus thyrsoflora</i> Benth.	3	1.5385	2.0421	5.7143	3.0983
TOTAL	195	100	100	100	100

IVI CALCULADO CONGLOMERADO 003 JIPIJAPA

<i>Acacia macracantha</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	1	0.6579	0.0644	1.8182	0.8468
<i>Capparis petiolaris</i> Kunth in H. B. K.	9	5.9211	2.2154	5.4545	4.5303
<i>Ceiba trichistandra</i> (A. Gray) Bakh	10	6.5789	62.2745	5.4545	24.7693
<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	2	1.3158	1.7754	1.8182	1.6365
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	10	6.5789	3.1025	5.4545	5.0453
<i>Cynophalla didymobotrys</i> (Ruiz & Pav. ex DC.) Cornejo & Iltis	4	2.6316	0.5337	5.4545	2.8733
<i>Delostoma</i> sp.	2	1.3158	0.1329	1.8182	1.0890
<i>Eriotheca ruizii</i> (K. Schum.) A. Robyns.	9	5.9211	9.5473	5.4545	6.9743
<i>Erythrina</i> sp	2	1.3158	1.0542	3.6364	2.0021
<i>Ficus</i> sp	1	0.6579	0.2267	1.8182	0.9009
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	1	0.6579	0.0553	1.8182	0.8438
<i>Jacquinia sprucei</i> Mez	8	5.2632	1.8307	5.4545	4.1828
<i>Leucaena trichioides</i>	2	1.3158	0.2392	1.8182	1.1244
<i>Machaerium millei</i> Standl.	2	1.3158	0.2497	1.8182	1.1279
<i>Maclura tinctoria</i> (L.) Steud. subsp. tinctoria	1	0.6579	0.3323	1.8182	0.9361
<i>Pisonia aculeata</i> L.	5	3.2895	0.9199	3.6364	2.6152
<i>Pradosia</i> cf. Montana	3	1.9737	0.8353	3.6364	2.1484
<i>Prockia crucis</i> P. Browne ex L.	2	1.3158	0.2469	1.8182	1.1270
<i>Psidium</i> sp.	6	3.9474	0.5282	3.6364	2.7040
<i>Salacia</i> sp.	31	20.3947	7.7516	5.4545	11.2003

Simira ecuadorensis Standl.	4	2.6316	0.3197	5.4545	2.8019
SP 1	6	3.9474	0.4358	3.6364	2.6732
Sp. 3	2	1.3158	0.4953	3.6364	1.8158
Sp. 4	3	1.9737	1.0276	1.8182	1.6065
SP 2	3	1.9737	0.2085	1.8182	1.3334
Tabebuia chrysantha (Jacq.) G. Nicholson	5	3.2895	1.3319	5.4545	3.3586
Trichilia sp	12	7.8947	1.3543	1.8182	3.6891
Xanthoxylum sp.	1	0.6579	0.0756	1.8182	0.8505
Ziziphus thyrsoflora Benth.	5	3.2895	0.8360	5.4545	3.1933
TOTAL	152	100	100	100	100

IVI CALCULADO CONGLOMERADO 004 MAMEY

Bauhinia aculata	2	1.8692	1.2117	10.5263	4.5357
Citharexylum quitense Spreng.	1	0.9346	0.4193	5.2632	2.2057
Cochlospermum vitifolium (Willd.) Spreng.	4	3.7383	8.9022	10.5263	7.7223
Cordia alliodora (Ruiz & Pav.) Oken	1	0.9346	0.7655	5.2632	2.3211
Cordia macrantha Chod.	2	1.8692	1.0463	5.2632	2.7262
Eriotheca ruizii (K. Schum.) A. Robyns.	1	0.9346	0.7539	5.2632	2.3172
Leucaena trichodes (Jacq.) Benth.	4	3.7383	1.9041	10.5263	5.3896
Pisonia aculeata L.	19	17.7570	23.1182	15.7895	18.8882
Senna mollissima (Humb. & Bonpl. ex Willd.)H.S. Irwin & Barneby	2	1.8692	0.8270	10.5263	4.4075
Tecoma stans (L.) Juss. ex Kunth	1	0.9346	0.3039	5.2632	2.1672
Ziziphus thyrsoflora Benth.	69	65.4206	63.4116	15.7895	48.2072
TOTAL	106	100	100	100	100

F = Frecuencia, DR% = Densidad relativa, DmR% = Dominancia relativa, FR = Frecuencia relativa, IVI = Índice de valor de importancia.

Anexo 9. Cuadro resumen de los once modelos alométricos realizados para cada especie de este estudio.

Especie	N°	Modelo	R2	AIC	P-valor	VIF
Bonellia sprucei	1	$B = - 64.04 + 8.04 \text{ (DAP)}$	0.48	91.56	0.3916 0.0559	1.00
	2	$B = 7.88 + 0.20 \text{ (DAP}^2\text{)}$	0.42	92.42	0.8693 0.0804	1.00
	3	$B = - 114.86 + 3.65 \text{ (DAP)} + 15.90 \text{ (HT)}$	0.98	67.65	0.0008 0.0073 0.0001	1.29 1.29
	4	$B = - 91.86 + 5.06 \text{ (DAP)} + 20.82 \text{ (HC)}$	0.92	78.25	0.0269 0.0214 0.0030	1.15 1.15
	5	$B = - 86.73 + 0.09 \text{ (DAP}^2\text{)} + 16.32 \text{ (HT)}$	0.98	68.42	0.0012 0.0094 0.0001	1.22 1.22
	6	$B = - 50.37 + 0.13 \text{ (DAP}^2\text{)} + 21.57 \text{ (HC)}$	0.91	79.34	0.0750 0.0308 0.0032	1.11 1.11
	7	$B = - 112.02 + 3.79 \text{ (DAP)} + 13.47 \text{ (HT)} + 3.70 \text{ (HC)}$	0.98	68.70	0.0028 0.0138 0.0228 0.5158	1.36 7.88 7.03
	8	$B = - 83.23 + 0.10 \text{ (DAP}^2\text{)} + 14.20 \text{ (HT)} + 3.25 \text{ (HC)}$	0.98	69.75	0.0054 0.0181 0.0226 0.5883	1.27 7.64 6.97
	9	$B = - 69.24 + 18.87 \text{ (HT)}$	0.90	78.20	0.0257 0.0003	1.00
	10	$B = - 12.25 + 25.44 \text{ (HC)}$	0.78	85.51	0.6782 0.0050	1.00
	11	$B = -2.74 + 1.94 \text{ (LN DAP)} + 0.95 \text{ (LN HC)}$	0.98	- 0.60	0.0039	1.26

Especie	N°	Modelo	R2	AIC	P-valor	VIF
					0.0002 0.0005	1.26
<i>Bursera graveolens</i>	1	$B = - 61.43 + 5.69 \text{ (DAP)}$	0.60	496.57	0.0001 <0.0001	1.00
	2	$B = - 6.16 + 0.14 \text{ (DAP}^2\text{)}$	0.60	497.12	0.4529 <0.0001	1.00
	3	$B = -72.85 + 5.44 \text{ (DAP)} + 1.61 \text{ (HT)}$	0.61	498.06	0.0015 <0.0001 0.4908	1.31 1.31
	4	$B = - 88.20 + 4.66 \text{ (DAP)} + 13.94 \text{ (HC)}$	0.82	457.43	<0.0001 <0.0001 <0.0001	1.09 1.09
	5	$B = - 33.87 + 0.13 \text{ (DAP}^2\text{)} + 3.12 \text{ (HT)}$	0.61	497.03	0.1156 <0.0001 0.1627	1.21 1.21
	6	$B = -47.89 + 0.12 \text{ (DAP}^2\text{)} + 14.88 \text{ (HC)}$	0.85	446.55	<0.0001 <0.0001 <0.0001	1.06 1.06
	7	$B = - 71.34 + 5.00 \text{ (DAP)} - 2.65 \text{ (HT)} + 14.94 \text{ (HC)}$	0.85	456.71	<0.0001 <0.0001 0.1145 <0.0001	1.33 1.47 1.22
	8	$B = - 35.27 + 0.12 \text{ (DAP}^2\text{)} - 1.64 \text{ (HT)} + 15.59 \text{ (HC)}$	0.85	447.20	0.0097 <0.0001 0.2670 <0.0001	1.21 1.39 1.22
	9	$B = - 44.63 + 9.90 \text{ (HT)}$	0.19	534.48	0.1471 0.0012	1.00
	10	$B = - 8.93 + 19.27 \text{ (HC)}$	0.45	514.04	0.4286 <0.0001	1.00
	11	$B = -4.20 + 2.29 \text{ (LN DAP)} + 0.91 \text{ (LN HC)}$	0.97	-38.45	<0.0001	1.16

Especie	N°	Modelo	R2	AIC	P-valor	VIF
					<0.0001 <0.0001	1.16
Capparidastrum petiolare	1	$B = -101.99 + 9.47 \text{ (DAP)}$	0.39	101.73	0.3140 0.0705	1.00
	2	$B = -0.34 + 0.21 \text{ (DAP}^2\text{)}$	0.36	102.17	0.9949 0.0858	1.00
	3	$B = -31.72 - 2.93 \text{ (DAP)} + 16.88 \text{ (HT)}$	0.69	97.82	0.7019 0.6576 0.0563	3.31 3.31
	4	$B = -209.90 + 8.87 \text{ (DAP)} + 33.96 \text{ (HC)}$	0.85	91.43	0.0106 0.0107 0.0058	1.00 1.00
	5	$B = -61.52 - 0.08 \text{ (DAP}^2\text{)} + 17.31 \text{ (HT)}$	0.69	97.67	0.2251 0.5903 0.0453	3.11 3.11
	6	$B = -124.88 + 0.21 \text{ (DAP}^2\text{)} + 35.43 \text{ (HC)}$	0.86	90.74	0.0165 0.0084 0.0039	1.00 1.00
	7	$B = -155.87 + 3.28 \text{ (DAP)} + 7.77 \text{ (HT)} + 27.14 \text{ (HC)}$	0.89	90.44	0.0638 0.5057 0.2196 0.0291	4.14 4.69 1.42
	8	$B = -125.09 + 0.09 \text{ (DAP}^2\text{)} + 7.16 \text{ (HT)} + 28.29 \text{ (HC)}$	0.89	90.13	0.0176 0.4387 0.2514 0.0278	4.25 4.83 1.56
	9	$B = -61.67 + 14.09 \text{ (HT)}$	0.67	96.14	0.1969 0.0067	1.00
	10	$B = -32.16 + 35.72 \text{ (HC)}$	0.50	99.97	0.5454 0.0328	1.00
	11	$B = -3.65 + 2.30 \text{ (LN DAP)} + 0.91 \text{ (LN HC)}$	0.95	-2.72	0.0043	1.00

Especie	N°	Modelo	R2	AIC	P-valor	VIF
					0.0001 0.0008	1.00
<i>Ceiba trichistandra</i>	1	$B = - 534.97 + 19.70 \text{ (DAP)}$	0.40	347.04	0.3450 0.0029	1.00
	2	$B = 227.57 + 0.09 \text{ (DAP}^2\text{)}$	0.33	349.00	0.5902 0.0076	1.00
	3	$B = - 1500.57 + 16.28 \text{ (DAP)} + 92.70 \text{ (HT)}$	0.42	348.08	0.2267 0.0300 0.3752	1.42 1.42
	4	$B = - 1824.37 + 17.81 \text{ (DAP)} + 217.27 \text{ (HC)}$	0.47	346.38	0.0813 0.0058 0.1383	1.05 1.05
	5	$B = - 1311.46 + 0.07 \text{ (DAP}^2\text{)} + 128.48 \text{ (HT)}$	0.39	349.09	0.3078 0.0489 0.2091	1.27 1.27
	6	$B = - 1435.68 + 0.09 \text{ (DAP}^2\text{)} + 259.57\text{(HC)}$	0.44	347.36	0.1627 0.0092 0.0831	1.02 1.02
	7	$B = - 1596.54 + 19.41 \text{ (DAP)} - 58.77 \text{ (HT)} + 282.02 \text{ (HC)}$	0.48	348.20	0.1945 0.0160 0.7125 0.2269	1.62 3.49 2.57
	8	$B = - 1352.76 + 0.09 \text{ (DAP}^2\text{)} - 18.47 \text{ (HT)} + 281.15 \text{ (HC)}$	0.45	349.34	0.2882 0.0266 0.9071 0.2447	1.46 3.26 2.61
	9	$B = - 1933.25 + 224.30 \text{ (HT)}$	0.23	351.78	0.1618 0.0306	1.00
	10	$B = - 992.98 + 312.06 \text{ (HC)}$	0.16	353.57	0.4033 0.0778	1.00
	11	$B = - 4.19 + 1.95 \text{ (LN DAP)} + 1.07 \text{ (LN HC)}$	0.88	40.29	0.0002	1.21

Especie	N°	Modelo	R2	AIC	P-valor	VIF
					<0.0001 0.0155	1.21
Chloroleucon mangense	1	$B = - 4.27 + 1.90 \text{ (DAP)}$	0.55	50.69	0.6410 0.0356	1.00
	2	$B = 8.23 + 0.07 \text{ (DAP}^2\text{)}$	0.59	49.93	0.0802 0.0261	1.00
	3	$B = - 1.26 + 2.16 \text{ (DAP)} - 0.72 \text{ (HT)}$	0.57	52.31	0.9139 0.0645 0.6399	1.47 1.47
	4	$B = - 28.10 + 2.53 \text{ (DAP)} + 7.67 \text{ (HC)}$	0.95	34.67	0.0020 0.0002 0.0013	1.14 1.14
	5	$B = 12.72 + 0.08 \text{ (DAP}^2\text{)} - 0.67 \text{ (HT)}$	0.61	51.54	0.2575 0.0496 0.6404	1.41 1.41
	6	$B = - 10.26 + 0.09 \text{ (DAP}^2\text{)} + 7.33 \text{ (HC)}$	0.97	31.65	0.0128 0.0001 0.0006	1.12 1.12
	7	$B = - 28.42 + 2.51 \text{ (DAP)} + 0.05 \text{ (HT)} + 7.70 \text{ (HC)}$	0.95	36.65	0.0107 0.0019 0.9276 0.0047	1.52 1.56 1.22
	8	$B = - 11.42 + 0.09 \text{ (DAP}^2\text{)} + 0.14 \text{ (HT)} + 7.42 \text{ (HC)}$	0.97	33.46	0.0757 0.0008 0.7722 0.0025	1.44 1.52 1.21
	9	$B = 8.49 + 1.21 \text{ (HT)}$	0.09	56.31	0.5577 0.4735	1.00
	10	$B = 10.88 + 3.73 \text{ (HC)}$	0.11	56.12	0.2957 0.4236	1.00
	11	$B = - 1.69 + 1.57 \text{ (LN DAP)} + 0.94 \text{ (LN DAP)}$	0.93	-10.15	0.0401	1.15

Espece	N°	Modelo	R2	AIC	P-valor	VIF
					0.0009 0.0019	1.15
Cochlospermum vitifolium	1	$B = - 53.23 + 5.38 (DAP)$	0.49	394.07	0.0745 <0.0001	1.00
	2	$B = 23.91 + 0.08 (DAP^2)$	0.46	396.10	0.1787 <0.0001	1.00
	3	$B = -73.57 + 4.76 (DAP) + 2.83 (HT)$	0.49	395.64	0.0997 0.0014 0.5316	2.03 2.03
	4	$B = - 146.45 + 4.84 (DAP) + 15.37 (HC)$	0.71	375.08	<0.0001 <0.0001 <0.0001	1.02 1.02
	5	$B = - 25.40 + 0.07 (DAP^2) + 4.73 (HT)$	0.48	396.78	0.5979 0.0025 0.2750	1.78 1.78
	6	$B = - 86.39 + 0.08 (DAP^2) + 16.38 (HC)$	0.72	374.54	0.0009 <0.0001 <0.0001	1.01 1.01
	7	$B = - 134.89 + 5.26 (DAP) - 2.03 (HT) + 15.86 (HC)$	0.72	376.71	0.0006 <0.0001 0.5703 <0.0001	2.05 2.20 1.10
	8	$B = -80.68 + 0.08 (DAP^2) + ((-0.68)(HT)) + 16.58 (HC)$	0.72	376.50	0.0370 <0.0001 0.8409 <0.0001	1.81 1.97 1.12
	9	$B = - 85.79 + 13.97 (HT)$	0.30	404.93	0.0946 0.0005	1.00
	10	$B = - 26.81 + 18.25 (HC)$	0.33	403.72	0.4277 0.0003	1.00
	11	$B = - 3.78 + 1.84 (LN DAP) + 1.06 (LN HC)$	0.90	20.96	<0.0001	1.05

Especie	N°	Modelo	R2	AIC	P-valor	VIF
					<0.0001 <0.0001	1.05
<i>Cordia alliodora</i>	1	$B = - 32.54 + 7.65 \text{ (DAP)}$	0.36	135.37	0.6914 0.0525	1.00
	2	$B = 71.65 + 0.11 \text{ (DAP2)}$	0.23	137.38	0.1774 0.1381	1.00
	3	$B = -179.95 + 4.68 \text{ (DAP)} + 16.62 \text{ (HT)}$	0.76	126.66	0.0256 0.0849 0.0067	1.13 1.13
	4	$B = - 177.01 + 7.16 \text{ (DAP)} + 23.09 \text{ (HC)}$	0.86	120.87	0.0063 0.0032 0.0007	1.00 1.00
	5	$B = - 132.72 + 0.07 \text{ (DAP2)} + 17.89 \text{ (HT)}$	0.72	128.19	0.0672 0.1664 0.0056	1.07 1.07
	6	$B = - 94.50 + 0.12 \text{ (DAP2)} + 24.43 \text{ (HC)}$	0.79	125.13	0.0697 0.0163 0.0017	1.00 1.00
	7	$B = - 211.90 + 5.78 \text{ (DAP)} + 8.45 \text{ (HT)} + 16.69 \text{ (HC)}$	0.92	116.22	0.0013 0.0057 0.0468 0.0065	1.18 1.80 1.59
	8	$B = - 154.57 + 0.09 \text{ (DAP2)} + 9.90 \text{ (HT)} + 16.63 \text{ (HC)}$	0.88	120.68	0.0099 0.0259 0.0501 0.0173	1.12 1.72 1.61
	9	$B = - 118.47 + 19.72 \text{ (HT)}$	0.64	128.99	0.1080 0.0031	1.00
	10	$B = - 29.29 + 24.08 \text{ (HC)}$	0.55	131.54	0.6065 0.0094	1.00
	11	$B = - 3.34 + 1.95 \text{ (LN DAP)} + 1.09 \text{ (LN HC)}$	0.94	7.49	0.0017	1.01

Especie	N°	Modelo	R2	AIC	P-valor	VIF
					<0.0001 0.0001	1.01
<i>Eriotheca ruizii</i>	1	$B = -132.51 + 8.15 \text{ (DAP)}$	0.51	1065.01	<0.0001 <0.0001	1.00
	2	$B = 18.36 + 0.09 \text{ (DAP}^2\text{)}$	0.43	1079.70	0.2295 <0.0001	1.00
	3	$B = -249.24 + 7.26 \text{ (DAP)} + 12.54 \text{ (HT)}$	0.56	1058.15	<0.0001 <0.0001 0.0035	1.13 1.13
	4	$B = -205.18 + 7.57 \text{ (DAP)} + 17.29 \text{ (HC)}$	0.58	1053.39	<0.0001 <0.0001 0.0003	1.04 1.04
	5	$B = -148.20 + 0.08 \text{ (DAP}^2\text{)} + 15.58 \text{ (HT)}$	0.50	1069.38	0.0031 <0.0001 0.0006	1.09 1.09
	6	$B = -83.25 + 0.09 \text{ (DAP}^2\text{)} + 20.59 \text{ (HC)}$	0.53	1064.60	0.0033 <0.0001 0.0001	1.02 1.02
	7	$B = -263.39 + 7.13 \text{ (DAP)} + 7.78 \text{ (HT)} + 13.91 \text{ (HC)}$	0.60	1052.12	<0.0001 <0.0001 0.0778 0.0057	1.14 1.33 1.22
	8	$B = -166.19 + 0.08 \text{ (DAP}^2\text{)} + 9.86 \text{ (HT)} + 16.05 \text{ (HC)}$	0.55	1061.82	0.0006 <0.0001 0.0331 0.0026	1.09 1.30 1.22
	9	$B = -170.40 + 24.57 \text{ (HT)}$	0.20	1109.65	0.0065 <0.0001	1.00
	10	$B = -22.54 + 25.51 \text{ (HC)}$	0.15	1114.48	0.5240 0.0001	1.00
	11	$B = -3.84 + 2.17 \text{ (LN DAP)} + 0.52 \text{ (LN DAP)}$	0.70	150.21	<0.0001	1.05

Especie	N°	Modelo	R2	AIC	P-valor	VIF
					<0.0001 0.0005	1.05
Erythrina velutina	1	$B = - 334.36 + 14.95 \text{ (DAP)}$	0.87	130.70	0.0010 <0.0001	1.00
	2	$B = - 86.26 + 0.20 \text{ (DAP}^2\text{)}$	0.94	121.75	0.0112 <0.0001	1.00
	3	$B = - 239.57 + 19.60 \text{ (DAP)} - 19.17 \text{ (HT)}$	0.89	131.43	0.0783 0.0048 0.3515	7.21 7.21
	4	$B = - 341.35 + 14.73 \text{ (DAP)} + 2.77 \text{ (HC)}$	0.88	132.68	0.0062 0.0006 0.9033	1.78 1.78
	5	$B = 37.27 + 0.24 \text{ (DAP}^2\text{)} - 13.28 \text{ (HT)}$	0.95	121.68	0.7176 0.0001 0.2340	4.96 4.96
	6	$B = - 116.01 + 0.19 \text{ (DAP}^2\text{)} + 7.43 \text{ (HC)}$	0.95	123.36	0.0973 <0.0001 0.6031	1.60 1.60
	7	$B = - 251.09 + 19.44 \text{ (DAP)} - 21.51 \text{ (HT)} + 9.15 \text{ (HC)}$	0.89	133.19	0.0922 0.0085 0.3464 0.7022	7.25 7.80 1.92
	8	$B = 21.19 + 0.24 \text{ (DAP}^2\text{)} + ((-18.77)\text{(HT)}) + 16.77 \text{ (HC)}$	0.96	121.47	0.8334 0.0002 0.1288 0.2523	4.96 5.92 1.91
	9	$B = - 488.40 + 50.39 \text{ (HT)}$	0.68	141.03	0.0135 0.0018	1.00
	10	$B = - 255.06 + 83.58 \text{ (HC)}$	0.40	147.99	0.2110 0.0378	1.00
	11	$B = - 6.04 + 2.72 \text{ (LN DAP)} + 0.74 \text{ (LN HC)}$	0.98	-1.82	<0.0001	1.97

Especie	N°	Modelo	R2	AIC	P-valor	VIF
					<0.0001 0.0129	1.97
Erythroxylum glaucum	1	$B = - 50.92 + 6.38 \text{ (DAP)}$	0.83	121.48	0.0030 <0.0001	1.00
	2	$B = 2.45 + 0.17 \text{ (DAP}^2\text{)}$	0.85	119.65	0.7250 <0.0001	1.00
	3	$B = - 37.83 + 6.55 \text{ (DAP)} - 1.85 \text{ (HT)}$	0.83	123.12	0.2039 <0.0001	1.13 1.13
	4	$B = - 78.41 + 6.48 \text{ (DAP)} + 9.88 \text{ (HC)}$	0.95	104.75	<0.0001 <0.0001 0.0002	1.00 1.00
	5	$B = 9.00 + 0.17 \text{ (DAP}^2\text{)} - 0.83 \text{ (HT)}$	0.85	121.57	0.7380 <0.0001 0.8003	1.09 1.09
	6	$B = - 24.99 + 0.17 \text{ (DAP}^2\text{)} + 10.13 \text{ (HC)}$	0.98	91.62	<0.0001 <0.0001 <0.0001	1.00 1.00
	7	$B = - 60.00 + 6.73 \text{ (DAP)} - 2.73 \text{ (HT)} + 10.10 \text{ (HC)}$	0.96	103.50	0.0016 <0.0001 0.1366 0.0001	1.13 1.13 1.02
	8	$B = - 12.19 + 0.18 \text{ (DAP}^2\text{)} + ((-1.67)\text{(HT)}) + 10.27 \text{ (HC)}$	0.99	90.34	0.1897 <0.0001 0.1352 <0.0001	1.10 1.10 1.01
	9	$B = - 5.60 + 6.24 \text{ (HT)}$	0.06	145.08	0.9298 0.4077	1.00
	10	$B = 23.95 + 8.84 \text{ (HC)}$	0.10	144.38	0.2975 0.2626	1.00
	11	$B = - 2.49 + 1.97 \text{ (LN DAP)} + 0.93 \text{ (LN HC)}$	0.98	-20.36	<0.0001	1.00

Especie	N°	Modelo	R2	AIC	P-valor	VIF
					<0.0001 <0.0001	1.00
<i>Geoffroea spinosa</i>	1	$B = - 182.37 + 15.48 \text{ (DAP)}$	0.74	243.35	0.0009 <0.0001	1.00
	2	$B = - 31.69 + 0.35 \text{ (DAP}^2\text{)}$	0.80	237.77	0.2060 <0.0001	1.00
	3	$B = - 242.39 + 14.46 \text{ (DAP)} + 8.36 \text{ (HT)}$	0.75	244.94	0.0428 <0.0001 0.5581	1.65 1.65
	4	$B = - 394.64 + 14.38 \text{ (DAP)} + 58.28 \text{ (HC)}$	0.91	223.13	<0.0001 <0.0001 <0.0001	1.02 1.02
	5	$B = - 109.63 + 0.33 \text{ (DAP}^2\text{)} + 9.18 \text{ (HT)}$	0.81	239.07	0.3011 <0.0001 0.4460	1.54 1.54
	6	$B = - 227.60 + 0.32 \text{ (DAP}^2\text{)} + 52.04 \text{ (HC)}$	0.93	216.66	<0.0001 <0.0001 <0.0001	1.04 1.04
	7	$B = - 415.45 + 14.01 \text{ (DAP)} + 3.11 \text{ (HT)} + 57.87 \text{ (HC)}$	0.91	224.97	<0.0001 <0.0001 0.7224 <0.0001	1.65 1.67 1.03
	8	$B = - 277.04 + 0.31 \text{ (DAP}^2\text{)} + 6.08 \text{ (HT)} + 51.47 \text{ (HC)}$	0.94	217.75	0.0007 <0.0001 0.3958 <0.0001	1.56 1.55 1.05
	9	$B = - 392.09 + 54.96 \text{ (HT)}$	0.35	262.71	0.0304 0.0044	1.00
	10	$B = - 159.43 + 74.92$	0.28	264.90	0.1763 0.0130	1.00
	11	$B = - 4.05 + 2.17 \text{ (LN DAP)} + 1.55 \text{ (LN HC)}$	0.81	33.08	0.0008	1.01

Especie	N°	Modelo	R2	AIC	P-valor	VIF
					<0.0001 0.0024	1.01
<i>Piscidia carthagenensis</i>	1	$B = - 186.55 + 17.77 \text{ (DAP)}$	0.94	96.57	0.0018 <0.0001	1.00
	2	$B = 11.74 + 0.34 \text{ (DAP2)}$	0.89	101.14	0.6860 0.0001	1.00
	3	$B = - 280.61 + 15.44 \text{ (DAP)} + 11.71 \text{ (HT)}$	0.95	96.10	0.0110 0.0006 0.2186	2.06 2.06
	4	$B = - 267.10 + 14.66 \text{ (DAP)} + 29.21 \text{ (HC)}$	0.99	84.09	<0.0001 <0.0001 0.0027	1.56 1.56
	5	$B = - 176.99 + 0.28 \text{ (DAP2)} + 18.21 \text{ (HT)}$	0.94	98.49	0.1161 0.0014 0.0903	1.78 1.78
	6	$B = - 119.41 + 0.27 \text{ (DAP2)} + 33.16 \text{ (HC)}$	0.96	93.89	0.0344 0.0002 0.0168	1.51 1.51
	7	$B = - 316.73 + 13.52 \text{ (DAP)} + 6.96 \text{ (HT)} + 6.96 \text{ (HC)}$	0.99	81.52	0.0003 0.0001 0.1286 0.0036	2.33 2.19 1.66
	8	$B = - 227.88 + 0.24 \text{ (DAP2)} + 12.51 \text{ (HT)} + 27.81 \text{ (HC)}$	0.98	89.90	0.0131 0.0007 0.0816 0.0203	2.00 1.95 1.65
	9	$B = - 448.63 + 51.57 \text{ (HT)}$	0.61	112.91	0.0521 0.0131	1.00
	10	$B = - 213.22 + 78.84$	0.58	113.57	0.1451 0.0172	1.00
	11	$B = - 1.84 + 1.65 \text{ (LN DAP)} + 1.16 \text{ (LN HC)}$	0.98	-3.95	0.0052	1.40

Especie	N°	Modelo	R2	AIC	P-valor	VIF
					0.0001 0.0008	1.40
Pisonia aculeata	1	$B = - 18.28 + 2.71 \text{ (DAP)}$	0.65	227.76	0.0215 <0.0001	1.00
	2	$B = 9.36 + 0.06 \text{ (DAP}^2\text{)}$	0.63	229.34	0.0321 <0.0001	1.00
	3	$B = - 21.00 + 2.71 \text{ (DAP)} + 0.36 \text{ (HT)}$	0.65	229.71	0.1702 <0.0001 0.8333	1.00 1.00
	4	$B = - 40.62 + 2.98 \text{ (DAP)} + 6.64 \text{ (HC)}$	0.76	220.01	0.0002 <0.0001 0.0035	1.07 1.07
	5	$B = 5.87 + 0.06 \text{ (DAP}^2\text{)} + 0.46 \text{ (HT)}$	0.63	231.26	0.6762 <0.0001 0.7947	1.00 1.00
	6	$B = - 10.53 + 0.06 \text{ (DAP}^2\text{)} + 6.73 \text{ (HC)}$	0.74	221.97	0.1588 <0.0001 0.0042	1.07 1.07
	7	$B = - 27.23 + 3.07 \text{ (DAP)} - 2.63 \text{ (HT)} + 8.55 \text{ (HC)}$	0.78	219.01	0.0354 <0.0001 0.1127 0.0011	1.10 1.34 1.43
	8	$B = 3.22 + 0.07 \text{ (DAP}^2\text{)} + ((-2.52)\text{(HT)}) + 8.56 \text{ (HC)}$	0.76	221.42	0.7820 <0.0001 0.1431 0.0016	1.10 1.34 1.43
	9	$B = 26.50 + 0.60 \text{ (HT)}$	0.0018	257.43	0.2383 0.8322	1.00
	10	$B = 25.47 + 2.16 \text{ (HC)}$	0.01	257.16	0.0298 0.5864	1.00
	11	$B = - 2.96 + 1.97 \text{ (LN DAP)} + 0.64 \text{ (LN HC)}$	0.75	29.07	0.0003	1.07

Especie	N°	Modelo	R2	AIC	P-valor	VIF
					<0.0001 0.0020	1.07
Salacia sp.	1	$B = - 49.78 + 9.10 \text{ (DAP)}$	0.40	354.04	0.2688 0.0001	1.00
	2	$B = 45.88 + 0.20 \text{ (DAP}^2\text{)}$	0.35	356.67	0.0935 0.0005	1.00
	3	$B = - 125.92 + 7.10 \text{ (DAP)} + 11.65 \text{ (HT)}$	0.51	349.99	0.0204 0.0019 0.0205	1.18 1.18
	4	$B = - 200.52 + 10.28 \text{ (DAP)} + 28.75 \text{ (HC)}$	0.81	319.73	<0.0001 <0.0001 <0.0001	1.02 1.02
	5	$B = - 62.68 + 0.15 \text{ (DAP}^2\text{)} + 12.87 \text{ (HT)}$	0.48	351.47	0.1908 0.0040 0.0115	1.13 1.13
	6	$B = - 104.56 + 0.24 \text{ (DAP}^2\text{)} + 30.10 \text{ (HC)}$	0.79	322.78	0.0002 <0.0001 <0.0001	1.03 1.03
	7	$B = - 194.60 + 10.71 \text{ (DAP)} - 2.12 \text{ (HT)} + 30.25 \text{ (HC)}$	0.82	321.33	<0.0001 <0.0001 0.5598 <0.0001	1.38 1.75 1.50
	8	$B = - 100.89 + 0.24 \text{ (DAP}^2\text{)} + ((-0.77)\text{(HT)}) + 30.67 \text{ (HC)}$	0.80	324.73	0.0027 <0.0001 0.8371 <0.0001	1.53 1.68 1.53
	9	$B = - 44.17 + 18.00 \text{ (HT)}$	0.30	358.82	0.4113 0.0014	1.00
	10	$B = 27.88 + 24.72 \text{ (HC)}$	0.31	358.31	0.4024 0.0011	1.00
	11	$B = - 2.57 + 1.95 \text{ (LN DAP)} + 1.06 \text{ (LN HC)}$	0.97	-25.04	<0.0001	1.00

Especie	N°	Modelo	R2	AIC	P-valor	VIF
					<0.0001 <0.0001	1.00
Tabebuia billbergii	1	$B = - 121.48 + 13.54 \text{ (DAP)}$	0.51	161.58	0.0904 0.0044	1.00
	2	$B = -14.30 + 0.40 \text{ (DAP2)}$	0.52	161.12	0.7016 0.0035	1.00
	3	$B = - 224.74 + 8.15 \text{ (DAP)} + 15.14 \text{ (HT)}$	0.57	161.69	0.0542 0.1816 0.2340	2.29 2.29
	4	$B = - 168.26 + 8.63 \text{ (DAP)} + 20.70 \text{ (HC)}$	0.92	137.61	0.0001 0.0004 <0.0001	1.16 1.16
	5	$B = - 152.65 + 0.25 \text{ (DAP2)} + 14.30 \text{ (HT)}$	0.58	161.41	0.2344 0.1577 0.2578	2.32 2.32
	6	$B = - 97.66 + 0.25 \text{ (DAP2)} + 20.44 \text{ (HC)}$	0.92	137.68	0.0003 0.0004 <0.0001	1.18 1.18
	7	$B = - 193.38 + 7.39 \text{ (DAP)} + 3.88 \text{ (HT)} + 20.09 \text{ (HC)}$	0.93	138.91	0.0017 0.0137 0.4922 <0.0001	2.29 2.51 1.27
	8	$B = - 133.06 + 0.21 \text{ (DAP2)} + 3.90 \text{ (HT)} + 19.87 \text{ (HC)}$	0.93	138.99	0.0316 0.0140 0.4920 <0.0001	2.33 2.51 1.27
	9	$B = - 254.11 + 28.00 \text{ (HT)}$	0.49	162.07	0.0344 0.0055	1.00
	10	$B = - 57.42 + 25.70 \text{ (HC)}$	0.75	152.28	0.0768 0.0001	1.00
	11	$B = - 1.76 + 1.63 \text{ (LN DAP)} + 0.93 \text{ (LN HC)}$	0.97	-6.05	0.0020	1.03

Espece	N°	Modelo	R2	AIC	P-valor	VIF
					<0.0001 <0.0001	1.03
Tabebuia chrysantha	1	$B = - 57.39 + 8.10 \text{ (DAP)}$	0.41	1039.57	0.0032 <0.0001	1.00
	2	$B = 21.44 + 0.18 \text{ (DAP}^2\text{)}$	0.38	1044.16	0.0467 <0.0001	1.00
	3	$B = - 106.39 + 6.81 \text{ (DAP)} + 7.02 \text{ (HT)}$	0.44	1036.73	0.0004 <0.0001 0.0309	1.35 1.35
	4	$B = - 170.33 + 8.99 \text{ (DAP)} + 22.54 \text{ (HC)}$	0.78	950.12	<0.0001 <0.0001 <0.0001	1.01 1.01
	5	$B = - 53.84 + 0.15 \text{ (DAP}^2\text{)} + 8.49 \text{ (HT)}$	0.43	1038.88	0.0727 <0.0001 0.0081	1.27 1.27
	6	$B = -82.12 + 0.20 \text{ (DAP}^2\text{)} + 22.35 \text{ (HC)}$	0.74	963.96	<0.0001 <0.0001 <0.0001	1.01 1.01
	7	$B = - 164.37 + 9.20 \text{ (DAP)} - 1.08 \text{ (HT)} + 22.86 \text{ (HC)}$	0.78	951.85	<0.0001 <0.0001 0.6141 <0.0001	1.46 1.51 1.13
	8	$B = - 92.48 + 0.20 \text{ (DAP}^2\text{)} + 1.38 \text{ (HT)} + 21.96 \text{ (HC)}$	0.54	965.56	<0.0001 <0.0001 0.5369 <0.0001	1.35 1.40 1.12
	9	$B = - 84.42$	0.22	1065.00	0.0139 <0.0001	1.00
	10	$B = 1.05 + 19.57 \text{ (HC)}$	0.28	1057.92	0.9466 <0.0001	1.00
	11	$B = - 2.86 + 1.98 \text{ (LN DAP)} + 1.06 \text{ (LN HC)}$	0.91	4.55	<0.0001	1.02

Especie	N°	Modelo	R2	AIC	P-valor	VIF
					<0.0001 <0.0001	1.02
Terminalia valverdeae	1	$B = - 33.17 + 7.62 \text{ (DAP)}$	0.38	109.40	0.6764 0.0796	1.00
	2	$B = 42.00 + 0.17 \text{ (DAP2)}$	0.34	109.91	0.4020 0.1003	1.00
	3	$B = - 115.77 + 5.85 \text{ (DAP)} + 10.22 \text{ (HT)}$	0.41	110.88	0.4960 0.2770 0.5723	1.58 1.58
	4	$B = - 214.36 + 10.64 \text{ (DAP)} + 28.55 \text{ (HC)}$	0.79	101.68	0.0241 0.0054 0.0142	1.14 1.14
	5	$B = - 77.46 + 0.12 \text{ (DAP2)} + 12.17 \text{ (HT)}$	0.39	111.15	0.6678 0.3143 0.4955	1.47 1.47
	6	$B = - 101.04 + 0.23 \text{ (DAP2)} + 27.03 \text{ (HC)}$	0.71	104.35	0.1482 0.0136 0.0308	1.13 1.13
	7	$B = - 193.96 + 11.32 \text{ (DAP)} - 3.31 \text{ (HT)} + 29.55 \text{ (HC)}$	0.79	103.55	0.1308 0.0274 0.7941 0.0295	2.08 1.83 1.33
	8	$B = - 116.89 + 0.22 \text{ (DAP2)} + 1.89 \text{ (HT)} + 26.51 \text{ (HC)}$	0.72	106.32	0.4089 0.0631 0.8924 0.0628	1.84 1.64 1.26
	9	$B = - 145.10 + 22.58 \text{ (HT)}$	0.27	110.80	0.4020 0.1520	1.00
	10	$B = 42.56 + 15.94 \text{ (HC)}$	0.15	112.20	0.5685 0.3081	1.00
	11	$B = - 2.64 + 2.00 \text{ (LN DAP)} + 1.01 \text{ (LN HC)}$	0.98	-4.67	0.0009	1.17

Especie	N°	Modelo	R2	AIC	P-valor	VIF
					<0.0001 <0.0001	1.17
Trichilia sp.	1	$B = - 88.57 + 11.15 \text{ (DAP)}$	0.72	121.55	0.0190 0.0005	1.00
	2	$B = - 0.18 + 0.31 \text{ (DAP2)}$	0.70	122.25	0.9916 0.0007	1.00
	3	$B = - 164.96 + 7.08 \text{ (DAP)} + 14.83 \text{ (HT)}$	0.92	108.80	0.0001 0.0013 0.0012	1.48 1.48
	4	$B = - 123.95 + 10.45 \text{ (DAP)} + 11.36 \text{ (HC)}$	0.79	120.13	0.0068 0.0007 0.1188	1.04 1.04
	5	$B = - 108.31 + 0.19 \text{ (DAP2)} + 14.91 \text{ (HT)}$	0.90	111.57	0.0040 0.0037 0.0026	1.53 1.53
	6	$B = - 35.18 + 0.29 \text{ (DAP2)} + 9.95 \text{ (HC)}$	0.75	121.93	0.2674 0.0014 0.1993	1.06 1.06
	7	$B = - 163.89 + 6.92 \text{ (DAP)} + 15.92 \text{ (HT)} - ((2.13) \text{ (HC)})$	0.92	110.60	0.0002 0.0033 0.0070 0.7192	1.59 2.60 1.83
	8	$B = - 108.53 + 0.19 \text{ (DAP2)} + 16.72 \text{ (HT)} + ((-3.68) \text{ (HC)})$	0.90	113.07	0.0060 0.0078 0.0089 0.5728	1.60 2.56 1.78
	9	$B = - 142.57 + 23.19 \text{ (HT)}$	0.72	121.38	0.0065 0.0005	1.00
	10	$B = - 7.33 + 18.00 \text{ (HC)}$	0.18	134.32	0.8871 0.1654	1.00
	11	$B = - 2.50 + 1.97 \text{ (LN DAP)} + 0.98 \text{ (LN HC)}$	0.82	13.58	0.0393	1.01

Especie	N°	Modelo	R2	AIC	P-valor	VIF
					0.0007 0.0051	1.01
<i>Ziziphus thyrsoflora</i>	1	$B = - 138.02 + 13.00 \text{ (DAP)}$	0.46	905.63	<0.0001 <0.0001	1.00
	2	$B = - 27.26 + 0.35 \text{ (DAP}^2\text{)}$	0.56	890.16	0.0533 <0.0001	1.00
	3	$B = - 213.83 + 9.24 \text{ (DAP)} + 19.38 \text{ (HT)}$	0.55	894.03	<0.0001 <0.0001 0.0003	1.45 1.45
	4	$B = - 260.26 + 11.39 \text{ (DAP)} + 69.80 \text{ (HC)}$	0.86	804.89	<0.0001 <0.0001 <0.0001	1.02 1.02
	5	$B = - 125.81 + 0.27 \text{ (DAP}^2\text{)} + 17.07 \text{ (HT)}$	0.63	878.88	0.0001 <0.0001 0.0004	1.40 1.40
	6	$B = - 148.78 + 0.29 \text{ (DAP}^2\text{)} + 64.73 \text{ (HC)}$	0.89	783.75	<0.0001 <0.0001 <0.0001	1.04 1.04
	7	$B = - 257.49 + 11.58 \text{ (DAP)} - 1.12 \text{ (HT)} + 70.72 \text{ (HC)}$	0.86	806.77	<0.0001 <0.0001 0.7383 <0.0001	1.50 1.91 1.34
	8	$B = - 150.80 + 0.29 \text{ (DAP}^2\text{)} + 0.47 \text{ (HT)} + 64.37 \text{ (HC)}$	0.89	785.72	<0.0001 <0.0001 0.8678 <0.0001	1.41 1.75 1.30
	9	$B = - 162.96 + 34.18 \text{ (HT)}$	0.39	915.85	<0.0001 <0.0001	1.00
	10	$B = - 84.44 + 78.56 \text{ (HC)}$	0.51	898.96	0.0001 <0.0001	1.00
	11	$B = - 2.10 + 1.96 \text{ (LN DAP)} + 1.08 \text{ (LN HC)}$	0.95	-60.31	<0.0001	1.00

Especie	N°	Modelo	R2	AIC	P-valor	VIF
					<0.0001 <0.0001	1.00

R2 = coeficiente de determinación múltiple =; AIC = criterio de información de Akaike; VIF = factor de inflación de varianza; p-valor = nivel de significancia, B = Biomasa total aérea.