

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA DE
Cedrelinga cateniformis DUCKE. EN EL
ALTO MAYO, SAN MARTÍN**

Presentado por:

Angel Daniel Núñez Silvestre

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL

Lima - Perú
2018

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por el ex-alumno de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. ANGEL DANIEL NÚÑEZ SILVESTRE, intitulado “ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA DE CEDRELINGA CATENIFORMIS DUCKE. EN EL ALTO MAYO, SAN MARTÍN ”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de

En consecuencia queda en condición de ser considerado APTO y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 11 de Enero de 2018

.....
Ing. Wilfredo Salvino Ojeda Ojeda
Presidente

.....
Ing. Rosa María Hermoza Espezua
Miembro

.....
Ing. Juan Carlos Ocaña Canales
Miembro

.....
Ing. Carlos Rafael Vargas Salas
Asesor

DEDICATORIA

A mi familia por el apoyo y cariño constante.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la FCF, a mi asesor y profesor Carlos Vargas por la dedicación para la culminación de este trabajo, a todo el equipo profesional de Solidaridad en especial a los ingenieros Benjamin Kroll y Ezio Varese por la confianza y apoyo depositado y a los caficultores en cuyas fincas se hicieron los trabajos de campo, su aporte para esta investigación es invaluable.

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue estimar la cantidad de biomasa de la especie *Cedrelinga cateniformis* Ducke., una especie con alto potencial maderable y de uso frecuente en sistemas agroforestales en la cuenca del Alto Mayo, en la región San Martín. La recolección de información se llevó a cabo en dos fincas con sistemas agroforestales propiedad de beneficiarios del proyecto “Caficultura, carbono y conocimiento para REDD en el Perú” de la ONG Solidaridad.

Se determinó una ecuación para estimar biomasa aérea de una muestra de 32 árboles de *Cedrelinga cateniformis*. Se utilizó una metodología basada en muestreo no destructivo midiendo diámetros a diferentes alturas, DAP, altura total, y longitud y diámetro de ramas principales, haciendo uso de un Relascopio de Bitterlich. De todos los árboles seleccionados como material de ensayo se extrajo tarugos, utilizando un Barreno de Pressler de 5 mm de diámetro. Se determinaron los volúmenes de las diferentes secciones del fuste con los diámetros y longitudes a diferentes alturas utilizando la fórmula de Smalian. El volumen total del fuste se determinó como la suma de los volúmenes de las secciones calculadas. El volumen de las ramas se calculó con los diámetros medios y longitud de la rama aplicando la fórmula de Huber, el volumen total de las ramas de un árbol se determinó como la suma de los volúmenes de todas las ramas principales. El volumen total de cada árbol se determinó como la suma del volumen del fuste y el volumen de las ramas principales. La biomasa seca de un árbol se determinó multiplicando su volumen total por la densidad básica de la madera de la especie. La información se organizó en una base de datos para su procesamiento y posterior elaboración de la ecuación de biomasa, la que se realizó siguiendo el análisis de regresión basado en el Método de los Mínimos Cuadrados. La ecuación que estimó con mayor precisión la biomasa aérea total de los 32 árboles estudiados de la especie *Cedrelinga cateniformis* fue: $\ln \text{BAT} = -2,96 + 2,66 \times \ln \text{DAP}$

Por otro lado, un objetivo específico de la investigación fue la aplicación de la metodología recién ajustada para estimar la biomasa aérea total de la especie *Croton matourensis*, en cuyo caso se obtuvo como ecuación del mejor ajuste: $\ln \text{BAT} = -3,74 + 2,07 \times \ln \text{DAP} + 0,97 \times \ln \text{HT}$.

Palabras clave: Biomasa, ecuación alométrica, DAP, *Cedrelinga cateniformis* Ducke., *Croton matourensis* Aubl.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. Introducción	1
II. Revisión de Literatura	3
1. Descripción de las especies.....	3
1.1. <i>Cedrelinga cateniformis</i>	3
1.1.1. Taxonomía.....	3
1.1.2. Distribución de la especie.....	3
1.1.3. Ecología y hábitat.....	3
1.1.4. Descripción botánica.....	4
1.1.5. Fenología.....	5
1.1.6. Silvicultura	5
1.1.7. Anatomía de la madera	6
1.1.8. Propiedades físicas de la madera	6
1.1.9. Usos de la madera.....	7
1.1.10. Usos en agroforestería.....	7
1.2. <i>Croton matourensis</i>	7
1.2.1. Taxonomía.....	7
1.2.2. Distribución geográfica y hábitat	7
1.2.3. Descripción botánica.....	7
2. Sistemas agroforestales.....	8
2.1. Sistemas agroforestales de café bajo sombra	9
3. El cambio climático.....	10
3.1. El efecto invernadero	10
3.2. Opciones de mitigación del cambio climático.....	11
4. Mercados de carbono.....	13
4.1. Mercado voluntario	13
5. Carbono	14
5.1. Ciclo del carbono	14
5.2. Captura de carbono	15
5.2.1. Bosques y fijación de carbono.....	16
5.2.2. Plantaciones forestales y fijación de carbono	17
5.2.3. Sistemas agroforestales y fijación de carbono.....	18
6. Biomasa forestal	19
6.1. Estimación de biomasa forestal.....	20
6.2. Métodos de estimación de biomasa.....	20
7. Estimación del volumen y biomasa forestal mediante modelos matemáticos.....	22
III. Materiales y Métodos	25
1. Descripción del área de estudio	25
1.1. Localización.....	25
1.2. Vías de acceso.....	26
1.3. Clima.....	26
1.4. Ecología.....	26
1.5. Hidrografía	26
1.6. Fisiografía y relieve	27
1.7. Suelos	27
2. Materiales, equipos y herramientas.....	27
2.1. Materiales.....	27
2.2. Equipos.....	28

2.3.	Herramientas.....	28
3.	Metodología	28
3.1.	Selección de la zona de trabajo.....	28
3.2.	Coordinaciones locales y reconocimiento de la zona de estudio.....	28
3.3.	Determinación del tamaño de la muestra	29
3.4.	Trabajo de campo.....	29
3.4.1.	Selección de los individuos.....	30
3.4.2.	Ubicación y codificación de los árboles en pie.....	30
3.4.3.	Ubicación del punto de medición	31
3.4.4.	Medición de variables.....	31
3.4.5.	Toma de muestras para cálculo de densidad	35
3.5.	Transporte.....	36
3.6.	Trabajo de laboratorio.....	36
3.6.1.	Calculo del volumen verde de las muestras.....	36
3.6.2.	Secado de muestras	37
3.7.	Trabajo de gabinete.....	37
3.7.1.	Transformación de las medidas realizadas con el relascopio de Bitterlich.....	37
3.7.2.	Determinación de los diámetros de los fustes.....	37
3.7.3.	Determinación de los volúmenes de los árboles	38
3.7.4.	Determinación de la densidad básica de la madera.....	39
3.7.5.	Determinación de la biomasa aérea de los árboles.....	40
3.8.	Cálculo del contenido de carbono.....	40
3.9.	Construcción de las ecuaciones de biomasa.....	41
3.10.	Selección de la mejor ecuación	42
IV.	Resultados y discusión.....	43
1.	Selección de la zona de trabajo.....	43
2.	Coordinaciones locales y autorización de los propietarios de fincas.....	43
3.	Selección de individuos.....	43
4.	Medición de variables.....	44
5.	Determinación de la densidad básica de la madera	46
6.	Determinación del volumen	48
7.	Determinación de la biomasa.....	51
7.1.	Biomasa seca de fuste.....	52
7.2.	Biomasa seca de ramas.....	53
7.3.	Biomasa aérea total.....	54
7.4.	Distribución de la biomasa aérea según componentes.....	54
8.	Cálculo del contenido de carbono y CO₂ equivalente (CO₂ eq)	56
9.	Elaboración de ecuaciones para biomasa aérea total.....	57
9.1.	Análisis de las ecuaciones en función de la Prueba de Fisher.....	58
9.2.	Análisis de las ecuaciones en función de la Prueba “t” de Student.....	59
10.	Selección de la mejor ecuación	60
11.	Aplicación de la metodología empleada para estimar biomasa de <i>Croton matourensis</i>	60
11.1.	Elaboración de ecuaciones de biomasa aérea total de <i>Croton matourensis</i>	60
11.1.1.	Análisis de las ecuaciones de <i>Croton matourensis</i> en función de la Prueba de Fisher.....	61
11.1.2.	Análisis de las ecuaciones de <i>Croton matourensis</i> en función de la Prueba “t” de Student	62
11.2.	Selección de la mejor ecuación de <i>Croton matourensis</i>	63
V.	Conclusiones	65
VI.	Recomendaciones.....	67

VII. Referencias bibliográficas.....	69
VIII. Anexos	77
Anexo 1 Diametros a diferentes alturas de la especie <i>Cedrelinga cateniformis</i>.....	77
Anexo 2 Variables dasométricas de la especie <i>Croton matourensis</i>.....	78
Anexo 3 Diametros a diferentes alturas de la especie <i>Croton matourensis</i>	79
Anexo 4 Densidad básica de la madera de la especie <i>Croton matourensis</i>.....	80
Anexo 5 Volumen total de la especie <i>Croton matourensis</i>.....	81
Anexo 6 Biomasa aérea total de la especie <i>Croton matourensis</i>.....	82
Anexo 7 Carbono contenido en la biomasa aérea total de la especie <i>Croton matourensis</i>	83

Índice de tablas

	Página
Tabla 1:	Modelos de ecuaciones para estimar biomasa aérea total..... 41
Tabla 2:	Distribución diamétrica de los 32 árboles 43
Tabla 3:	DAP y altura total de los árboles de Tornillo evaluados..... 45
Tabla 4:	Densidad básica de la madera de <i>Cedrelinga cateniformis</i> 46
Tabla 5:	Volumen de los árboles muestra de <i>Cedrelinga cateniformis</i> en m ³ 48
Tabla 6:	Biomasa seca por componente de los árboles muestra de <i>Cedrelinga cateniformis</i> 51
Tabla 7:	Distribución de biomasa seca en fuste y ramas de árboles muestra de <i>Cedrelinga cateniformis</i> 54
Tabla 8:	Carbono almacenado en la biomasa de los árboles muestra de <i>Cedrelinga cateniformis</i> 56
Tabla 9:	Ecuaciones de biomasa aérea total de los arboles muestra de <i>Cedrelinga cateniformis</i> 58
Tabla 10:	Análisis de las ecuaciones en función de la prueba de Fisher 58
Tabla 11:	Análisis de las ecuaciones en función de la Prueba “t” de Student. 59
Tabla 12:	Ecuaciones de biomasa aérea total de los arboles muestra de <i>Cedrelinga cateniformis</i> 59
Tabla 13:	Selección de la mejor ecuación según el CME. 60
Tabla 14:	Selección de la mejor ecuación biomasa aérea total de los árboles de <i>Cedrelinga cateniformis</i> 60
Tabla 15:	Ecuaciones de biomasa aérea total de los árboles muestra de <i>Croton matourensis</i> 61
Tabla 16:	Análisis de las ecuaciones de <i>Croton matourensis</i> en función de la prueba de Fisher 61
Tabla 17:	Análisis de las ecuaciones de <i>Croton matourensis</i> en función de la Prueba “t” de Student. 62
Tabla 18:	Ecuaciones de biomasa aérea total de los árboles muestra de <i>Croton matourensis</i> 62
Tabla 19:	Selección de la mejor ecuación según el CME. 63
Tabla 20:	Selección de la mejor ecuación biomasa aérea total de los árboles de <i>Croton matourensis</i> 63

Índice de figuras

	Página
Figura 1: El ciclo global del carbono.....	14
Figura 2: Ubicación de los distritos Soritor y Habana.	25
Figura 3: Esquema de trabajo en campo.....	29
Figura 4: Ubicación de individuos.....	30
Figura 5: Ubicación del punto de medición	31
Figura 6: Medición de variables con el relascopeo de Bitterlich	32
Figura 7: Medición de altura total.	33
Figura 8: Medición de diámetros a diferentes alturas, según tamaño del fuste.....	34
Figura 9: Medición de diámetro y longitud de las ramas.....	35
Figura 10: Extracción de tarugos.	36
Figura 11: Distribución diamétrica de los árboles muestra de <i>Cedrelinga cateniformis</i>	44
Figura 12: Relación entre el DAP (cm) y la altura total (m).....	46
Figura 13: Relación entre el DAP y la densidad básica de la madera.	48
Figura 14: Relación del DAP (cm) y el volumen total de los árboles muestra de <i>Cedrelinga cateniformis</i>	50
Figura 15: Relación del DAP (cm) y el volumen del fuste de los arboles muestra de <i>Cedrelinga cateniformis</i>	50
Figura 16: Relación del DAP (cm) y el volumen de las ramas de los árboles muestra de <i>Cedrelinga cateniformis</i>	51
Figura 17: Relación del DAP (cm) y la biomasa seca (kg) de fuste de <i>Cedrelinga cateniformis</i>	53
Figura 18: Relación del DAP (cm) y la biomasa seca (kg) de ramas de <i>Cedrelinga cateniformis</i>	53
Figura 19: Biomasa aérea total de árboles muestra de <i>Cedrelinga cateniformis</i>	54
Figura 20: Distribución de biomasa en fuste y ramas de árboles muestra de <i>Cedrelinga cateniformis</i>	56

Índice de anexos

Anexo 1	Diametros a diferentes alturas de la especie <i>Cedrelinga cateniformis</i>	77
Anexo 2	Variables dasométricas de la especie <i>Croton matourensis</i>	78
Anexo 3	Diametros a diferentes alturas de la especie <i>Croton matourensis</i>	79
Anexo 4	Densidad básica de la madera de la especie <i>Croton matourensis</i>	80
Anexo 5	Volumen total de la especie <i>Croton matourensis</i>	81
Anexo 6	Biomasa aérea total de la especie <i>Croton matourensis</i>	82
Anexo 7	Carbono contenido en la biomasa aérea total de la especie <i>Croton matourensis</i>	83

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es el cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera, y que se añade a la variabilidad natural del clima. El cuarto informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) confirma que el calentamiento global de la superficie del planeta ha sido inducido por actividades humanas; específicamente por el aumento de la concentración de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero - GEI, como consecuencia del incremento de las actividades productivas y económicas a partir de la revolución industrial, y de la tendencia actual en los patrones mundiales de consumo y uso no sostenible de los recursos naturales, en especial de los combustibles fósiles (IPCC 2013).

En el contexto del cambio climático global, la biomasa forestal cumple un papel fundamental debido a que desempeña la función de sumidero de los gases de efecto invernadero, principalmente en la fijación y almacenamiento de carbono a través de la fotosíntesis. Es así que los estudios de estimación de biomasa en bosques y ecosistemas forestales son esenciales para conocer la cantidad aproximada de carbono almacenado.

Los sistemas agroforestales con sombra diversificada son considerados sistemas potenciales en la captura de carbono. Estos sistemas representan una opción para los productores de café, no solamente para proporcionar un valor ecológico agregado al propiciar la captación de carbono, sino también para contar con una fuente económica adicional que les permita integrarse al desarrollo sustentable del país. (Ortiz-Ceballos, 2004; Peña del Valle *et al.*, 2006; Soto-Pinto *et al.*, 2006). Las opciones económicas adicionales a la producción de café que ofrecen dichos ecosistemas se materializan a través del pago de bonos por captura de carbono o por medio de la producción de madera y leña (Peeters *et al.* 2003).

En la zona de Alto Mayo, región San Martín, una de las actividades económicas más importantes es el cultivo de café, generalmente en sistemas agroforestales de café bajo sombra.

Solidaridad es una institución que viene implementando estrategias de Caficultura Climáticamente Inteligente (CCI) con productores cafetaleros en la zona del Alto Mayo, brindando asesoría técnica y capacitación en buenas prácticas agrícolas en el manejo del café en sistemas agroforestales donde el Tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Ducke.) es una especie arbórea utilizada con frecuencia, brindando la sombra que el cafetal requiere para su óptima producción. Solidaridad en la actualidad viene fomentando programas y estrategias de adaptación y mitigación ante el cambio climático, por lo cual los resultados de la presente investigación serán utilizados como herramienta para el desarrollo de este tipo de proyectos beneficiando a los productores de la zona en mención permitiendo una mejora en sus ingresos y calidad vida, lo que ayuda a prevenir la deforestación por cambio o nuevo uso de tierra (Cabrera *et al.* 2017).

En este contexto, el objetivo general de esta investigación es contribuir al estudio de la captura de carbono por árboles del bosque tropical amazónico mediante la estimación de la biomasa aérea de especímenes de *Cedrelinga cateniformis* Ducke. cultivados en sistemas agroforestales en los distritos de Soritor y Habana de la zona de Alto Mayo, San Martín. Los objetivos específicos son: a) desarrollar ecuaciones alométricas a partir de características dendrométricas (diámetro y altura) para estimar la biomasa aérea de la especie *Cedrelinga cateniformis* Ducke, b) estimar la biomasa aérea contenida en la población de árboles de Tornillo presente en los sistemas agroforestales del sector de Soritor, así como una aproximación del CO₂ capturado por dicha población, y c) aplicar la metodología desarrollada, en la determinación de la biomasa aérea de Urcociprana (*Croton matourensis* Aublet.), otra especie de uso frecuente en sistemas agroforestales en el sector de Soritor.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES

1.1. *Cedrelinga cateniformis*

1.1.1. TAXONOMÍA

Nombre Común: Tornillo.

Nombre Científico: *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke.

Familia: FABACEAE (Mimosaceae)

1.1.2. DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE

Reynel *et al.* (2003) mencionan que la especie se encuentra en la región amazónica, en altitudes de hasta 1200 metros sobre el nivel del mar.

Su distribución abarca la Amazonía, desde Perú hasta Brasil, Bolivia, Colombia, Ecuador, Surinam y Guyana Francesa (Baluarte y Álvarez 2015). Asimismo, Aróstegui (1974) señala que en el Perú se encuentra en los departamentos de Loreto (Iquitos, Yurimaguas), Ucayali (Pucallpa), Huánuco (Tingo María), Cusco (Urubamba), San Martín y Madre de Dios.

1.1.3. ECOLOGÍA Y HABITAT

Aróstegui (1982) menciona que el Tornillo se desarrolla en las formaciones ecológicas de bosque seco tropical (bs-T), bosque húmedo tropical (bh-T), bosque húmedo sub-tropical (bh-ST) y bosque muy húmedo sub-tropical (bmh-ST).

El Tornillo crece en una amplia variedad de suelos y climas, no es una especie exigente en cuanto a fertilidad de los suelos (López 1980). Es una especie que se encuentra en áreas de pluviosidad elevada y constante. En cuanto a exigencias de luz, es una especie con tendencia esciófita, presente en bosques primarios, en suelos arcillosos, usualmente ácidos, en zonas bien drenadas y con pedregosidad baja o nula (Reynel *et al.* 2003).

1.1.4. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Reynel *et al.* (2003) describen al Tornillo como un árbol de 0,5 m a 2,0 m de diámetro a la altura del pecho y de 20 m a 40 m de altura total, con fuste cilíndrico, la ramificación desde el segundo o tercer tercio y la base del fuste recta.

La corteza externa es de agrietada a fisurada, color marrón pardo a rojizo, con ritidoma de unos 3 cm a 5 cm de ancho por unos 8 cm a 13 cm de largo; mientras que la corteza interna es homogénea, de color crema a rosado blanquecino y sin secreciones (Reynel *et al.* 2003).

Las hojas son compuestas bipinnadas, alternas y dispuestas en espiral, de unos 30 cm a 40 cm de longitud, el peciolo de unos 6 cm a 30 cm de longitud, las hojas usualmente con 4 pinas, las zonas de articulación de las pinas con una glándula de unos 2 mm a 5 mm de diámetro, las láminas foliares ovadas, asimétricas, de unos 4 cm a 15 cm de longitud y 2 cm a 9 cm de ancho, enteras, el ápice acuminado, la base aguda e inequilátera, la nervación pinnada con 5 a 7 pares de nervios secundarios, los nervios terciarios muy paralelos y transversales al nervio central, las hojas son glabras (Reynel *et al.* 2003).

Las inflorescencias son en panículas de 12 cm a 30 cm de longitud, que contienen numerosas cabezuelas agrupadas en manojos; las cabezuelas son de 2,5 cm a 3,5 cm de longitud, con pedúnculos de 1 a 2 cm de longitud. Las flores son pequeñas y hermafroditas, con longitud que va de 1 cm a 1,5 cm, actinomorfas, con cáliz y corola presentes, el caliz pequeño, de 1 mm a 2 mm de longitud, la corola blanquecina, de 4 mm a 5 mm de longitud, tubular, con 5 dientes; androceo con muy numerosos estambres de 1 mm a 1,5 mm de longitud, el pistilo único con un estilo largo y estigma obsoleto. Los frutos son legumbres muy largas y aplanadas, estrechadas entre las semillas y revirada en helicoide (Reynel *et al.* 2003).

Esta especie es reconocible por su fuste cilíndrico, sin modificaciones en la base, la corteza externa agrietada a fisurada, color marrón rojizo o marrón oscuro, las hojas bipinnadas con folíolos muy asimétricos y los frutos estrechos y alargados, revirados. Estos últimos, al ser vistos de lejos, semejan grandes tornillos, y de allí el nombre común de esta especie (Reynel *et al.* 2003).

1.1.5. FENOLOGÍA

El Tornillo es una especie perennifolia. La floración se da mayormente a fines de la estación seca, entre noviembre y diciembre. En Iquitos, la floración ocurre entre mediados de octubre a fines de noviembre. La fructificación empieza a inicios de la estación de lluvias, entre diciembre y febrero. Los frutos se producen de diciembre a marzo en Perú (Reynel *et al.* 2003; López 1980).

Aróstegui y Diaz (1992) mencionan que el proceso desde la floración hasta la maduración del fruto demora unos cinco meses. Por otro lado, Reynel *et al.* (2003) mencionan que en algunas zonas de la Amazonía se ha observado que la producción de semilla no siempre es anual. Existen años en que algunos árboles, en ciertas localidades, no producen frutos.

1.1.6. SILVICULTURA

Reynel *et al.* (2003) mencionan que la propagación por semillas es exitosa. No se recomienda ningún tratamiento pregerminativo, sino sembrar las semillas inmediatamente luego de cosechadas. Las semillas pueden sembrarse directamente en camas de vivero y tienen aparentemente un comportamiento ortodoxo al almacenamiento. Por otro lado, Vidaurre (1994 citado por Vega 2010) indica que la semilla de Tornillo necesita niveles bajos de iluminación (7% de iluminación relativa) para germinar pero una vez que esto se ha logrado, las plántulas requieren una intensidad relativa de iluminación de 50% para poder desarrollar competitivamente en su medio; intensidades menores tienden a perjudicar la regeneración.

Claussi *et al.* (1992 citado por Vega 2010) indican que con plántulas de cinco meses de Tornillo trasplantados a raíz desnuda muestran un excelente prendimiento, incluso en campo abierto. Asimismo Aróstegui y Diaz. (1992) recomiendan usar plántulas no mayores de tres meses de edad. A mayor edad de los plántulas, la supervivencia con este método de trasplante baja.

El Tornillo es una especie de crecimiento gregario que crece bien en plantaciones masivas a campo abierto. Tornillo crece mal sobre los suelos compactados de antiguos pastizales. El uso anterior del suelo por chacras afecta levemente el desarrollo de la especie. En Jenaro Herrera, el crecimiento máximo se observa en plantaciones de enriquecimiento de bosque primario explotado y correctamente aperturado o en campos abiertos recientemente (Claussi *et al.* 1992 citado por Vega 2010).

En cuanto a plantaciones, en Jenaro Herrera se reportaron diámetros promedio de 14 cm y 22 cm y alturas totales promedios de 17 m y 20 m en 9 y 15 años respectivamente, con fustes de calidad aceptable, en plantaciones a 3 m por 3 m de espaciamiento; la supervivencia de plantaciones de la especie ha sido alta con cierto mantenimiento (limpieza periódica y un raleo fitosanitario del 10% a los 12 años). El área de la plantación posee suelos franco-arenosos a franco-arcillosos de terrazas altas, mayormente planos, que habían sido desboscados para agricultura unos 10 años antes de la plantación. En un área similar, se reportaron diámetros promedio de 14 cm y 30 cm y alturas totales promedio de 10 m y 25 m en 8 y 19 años, respectivamente, en árboles con conformación variable, desde muy buena hasta inapropiada (Claussi *et al.* 1992 citados por Reynel *et al.* 2003).

En general, el Tornillo es una especie que tiene buen comportamiento a doseles más o menos densos, puros o heterogéneos. En cuanto a rusticidad, es una especie muy buena por la alta resistencia a los daños físicos, a la competencia por luz con otras especies y al ataque de plagas y enfermedades (López 1980).

1.1.7. ANATOMÍA DE LA MADERA

- Color: rosado
- Lustre o brillo: medio
- Grano: recto a entrecruzado
- Textura: gruesa

(Acevedo y Kikata 1994)

1.1.8. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

- Densidad básica: 0,45 g/cm³
- Contracción tangencial: 6,9 %
- Contracción radial: 3,2 %
- Contracción volumétrica: 10,7 %

(Aróstegui 1982)

1.1.9. USOS DE LA MADERA

Reynel *et al.* (2003) mencionan que la madera es de excelente calidad y gran durabilidad, semidura y semipesada, con grano de recto a entrecruzado, textura gruesa y color blanquecino a rosado. Es una madera muy trabajable y tiene amplio mercado en el Perú para construcción, carpintería y ebanistería. Aróstegui (1974) sugiere usos en estructuras, construcciones livianas, carrocería, muebles ordinarios y carpintería de obra en general.

1.1.10. USOS EN AGROFORESTERÍA

Esta especie es deseable en sistemas agroforestales debido a su capacidad de fijar nitrógeno, su rápido crecimiento, buen sistema radicular y copa medianamente amplia (Wightman *et al.* 2006).

En Yurimaguas se instalaron plantaciones agroforestales en multiestrato que incluían como estrato superior al Tornillo (IICA 2006). Por otro lado, en su diseño del sistema agroforestal multiestrato en San Martín, Tirabanti (2011) recomienda el manejo de la especie a una densidad de 10 m por 10 m como sombra para café, a un turno de 15 años.

1.2. *Croton matourensis*

1.2.1. TAXONOMÍA

Nombres Comunes: “Urcociprana”, “Auca atadijo”, “Ucayalino”

Nombre Científico: *Croton matourensis* Aubl.

Familia: EUPHORBIACEAE

1.2.2. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y HÁBITAT

Esta especie se encuentra distribuida ampliamente en la Amazonia y en forma localizada en América Central (Panamá) en altitudes de hasta 1 010 msnm. Se encontró en Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guayanas, Panamá, Perú, Surinam y Venezuela. Esta especie puede ser encontrada en bosques secundarios antiguos y bosques primarios (Santiago *et al.* 2013).

1.2.3. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

El árbol maduro es de fuste cilíndrico y recto con raíces protuberantes gruesas, con alturas de hasta 38 metros y diámetros de 70 cm. La ramificación es monopodial en arboles jóvenes y simpodial en adultos; la copa medianamente extendida y se inicia a partir de los dos tercios o más de la altura total. La corteza externa áspera de colores moteados blanco, gris y pardo, superficialmente agrietada. Al picarla brota látex amarillento translucido, astringente.

Las hojas son de 6 cm a 20 cm de largo por 3 cm a 9 cm de ancho; elípticas a elíptico-oblongos, margen entero, base obtusa, con un par de glándulas capitadas, ápice acuminado, raramente agudo; pecíolo de 1 a 4 cm de largo. El color de las hojas es distintivo, verde en el haz y de aspecto blanco-plateado en el envés, al caducar se tornan color anaranjado a ferrugíneo y, al estrujarlas, despiden una fragancia aromática. Las inflorescencias son en racimos terminales o subterminales de 15 cm a 30 cm de largo, las flores masculinas en la parte superior y femeninas en la inferior (Zevallos, 2004). Los frutos son dehiscentes tipo tricoco de 3 mm a 5 mm de diámetro con tres semillas.

2. SISTEMAS AGROFORESTALES

Un sistema agroforestal se define como una clase de sistema de uso de la tierra que consiste en el manejo asociado de especies forestales y agropecuarias en una misma parcela en el espacio y en el tiempo. Incluye cada práctica de integración, preservación y manejo de especies leñosas perennes en sistemas productivos agrícolas anuales o perennes (SERFOR 2015).

La agroforestería es un conjunto de sistemas tradicionales o modernos de uso de la tierra en los que los árboles se manejan conjuntamente con los cultivos y/o sistemas de producción animal en entornos agrícolas (FAO 2013). Según Somarriba (1990), la agroforestería es una forma de uso de la tierra que cumple con varios criterios de sostenibilidad y que en sus múltiples definiciones satisface al menos tres condiciones básicas: 1) existen, al menos, dos especies de plantas que interactúan biológicamente, 2) al menos uno de los componentes es una leñosa perenne y, 3) al menos uno de los componentes es una planta manejada con fines agrícolas, incluyendo pastos.

Por otro lado, en la región San Martín, Perú, se viene desarrollando el concepto de sistemas agroforestales multiestratos. Tirabanti (2011) define a los sistemas agroforestales multiestratos como sistemas donde existe una combinación de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas, que forman varios niveles o estratos de cobertura vegetal del suelo, determinados por la altura que alcanzan dichas especies en el sistema. Este tipo de sistema está conformado por cuatro niveles o estratos: un primer estrato compuesto por coberturas vivas, generalmente leguminosas rastreras; un segundo estrato correspondiente al cultivo agrícola, que puede ser una plantación de café o cacao; un tercer estrato conformado por especies forestales no

maderables, generalmente leguminosas arbóreas; y por último, un cuarto estrato que incluye especies forestales maderables.

2.1. SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ BAJO SOMBRA

En Perú, el café cultivado bajo sombra se planta, crece y se cultiva a la sombra de una cubierta de follaje forestal, a diferencia del café que se cultiva a pleno sol, o el completamente tecnificado, los que tienen muy pocos árboles o carecen de ellos completamente (Greenberg y Rice 1999 citados por Farfán 2014).

El café es un cultivo que se comporta mejor bajo sombra. Las manifestaciones de los agricultores sobre el manejo de cafetales bajo sombra indican que se está convirtiendo en una práctica común y que la modalidad de los cultivos de café a pleno sol está siendo reemplazada con el manejo e instalación de árboles de sombra (MINAG 2003).

El manejo del cultivo de café desarrollado bajo el entorno arbóreo, tiene diferentes formas de conducción según el tipo de productor. Algunos brindan sombra a los cafetales con árboles de paca debidamente instalados; otros, con árboles con distanciamientos variables que fueron dejados a propósito para sombra durante el roce, como una modalidad de aprovechar los árboles maderables; otros agricultores dejan los árboles maderables de mayor valor, completando el resto del área con plantas de paca en los lugares donde falta sombra. Asimismo, existen muchos cafetales con árboles de sombra que no están instalados adecuadamente (MINAG 2003).

Benito (2010) menciona que las condiciones de la selva peruana permiten plantear la implementación racional del cultivo del café bajo las siguientes alternativas:

- a) Cultivo en bosque virgen, aclarado por entresaque selectivo. Los pasos a seguir son “prospección y rozo”, desmonte parcial del bosque, tala y limpieza del terreno, trazado y apertura de hoyos, encalado y abonamiento de los hoyos y siembra del plantón de café.
- b) Cultivo en bosque de segundo crecimiento o purma aclarado por entresaque selectivo. En este caso se puede adoptar casi el mismo procedimiento que el caso anterior, es decir, manejar la sombra con criterio técnico para lograr un 50% de luminosidad.

- c) Cultivo bajo arborización reconstruida. Para llegar a condiciones próximas a los ideales y como resultado de un complejo racionalmente tecnificado se siguen las siguientes etapas: prospección del terreno y rozo, desmonte total del bosque y limpieza del terreno, trazado, apertura de hoyos, encalado y abonamiento para la arborización, arborización y siembra del café.

3. EL CAMBIO CLIMÁTICO

En la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, CMNUCC, se define al cambio climático como un 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 (ONU 1992).

El calentamiento del planeta se asocia con un aumento de la variabilidad del clima y, por lo tanto, determina una mayor frecuencia de fenómenos extremos como las olas de calor, las sequías y las tormentas intensas, y se asocia también con el aumento de los niveles del mar (FAO 2013). El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como se desprende ya del aumento observado del promedio mundial de temperatura del aire y del océano, de la fusión generalizada de nieves y hielos, y del aumento del promedio mundial del nivel del mar (IPCC 2007).

El clima cambia continuamente bajo la influencia de fuerzas naturales; sin embargo actualmente se observan significativos y rápidos cambios en los regímenes climáticos en todo el mundo que están siendo impulsados por el calentamiento global causado por las actividades humanas que emiten gases que atrapan el calor, conocidos como GEI o gases de efecto invernadero (FAO 2013).

3.1. EL EFECTO INVERNADERO

El IPCC (2007) define a los gases de efecto invernadero como aquellos gases constituyentes de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación a determinadas longitudes de ondas dentro del espectro de radiación terrestre emitida por la superficie de la tierra, por la propia atmósfera y por las nubes.

El efecto invernadero es un fenómeno natural a través del cual los GEI presentes en la atmósfera evitan que la radiación calórica que llega a la superficie terrestre se refleje en ella

y regrese al espacio exterior, lo que provoca un calentamiento de la atmósfera terrestre. Los GEI absorben parte de la radiación reflejada y a continuación vuelven a emitirla, devolviéndola incluso a la superficie terrestre, calentando así la atmósfera (Programa ONU-REDD 2015).

En la actualidad, el cambio climático global se atribuye generalmente a la concentración en la atmósfera de los gases de efecto invernadero (GEI) por arriba de los niveles históricos (Dávalos *et al.* 2008). El vapor de agua, el dióxido de carbono, el óxido nitroso, el metano y el ozono son los principales gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre (IPCC 2004). El efecto de los diversos GEI que existen depende de su potencial de calentamiento atmosférico, así como de la cantidad de gas presente en la atmósfera. El potencial de calentamiento atmosférico del metano y el óxido nitroso es muy superior al del dióxido de carbono; sin embargo, la cantidad de este último compuesto que se emite a la atmósfera es mucho mayor (Programa ONU-REDD 2015).

Una fuente de emisiones de gases de efecto invernadero es cualquier proceso o actividad que libera GEI a la atmósfera. La deforestación y la degradación de los bosques son las principales fuentes de emisiones de GEI, debido a que causan la liberación a la atmósfera del carbono almacenado en los bosques en forma de dióxido de carbono (CO₂) y otros GEI, como el metano (FAO 2013).

El CO₂ es un GEI clave y los cambios en el ciclo mundial del carbono que afectan la concentración atmosférica de CO₂ son cruciales para el clima mundial (FAO 2013).

3.2. OPCIONES DE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Las acciones de mitigación del cambio climático son medidas para ayudar a estabilizar o reducir la concentración de GEI en la atmósfera. Estas incluyen medidas para reducir las emisiones de GEI de origen humano o para aumentar la absorción de GEI de la atmósfera (FAO 2013).

Mientras los sectores agrícola, forestal y de otros usos de la tierra sufren los impactos del cambio climático, contribuyen de forma significativa a las emisiones de gases. A la inversa, esto les otorga un potencial único para restringir el cambio climático reduciendo o evitando las emisiones y reforzando los sumideros de carbono (FAO 2001). Los sumideros de carbono se definen como todo proceso, actividad o mecanismo que elimine de la atmósfera

un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero o de un aerosol (IPCC 2007).

Las actividades forestales contribuyen a la mitigación del cambio climático, ya sea mediante la prevención de emisiones o por el secuestro de carbono. Las actividades forestales que contribuyen a la retención de carbono incluyen la expansión de los sistemas de uso del suelo que emplean árboles, tales como el establecimiento de plantaciones en tierras degradadas, la regeneración natural de los bosques secundarios y la aplicación de prácticas agroforestales en tierras agrícolas (Smith *et al.* 2000 citado por Polzot 2004).

De acuerdo a FAO (2013), las estrategias de mitigación en el sector forestal se pueden agrupar en cuatro categorías principales: la reducción de las emisiones derivadas de la deforestación, la reducción de las emisiones derivadas de la degradación forestal, el fortalecimiento de los sumideros forestales de carbono y la sustitución de productos. Por otro lado, Bass *et al.* (2004 citado por FAO 2001) mencionan tres actividades a través de las cuales la gestión forestal puede ayudar a reducir el carbono atmosférico:

- Secuestro de carbono, a través de la forestación, la reforestación y la restauración de tierras degradadas, la mejora de las técnicas silvícolas para aumentar las tasas de crecimiento, y la aplicación de prácticas agroforestales en tierras agrícolas;
- Conservación de carbono, a través de la conservación de la biomasa y el carbono del suelo en los bosques existentes, la mejora de las prácticas de cosecha como la reducción de la tala de impacto, una mayor eficiencia de procesamiento de madera, protección contra incendios y el uso más eficaz de quemar tanto en los sistemas forestales y agrícolas; y
- Sustitución de carbono, a través del aumento de la conversión de la biomasa forestal en los productos de madera durables para su uso en lugar de los materiales de uso intensivo de energía.

De los tres, la conservación del carbono se considera que tiene el mayor potencial para la mitigación del cambio climático rápido, mientras que la captura de carbono se lleva a cabo durante un período de tiempo mucho más largo.

4. MERCADOS DE CARBONO

Bajo la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) del Protocolo de Kyoto, se han creado distintos mecanismos basados en el mercado para ayudar a los países a cumplir sus objetivos de emisiones y apoyar la mitigación del cambio climático. Esto ha evolucionado en un mercado de carbono regulado que ha crecido rápidamente en los últimos años (Seeberg - Elverfeldt 2010).

El mercado de carbono es un sistema de comercio en donde se compran y venden emisiones reducidas o secuestradas de GEI en forma de créditos de carbono. Los créditos de carbono son la moneda para comerciar las emisiones de carbono. El término proviene del hecho de que el CO₂ es el GEI predominante, y otros gases se miden en unidades llamadas equivalentes de CO₂ (FAO 2013).

Existen dos tipos de mercados de carbono: los de cumplimiento regulado y los voluntarios. El mercado regulado es utilizado por empresas y gobiernos que, por ley, tienen que rendir cuentas de sus emisiones de GEI y está regulado por regímenes obligatorios de reducción de carbono, ya sean nacionales, regionales o internacionales. En el mercado voluntario, en cambio, el comercio de créditos se produce sobre una base facultativa (Seeberg-Elverfeldt 2010).

4.1. MERCADO VOLUNTARIO

El mercado voluntario es dirigido a sectores y zonas geográficas que se encuentran por fuera de la cobertura del control de emisiones según el Protocolo de Kioto, adecuándose más a proyectos pequeños, del sector agrícola y forestal (Isaza y Cornejo 2015).

El mercado voluntario ha adquirido gran importancia para los proyectos agrícolas y forestales. Los créditos de Reducción Verificada de las Emisiones de carbono (VER, siglas en inglés) son adquiridos principalmente por el sector privado. La Responsabilidad Social Corporativa (RSC) y las relaciones públicas están entre las motivaciones más habituales para la compra de créditos de carbono. Otras razones son consideraciones tales como la certificación, la reputación y los beneficios ambientales y sociales (Seeberg-Elverfeldt 2010).

5. CARBONO

El CO₂, dióxido de carbono, en la atmósfera es el eje de la lucha contra el cambio climático, el calentamiento global y el efecto invernadero, y las medidas que se estudian para reducir su presencia se enfocan en la reducción de emisiones del mismo (MINAM 2009).

5.1. CICLO DEL CARBONO

El carbono es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos, que circula por los océanos, la atmósfera, el suelo, y subsuelo. Estos son considerados depósitos (reservorios) de carbono. El carbono pasa de un depósito a otro por medio de procesos químicos, físicos y biológicos (Rügnitz *et al.* 2009).

El ciclo del carbono es el movimiento del carbono en sus distintas formas entre la superficie terrestre y la atmósfera, seguido por un mecanismo de intercambio como lo son la fotosíntesis, la respiración y la oxidación (Ciesla 1996). Es uno de los principales ciclos biogeoquímicos debido a su influencia en la regulación de la concentración de CO₂ en la atmósfera (Brown, 1997).

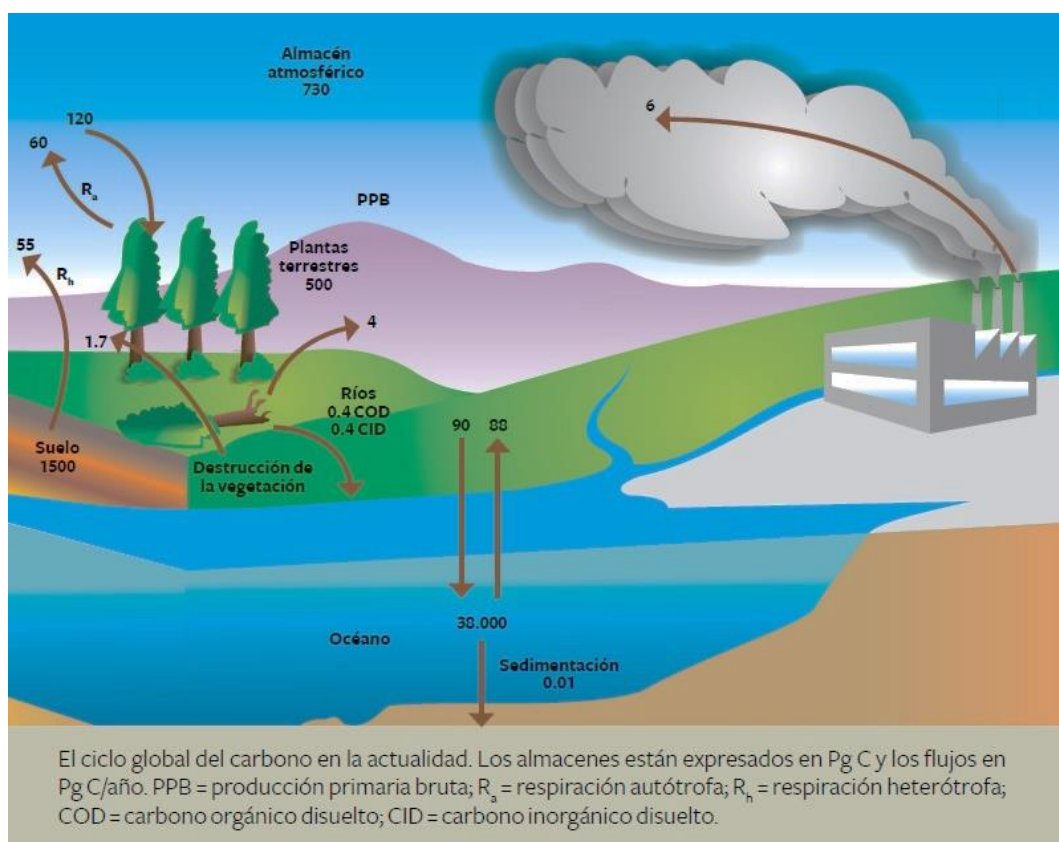


Figura 1: El ciclo global del carbono

FUENTE: Manson *et al.* (2008 citados por Isaza y Cornejo 2014)

El ciclo del carbono significa que la vegetación (incluidos los bosques), los suelos, los océanos y la atmósfera están conectados. Es importante tener en cuenta el papel que desempeña la vegetación (y los cambios que experimenta la cobertura vegetal) en el control de las emisiones globales de gases de efecto invernadero y, por tanto, en el cambio climático (Programa ONU-REDD 2015).

El intercambio de carbono entre el reservorio terrestre y el atmosférico es el resultado de procesos naturales de la fotosíntesis y respiración, y de la emisión de gases causada por la acción humana. La captura de carbono a través de la fotosíntesis ocurre cuando las plantas absorben energía solar y CO₂ de la atmósfera, produciendo oxígeno e hidratos de carbono, que sirven de base para su crecimiento. Por medio de este proceso las plantas fijan el carbono en la biomasa de la vegetación, y constituyen, junto con sus residuos (madera muerta y hojarasca), un stock natural de carbono (Rügnitz, *et al.* 2009).

5.2. CAPTURA DE CARBONO

La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono (CO₂) constituyen un proceso consistente en la separación del CO₂ emitido por la industria y fuentes relacionadas con la energía, su transporte a un lugar de almacenamiento y su aislamiento de la atmósfera a largo plazo. Es considerada una de las opciones de medidas de mitigación para la estabilización de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (IPCC 2007).

La captura de carbono se efectúa en los ecosistemas forestales mediante el intercambio de carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, llevando al almacenamiento en la biomasa y en el suelo (Taiz y Zeiger 1998 citados por De Petre *et al.* 2006). Los procesos de captura y emisión de carbono son parte de un sistema de cuatro reservorios de carbono en el ecosistema boscoso (vegetación aérea y radical; materia en descomposición; suelos; productos forestales), con tiempos de residencia y flujos asociados muy diferentes y estrechamente interrelacionados (De Petre *et al.* 2006).

El carbono almacenado es la cantidad de carbono contenida en la biomasa. Varios almacenes de carbono pueden ser identificados dentro de los sistemas forestales. Estos incluyen el suelo, la madera viva de los árboles, la madera subterránea en las raíces y la materia orgánica muerta en el piso del bosque. El carbono total almacenado en el ecosistema es simplemente la suma del carbono almacenado en los diferentes almacenes o depósitos (Mäsera *et al.* 2000 citado por Dávalos *et al.* 2008).

El carbono queda almacenado en aproximadamente un 50% en la biomasa, sobre todo en aquella de vegetación leñosa. Este tipo de biomasa es un depósito importante de los derivados del carbono y contribuye al almacenamiento de carbono en el suelo por medio de la acumulación de la materia orgánica (Schneider 1989, citado por Dávalos *et al.* 2008).

Es importante hacer la distinción entre carbono almacenado y carbono capturado. El carbono almacenado es la cantidad total de carbono contenida por la biomasa, mientras que el carbono capturado o secuestrado es una medida del flujo dinámico del crecimiento anual de la biomasa (Dávalos *et al.* 2008).

5.2.1. BOSQUES Y FIJACIÓN DE CARBONO

A escala mundial, los bosques cubren aproximadamente 4 000 millones de hectáreas, lo que equivale al 31% de la superficie terrestre del planeta. A nivel mundial, las selvas tropicales contienen la mayor reserva de carbono terrestre (547,8 millones de toneladas en selvas tropicales y subtropicales) (Programa ONU-REDD 2015).

Los bosques desempeñan una función importante en la mitigación del cambio climático al actuar como sumideros que absorben el carbono de la atmósfera y lo almacenan en la biomasa y los suelos; sin embargo, cuando se desbrozan o se degradan, también son una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero (FAO 2013). 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 mantillo en descomposición y al suelo; de esta manera constituyen reservas de carbono (Vásquez y Arellano 2012).

Los bosques absorben CO₂ mediante la fotosíntesis, lo almacenan como carbono y lo liberan mediante la respiración, la descomposición y la combustión. La función de sumidero de carbono de un bosque aumenta con la tasa de crecimiento de los bosques y la permanencia con la que conservan el carbono. Los bosques jóvenes vigorosos pueden retener una gran cantidad de carbono a medida que crecen. Por el contrario, la vegetación y los suelos de los rodales maduros suelen almacenar grandes cantidades de carbono, pero se suman a estas existencias, en todo caso, sólo lentamente (FAO 2013).

Una característica importante de los bosques primarios en la fijación de carbono es la gran cantidad de biomasa acumulada por unidad de área, comparada con otros ecosistemas. Los bosques secundarios también contribuyen en la captura de CO₂. Su potencial para fijar

carbono depende del potencial de la vegetación para desarrollarse y su tasa de producción de biomasa. (Finegan y Delgado 1997, citados por Ávila 2000).

En San Martín, estudios de carbono almacenado en bosques han dado los siguientes resultados: en bosque primario 485 t C ha⁻¹; en un bosque secundario de 50 años 234 t C ha⁻¹ y en bosque descremado de 20 años 62 t C ha⁻¹ (Lapeyre *et al.* 2004).

5.2.2. PLANTACIONES FORESTALES Y FIJACIÓN DE CARBONO

En años recientes se ha sugerido que el establecimiento de grandes áreas de plantaciones forestales tiene un impacto sobre la mitigación de los GEI en la atmósfera. Se cree que los países tropicales podrían contribuir a fijar grandes cantidades de carbono, debido a que poseen condiciones favorables de clima, suelo y áreas para el establecimiento de tales plantaciones. Por otro lado, el desarrollo planificado de plantaciones puede ayudar a los países productores de madera tropical a manejar sus recursos forestales en forma sostenible, reduciendo la presión sobre los bosques naturales (Asumadu 1998).

Las plantaciones forestales han recibido mucha atención como una opción del sector forestal para combatir el calentamiento global. Preservando al mismo tiempo los bosques primarios, ayudan a conservar las reservas de carbono terrestre existente. El establecimiento de plantaciones en tierras degradadas o tierras no forestales sirve para expandirla. Por otra parte, aunque los bosques primarios conservan mucho más carbono por hectárea, plantaciones jóvenes secuestran carbono a tasas más altas, especialmente si se plantan especies de crecimiento rápido con ciclos de rotación cortos (Cairns *et al.* 1994 citados por Polzot 2004).

El valor de las plantaciones forestales en el secuestro de carbono yace en su utilidad temporal, ya que las plantaciones conservan el carbono como biomasa por un periodo limitado, hasta el momento del corte de los árboles. La eficacia de las plantaciones en la eliminación de carbono acumulado de la atmósfera depende principalmente de las especies empleadas, el ciclo de rotación y, más importante, en el uso final de la madera producida. El empleo de especies de rápido crecimiento que producen buena calidad de la madera es ideal, ya que proporcionan el mejor escenario para el almacenamiento a largo plazo del carbono fijo (Polzot 2004).

Las plantas vivas normalmente comprenden la mayor parte de la biomasa sobre el suelo que se encuentra en las plantaciones. Por ejemplo, en una de las plantaciones examinadas por

Montagnini *et al.* (1998 citados por Polzot 2004), el 92% de la biomasa aérea total estuvo compuesta por el dosel, mientras que los componentes del sotobosque y la hojarasca comprendían 3,7% y 4,3%, respectivamente.

Las regiones tropicales de alta producción primaria ofrecen una posibilidad importante de establecer y manejar plantaciones forestales y vender derechos al carbono fijado en la biomasa producida (bonos de carbono). La captura neta de carbono atmosférico y su valor económico depende principalmente de la productividad de la plantación y del precio del carbono (Seppänen 2012).

5.2.3. SISTEMAS AGROFORESTALES Y FIJACIÓN DE CARBONO

La alternativa más viable de ampliación de sumideros de GEI es la forestación de nuevas áreas de tierra que presentan características favorables para ello. La reforestación no incluye exclusivamente a las plantaciones forestales puras en bloque; también existen otras estrategias tales como cultivo en linderos, cortinas rompe viento, sistema taungya, cercos vivos, entre otras (Ruiz 2002).

Los sistemas agrosilviculturales, silvopastoriles y agrosilvopastoriles pueden en diversos grados, mantener y hasta aumentar las reservas de carbono en la vegetación y los suelos. La agroforestería fomenta prácticas sostenibles de bajos insumos que minimicen la alteración de los suelos y plantas, enfatizando la vegetación perenne y el ciclaje de nutrientes, lo cual contribuye a almacenar bancos de carbono que son estables por décadas o siglos (Kurstel y Burshel 1993, citados por Ávila 2000).

La agroforestería también puede tener un efecto indirecto sobre el secuestro de carbono cuando ayuda a disminuir la presión sobre los bosques naturales, que son el mayor sumidero de carbono terrestre, la agroforestería mitiga la demanda de madera y reduce la presión sobre los bosques naturales. Otra vía indirecta de secuestro de carbono es a través del uso de tecnologías agroforestales para la conservación del suelo, lo que podría aumentar el almacenamiento carbono en los suelos. (Montagnini y Nair 2004; Pandey 2002)

Los sistemas agroforestales con cultivos perennes pueden ser importantes sumideros de carbono (Montagnini y Nair 2004). El almacenamiento de CO₂ dependerá de la especie arbórea y densidad de la siembra (Segura 1999).

Existen numerosos trabajos de estimaciones de carbono en sistemas agroforestales de combinaciones de árboles con cultivos perennes, tales como cacao y café. Estudios de biomasa y toma de carbono muestran que los sistemas agroforestales con cultivos perennes acumulan cantidades de carbono considerablemente mayores que los sistemas agroforestales con especies anuales. Los valores de acumulación de carbono para café con árboles plantados en la literatura van de 47 a 237 t C ha⁻¹, y para café con árboles de bosque, existen valores de 20 a casi 50 t C ha⁻¹. Para cacao se muestran valores de 24 a 52 t C ha⁻¹ (Montagnini *et al.* 2015).

6. BIOMASA FORESTAL

La biomasa se define como la masa total de organismos vivos en un área determinada; el material vegetal muerto puede incluirse como biomasa muerta (Programa ONU-REDD 2015).

Brown (1997) define a la biomasa aérea como la cantidad total de materia orgánica viva que existe por arriba del suelo (incluyendo el tronco, el tocón, las ramas, la corteza, semillas y las hojas) expresada como peso anhidro o seco en estufa en toneladas por unidad de superficie.

Dauber *et al.* (2002) consideran las siguientes definiciones:

- Biomasa aérea total, se refiere al peso seco del material vegetal de los árboles con diámetro a la altura del pecho mayor a 10 cm, incluyendo fustes, corteza, ramas y hojas. Corresponde a la altura total del árbol, desde el suelo hasta el ápice de la copa.
- Biomasa de fustes, se refiere al peso seco de los fustes con diámetro a la altura del pecho mayor a 10 cm., corresponde a la altura comercial del árbol desde el suelo hasta la primera bifurcación o inicio de la copa.

La biomasa representa la cantidad de carbono almacenado por la vegetación forestal y que potencialmente se podría añadir a la atmósfera en forma de CO₂ cuando los árboles se cortan o son quemados. Las estimaciones de biomasa también permiten establecer la cantidad de CO₂ que puede ser removido de la atmósfera mediante la reforestación, ya que con ellos se obtienen tasas de producción de biomasa y los límites superiores para el secuestro de carbono. Por lo tanto, el paso inicial y esencial en el cálculo de las tasas de almacenamiento

de carbono y secuestro de carbono de los bosques y los sistemas basados en los bosques es la cuantificación de la biomasa (Polzot 2004).

6.1. ESTIMACIÓN DE BIOMASA FORESTAL

La determinación adecuada de la biomasa forestal es un elemento de gran importancia ya que ésta permite establecer la cantidad de carbono y otros elementos existentes en las hojas, ramas, fuste y raíces, así como la cantidad de dióxido de carbono que puede ser capturado por la vegetación, como un medio para mitigar el cambio climático (Schlegel *et al.* 2000).

Estimar las reservas de biomasa de los bosques es una herramienta útil para valorar la cantidad de carbono que se almacena en las estructuras vivas en un momento dado, lo cual es importante para evaluar su contribución al ciclo del carbono. De ahí el interés por realizar estimaciones de biomasa en los bosques tropicales (Brown 1997).

La cuantificación y el seguimiento de la biomasa es una medida útil para evaluar los cambios en la estructura del bosque, provocada por la sucesión natural y las actividades humanas. (Polzot 2004). Es importante conocer la biomasa forestal para elaborar previsiones sobre el ciclo mundial del carbono, que es un elemento de importancia en los estudios sobre el cambio climático (FAO 1998).

La medición de la biomasa de un bosque es muy útil cuando se considera la cuestión de las compensaciones de carbono, ya que las mediciones de biomasa proporcionan una estimación de las reservas de carbono contenida en la vegetación debido a que el 50 % de la misma es carbono, sin embargo, la cantidad de carbono contenida en la biomasa varía ligeramente según el tipo de vegetación del que se trate (Programa ONU-REDD 2015; Brown, 1997). Por otro lado, el El IPCC (2007) señala también que el rango más citado para el contenido de carbono en la biomasa es 43 a 58%. Para saber la cantidad de CO₂ emitido o almacenado a partir de la cantidad de carbono de un determinado depósito, se debe multiplicar ésta por 3,67 (obtenido en función de los pesos moleculares del carbono y del CO₂). (Rügnitz 2009; Programa ONU-REDD 2015).

6.2. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE BIOMASA

Las especies arbóreas en un ecosistema forestal son responsables del mayor porcentaje de la biomasa en éste ecosistema. Para la estimación de su biomasa se puede utilizar tanto un método destructivo como uno no destructivo (MINAM 2009).

Brown (1997) describe dos métodos diferentes para calcular la biomasa del bosque: el primero se basa en los datos existentes sobre el volumen de existencias, volumen expresado en metros cúbicos por hectárea y que puede aplicarse en los bosques densos, secundarios o maduros y el segundo método por medio de tablas alométricas.

Según Rüginitz *et al.* (2009), los métodos para estimar la biomasa aérea pueden ser directos e indirectos. El método directo, utilizado para la construcción de ecuaciones alométricas y factores de expansión de la biomasa, consiste en cortar uno o más individuos (árboles), y determinar la biomasa por medio del peso directo de cada uno de los componentes (fuste, ramas y hojas). El método indirecto consiste en utilizar ecuaciones o factores de expansión que permitan relacionar algunas dimensiones básicas obtenidas en el campo (de fácil medición) con características de interés, de forma que no sea necesario medir estas últimas. 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.

Por su lado, González (2008) también menciona la existencia de dos métodos para calcular el contenido de biomasa. El método directo, denominado también método destructivo, consiste en medir los parámetros básicos de un árbol (entre los más importantes: el diámetro a la altura del pecho -DAP-, la altura total, el diámetro de copa y la longitud de copa), derribarlo, y calcular la biomasa pesando cada uno de los componentes (fuste, ramas y follaje). El método indirecto, utilizado cuando existen árboles de grandes dimensiones y en casos en los que se requiere conocer el carbono de un bosque sin necesidad de derribar los árboles, consiste en la cubicación y estimación del volumen de las trozas con fórmulas dendrométricas; el volumen total del fuste o de las ramas gruesas se obtiene con la suma de estos volúmenes parciales. Se toman muestras de madera del componente del árbol y se pesan en el campo, luego se calcula en el laboratorio los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la gravedad específica verde y la gravedad específica seca o densidad básica en gramos por centímetro cúbico.

Por otro lado, de acuerdo a Polzot (2004), actualmente existen tres enfoques para medir o estimar biomasa. El primero está basado en el uso de estimaciones de volumen, el segundo calcula directamente la biomasa utilizando ecuaciones de regresión de biomasa, y el tercero, y más complejo de los tres métodos, involucra la colección de datos primarios y mediciones en campo con el fin de desarrollar ecuaciones de regresión específicas del sitio.

De acuerdo a Whittaker y Marks (1975 citados por Llanos 2010), el método destructivo es el más preciso para estimar el volumen de biomasa aérea. Según Garzuglia y Sackett (2003 citados por Llanos 2010), para la estimación de la biomasa de un rodal forestal el procedimiento más común es el método de estimación por regresión. Este consiste en el muestreo destructivo de unos cuantos árboles para relacionar alguna de sus variables fáciles de medir con el contenido de biomasa, utilizando para ello métodos de regresión; por ejemplo, el diámetro normal (DN, diámetro a 1,30 m). Otros métodos de medición están basados, por ejemplo, en el diámetro normalizado y la altura. Las ecuaciones alométricas se derivan de estos datos para estimar biomasa total y se usan además para realizar inventarios forestales y estudios ecológicos.

7. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN Y BIOMASA FORESTAL MEDIANTE MODELOS MATEMÁTICOS

Los modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono ayudan a estimar el almacenamiento de carbono en sistemas forestales y agroforestales. En proyectos forestales y agroforestales de fijación de carbono es fundamental el desarrollo de modelos alométricos locales para estimar el carbono almacenado en los árboles, arbustos y palmas (Segura y Andrade 2008).

La alometría es un método rápido, económico y no destructivo que consiste en desarrollar ecuaciones que relacionan diferentes dimensiones de un objeto (por ejemplo una planta, órgano vegetal o plantación). Estas ecuaciones permiten determinar la producción de biomasa de un cultivo, definir sus fases de crecimiento y patrones de reciclaje de nutrientes. Este método no se ha aplicado en particular en el área forestal, debido al elevado costo y dificultades logísticas envueltas en la recolección de datos de cosecha, y más recientemente en estudios para estimar la fijación biológica de carbono a nivel global (Ares *et al.* 2002).

Los modelos alométricos son ecuaciones matemáticas que permiten estimar el volumen, biomasa o carbono de árboles, arbustos y palmas en función de unas pocas variables de fácil medición, tales como el diámetro del tronco a la altura del pecho (DAP) y/o la altura total (Loetsch *et al.* 1973 citados por Segura y Andrade 2008)

En las investigaciones de estimación de biomasa, la variable diámetro es la que mejor se correlaciona y predice la biomasa. Además, el diámetro es una variable fácil de medir y que

se registra en la mayoría de los inventarios forestales (Fonseca *et al.* 2009). Algunos estudios proponen incluir la altura de los árboles (H) como la segunda variable predictora y desarrollan ecuaciones con variables combinadas de DAP–H para mejorar la precisión de la estimación de la biomasa, mientras que otras incluyen, adicionalmente a las variables mencionadas, la densidad específica de la madera (Gómez *et al.* 2011).

Las ecuaciones alométricas para estimar biomasa arbórea por encima del suelo están relacionadas con el tipo de vegetación, especie medida (plantaciones forestales en monocultivo, purmas, bosques naturales, así como también, para árboles dispersos) y tipo de componente (Rügnitz *et al.* 2009).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.1. LOCALIZACIÓN

El área de estudio se localiza en los distritos de Soritor y Habana, ambos ubicados en la provincia de Moyobamba que en conjunto con la provincia de Rioja conforman la cuenca del Alto Mayo. La ubicación de los distritos en la cuenca se presenta en la Figura 2.

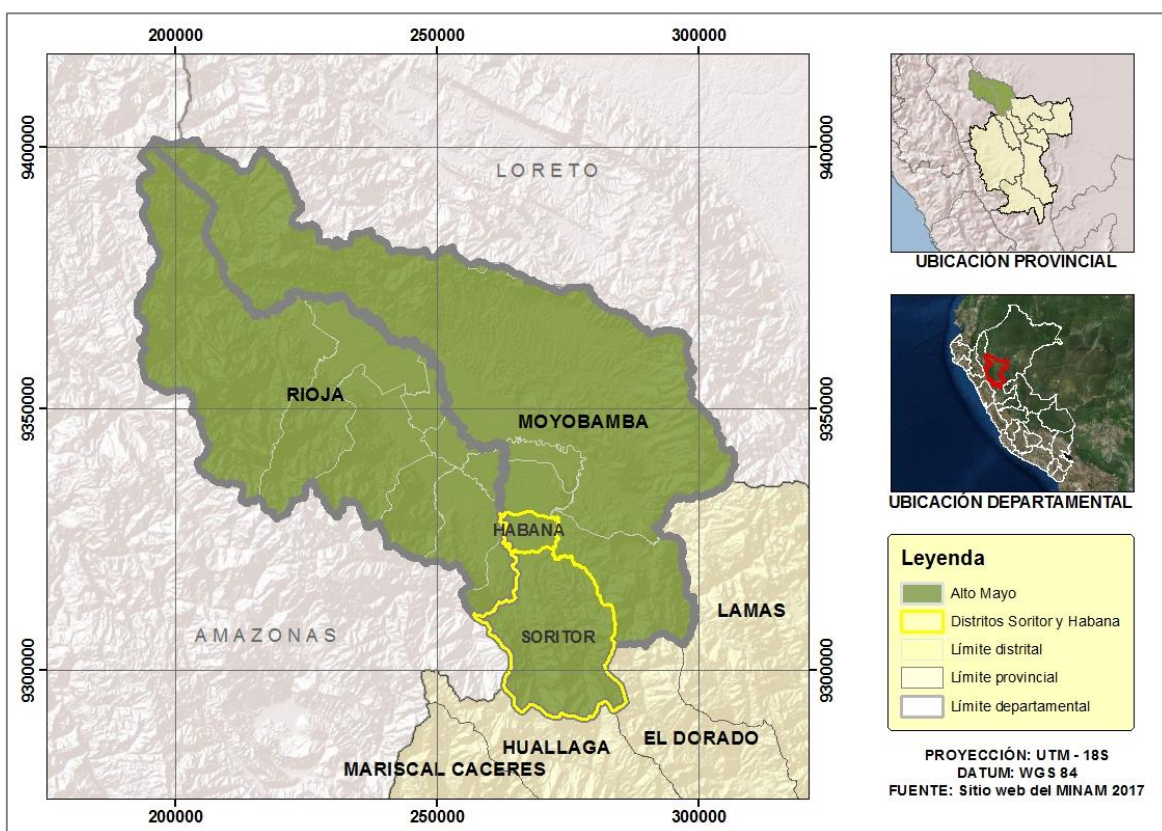


Figura 2: Ubicación de los distritos Soritor y Habana.

FUENTE: www.minam.gob.pe

1.2. VÍAS DE ACCESO

A la cuenca del Alto Mayo es posible acceder por dos medios. Un primer acceso es por vía terrestre, pues el Alto Mayo está integrado con el sector norte del país mediante la carretera de penetración a la selva Olmos – Moyobamba – Tarapoto - Yurimaguas, cuyo tramo Jaén - Moyobamba - Tarapoto, corresponde a la carretera marginal de la Selva (rebautizado con el nombre de Carretera Fernando Belaunde Terry. El segundo medio de acceso es por vía aérea: se dispone de vuelos diarios de aerolíneas comerciales hasta la ciudad de Tarapoto, y luego de esta ciudad se llega a las ciudades de Moyobamba y Rioja mediante la Carretera Fernando Belaunde Terry (GTZ 2004).

1.3. CLIMA

En la región San Martín el clima es predominantemente cálido y húmedo, con una estación sin lluvias que corresponde al invierno austral. La irregular fisiografía de la región da como resultado un clima heterogéneo, que varía principalmente con la altitud y la época del año (DRASAM 2009).

Debido a la gradiente altitudinal propia de la cuenca, la variedad climática se caracteriza por fluctuaciones de la temperatura media, la cual varía entre 12° C y 25° C. Las precipitaciones anuales oscilan entre 1 200 mm, en las partes bajas, y 3 000 mm a altitudes de 1 200 metros sobre el nivel del mar. Hay dos épocas de lluvias, una entre setiembre y diciembre, y otra en febrero y abril (INRENA 2008).

1.4. ECOLOGÍA

Según el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge (1978) en la cuenca del Alto Mayo se reconocen las siguientes zonas de vida: Bosque muy húmedo – Premontano Tropical, Bosque pluvial - Premontano Tropical, Bosque pluvial - Montano Bajo Tropical, Bosque húmedo – Montano Bajo Tropical, Bosque muy húmedo – Montano Bajo Tropical, Bosque muy húmedo - Montano Tropical, y Bosque pluvial - Montano Tropical (INRENA 2008).

1.5. HIDROGRAFÍA

El río principal es el Mayo, el cual constituye el eje central de la cuenca del Alto Mayo, recorre con dirección Noroeste a Suroeste y tiene una longitud de 300 km (INRENA 2008).

1.6. FISIOGRAFÍA Y RELIEVE

La zona del curso alto del río Mayo presenta una configuración fisiográfica variada y contrastante, constituida por un fuerte relieve de tierras altas, representado por el escenario montañoso que enmarca el área de estudio y por un conjunto de tierras intermedias de configuración colinosa, que tipifica al frente oriental del área estudiada y finalmente por la gran depresión aluvional del Alto Mayo y su red fluvial de drenaje (DRASAM 2009).

El paisaje montañoso presenta dos sub-paisajes: Pie de monte, caracterizado por la presencia de pendientes que oscilan entre 20 - 30%, y montaña, caracterizado por pendientes mayores a 70%; este factor determina que el área sea susceptible a la erosión. Gran parte de su ámbito se distingue por suelos residuales, los mismos que forman la mayor parte de los suelos de las colinas altas y terrenos montañosos, con pendientes que superan el 50% (INRENA 2008).

Por otro lado, el distrito de Soritor presenta amplia variabilidad de climas y ecosistemas. Así, se distinguen cinco regiones bioclimáticas de bosques tropicales, por las variadas conformaciones fisiográficas del territorio (la parte urbano-distrital del territorio se encuentra a 900 metros sobre el nivel del mar, mientras que las colinas más altas se encuentran cerca a los 3 000), propiciando ecosistemas especiales donde nacen cuatro importantes cuencas hidrográficas y diversos afluentes (Comunidad Andina 2009).

1.7. SUELOS

La calidad de los suelos está en relación con la fisiografía del área: estos son de naturaleza residual, moderadamente profundos a someros (poco profundos), escasa fertilidad y expuestos a riesgos de erosión pluvial (INRENA 2008).

2. MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

2.1. MATERIALES

- Materiales de oficina (Lápices, plumones indelebles, borradores, tajadores, etc.)
- Una libreta de campo
- Un ciento de bolsa de plástico de 5 kg
- Formatos de campo

- Una wincha de 30 m.

- Cinta métrica

2.2. EQUIPOS

- Un relascopeo de Bitterlich

- Una balanza de laboratorio con 0,01 gr de precisión

- Una laptop con el programa Microsoft Excel 2013.

- Un GPS marca Garmin modelo Oregón, serie 550.

- Un barreno de Pressler de 5 mm de diámetro

2.3. HERRAMIENTAS

- 1 machete

- 1 lima

3. METODOLOGÍA

3.1. SELECCIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO

Se eligió la zona de trabajo de acuerdo a la presencia de sistemas agroforestales de café bajo sombra con la especie Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) como componente forestal. Para esta selección se contó con apoyo de la ONG Solidaridad.

Una vez seleccionada la zona, se ubicaron fincas con sistemas agroforestales que manejaran a la especie *Cedrelinga cateniformis* como sombra del café. Los criterios de selección fueron la densidad de siembra, la edad de la plantación, el acceso a los centros poblados y una buena predisposición del propietario para facilitar la ejecución de la investigación.

3.2. COORDINACIONES LOCALES Y RECONOCIMIENTO DE LA ZONA DE ESTUDIO

Las actividades del trabajo de campo se organizaron con el apoyo del coordinador de la ONG Solidaridad en San Martín. Con el acompañamiento de Solidaridad, se visitaron a los dueños de las parcelas seleccionadas. A cada uno de los propietarios se le explicó detalladamente sobre la investigación que se pensaba realizar dentro de su predio y se

solicitó la autorización para la ejecución de la misma. Luego de las autorizaciones de los propietarios se procedió al reconocimiento en campo de las parcelas seleccionadas.

3.3. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

La determinación del tamaño de muestra de los individuos de Tornillo en sistemas agroforestales, se realizó siguiendo la metodología de Arévalo *et al.* (2003), que señala que se debe evaluar un número de 30 árboles como mínimo.

Por otro lado, de acuerdo a Segura *et al.* (2006), el tamaño de muestra está dado por la variabilidad de la biomasa o del DAP de la población y sitios seleccionados, así como de las condiciones del sitio. Por ello, tomando en cuenta la variabilidad de la población, se buscó que la muestra estuviera distribuida en todo el rango de variación del DAP, dividido en clases diamétricas. La amplitud de las clases diamétricas establecidas fue de cinco centímetros. Asimismo, se estableció que se evaluarían árboles desde los 5 cm de DAP.

3.4. TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo se realizó siguiendo la metodología aplicada por Cabrera (2016), quien realizó mediciones de biomasa forestal mediante un método de muestreo no destructivo.

El trabajo de campo se detalla en el diagrama de flujo presentado en la Figura 3, donde se presenta la secuencia ordenada de actividades que se realizaron para el muestreo.

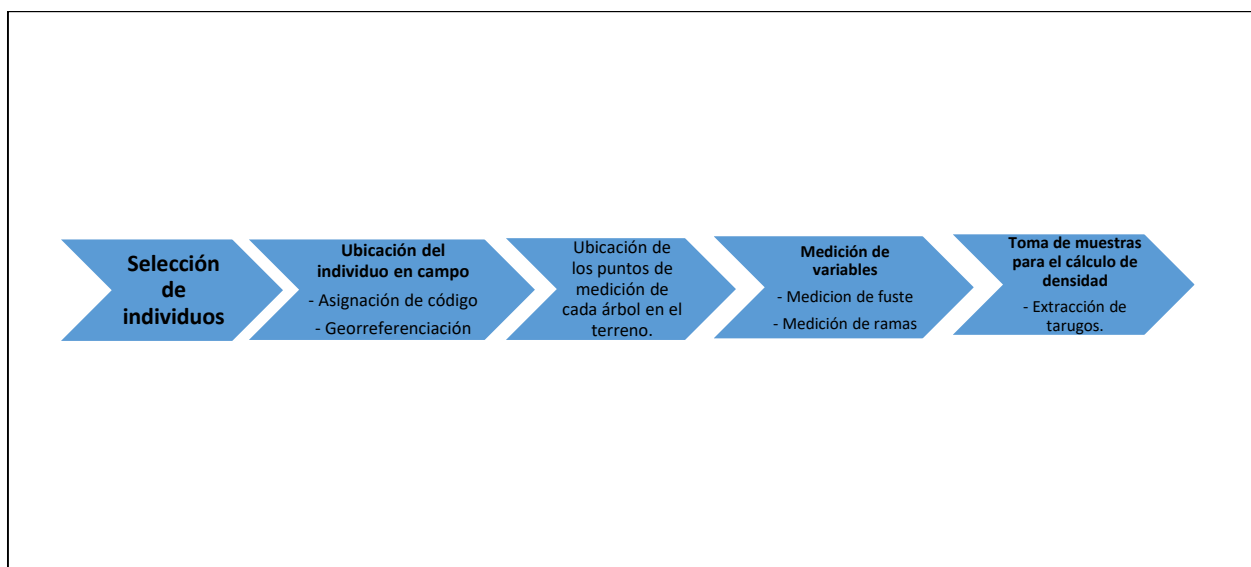


Figura 3: Esquema de trabajo en campo

3.4.1. SELECCIÓN DE LOS INDIVIDUOS

La selección de los árboles se realizó mediante un muestreo selectivo, es decir, las unidades de muestreo fueron seleccionadas a juicio personal. Se seleccionaron individuos típicos, es decir con forma, sanidad de fuste y tamaño de copa de la población muestreada. Asimismo, se buscó que los árboles seleccionados se distribuyeran en todas las clases diamétricas presentes en la población estudiada.

3.4.2. UBICACIÓN Y CODIFICACIÓN DE LOS ÁRBOLES EN PIE

a. Ubicación de individuos

Como primer paso del trabajo de campo se ubicó cada individuo seleccionado dentro de la finca a evaluar.



Figura 4: Ubicación de individuos.

b. Georreferenciación del árbol

Todos los árboles seleccionados se georreferenciaron utilizando un GPS. Se utilizaron coordenadas UTM y datum WGS 84. Para georreferenciar los individuos, el equipo fue colocado cerca al fuste del árbol.

c. Codificación del árbol

Cada árbol fue codificado con un código alfanumérico, el cual comprende las letras “CC” seguidas de una numeración compuesta por dos dígitos que indicaban el número correlativo del individuo evaluado, iniciando desde el “01”.

3.4.3. UBICACIÓN DEL PUNTO DE MEDICIÓN

Las mediciones que se realizaron con el relascopio de Bitterlich requirieron la ubicación de un punto de medición, a partir del cual se puede apreciar mejor el fuste y ramas, y que permite realizar las mediciones. El punto de medición se encuentra en el terreno a una distancia (D) del árbol evaluado, que se midió utilizando una wincha de 50 m (Figura 5).

La distancia (D) varió entre 10 m, 15 m y 20 m, dependiendo de la altura del árbol. Además, siguiendo la metodología de Barrena *et al.* (2008), los diámetros se evaluaron en dos perfiles perpendiculares del árbol, por lo que para cada individuo se ubicaron dos puntos de medición.



Figura 5: Ubicación del punto de medición

3.4.4. MEDICIÓN DE VARIABLES

La medición de las variables se realizó utilizando el relascopio de Bitterlich (Figura 6). Las variables que se evaluaron fueron: el diámetro a la altura de pecho (DAP), la altura total

(HT), los diámetros a diferentes alturas, la longitud de ramas principales (l_r) y el diámetro de ramas principales (d_r).



Figura 6: Medición de variables con el relascope de Bitterlich

a. Medición de altura total (ht)

La altura total del árbol fue la altura medida desde el suelo hasta el punto más alto de la copa. Se midió con el hipsómetro del relascope de Bitterlich. El método de medición se realizó según lo indicado en la Figura 7.

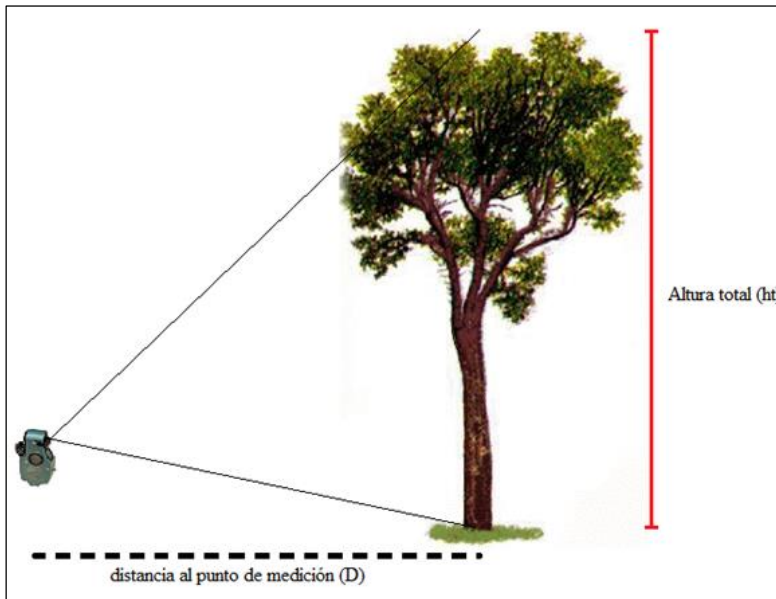


Figura 7: Medición de altura total.

FUENTE: Elaboración propia.

b. Medición de diámetros a diferentes alturas (d_i)

La medición de los diámetros a diferente altura se realizó siguiendo la metodología desarrollada por Barrena *et al.* (2008). La primera lectura se realizó en la base del árbol, a 30 cm sobre el suelo, seguido de lecturas del diámetro de cada sección cada uno o dos metros, dependiendo de la altura total del árbol: cuando la altura total fue menor o igual a los 12 m, las lecturas tomadas fueron cada metro; mientras que cuando la altura total fue mayor a los 12 m, las lecturas tomadas fueron cada dos metros (Figura 8). En ambos casos las lecturas fueron tomadas hasta llegar al punto de copa. La medición de los diámetros a diferentes altura se realizó utilizando el relascopio de Bitterlich, por ello, en campo se registró el número de bandas, gruesas (B) o delgadas (b), que luego serían transformadas a su valor en centímetros.

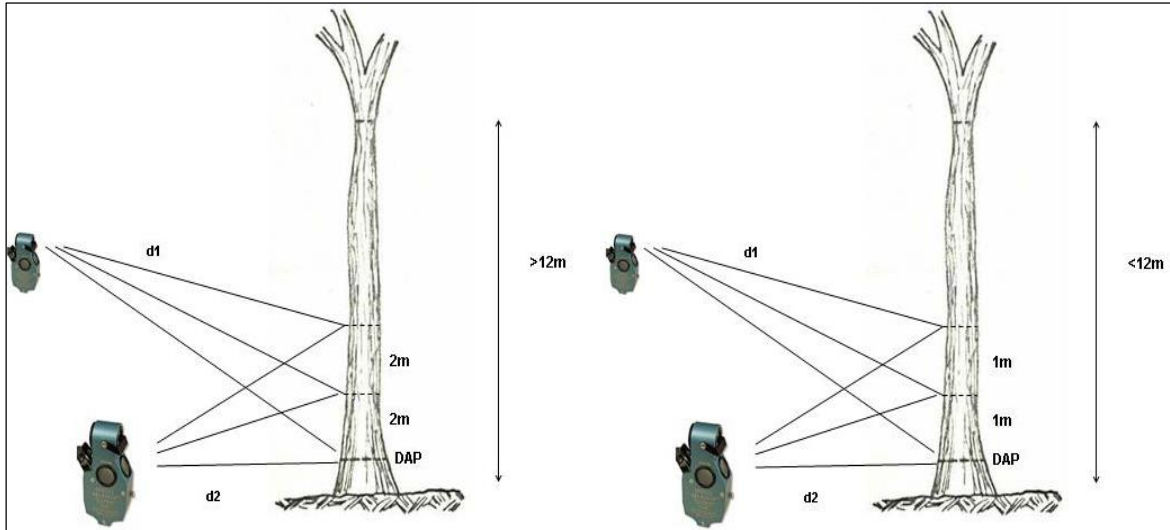


Figura 8: Medición de diámetros a diferentes alturas, según tamaño del fuste.

FUENTE: Barrena et al. 2008

c. Medición del diámetro a la altura del pecho (DAP)

Con el relascopeo de Bitterlich se midieron dos diámetros, perpendiculares entre sí, a 1,30 m sobre el suelo.

d. Medición del diámetro de las ramas principales.

La visibilidad de las ramas fue un factor limitante durante esta fase de trabajo. Las mediciones se tuvieron que reairar desde un perfil de árbol que permitiera tener visibilidad de las ramas principales. Para este procedimiento se consideraron como ramas principales todas las ramas que presentaron diámetros mayores o iguales a 2,5 cm. Esto debido a las características propias del relascopeo, el cual permitió el uso de la banda delgada (b) dividida hasta un cuarto de su ancho para las medidas. Por debajo de este límite, no fue posible asegurar la precisión de las mediciones con el uso de este instrumento.

Se midió el diámetro de la rama ubicado en el punto medio de la longitud de la rama, tal como se presenta en la Figura 9.

e. Medición de la longitud de ramas principales

La longitud de las ramas principales se midió de extremo a extremo, tal como se indica en la Figura 9.

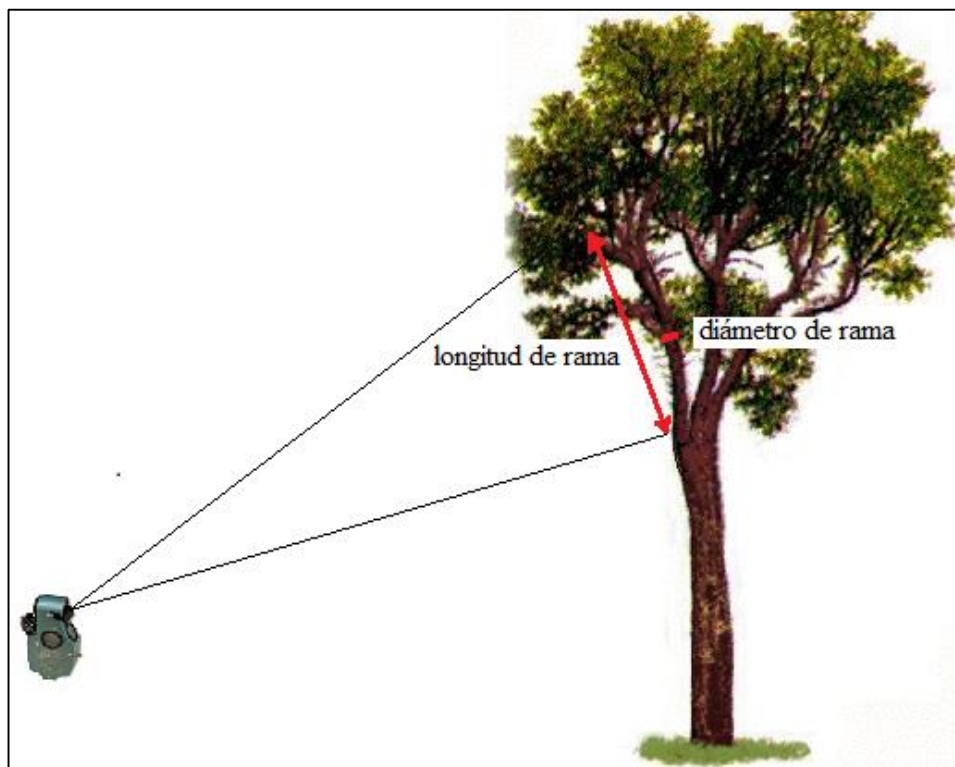


Figura 9: Medición de diámetro y longitud de las ramas.

FUENTE: Elaboración propia

3.4.5. TOMA DE MUESTRAS PARA CÁLCULO DE DENSIDAD

De todos los árboles evaluados se extrajo dos muestras de madera en forma de tarugo. La extracción de estas muestras se realizó utilizando un barreno de Pressler de 5 mm de diámetro (Figura 10). Los tarugos fueron muestras radiales de longitud equivalente a la sección comprendida entre la medula y la corteza del árbol.

Los tarugos se extrajeron a una altura de 1,30 m sobre el suelo, alineados a dos radios perpendiculares entre sí, de la sección circular del fuste definida a tal altura. Los tarugos fueron extraídos cuidadosamente y luego codificados con el número del árbol y número de tarugo. Una vez retirada la muestra, las perforaciones fueron cubiertas con pasta cicatrizante Arbocol.



Figura 10: Extracción de tarugos.

3.5. TRANSPORTE

Las muestras de tarugos fueron embaladas en cajas de cartón y enviadas a Lima a través de una empresa de transporte terrestre. Una vez en Lima, las muestras fueron recogidas y trasladadas al Laboratorio de Propiedades Físico Mecánicas de la Madera de la FCF – UNALM.

3.6. TRABAJO DE LABORATORIO

3.6.1. CALCULO DEL VOLUMEN VERDE DE LAS MUESTRAS

El volumen verde (V_v) de los tarugos se determinó mediante la medida del volumen por desplazamiento basado en el principio de Arquímedes, que establece que un cuerpo que flota o se sumerge en un líquido, es empujado hacia arriba con una fuerza igual al peso del líquido desalojado por el objeto y permite una medición sencilla y fiable del volumen para muestras de forma irregular (Pereyra y Gelid 2002).

Para determinar el volumen se utilizó una balanza de precisión y un recipiente con suficiente agua para sumergir las sub muestras. El recipiente se llenó con agua y se colocó en la balanza digital de precisión. El tarugo de madera fue cuidadosamente hundido en el agua de manera que esté completamente bajo el agua, teniendo cuidado que no tocara los lados o el fondo del recipiente. El volumen verde se determinó teniendo en cuenta que el peso medido del agua desplazada es igual al volumen de la muestra (ya que el agua tiene una densidad de uno).

3.6.2. SECADO DE MUESTRAS

Luego de la determinación del volumen verde (Vv), las muestras fueron secadas al horno a una temperatura de 105°C, hasta que llegaron a un peso seco constante (anhidro), denominado m_0 .

3.7. TRABAJO DE GABINETE

3.7.1. TRANSFORMACIÓN DE LAS MEDIDAS REALIZADAS CON EL RELASCOPIO DE BITTERLICH

Dado que en campo los registros de las mediciones de las variables dasométricas se realizaron en función al número de bandas del relascopio, fue necesaria la aplicación de equivalencias para efectuar el cálculo de las medidas correspondientes de cada variable en centímetros. Los diámetros fueron calculados considerando las siguientes equivalencias:

$$B = 2 \times D$$

$$b = D/2$$

Donde:

B = Tamaño de banda gruesa en cm

b = Tamaño de banda delgada en cm

D = Distancia al punto de medición

La medida de cada variable en centímetros fue calculada como la suma del número de bandas gruesas (B) por su equivalencia en centímetros y el número de bandas delgadas (b) por su equivalencia en centímetros.

3.7.2. DETERMINACIÓN DE LOS DIÁMETROS DE LOS FUSTES

En el campo se realizaron mediciones de los diámetros a diferentes alturas del fuste en dos perfiles perpendiculares por árbol, por lo que el diámetro de cada sección del fuste fue estimado como el promedio de las medidas de los dos perfiles.

3.7.3. DETERMINACIÓN DE LOS VOLÚMENES DE LOS ÁRBOLES

a. Cálculo del volumen del fuste (V_{fuste})

De acuerdo a las mediciones realizadas, el fuste de cada árbol fue dividido en una cantidad determinada de secciones, dependiendo de su altura. El volumen de cada sección fue determinado utilizando la fórmula de Smalian:

$$V_{si} = \frac{(A + a)}{2} \times L$$

Donde:

V_{si} = Volumen de la sección i en m^3

A = Área de la cara inferior de la troza en m^2

a = Área de la cara superior de la troza en m^2

L = Longitud de la troza en m

Los volúmenes de las secciones fueron sumados para calcular el volumen del fuste de cada árbol.

$$V_{\text{fuste}} = V_{S1} + V_{S2} + V_{S3} + \dots + V_{Sn}$$

Donde:

V_{fuste} = Volumen del fuste del árbol en m^3

V_{si} = Volumen de la sección i del fuste en m^3

b. Cálculo del volumen de las ramas (V_{ramas})

El cálculo del volumen de las ramas principales de cada individuo se realizó utilizando la fórmula de Huber (Segura y Kanninen 2002)

$$V_{ri} = (d_{\text{rama}})^2 \times (\pi/4) \times L_{\text{rama}}$$

Donde:

V_{ri} = Volumen de rama i en m^3

d_{rama} = Diámetro centro de rama i en m

L_{rama} = Longitud de la rama i en m

El volumen total de las ramas principales de un individuo se halló como la suma de todos los volúmenes individuales de las ramas.

$$V_{\text{ramas}} = V_{r1} + V_{r2} + V_{r3} + \dots + V_m$$

Donde

V_{ramas} = Volumen de las ramas del árbol en m^3

V_{ri} = Volumen de la rama i del árbol en m^3

c. Cálculo del volumen total de un árbol ($V_{\text{árbol}}$)

El volumen total de un individuo se calculó como la suma del volumen del fuste y el volumen total de las ramas.

$$V_{\text{árbol}} = V_{\text{fuste}} + V_{\text{ramas}}$$

Donde:

- $V_{\text{árbol}}$ = Volumen total del árbol en m^3
- V_{fuste} = Volumen del fuste en m^3
- V_{ramas} = Volumen de las ramas principales en m^3

3.7.4. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD BÁSICA DE LA MADERA

La densidad básica de la madera (DB) se determinó en función a los volúmenes verdes de las muestras de madera (tarugos) evaluadas en laboratorio y su masa anhidra seca al horno.

$$DB = m_0 / V_v$$

Donde:

DB = densidad básica de la madera en g/cm^3

m_0 = masa anhidra de la muestra en g

V_v = Volumen verde de la muestra en cm^3

3.7.5. DETERMINACIÓN DE LA BIOMASA AÉREA DE LOS ÁRBOLES

Para determinar la biomasa del fuste y las ramas se utilizó la siguiente ecuación (Segura y Kanninen 2002):

$$B = V \times DB$$

Donde:

B = Biomasa del componente en kg

V = Volumen del componente en m³

DB = Densidad básica de la madera en kg/m³

La biomasa aérea total (BAT) del árbol se calculó como la suma de la biomasa de los componentes fuste y ramas.

$$BAT = B_{\text{fuste}} + B_{\text{ramas}}$$

Donde:

BAT = Biomasa aérea total de un árbol en kg

B_{fuste} = Biomasa de fuste en kg

B_{ramas} = Biomasa de ramas principales en kg

3.8. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CARBONO

La estimación del carbono almacenado en los arboles individuales se estimó empleando la fracción de carbono FC = 0,5; la cual representa el porcentaje de carbono presente en la biomasa (IPCC 1996).

$$CAT = BAT \times FC$$

Donde:

CAT = Carbono almacenado total de un árbol en kg

BAT = Biomasa aérea total de un árbol en kg

FC = Fracción de carbono (0,5)

3.9. CONSTRUCCIÓN DE LAS ECUACIONES DE BIOMASA

En base a la investigación de Fucarreccio y Staferi (1999) se seleccionó diez modelos de ecuaciones, los cuales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Modelos de ecuaciones para estimar biomasa aérea total

<i>n°</i>	<i>MODELO</i>
1	$BAT = b_0 + b_1 \times DAP$
2	$BAT = b_1 \times DAP^2$
3	$BAT = b_0 + b_1 \times DAP^2$
4	$BAT = b_1 \times DAP + b_2 \times DAP^2$
5	$BAT = b_0 + b_1 \times DAP + b_2 \times DAP^2$
6	$BAT = b_0 + b_1 \times DAP^2 \times HT$
7	$BAT = b_0 + b_1 \times DAP^2 + b_2 \times HT$
8	$BAT = b_1 \times DAP + b_2 \times DAP^2 + b_3 \times HT$
9	$\ln BAT = b_0 + b_1 \times \ln DAP$
10	$\ln BAT = b_0 + b_1 \times \ln DAP + b_2 \times \ln HT$

Fuente: Fucarreccio y Staferi (1999)

Donde:

BAT = Biomasa aérea total

DAP = Diámetro a la altura del pecho

HT = Altura total

Los modelos seleccionados tomaron al DAP, y HT como variables independientes y la biomasa aérea total como variable dependiente. Asimismo, se probaron modelos con transformaciones de variable a través de logaritmo natural (ln) previo al análisis de datos.

La información de los árboles individuales fue organizada en una hoja de cálculo en el programa Microsoft Excel 2013. Utilizando el mismo programa, y a través de la herramienta análisis de datos, se construyeron ecuaciones de biomasa a partir de los modelos seleccionados siguiendo el análisis de regresión basado en el método de los mínimos cuadrados (Alder 1980).

3.10. SELECCIÓN DE LA MEJOR ECUACIÓN

El proceso de selección de la mejor ecuación se realizó según la metodología de Barrena *et al.* (1986) y consideró criterios como el cuadrado medio del error (CME) y el índice de Furnival (IF). De acuerdo a estos criterios, un modelo será considerado mejor que otro cuando el CME y el IF sean más cercanos a cero.

La selección de modelos con el mejor ajuste se realizó en dos etapas. La primera etapa consideró la determinación de la mejor ecuación de regresión por cada grupo de modelos (con variables no transformadas y transformadas). Para ello se utilizó el cuadrado medio del error (CME). La segunda etapa consistió en comparar los mejores modelos seleccionados dentro de cada grupo de ecuaciones, los cuales, por utilizar variables diferentes, se compararon mediante el índice de Furnival (IF), cuya expresión es la siguiente (Barrena *et al.* 1968):

$$IF = [f'(v)]^{-1} \times \sqrt{S}$$

Donde:

IF = Índice de Furnival

$f'(v)$ = Derivada de la variable

$[f'(v)]^{-1}$ = Media geométrica de la derivada de la variable

S = Cuadrado medio del error

Parresol (1999) afirma que el índice de Furnival es la mejor alternativa cuando la variable respuesta no se encuentra en la misma escala, por ello, puede ser recomendado como una de las estadísticas más útiles para evaluar y comparar los modelos de biomasa.

El índice de Furnival en modelos sin transformar es igual al error estándar de la estimación (raíz del cuadrado medio del error – RCME). Cuanto más pequeño es el índice de Furnival mejor es el ajuste del modelo, por lo que será utilizado como criterio de selección del mejor modelo (Segura y Andrade 2008).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. SELECCIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO

A partir de la información y el mapeo de parcelas agroforestales de café bajo sombra desarrollada por la ONG Solidaridad y el proyecto Caficultura, Carbono y Conocimiento para REDD+ desarrollado en San Martín, se designó como zona de trabajo a los distritos de Soritor y Habana, ubicados en la provincia de Moyobamba. En cada distrito se seleccionó una finca que cumpliera con los criterios de selección establecidos.

2. COORDINACIONES LOCALES Y AUTORIZACIÓN DE LOS PROPIETARIOS DE FINCAS

Producto de las coordinaciones locales, se contó con la autorización de dos productores para la ejecución de la investigación en sus parcelas. Se seleccionaron dos fincas con sistemas agroforestales de café bajo sombra de Tornillo. Las parcelas seleccionadas se encuentran en los distritos de Habana y Soritor, San Martín.

3. SELECCIÓN DE INDIVIDUOS

Se seleccionaron 32 árboles de la especie Tornillo. La Tabla 3 presenta la cantidad de individuos seleccionados y la clase diamétrica a la que pertenecen.

Tabla 2: Distribución diamétrica de los 32 árboles

<i>Clase diamétrica</i>	<i>Marca de clase (cm)</i>	<i>Límite inferior (cm)</i>	<i>Límite superior (cm)</i>	<i>Frecuencia absoluta</i>	<i>Frecuencia relativa (%)</i>
1	5,00	0,00	9,99	1,00	3,13
2	15,00	10,00	19,99	11,00	34,38
3	25,00	20,00	34,99	7,00	21,88
4	35,00	30,00	44,99	3,00	9,38
5	45,00	40,00	54,99	2,00	6,25
6	55,00	50,00	59,99	6,00	18,75
7	65,00	60,00	69,99	2,00	6,25

La Figura 11 muestra la distribución diamétrica de los individuos según las clases diamétricas. Se puede apreciar que las clases diamétricas 2 y 3 (marca de clase 15,00 cm y 25,00 cm) contienen a la mayor cantidad de árboles muestra. Por otro lado, se observa que la muestra no presenta una distribución normal.

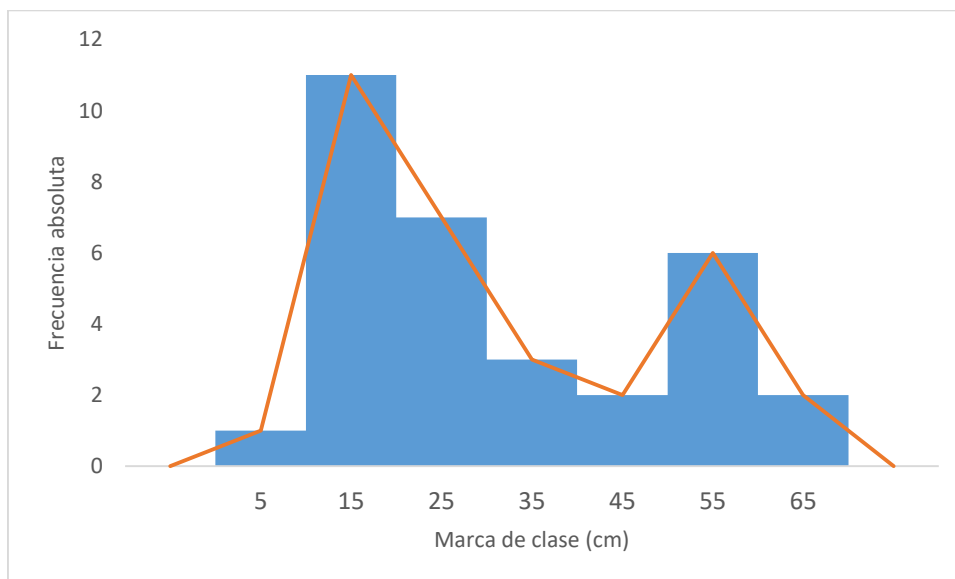


Figura 11: Distribución diamétrica de los árboles muestra de *Cedrelinga cateniformis*

4. MEDICIÓN DE VARIABLES

El instrumento principal para la medición de las variables fue el relascopio de Bitterlich, el cual es un instrumento de uso fácil, siempre y cuando el evaluador se encuentre capacitado. Durante su uso en la investigación en la etapa de campo se encontraron algunas dificultades en el lugar de medición, como las distancias mínimas requeridas para la medición de individuos debido a terrenos accidentados, la presencia de cultivos asociados que restaron visibilidad en la base de los árboles, además del tiempo requerido para cada medición - muchas veces de hasta una hora por árbol- , ya que se debió preparar el terreno antes de la operación.

En la Tabla 3 se observa que el promedio del DAP es 28,28 cm y el rango va de 7,50 cm (CC5) a 65,00 cm, (CC13) con un coeficiente de variabilidad de 63,25%. En el caso de la altura total, el promedio es 15,69 m y varía entre 5,00 m (CC02) y 30,00 m (CC14), con un coeficiente de variabilidad de 44,17%.

Tabla 3: DAP y altura total de los árboles de Tornillo evaluados

N°	Código	DAP (cm)	Altura total (m)
1	CC01	12,5	10,50
2	CC02	10,0	5,00
3	CC03	12,5	11,75
4	CC04	10,0	10,00
5	CC05	7,5	6,50
6	CC06	10,0	9,50
7	CC07	10,0	11,50
8	CC08	10,0	10,50
9	CC09	12,5	11,00
10	CC10	12,5	11,75
11	CC11	12,5	11,25
12	CC12	12,5	12,00
13	CC13	65,0	28,00
14	CC14	60,0	30,00
15	CC15	20,0	12,25
16	CC16	27,5	13,00
17	CC17	22,5	12,50
18	CC18	30,0	16,50
19	CC19	22,5	12,75
20	CC20	30,0	16,50
21	CC21	50,0	23,00
22	CC22	50,0	18,00
23	CC23	50,0	29,00
24	CC24	40,0	16,00
25	CC25	55,0	28,00
26	CC26	55,0	24,00
27	CC27	50,0	26,00
28	CC28	25,0	13,00
29	CC29	30,0	13,25
30	CC30	20,0	12,50
31	CC31	25,0	12,50
32	CC32	45,0	24,00
Promedio		28,28	15,69
Máximo		65,0	30,00
Mínimo		7,5	5,00
Desv. Estándar		17,89	6,93
C.V. (%)		63,25	44,17

En la Figura 12 se presenta la relación entre el DAP y la altura total (HT). En general, se observa cierta tendencia de que a mayor DAP, mayor altura total.

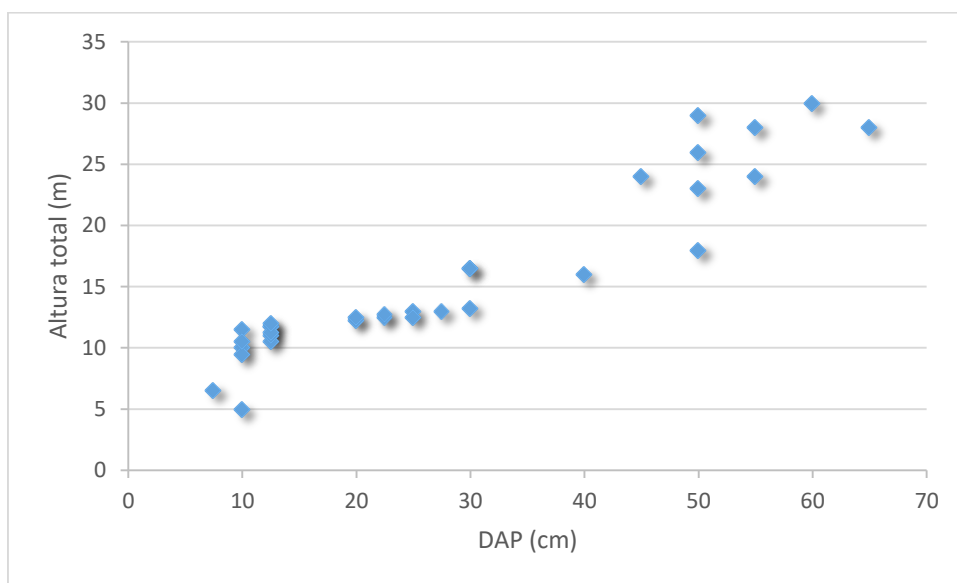


Figura 12: Relación entre el DAP (cm) y la altura total (m).

5. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD BÁSICA DE LA MADERA

La determinación de la densidad básica se realizó con 64 tarugos de madera (muestras) extraídas a 1,30 m sobre el suelo de los fustes de los 32 árboles (dos por árbol). En la Tabla 4 se presentan la densidad básica estimada de los 32 individuos evaluados.

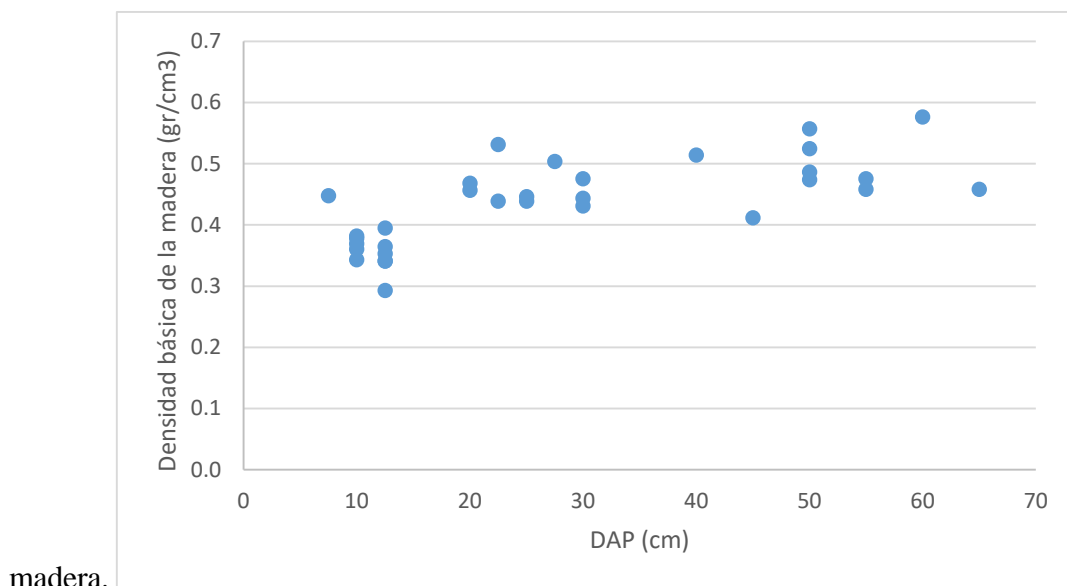
Tabla 4: Densidad básica de la madera de *Cedrelinga cateniformis*

Código	DAP (cm)	Densidad Básica (gr/cm³)
CC01	12,5	0,29
CC02	10,0	0,40
CC03	12,5	0,35
CC04	10,0	0,38
CC05	7,5	0,45
CC06	10,0	0,36
CC07	10,0	0,38
CC08	10,0	0,34
CC09	12,5	0,34
CC10	12,5	0,37
CC11	12,5	0,36
CC12	12,5	0,34
CC13	65,0	0,46
CC14	60,0	0,58

Continuación.

Código	DAP (cm)	Densidad Básica (gr/cm³)
CC15	20,0	0,47
CC16	27,5	0,50
CC17	22,5	0,44
CC18	30,0	0,48
CC19	22,5	0,53
CC20	30,0	0,43
CC21	50,0	0,47
CC22	50,0	0,52
CC23	50,0	0,56
CC24	40,0	0,51
CC25	55,0	0,48
CC26	55,0	0,46
CC27	50,0	0,49
CC28	25,0	0,44
CC29	30,0	0,44
CC30	20,0	0,46
CC31	25,0	0,45
CC32	45,0	0,41
Promedio	28,28	0,44
Máximo	65,0	0,58
Mínimo	7,5	0,29
Desv. Est.	17,89	0,07
C.V (%)	63,25	15,96

En la Figura 13 se presenta la relación que existe entre el DAP y la densidad básica de la madera. Se observa una leve tendencia de que a mayor DAP, mayor densidad básica de la



madera.

Figura 13: Relación entre el DAP y la densidad básica de la madera.

6. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN

En la Tabla 5 se presentan los volúmenes totales de cada árbol que han sido calculados como la suma del volumen del fuste y el volumen de las ramas principales. Se observa que el volumen promedio de los fustes es $0,881145 \text{ m}^3$, variando en un rango de $0,022580 \text{ m}^3$ (CC05) a $3,926991 \text{ m}^3$ (CC013), y el volumen promedio de ramas por árbol es $0,522337 \text{ m}^3$ variando en un rango de $0,000628 \text{ m}^3$ (CC01) a $1,952696 \text{ m}^3$ (CC026). Por otro lado, el promedio del volumen total de los árboles evaluados es $1,403483 \text{ m}^3$, variando en un rango de $0,024298 \text{ m}^3$ (CC05) a $4,568072 \text{ m}^3$ (CC026).

Tabla 5: Volumen de los árboles muestra de *Cedrelinga cateniformis* en m^3

Árbol	DAP (cm)	HT (m)	Volumen fuste (m^3)	Volumen ramas (m^3)	Volumen total (m^3)
CC01	12,5	10,50	0,081485	0,000628	0,082113
CC02	10,0	5,00	0,038288	0,013941	0,052229
CC03	12,5	11,75	0,084921	0,001325	0,086247
CC04	10,0	10,00	0,054978	0,000628	0,055606
CC05	7,5	6,50	0,022580	0,001718	0,024298
CC06	10,0	9,50	0,058414	0,007363	0,065777
CC07	10,0	11,50	0,071177	0,000628	0,071805

Continuación.

CC08	10,0	10,50	0,062341	0,000628	0,062969
CC09	12,5	11,00	0,102102	0,014247	0,116349
CC10	12,5	11,75	0,088357	0,000628	0,088986
CC11	12,5	11,25	0,088357	0,034116	0,122473
CC12	12,5	12,00	0,117810	0,013631	0,131440
CC13	65,0	28,00	3,926991	0,278031	4,205022
CC14	60,0	30,00	2,238385	1,402525	3,640910
CC15	20,0	12,25	0,252309	0,091204	0,343514
CC16	27,5	13,00	0,499219	0,418961	0,918180
CC17	22,5	12,50	0,288634	0,255009	0,543643
CC18	30,0	16,50	0,577268	0,286670	0,863938
CC19	22,5	12,75	0,322013	0,198313	0,520326
CC20	30,0	16,50	0,958186	0,790307	1,748493
CC21	50,0	23,00	2,917754	1,403899	4,321653
CC22	50,0	18,00	1,420589	0,615752	2,036341
CC23	50,0	29,00	2,803871	1,441206	4,245077
CC24	40,0	16,00	0,985675	1,026908	2,012583
CC25	55,0	28,00	1,602212	1,542326	3,144538
CC26	55,0	24,00	2,615376	1,952696	4,568072
CC27	50,0	26,00	1,977240	1,657190	3,634430
CC28	25,0	13,00	0,311214	0,790307	1,101521
CC29	30,0	13,25	0,454549	0,469521	0,924070
CC30	20,0	12,50	0,230711	0,299678	0,530389
CC31	25,0	12,50	0,273294	0,535543	0,808837
CC32	45,0	24,00	2,670354	1,169262	3,839615
Promedio	28,28	15,69	0,881145	0,522337	1,403483
Máximo	65,00	30,00	3,926991	1,952696	4,568072
Mínimo	7,50	5,00	0,022580	0,000628	0,024298
Desv. Est.	17,89	6,93	1,102083	0,604259	1,605727
C.V (%)	63,25	44,17	125,07	115,68	114,41

En la Figura 14 se presenta la relación que existe entre el DAP y el volumen total de cada árbol. Se observa que hay una tendencia entre ambas variables: a mayor DAP, mayor volumen total.

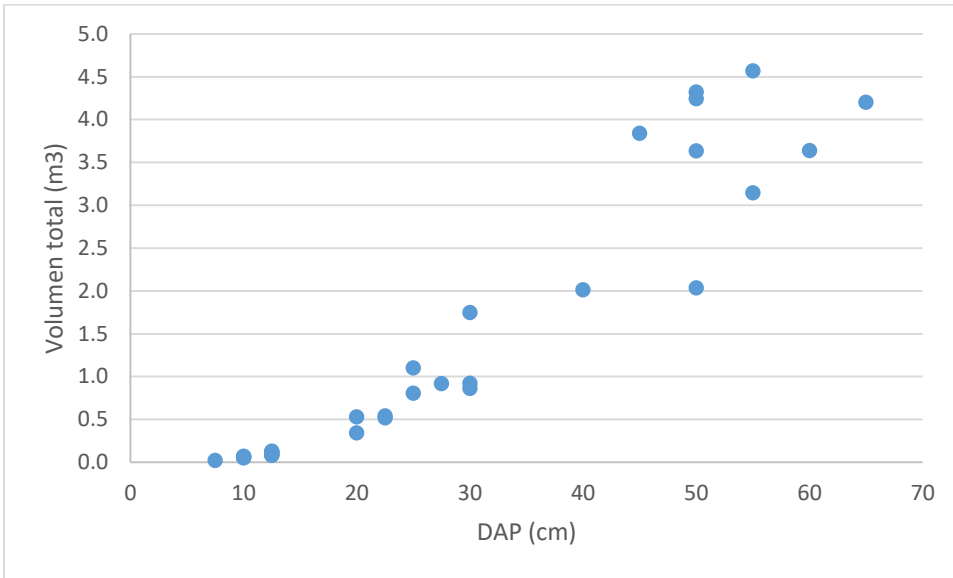


Figura 14: Relación del DAP (cm) y el volumen total de los árboles muestra de *Cedrelinga cateniformis*.

En la Figura 15 se observa la relación que existe entre el DAP y el volumen del fuste. Se puede distinguir una tendencia entre ambas variables, de que a mayor DAP, mayor volumen del fuste. Se observa que los arboles con DAP mayor a 30 cm presentan mayor variabilidad en la distribución del volumen de los fustes.

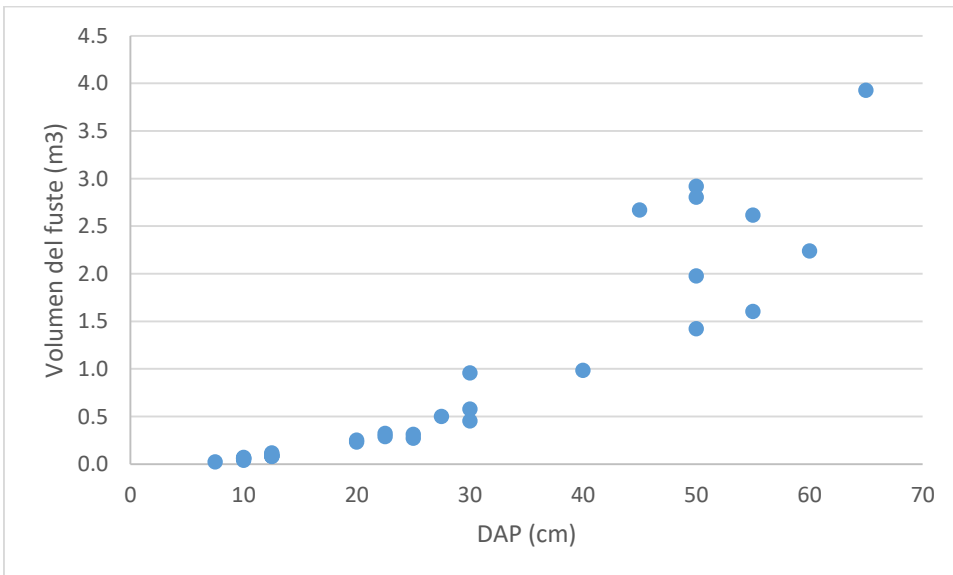


Figura 15: Relación del DAP (cm) y el volumen del fuste de los arboles muestra de *Cedrelinga cateniformis*

En la Figura 16 se presenta la relación entre el DAP y el volumen de las ramas. Se observa que existe poca relación entre ambas variables y una alta variabilidad del volumen de las ramas en función al DAP.

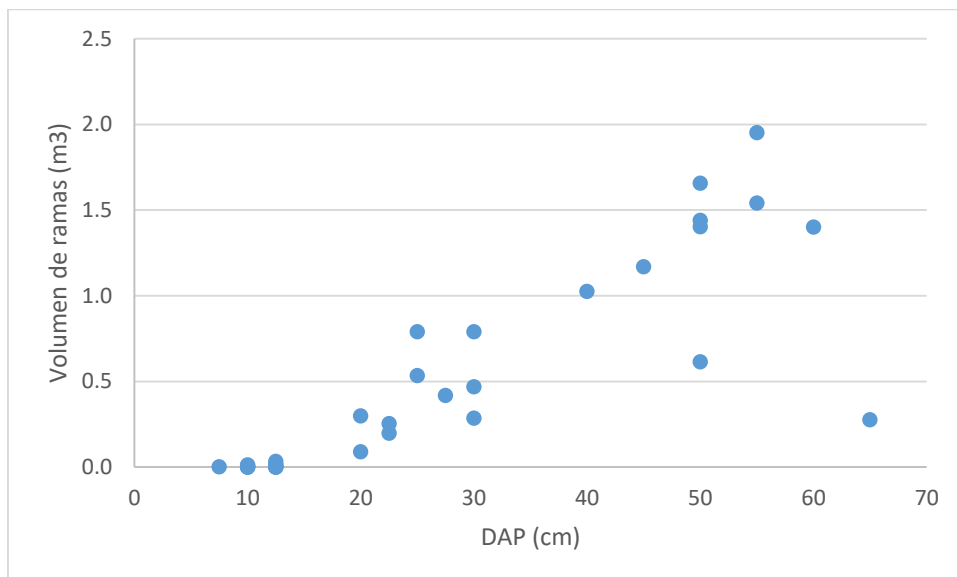


Figura 16: Relación del DAP (cm) y el volumen de las ramas de los árboles muestra de *Cedrelinga cateniformis*

7. DETERMINACIÓN DE LA BIOMASA

Se determinó el peso seco (o la biomasa seca) de los componentes ramas y fuste. Los resultados se presentan en la Tabla 6. La biomasa aérea total (BAT) de los árboles se determinó como la suma de la biomasa seca de las ramas y la biomasa seca del fuste.

La Biomasa Aérea Total varió de 10,89 kg (CC05) a 2 346,37 kg (CC23), con un valor promedio de 675,56 kg. Por otro lado, la biomasa seca de las ramas tuvo un promedio de 252,54 kg, en un rango de 0,18 kg (CC01) a 894,56 kg (CC26) y la biomasa seca del fuste varió entre 10,12 kg (CC05) y 1 800,29 kg (CC13) con una media de 423,02 kg.

Tabla 6: Biomasa seca por componente de los árboles muestra de *Cedrelinga cateniformis*.

Código Árbol	DAP (cm)	HT (m)	Biomasa Seca de Ramas (kg)	Biomasa Seca de Fuste (kg)	Biomasa Aérea Total (kg)
CC01	12,5	10,50	0,18	23,86	24,05
CC02	10,0	5,00	5,51	15,12	20,63
CC03	12,5	11,75	0,47	29,97	30,43
CC04	10,0	10,00	0,24	20,99	21,23

Continuación.

CC05	7,5	6,50	0,77	10,12	10,89
CC06	10,0	9,50	2,65	21,04	23,70
CC07	10,0	11,50	0,24	26,91	27,15
CC08	10,0	10,50	0,22	21,39	21,61
CC09	12,5	11,00	4,86	34,83	39,68
CC10	12,5	11,75	0,23	32,64	32,87
CC11	12,5	11,25	12,44	32,22	44,65
CC12	12,5	12,00	4,65	40,16	44,81
CC13	65,0	28,00	127,46	1800,29	1927,75
CC14	60,0	30,00	808,27	1289,97	2098,24
CC15	20,0	12,25	42,71	118,15	160,85
CC16	27,5	13,00	211,12	251,56	462,67
CC17	22,5	12,50	111,93	126,69	238,62
CC18	30,0	16,50	136,30	274,46	410,76
CC19	22,5	12,75	105,38	171,11	276,49
CC20	30,0	16,50	340,58	412,92	753,50
CC21	50,0	23,00	665,35	1382,81	2048,16
CC22	50,0	18,00	323,04	745,27	1068,31
CC23	50,0	29,00	802,71	1561,67	2364,37
CC24	40,0	16,00	528,27	507,05	1035,32
CC25	55,0	28,00	733,05	761,51	1494,55
CC26	55,0	24,00	894,56	1198,14	2092,70
CC27	50,0	26,00	805,87	961,51	1767,38
CC28	25,0	13,00	346,78	136,56	483,34
CC29	30,0	13,25	208,38	201,74	410,12
CC30	20,0	12,50	136,83	105,34	242,17
CC31	25,0	12,50	239,08	122,01	361,09
CC32	45,0	24,00	481,12	1098,78	1579,89
Promedio	28,28	15,69	252,54	423,02	675,56
Máximo	65,0	30,00	894,56	1800,29	2364,37
Mínimo	7,5	5,00	0,18	10,12	10,89
Desv. Est.	17,89	6,93	298,49	537,38	792,25
C.V (%)	63,25	44,27	118,20	127,03	117,27

7.1. BIOMASA SECA DE FUSTE

En la Figura 17 se presenta la relación entre el DAP (cm) y la biomasa seca del fuste (kg). Se observa que hay una tendencia creciente entre ambas variables, es decir, que a medida que se incrementa el DAP, se incrementa la biomasa seca del fuste.

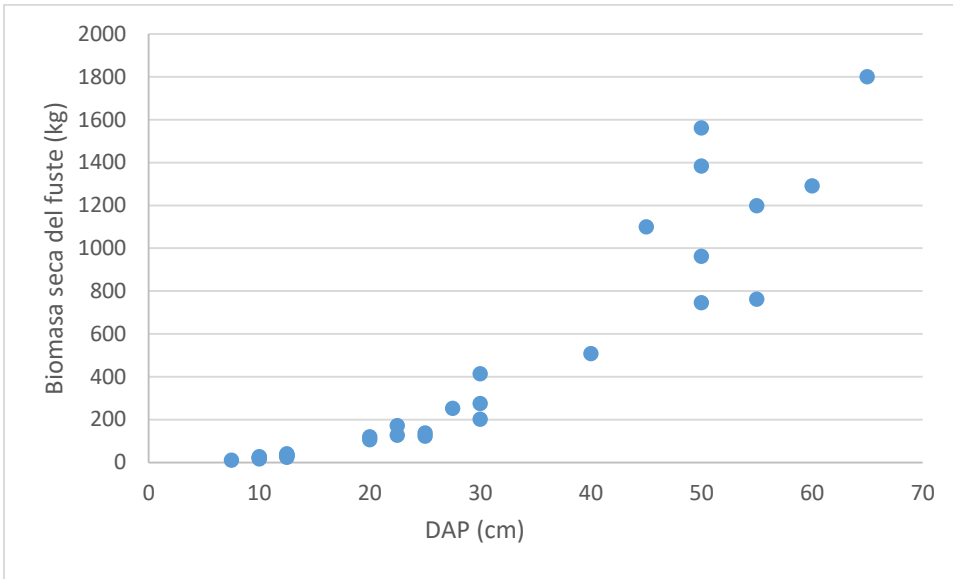


Figura 17: Relación del DAP (cm) y la biomasa seca (kg) de fuste de *Cedrelinga cateniformis*

7.2. BIOMASA SECA DE RAMAS

En la Figura 18 se presenta la relación entre DAP (cm) y el peso seco de las ramas principales. Se observa que hay poca relación entre las dos variables, haciéndose más dispersa a medida que incrementa el DAP.

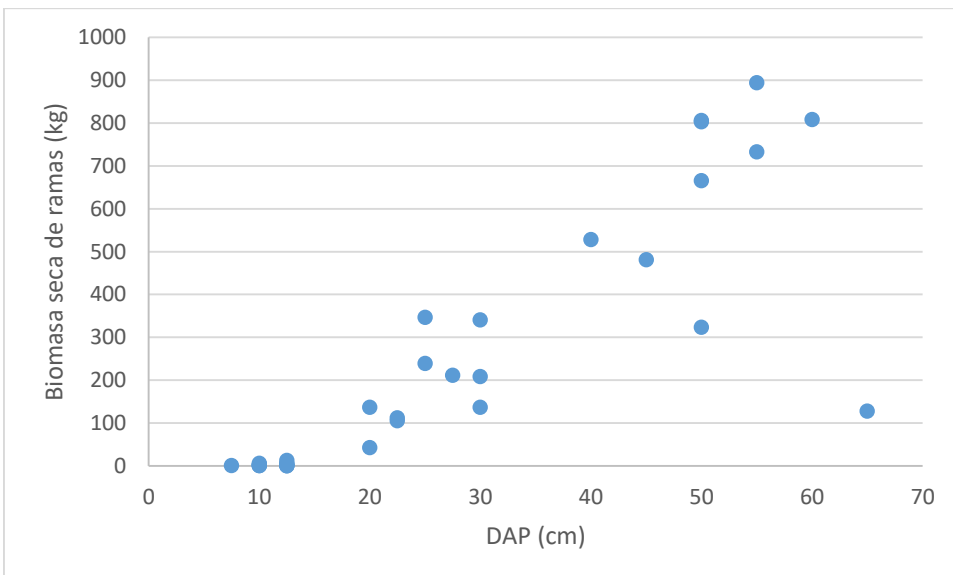


Figura 18: Relación del DAP (cm) y la biomasa seca (kg) de ramas de *Cedrelinga cateniformis*

7.3. BIOMASA AÉREA TOTAL

En la Figura 19 se presenta la relación entre la biomasa aérea total (BAT) de los árboles muestra y su DAP (cm). Si bien la tendencia es que a mayor DAP también mayor el peso de la biomasa aérea total, se observa que esta tendencia se va perdiendo a medida que incrementa el DAP, teniendo individuos con diferentes diámetros, pero similar BAT.

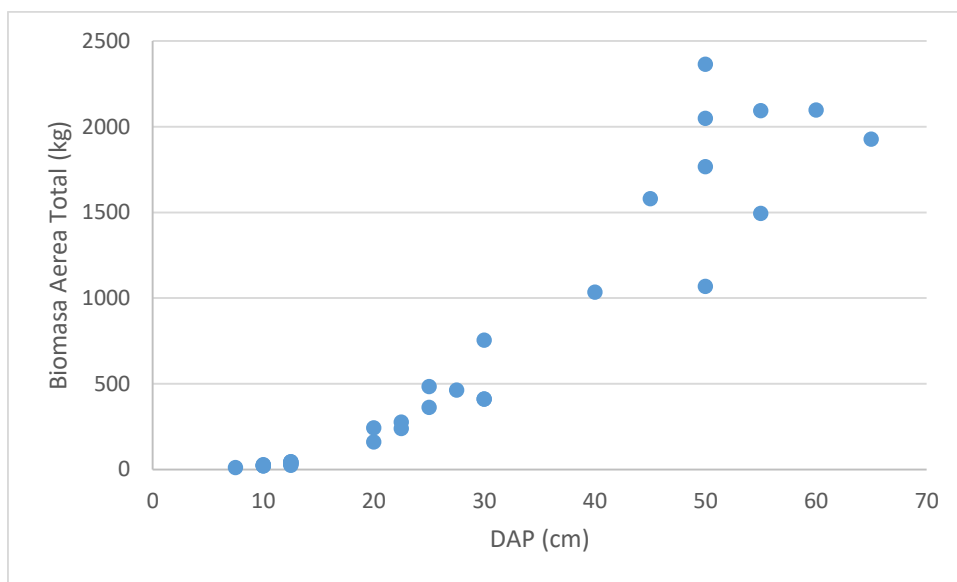


Figura 19: Biomasa aérea total de árboles muestra de *Cedrelinga cateniformis*

7.4. DISTRIBUCIÓN DE LA BIOMASA AÉREA SEGÚN COMPONENTES

En la Tabla 7 se observa que la biomasa total aérea de individuos de *Cedrelinga cateniformis* Ducke es distribuida: en promedio 37,38 % para ramas y 62,62 % para fuste,

Tabla 7: Distribución de biomasa seca en fuste y ramas de árboles muestra de *Cedrelinga cateniformis*.

Árbol	% Biomasa seca de Ramas	% Biomasa Seca de Fuste
CC01	0,77	99,23
CC02	26,69	73,31
CC03	1,54	98,46
CC04	1,13	98,87
CC05	7,07	92,93
CC06	11,19	88,81
CC07	0,88	99,12
CC08	1,00	99,00
CC09	12,25	87,75
CC10	0,71	99,29

Continuación.

Árbol	% Biomasa seca de Ramas	% Biomasa Seca de Fuste
CC11	27,86	72,14
CC12	10,37	89,63
CC13	6,61	93,39
CC14	38,52	61,48
CC15	26,55	73,45
CC16	45,63	54,37
CC17	46,91	53,09
CC18	33,18	66,82
CC19	38,11	61,89
CC20	45,20	54,80
CC21	32,49	67,51
CC22	30,24	69,76
CC23	33,95	66,05
CC24	51,02	48,98
CC25	49,05	50,95
CC26	42,75	57,25
CC27	45,60	54,40
CC28	71,75	28,25
CC29	50,81	49,19
CC30	56,50	43,50
CC31	66,21	33,79
CC32	30,45	69,55
PROMEDIO	37,38	62,62

En la Figura 20 se presenta la distribución de la biomasa en sus componentes ramas y fuste. Se observa mayor porcentaje de biomasa en el fuste de árboles con DAP menor a 20 cm, mientras que los árboles con DAP mayor a 20 cm tienen más alto porcentaje de biomasa en las ramas.

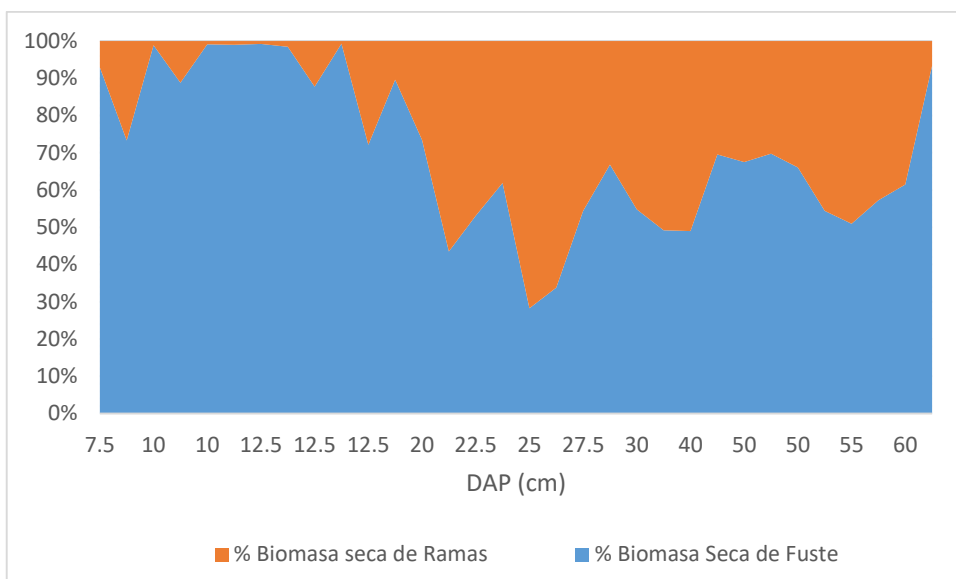


Figura 20: Distribución de biomasa en fuste y ramas de árboles muestra de *Cedrelinga cateniformis*

8. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CARBONO Y CO₂ EQUIVALENTE (CO₂ eq)

En la Tabla 8 se presenta el contenido de carbono almacenado en cada árbol y la cantidad de CO₂ equivalente que representan.

Tabla 8: Carbono almacenado en la biomasa de los árboles muestra de *Cedrelinga cateniformis*.

Código Árbol	Biomasa Aérea Total (kg)	Carbono (kg)	CO₂ eq (kg)
CC01	24,05	12,03	44,09
CC02	20,63	10,32	37,82
CC03	30,43	15,22	55,79
CC04	21,23	10,62	38,92
CC05	10,89	5,45	19,97
CC06	23,7	11,85	43,45
CC07	27,15	13,58	49,78
CC08	21,61	10,81	39,62
CC09	39,68	19,84	72,75
CC10	32,87	16,44	60,26
CC11	44,65	22,33	81,86
CC12	44,81	22,41	82,15
CC13	1927,75	963,88	3534,21
CC14	2098,24	1049,12	3846,77

Continuación.

Código Árbol	Biomasa Aérea Total (kg)	Carbono (kg)	CO₂ eq (kg)
CC15	160,85	80,43	294,89
CC16	462,67	231,34	848,23
CC17	238,62	119,31	437,47
CC18	410,76	205,38	753,06
CC19	276,49	138,25	506,90
CC20	753,5	376,75	1381,42
CC21	2048,16	1024,08	3754,96
CC22	1068,31	534,16	1958,57
CC23	2364,37	1182,19	4334,68
CC24	1035,32	517,66	1898,09
CC25	1494,55	747,28	2740,01
CC26	2092,7	1046,35	3836,62
CC27	1767,38	883,69	3240,20
CC28	483,34	241,67	886,12
CC29	410,12	205,06	751,89
CC30	242,17	121,09	443,98
CC31	361,09	180,55	662,00
CC32	1579,89	789,95	2896,47
Promedio	675,56	337,78	1238,53
TOTAL	22269,49	11134,75	40827,40

9. ELABORACIÓN DE ECUACIONES PARA BIOMASA AÉREA TOTAL

En la Tabla 9 se presentan las ecuaciones que se elaboraron según los modelos propuestos y su análisis en función al R^2 . Como se aprecia, las diez ecuaciones elaboradas presentan un R^2 mayor a 0,86.

Tabla 9: Ecuaciones de biomasa aérea total de los arboles muestra de *Cedrelinga cateniformis*

N°	MODELO	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	R ²
1	BAT = b ₀ + b ₁ × DAP	-512,6070	42,0130	-	-	0,8997
2	BAT = b ₁ × DAP ²	-	28,9493	-	-	0,8738
3	BAT = b ₀ + b ₁ × DAP ²	-4,5097	0,6128	-	-	0,8912
4	BAT = b ₁ × DAP + b ₂ × DAP ²	-	3,0891	0,5508	-	0,9387
5	BAT = b ₀ + b ₁ × DAP + b ₂ × DAP ²	-326,6247	26,0940	0,2381	-	0,9051
6	BAT = b ₀ + b ₁ × DAP ² × HT	138,6710	0,0214	-	-	0,8626
7	BAT = b ₀ + b ₁ × DAP ² + b ₂ × HT	-612,1579	0,2807	62,2300	-	0,9256
8	BAT = b ₁ × DAP + b ₂ × DAP ² + b ₃ × HT	-	-5,3659	0,6041	11,8603	0,9399
9	ln BAT = b ₀ + b ₁ × ln DAP	-2,9570	2,6610	-	-	0,9733
10	ln BAT = b ₀ + b ₁ × ln DAP + b ₂ × ln HT	-2,7551	2,8036	-0,2436	-	0,9738

9.1. ANÁLISIS DE LAS ECUACIONES EN FUNCIÓN DE LA PRUEBA DE FISHER

En la Tabla 10 se puede apreciar que todos los valores de F calculado (F_{cal}) resultaron ser mayores que los del F tabular (F_{tab}), por lo que todas las ecuaciones son estadísticamente significativas.

Tabla 10: Análisis de las ecuaciones en función de la prueba de Fisher

N°	Ecuación	F calculado	F tabular	Nivel de significancia
1	BAT = -512,61 + 42,01 × DAP	269,11	4,17	*
2	BAT = 0,61 × DAP ²	467,87	4,17	*
3	BAT = -4,51 + 0,61 × DAP	245,83	4,17	*
4	BAT = 3,09 × DAP + 0,55 × DAP ²	229,73	3,33	*
5	BAT = -326,63 + 26,09 × DAP + 0,24 × DAP ²	138,23	3,33	*
6	BAT = 138,67 + 0,02 × DAP ² × HT	188,38	4,17	*
7	BAT = -612,16 + 0,28 × DAP ² + 62,23 × HT	180,52	3,33	*
8	BAT = 5,37 × DAP + 0,60 × DAP ² + 11,86 × HT	151,09	2,95	*
9	ln BAT = -2,96 + 2,66 × ln DAP	1091,79	4,17	*
10	ln BAT = -2,76 + 2,80 × ln DAP - 0,24 × ln HT	539,97	3,33	*

9.2. ANÁLISIS DE LAS ECUACIONES EN FUNCIÓN DE LA PRUEBA “t” DE STUDENT

En la Tabla 11 se presenta el análisis con el estadístico t de Student. Los valores de los coeficientes de las ecuaciones no son significativos si el estadístico de prueba t_{calc} (t calculado) es menor que el valor t_{tab} (t tabular), lo que estadísticamente demuestra que el coeficiente respectivo de la ecuación no es diferente de 0, significando así que la variable en cuestión no explica a la biomasa. Se retiraron del análisis los modelos que resultaron no significativos.

Tabla 11: Análisis de las ecuaciones en función de la Prueba “t” de Student.

N°	Ecuación	t tab	t _{cal} b ₁	Nivel sig.	t _{cal} b ₂	Nivel sig.	t _{cal} b ₃	Nivel sig.
1	BAT = -512,61 + 42,01 × DAP	2,04	16,40	*				
2	BAT = 0,61 × DAP ²	2,04	21,63	*				
3	BAT = -4,51 + 0,61 × DAP	2,04	15,68	*				
4	BAT = 3,09 × DAP + 0,55 × DAP ²	2,04	0,64	n.s	5,64	*		
5	BAT = -326,63 + 26,09 × DAP + 0,24 × DAP ²	2,04	2,05	*	1,28	n.s		
6	BAT = 138,67 + 0,02x DAP ² × HT	2,04	13,73	*				
7	BAT = - 612,16 + 0,28 × DAP ² + 62,23 × HT	2,04	2,91	*	3,66	*		
8	BAT = 5,37 × DAP + 0,60 × DAP ² + 11,86 × HT	2,04	-0,44	n.s	4,97	*	0,75	n.s
9	ln BAT = -2,96 + 2,66 × ln DAP	2,04	33,04	*				
10	ln BAT = -2,76 + 2,80 × ln DAP - 0,24 × ln HT	2,04	14,47	*	-0,81	n.s		

En la Tabla 12 se presenta el resumen de las ecuaciones elaboradas que no fueron rechazadas, junto con su coeficiente de determinación (R^2).

Tabla 12: Ecuaciones de biomasa aérea total de los arboles muestra de *Cedrelinga cateniformis*

N°	ECUACIÓN	R ²
1	BAT = -512,61 + 42,01 × DAP	0,8997
2	BAT = 28,95 × DAP ²	0,8738
3	BAT = -4,51 + 0,61 × DAP ²	0,8912
6	BAT = 138,67 + 0,02x DAP ² × HT	0,8626
7	BAT = -612,16 + 0,28 × DAP ² + 62,23 × HT	0,9256
9	ln BAT = -2,96 + 2,66 × ln DAP	0,9733

10. SELECCIÓN DE LA MEJOR ECUACIÓN

De las ecuaciones elaboradas, se seleccionó las ecuaciones 7 y 9 que tuvieron el menor cuadrado medio del error (CME), tal como se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13: Selección de la mejor ecuación según el CME.

N°	ECUACIÓN	CME
1	$BAT = -512,61 + 42,01 \times DAP$	65 050,6036
2	$BAT = 28,95 \times DAP^2$	138 704,9535
3	$BAT = -4,51 + 0,61 \times DAP^2$	70 541,6739
6	$BAT = 138,67 + 0,02 \times DAP^2 \times HT$	89 100,1197
7	$BAT = -612,16 + 0,28 \times DAP^2 + 62,23 \times HT$	49 886,0543
9	$\ln BAT = -2,96 + 2,66 \times \ln DAP$	0,0904

En la Tabla 14 se presenta la selección de la mejor ecuación para estimar biomasa de *Cedrelinga cateniformis*. El modelo que presentó el menor Índice de Furnival y por lo tanto mejor ajuste, fue el modelo 9: $\ln BAT = -2,96 + 2,66 \times \ln DAP$.

Tabla 14: Selección de la mejor ecuación biomasa aérea total de los árboles de *Cedrelinga cateniformis*.

N°	ECUACIÓN	CME	IF
7	$BAT = -612,16 + 0,28 \times DAP^2 + 62,23 \times HT$	49886,0543	223,35
9	$\ln BAT = -2,96 + 2,66 \times \ln DAP$	0,0904	65,41

11. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA PARA ESTIMAR BIOMASA DE *Croton matourensis*

11.1. ELABORACIÓN DE ECUACIONES DE BIOMASA AÉREA TOTAL DE *Croton matourensis*

En la Tabla 15 se presentan las ecuaciones que se elaboraron para le especie *Croton matourensis*, según los modelos propuestos y su análisis en función al R^2 . Como se aprecia, las diez ecuaciones elaboradas presentan un R^2 mayor a 0,87.

Tabla 15: Ecuaciones de biomasa aérea total de los árboles muestra de *Croton matourensis*

N°	Ecuación	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	R ²
1	BAT = b ₀ + b ₁ × DAP	-1298,968	69,367			0,91
2	BAT = b ₁ × DAP ²		0,835			0,95
3	BAT = b ₀ + b ₁ × DAP ²	-243,670	0,983			0,96
4	BAT = b ₁ × DAP + b ₂ × DAP ²		-15,653	1,198		0,98
5	BAT = b ₀ + b ₁ × DAP + b ₂ × DAP ²	77,481	-20,400	1,261		0,96
6	BAT = b ₀ + b ₁ × DAP ² × HT	69,531	0,024			0,88
7	BAT = b ₀ + b ₁ × DAP ² + b ₂ × HT	-269,552	0,969	1,841		0,96
8	BAT = b ₁ × DAP + b ₂ × DAP ² + b ₃ × HT		-22,100	1,231	7,198	0,98
9	ln BAT = b ₀ + b ₁ × ln DAP	-3,329	2,827			0,93
10	ln BAT = b ₀ + b ₁ × ln DAP + b ₂ × ln HT	-3,740	2,069	0,967		0,95

11.1.1. ANÁLISIS DE LAS ECUACIONES DE *Croton matourensis* EN FUNCIÓN DE LA PRUEBA DE FISHER

En la Tabla 16 se puede apreciar que todos los valores de F calculado (F_{cal}) resultaran ser mayores que del F tabular (F_{tab}), por lo que todas las ecuaciones son estadísticamente significativas..

Tabla 16: Análisis de las ecuaciones de *Croton matourensis* en función de la prueba de Fisher

N°	Ecuación	F calculado	F tabular	Nivel de significancia
1	BAT = - 1298,968 + 69,367 × DAP	291,460	4,1960	*
2	BAT = 0,835 × DAP ²	593,051	4,1960	*
3	BAT = - 243,670 + 0,983 × DAP	648,549	4,1960	*
4	BAT = - 15,653 × DAP + 1,198 × DAP ²	595,951	3,3541	*
5	BAT = 77,481 - 20,400 × DAP + 1,261 × DAP ²	333,105	3,3541	*
6	BAT = 69,531 + 0,024x DAP ² × HT	203,135	4,1960	*
7	BAT = - 2,69,552 + 0,969 × DAP ² + 1,841 × HT	313,458	3,3541	*
8	BAT = -22,100 × DAP + 1,231 × DAP ² + 7,198 × HT	395,492	2,9752	*
9	ln BAT = -3,329 + 2,827 × ln DAP	347,970	4,1960	*
10	ln BAT = -3,740 + 2,069 × ln DAP + 0,967 × ln HT	263,002	3,3541	*

11.1.2. ANÁLISIS DE LAS ECUACIONES DE *Croton matourensis* EN FUNCIÓN DE LA PRUEBA “t” DE STUDENT

En la Tabla 17 se presenta el análisis con el estadístico t de Student. Todos los modelos que presentaron t_{calc} (t calculado) mayor que el valor t_{tab} (t tabular), fueron aceptados para este análisis. En este análisis los modelos 5, 7 y 8 fueron rechazados por no cumplir con la significancia de una de sus variable independientes.

Tabla 17: Análisis de las ecuaciones de *Croton matourensis* en función de la Prueba “t” de Student.

N°	Ecuación	t tab	t cal b ₁	Nive l sig.	t cal b ₂	Nive l sig.	t cal b ₃	Nive l sig.
1	BAT = - 1298,97 + 69,37 × DAP	2,04	17,07	*	-		-	
2	BAT = 0,84 × DAP ²	2,04	24,35	*	-		-	
3	BAT = - 243,670 + 0,98 × DAP	2,04	25,47	*	-		-	
4	BAT = - 15,65 × DAP + 1,20 × DAP ²	2,04	-5,37	*	16,67	*	-	
5	BAT = 77,48 - 20,40 × DAP + 1,26 × DAP ²	2,04	-1,30	n.s	5,81	*	-	
6	BAT = 69,53 + 0,02x DAP ² × HT	2,04	14,25	*	-		-	
7	BAT = - 269,55 + 0,97 × DAP ² + 1,84 × HT	2,04	14,19	*	0,25	n.s	-	
8	BAT = -22,10 × DAP + 1,231 × DAP ² + 7,20 × HT	2,04	-2,92	*	15,30	*	0,92	n.s
9	ln BAT = -3,33 + 2,83 × ln DAP	2,04	18,65	*	-		-	
10	ln BAT = -3,74 + 2,07 × ln DAP + 0,97 × ln HT	2,04	8,74	*	3,77	*	-	

En la tabla 18 se presenta el resumen de las ecuaciones elaboradas y su coeficiente de determinación (R²).

Tabla 18: Ecuaciones de biomasa aérea total de los árboles muestra de *Croton matourensis*

N°	Ecuación	R ²
1	BAT = - 1298,97 + 69,37 × DAP	0,91
2	BAT = 0,84 × DAP ²	0,95
3	BAT = - 243,670 + 0,98 × DAP	0,96
4	BAT = - 15,65 × DAP + 1,20 × DAP ²	0,98
6	BAT = 69,53 + 0,02x DAP ² × HT	0,88
9	ln BAT = -3,33 + 2,83 × ln DAP	0,93
10	ln BAT = -3,74 + 2,07 × ln DAP + 0,97 × ln HT	0,95

11.2. SELECCIÓN DE LA MEJOR ECUACIÓN DE *Croton matourensis*

De las ecuaciones elaboradas, se seleccionaron las ecuaciones 4 y 10 que tuvieron el menor cuadrado medio del error (CME), tal como se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19: Selección de la mejor ecuación según el CME.

N°	Ecuación	CME
1	$BAT = - 1298,97 + 69,37 \times DAP$	62462,568
2	$BAT = 0,84 \times DAP^2$	54625,922
3	$BAT = - 243,670 + 0,98 \times DAP$	29494,266
4	$BAT = - 15,65 \times DAP + 1,20 \times DAP^2$	27854,813
6	$BAT = 69,53 + 0,02x DAP^2 \times HT$	86331,887
9	$\ln BAT = -3,33 + 2,83 \times \ln DAP$	0,087
10	$\ln BAT = -3,74 + 2,07 \times \ln DAP + 0,97 \times \ln HT$	0,059

En la Tabla 20 se presenta la selección de la mejor ecuación para estimar biomasa de *Croton matourensis*. Se seleccionó el modelo 10: $\ln BAT = -3,74 + 2,07 \times \ln DAP + 0,97 \times \ln HT$ debido a que presenta el menor valor de índice de Furnival (IF).

Tabla 20: Selección de la mejor ecuación biomasa aérea total de los árboles de *Croton matourensis*.

N°	ECUACIÓN	CME	IF
4	$BAT = - 15,65 \times DAP + 1,20 \times DAP^2$	27854,813	166,90
10	$\ln BAT = -3,74 + 2,07 \times \ln DAP + 0,97 \times \ln HT$	0,059	94,41

V. CONCLUSIONES

- 1) El modelo determinado para biomasa aérea total de *Cedrelinga cateniformis* Ducke en sistemas agroforestales para el Alto Mayo, San Martín, es:

$$\ln \text{BAT} = -2,96 + 2,66 \times \ln \text{DAP}$$

- 2) La biomasa aérea total de la especie *Cedrelinga cateniformis* Ducke en sistemas agroforestales en el Alto Mayo, San Martín, en árboles con DAP promedio de 28.8 cm es 675,56 kg.
- 3) En promedio, la biomasa aérea de un árbol de la especie *Cedrelinga cateniformis* Ducke está distribuida 62,62 % en el fuste y 37,38 % en las ramas.
- 4) La metodología aplicada en el estudio permite elaborar estimaciones de la cantidad biomasa aérea total de árboles de la especie de *Cedrelinga cateniformis* y puede ser utilizada para otras especies como el *Croton matourensis*.
- 5) Aplicando la metodología descrita, el modelo determinado para biomasa aérea total de *Croton matourensis* en sistemas agroforestales para el Alto Mayo, San Martín, es:

$$\ln \text{BAT} = -3,74 + 2,07 \times \ln \text{DAP} + 0,97 \times \ln \text{HT}$$

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un inventario de las especies estudiadas en sistemas agroforestales del Alto Mayo y proyectar los contenidos de biomasa a partir de los modelos propuestos en la presente investigación.
- Se recomienda validar los modelos de biomasa elaborados en la presente investigación en otras regiones del país.
- Se recomienda desarrollar ecuaciones de contenido de carbono a partir de las estimaciones de biomasa generadas en el presente trabajo.
- Se recomienda desarrollar estudios considerando también las raíces y hojas de los árboles en la cuantificación de la biomasa y carbono, así como en la hojarasca.
- La precisión de las ecuaciones determinadas para la estimación de la biomasa aérea de las especies estudiadas corresponden a una zona con características climáticas, fisiológicas y condiciones ambientales propias del Alto Mayo, por lo tanto la aplicación de la ecuación debe estar sujeta a condiciones similares para lograr la precisión adecuada.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, M.; Kikata, Y. 1994. Atlas de Maderas del Perú. Lima, PE, UNALM - Universidad de Nagoya Japón. 202 p.
- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos: Predicción del rendimiento. FAO. Roma, IT. v. 2, 80 p. (Estudio FAO Montes 22).
- Álvarez, G. 2008. Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia. Tesis Mg. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 89 p.
- Ares, A.; Boniche, J.; Quesada, J.; Yost, R.; Molina, Eloy.; Smyth, T. 2002. Estimación de biomasa por métodos alométricos, nutrimentos y carbono en plantaciones de palmito en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 26(2): 19-30.
- Arévalo, L; Palm, C; Alegre, J. 2003. Manual de determinación de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú. ICRAF. Lima, PE. 24 p.
- Aróstegui, A. 1974. Estudio Tecnológico de Maderas del Perú (Zona Pucallpa). Características y Usos de la madera de 145 especies del país. Vol. II. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 483 p.
- Aróstegui, A. 1982. Recopilación y Análisis de Estudios Tecnológicos de maderas peruanas. Lima, PE, PNUD- FAO. 57p. (Documento de Trabajo N°2).
- Aróstegui, A; Díaz, M. 1992. Propagación de especies forestales nativas promisorias en Jenaro Herrera. Iquitos, PE, IICA 119 p.
- Asumadu, K. 1998. El comercio de los derechos de emisión: una nueva oportunidad para los países productores de maderas tropicales. *Actualidad Forestal Tropical*. Camberra. Australia. 6 (4) 1 - 4.
- Ávila, G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 99 p.

- Ávila, G; Jimenez, F; Beer, J; Gómez, M; Ibrahim, M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8(30): 32 – 35.
- Baluart, J; Álvarez, JG. 2015. Modelamiento del crecimiento de tornillo *Cedrelinga catenaeformis* Ducke en plantaciones en Jenaro Herrera, departamento de Loreto, Perú. *Folia Amazonica*. INIA. 24(1): 21 – 32.
- Barrena, V; Dancé, J; Sáenz, D. 1986. Metodología para la selección de ecuaciones de volumen. *Revista Forestal del Perú*. 13(2): 1-10.
- Barrena, V; Gamica, C; Ocaña, J; Rosero, J. 2008. Instructivo de campo: brigadas de forma y volumen. Proyecto UNALM-ITTO PD 251/03 Rev. 3(F): “Evaluación de las existencias comerciales y estrategia para el manejo sostenible de la Caoba (*Swietenia macrophylla*) en el Perú”. Lima, PE. 15 p.
- Benito, A. 2010. Paquete tecnológico de manejo integrado del café. Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA. Lima, PE. 12 p.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer. FAO, Montes 134. Roma. 55 p.
- Cabrera, N. 2016. Estimación de biomasa aérea de *Inga edulis* Mart. y *Coffea arabica* L. en el Alto Mayo, San Martín. Tesis Ing. Forestal. Lima. PE, UNALM. 108 p.
- Cabrera, N; Galluser, S; Kroll, B; Varese, E; Zurita, F. 2017. Café 2.0. Manual de caficultura climáticamente inteligente. Lima, PE. Solidaridad South America. 176 p.
- Ciesla, W. 1996. Cambio Climático, bosques y ordenación forestal: una visión de conjunto. FAO. Roma, IT. 147 p. (Estudio FAO Montes 126).
- CMNUCC (Proyecto Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, PE). 2009. Inventario Nacional Integrado de Gases de Efecto Invernadero del Perú en el año 2000. Lima, PE. 54 p.
- Comunidad Andina. 2009. Plan de ordenamiento territorial del distrito de Soritor: Voluntades locales en práctica. Lima, PE, 40 p.
- Dauber, EJ; Terán R; Guzmán. 2002. Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. *Revista Forestal Iberoamericana* 1(1): 1-10.

- Dávalos, R; Rodrigues, M; Martinez, E. 2008. Almacenamiento de Carbono. En: Manson, R; Hernández-Ortíz; V; Gallina S; Mehltreter, K. (EDS). Agrosistemas cafetaleros en Veracruz: Biodiversidad, manejo y conservación México. INE. 223- 248.
- DRASAM (Dirección Regional de Agricultura San Martín, PE). 2009. Plan estratégico regional sectorial 2009 – 2015. Gobierno Regional San Martín. Tarapoto. 73 p.
- De Petre, A; Karlin, UO; Ali, S; Reynero, N. 2006. Alternativas de sustentabilidad del bosque nativo del Espinal. Área captura de carbono. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas. PIARFON. Argentina. 15 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 1998. FRA 2000: Directrices para la evaluación en los países tropicales y subtropicales (en línea). Roma, IT. Consultado 26 set. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/007/ae218s/AE218S00.htm#TopOfPage>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2001. Situación de los bosques del mundo. FAO. Roma, IT. 168 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2013. Directrices sobre el cambio climático para los gestores forestales. FAO. Roma, IT. 110 p. (Estudio FAO Montes 172).
- Farfán, F. 2014. Agroforestería y Sistemas Agroforestales con Café. Caldas, CO. FNC - Cenicafé. 342 p.
- Fonseca, W; Alice, F; Rey, JM. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. Bosque (Valdivia). 30(1): 36-47.
- Fucaraccio, F; Sttafieri, M. 1999. Desarrollo y uso de ecuaciones de volumen y tablas de volumen en la República de Argentina: Informe técnico. Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires, AR. 26 p.
- Gómez, J; Etchevers, J; Monterrosos, A; Campo, J; Tinoco, J. 2011. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Quercus magnoliaefolia*. Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 17(2): 261–272.

- González, M. 2008. Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Mtz. y *Quercus* sp. en el norte del estado de Chiapas, México. Tesis de Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 97 p.
- GTZ (Cooperación Técnica Alemana, DE). 2004. Análisis socio-económico y ambiental de la cuenca del Alto Mayo. CONDESAN. San Martín, PE. 167 p.
- Holdridge, LR. 1967. Ecología Basada en Zonas de Vida. Tropical Science Center. San José, CR. 206 p.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, PE). 2006. Protocolo estandarizado de oferta tecnológica para el cultivo del cacao en el Perú. Lima. 73 p.
- INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales, PE). 2008. Plan Maestro del Bosque de Protección Alto Mayo 2008 – 2013. Lima. 272 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, CH). 1996. Chapter 5: Land use change & forestry. Greenhouse gas inventory reference manual. London. 57 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, CH). 2000. Uso de la tierra, cambio del uso de la tierra: Informe especial. Resumen para responsables de políticas. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Montreal, CA. 24 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, CH). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, CH. 104 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, CH). 2013. Climate Change 2013: The physical science basis contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA. 1535 p.
- Isaza, C; Cornejo, JM. 2015. El café y los mercados de carbono. Solidaridad. 37 p.

- Lapeyre, T; Alegre, J; Arévalo, L. 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Ecología aplicada* 3(1/2): 35 – 44.
- Llanos, M. 2010. Determinación de la biomasa aérea total del algarrobo *Prosopis pallida* (H & B. Ex Willd.) HBK var. *pallida* Ferreira en los bosques secos de la Comunidad Campesina José Ignacio Távora Pasapera del departamento de Piura. Tesis Ing. Forestal. Lima. PE, UNALM. 132 p.
- López, R. 1980. Estudio silvicultural del Tornillo (*Cedrelinga catenaeformis* Ducke). Universidad Nacional Agraria. La Molina, Ministerio de Agricultura. *Revista Forestal del Perú* V 10(1):181-191.
- MINAG (Ministerio de Agricultura, PE). 2003. Caracterización de las zonas cafetaleras en el Perú: Informe final. PROAMAZONIA. Lima, PE. 136 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, PE). 2009. Identificación de metodologías existentes para determinar stock de carbono en ecosistemas forestales. Segunda comunicación nacional del Perú a la CMNUCC. 99 p.
- Montagnini, F; Nair, P. 2004. Carbon sequestration: An unerexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*. 61(1): 281 – 295.
- Montagnini, F; Somarriba, E; Murgueitio, E; Fassola, H; Eibl, B. 2015. Sistemas Agroforestales. Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales. Serie técnica. Informe técnico 402. CATIE, Turrialba, CR. 454 p.
- Pandey, N. 2002. Carbon sequestration in agroforestry systems. *Climate Policy* 2(4): 367–377.
- ONU (Naciones Unidas). 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Nueva York. 27 p. Consultado 24 oct. 2016. Disponible en <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Ortiz, MA. 1993. Técnicas para la estimación del crecimiento y rendimiento de árboles individuales y bosques. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 71 p.
- Ortiz-Ceballos G. 2004. El Agroecosistema café: Crisis de mercado y sustentabilidad. Tesis de Doctorado en Ciencias, Programa en Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Posgraduados, Campus Veracruz. México. 125 p.

- Parresol, R. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science*, Washington, US. 45(4): 610.
- Peeters, LYK; Soto-Pinto, L; Perales, H; Montoya, G; Ishiki, M. 2003. Coffee production, timber and firewood in traditional and Inga-shade plantations in Southern Mexico. *Agriculture Ecosystems and Environment* 95:481-493.
- Peña del Valle, AE; Pérez, E; Pérez, I. 2006. Café sustentable y abonos de carbono. En: Pohlen J, Soto L, Barrera J, Editores. *El cafetal del futuro*. Shaker Verlag. Aachen, Alemania. 333-360.
- Pereyra, O; Gelid, M. 2002. Estudio de la variabilidad de la densidad básica de la madera de *Pinus taeda* para plantaciones de Misiones y Norte de Corrientes. *Revista Floresta* 33(1): 3-19.
- Polzot, C. 2004. Carbon storage in coffee agroecosystems of Southern Costa Rica: Potential applications for the clean development mechanism. Major paper Master in Environmental. Toronto, CA. York University. 162 p.
- Programa ONU-REDD. 2015. Bosques, secuestro de carbono y cambio climático. Academia REDD+: Reducción de emisiones de carbono causadas por la deforestación y la degradación de los bosques. Diario de aprendizaje. FAO/PNUD/PNUMA. 28 p.
- Reynel, C; Pennington, R; Pennington, T; Flores, C; Daza, A. 2003. Árboles útiles de la Amazonía peruana y sus usos: Un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies. ICRAF. Lima, PE. 537 p.
- Rügnitz, M; Chacón, M; Porro, R. 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. ICRAF/IA. Lima, PE. 79 p. (Manual técnico no. 11).
- Ruiz, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás Nicaragua. Tesis Mag Sc. Turrialba, CR, CATIE. 119 p.
- Santiago, P; Guevara, C; Espinoza, M. 2013. Manual de transformación de la madera. Proyecto: Utilización industrial y mercado de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales. AIDER/MINAGRI/ITTO. Lima, PE. 112 p.

- Schlegel, B; Gayoso, J; Guerra, J. 2000. Manual de procedimientos: Muestreos de biomasa forestal. Universidad Austral de Chile. Valdivia, CL. 26 p.
- Seeberg-Elverfeldt, C. 2010. Las posibilidades de financiación del carbono para la agricultura, la actividad forestal y otros proyectos de uso de la tierra en el contexto del pequeño agricultor. Roma, IT. FAO. 32 p.
- Segura, M. 1999. Valoración de los servicios de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados en el área de conservación Cordillera Volcánica Central. Tesis Mag Sc. Turrialba, CR, CATIE. 119 p.
- Segura, M; Kanninen, M. 2002. Inventario para estimar carbono en ecosistemas forestales tropicales. In Orozco, L; Brumer, C. (Eds.). Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Turrialba CR. CATIE. p. 202-216. (Serie Técnica. Manual Técnico No. 50).
- Segura, M; Kanninen, M; Suárez, D. 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. *Agroforestry Systems* 68:143–150.
- Segura, M; Andrade, H. 2008. ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes?. *Agroforestería en las Américas* 46: 89 - 96.
- Seppänen, P. 2012. Secuestro de carbono a través de plantaciones de eucalipto en el trópico húmedo. *Foresta Veracruzana* 4(2): 51-58.
- SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, PE). 2015. Reglamento para la gestión de las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales. Lima, PE. 58 p.
- Somarriba, E. 1990. ¿Qué es agroforestería? *El Chasqui: Boletín informativo sobre recursos naturales renovables* 8(24): 5-13.
- Soto-Pinto L, De Jong BHJ, Esquivel Bazán E, Quechulpa S. 2006. Potencial ecológico y económico de captura de carbono en cafetales. En: Pohlman J, Soto L, Barrera J, Editores. *El cafetal del futuro*. Shaker Verlag. Aachen, Alemania. 333-360.
- Tirabanti, J. 2011. Manejo agroforestal multiestrato para el cultivo de café. Una propuesta para ecosistemas frágiles. Moyobamba, PE. *Soluciones Prácticas*. 36 p.

- UNFCCC (United Nation Framework Convention on Climate Change, DE). 2014. Protocolo de Kyoto: Información Básica (en línea). Consultado 24 oct. 2016. Disponible en http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/protocolo_de_kyoto/items/6215.php
- Vásquez, A; Arellano, H. 2012. Estructura, biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del sur y noroccidente de Córdoba. Bogotá, CO. 37 p.
- Vega, N. 2010. Evaluación de las propiedades físico mecánicas de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke procedente de plantaciones de 20 años del Bosque Nacional Alexander von Humboldt, Ucayali (Perú) Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 185 p.
- Wightman, K; Cornelius, J; Ugarte, J. 2006. ¡Plantemos madera! Manual sobre el establecimiento, manejo y aprovechamiento de plantaciones maderables para productores de la Amazonía peruana. ICRAF. Lima, PE. 193 p. (Manual técnico no 4).
- Zevallos, P. 2004. Dendrología, anatomia do lenho e “status” de conservação das espécies lenhosas dos gêneros Cinchona, Croton e Uncaria no Estado do Acre, Brasil. Tesis Doctorado, Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz. Piracicaba, Brasil. 181 p.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

DIAMETROS A DIFERENTES ALTURAS DE LA ESPECIE *CEDRELINGA* *CATENIFORMIS*

<i>Código</i>	<i>Altura</i>	<i>Base</i>	<i>DAP</i>	<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>S3</i>	<i>S4</i>	<i>S5</i>	<i>S6</i>	<i>S7</i>
CC01	10,5	15,0	12,5	10,0	7,5	7,5	5,0	5,0	-	-
CC02	5,0	10,0	10,0	7,5	5,0	5,0	-	-	-	-
CC03	11,8	15,0	12,5	10,0	7,5	7,5	5,0	5,0	2,5	2,5
CC04	10,0	10,0	10,0	7,5	7,5	5,0	5,0	5,0	5,0	-
CC05	6,5	10,0	7,5	5,0	5,0	-	-	-	-	-
CC06	9,5	12,5	10,0	10,0	7,5	5,0	5,0	-	-	-
CC07	11,5	12,5	10,0	10,0	7,5	7,5	5,0	5,0	5,0	-
CC08	10,5	12,5	10,0	10,0	7,5	5,0	5,0	5,0	-	-
CC09	11,0	15,0	12,5	10,0	10,0	7,5	7,5	7,5	5,0	-
CC10	11,8	15,0	12,5	10,0	10,0	7,5	5,0	5,0	-	-
CC11	11,3	15,0	12,5	10,0	10,0	7,5	5,0	5,0	-	-
CC12	12,0	15,0	12,5	12,5	10,0	10,0	7,5	7,5	5,0	-
CC13	28,0	70,0	65,0	60,0	50,0	40,0	30,0	25,0	25,0	20,0
CC14	30,0	60,0	60,0	50,0	45,0	40,0	-	-	-	-
CC15	12,3	25,0	20,0	17,5	15,0	12,5	12,5	10,0	-	-
CC16	13,0	32,5	27,5	25,0	20,0	17,5	15,0	15,0	15,0	-
CC17	12,5	27,5	22,5	20,0	20,0	17,5	-	-	-	-
CC18	16,5	35,0	30,0	25,0	20,0	20,0	-	-	-	-
CC19	12,8	27,5	22,5	20,0	17,5	15,0	12,5	12,5	-	-
CC20	16,5	40,0	30,0	30,0	30,0	30,0	-	-	-	-
CC21	23,0	60,0	50,0	45,0	45,0	40,0	35,0	35,0	-	-
CC22	18,0	55,0	50,0	40,0	35,0	30,0	-	-	-	-
CC23	29,0	50,0	50,0	45,0	45,0	45,0	40,0	40,0	-	-
CC24	16,0	45,0	40,0	35,0	30,0	30,0	-	-	-	-
CC25	28,0	60,0	55,0	50,0	40,0	-	-	-	-	-
CC26	24,0	60,0	55,0	50,0	45,0	40,0	40,0	-	-	-
CC27	26,0	55,0	50,0	45,0	35,0	35,0	35,0	-	-	-
CC28	13,0	30,0	25,0	22,5	20,0	20,0	-	-	-	-
CC29	13,3	35,0	30,0	27,5	25,0	25,0	-	-	-	-
CC30	12,5	25,0	20,0	20,0	20,0	15,0	-	-	-	-
CC31	12,5	27,5	25,0	25,0	22,5	-	-	-	-	-
CC32	24,0	50,0	45,0	40,0	40,0	40,0	35,0	35,0	35,0	-

ANEXO 2

VARIABLES DASOMÉTRICAS DE LA ESPECIE *Croton matourensis*

N°	Código	DAP (cm)	Altura total (m)
1	CM01	17,50	15,00
2	CM02	20,00	14,50
3	CM03	25,00	15,00
4	CM04	25,00	17,50
5	CM05	22,50	17,00
6	CM06	17,50	14,50
7	CM07	20,00	15,00
8	CM08	30,00	26,00
9	CM09	22,50	20,00
10	CM10	25,00	20,50
11	CM11	30,00	27,00
12	CM12	12,50	10,75
13	CM13	60,00	28,00
14	CM14	20,00	13,50
15	CM15	30,00	26,00
16	CM16	20,00	22,00
17	CM17	45,00	30,00
18	CM18	45,00	33,00
19	CM19	40,00	27,50
20	CM20	35,00	26,00
21	CM21	20,00	19,50
22	CM22	20,00	21,50
23	CM23	55,00	45,00
24	CM24	45,00	35,00
25	CM25	27,50	15,00
26	CM26	27,50	15,00
27	CM27	25,00	17,50
28	CM28	25,00	16,50
29	CM29	25,00	16,00
30	CM30	25,00	18,00

ANEXO 3

DIAMETROS A DIFERENTES ALTURAS DE LA ESPECIE *Croton matourensis*

<i>n</i> ^o	Altura (m)	Base	DAP	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
1	15.0	20.0	17.5	17.5	17.5	15.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	14.5	20.0	20.0	17.5	17.5	17.5	15.0	15.0	-	-	-	-	-	-	-	-
3	15.0	27.5	25.0	22.5	22.5	20.0	20.0	20.0	-	-	-	-	-	-	-	-
4	17.5	30.0	25.0	20.0	20.0	20.0	17.5	17.5	17.5	15.0	-	-	-	-	-	-
5	17.0	22.5	22.5	20.0	20.0	17.5	17.5	17.5	-	-	-	-	-	-	-	-
6	14.5	20.0	17.5	17.5	15.0	15.0	15.0	15.0	12.5	10.0	-	-	-	-	-	-
7	15.0	20.0	20.0	17.5	17.5	15.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	26.0	30.0	30.0	30.0	27.5	27.5	22.5	20.0	17.5	17.5	-	-	-	-	-	-
9	20.0	25.0	22.5	20.0	17.5	15.0	15.0	12.5	15.0	-	-	-	-	-	-	-
10	20.5	25.0	25.0	22.5	20.0	17.5	15.0	15.0	-	-	-	-	-	-	-	-
11	27.0	35.0	30.0	30.0	27.5	27.5	27.5	27.5	20.0	-	-	-	-	-	-	-
12	10.8	15.0	12.5	10.0	10.0	7.5	7.5	5.0	-	-	-	-	-	-	-	-
13	28.0	60.0	60.0	55.0	50.0	50.0	40.0	40.0	40.0	30.0	30.0	30.0	-	-	-	-
14	13.5	25.0	20.0	17.5	17.5	15.0	15.0	12.5	12.5	12.5	10.0	7.5	-	-	-	-
15	26.0	35.0	30.0	30.0	30.0	30.0	25.0	25.0	25.0	25.0	22.5	20.0	20.0	-	-	-
16	22.0	22.5	20.0	20.0	17.5	15.0	15.0	15.0	12.5	12.5	12.5	-	-	-	-	-
17	30.0	50.0	45.0	45.0	35.0	35.0	35.0	30.0	30.0	30.0	25.0	25.0	20.0	-	-	-
18	33.0	50.0	45.0	45.0	40.0	35.0	30.0	30.0	30.0	25.0	25.0	20.0	20.0	-	-	-
19	27.5	50.0	40.0	40.0	35.0	30.0	30.0	25.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	-	-	-
20	26.0	40.0	35.0	30.0	30.0	30.0	30.0	25.0	25.0	20.0	20.0	20.0	-	-	-	-
21	19.5	20.0	20.0	17.5	15.0	15.0	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	-	-	-	-	-
22	21.5	25.0	20.0	20.0	20.0	15.0	15.0	12.5	10.0	10.0	-	-	-	-	-	-
23	45.0	60.0	55.0	50.0	50.0	40.0	40.0	40.0	40.0	-	-	-	-	-	-	-
24	35.0	45.0	45.0	40.0	40.0	40.0	35.0	30.0	25.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	15.0
25	15.0	30.0	27.5	25.0	20.0	17.5	15.0	10.0	-	-	-	-	-	-	-	-
26	15.0	30.0	27.5	25.0	20.0	20.0	17.5	15.0	-	-	-	-	-	-	-	-
27	17.5	30.0	25.0	25.0	20.0	20.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	16.5	25.0	25.0	22.5	20.0	20.0	17.5	17.5	15.0	15.0	-	-	-	-	-	-
29	16.0	30.0	25.0	25.0	22.5	20.0	20.0	20.0	-	-	-	-	-	-	-	-
30	18.0	30.0	25.0	22.5	20.0	20.0	17.5	15.0	15.0	15.0	-	-	-	-	-	-

ANEXO 4

DENSIDAD BÁSICA DE LA MADERA DE LA ESPECIE *Croton matourensis*

Código	DAP (cm)	Densidad Básica (gr/cm³)
CM01	17,5	0,35
CM02	20,0	0,37
CM03	25,0	0,35
CM04	25,0	0,43
CM05	22,5	0,42
CM06	17,5	0,37
CM07	20,0	0,32
CM08	30,0	0,37
CM09	22,5	0,34
CM10	25,0	0,37
CM11	30,0	0,41
CM12	12,5	0,46
CM13	60,0	0,50
CM14	20,0	0,35
CM15	30,0	0,42
CM16	20,0	0,45
CM17	45,0	0,41
CM18	45,0	0,51
CM19	40,0	0,41
CM20	35,0	0,33
CM21	20,0	0,36
CM22	20,0	0,43
CM23	55,0	0,46
CM24	45,0	0,43
CM25	27,5	0,41
CM26	27,5	0,44
CM27	25,0	0,37
CM28	25,0	0,36
CM29	25,0	0,38
CM30	25,0	0,36

ANEXO 5

VOLUMEN TOTAL DE LA ESPECIE *Croton matourensis*

ÁRBOL	VOLUMEN FUSTE	VOLUMEN RAMAS	VOLUMEN TOTAL (m ³)
CM01	0,193404	0,035588	0,228993
CM02	0,291579	0,056450	0,348030
CM03	0,442277	0,214021	0,656298
CM04	0,498482	0,170579	0,669061
CM05	0,511245	0,238211	0,749456
CM06	0,301397	0,007363	0,308760
CM07	0,197699	0,134254	0,331953
CM08	1,328305	0,164443	1,492747
CM09	0,530880	0,095720	0,626600
CM10	0,585122	0,237583	0,822705
CM11	1,488330	0,545852	2,034181
CM12	0,093266	0,017654	0,110920
CM13	5,301438	1,808968	7,110406
CM14	0,372573	0,013106	0,385680
CM15	2,110758	0,670534	2,781291
CM16	0,623901	0,082712	0,706613
CM17	3,487168	0,512865	4,000033
CM18	3,345796	0,709804	4,055600
CM19	2,607522	0,376991	2,984513
CM20	2,089159	0,178678	2,267837
CM21	0,509036	0,023562	0,532598
CM22	0,587085	0,031661	0,618746
CM23	3,895575	1,597304	5,492878
CM24	3,479314	0,215003	3,694317
CM25	0,645990	0,064304	0,710294
CM26	0,720603	0,108483	0,829086
CM27	0,526217	0,228011	0,754228
CM28	0,771654	0,089339	0,860993
CM29	0,716676	0,163216	0,879891
CM30	0,824668	0,128854	0,953522

ANEXO 6

BIOMASA AÉREA TOTAL DE LA ESPECIE *Croton matourensis*

Código Árbol	Biomasa Seca de Ramas (kg)	Biomasa Seca de Fuste (kg)	Biomasa Aérea Total (kg)
CM01	12,29	66,79	79,08
CM02	20,69	10,69	127,59
CM03	75,97	15,70	232,97
CM04	72,83	21,28	285,67
CM05	100,44	21,56	316,01
CM06	2,72	11,12	113,92
CM07	42,84	6,31	105,93
CM08	60,91	49,20	552,95
CM09	32,52	18,04	212,88
CM10	86,78	21,37	300,52
CM11	221,45	60,38	825,27
CM12	8,17	4,32	51,33
CM13	901,20	264,11	3,542,30
CM14	4,64	13,20	136,65
CM15	283,31	89,18	1,175,15
CM16	37,38	28,20	319,33
CM17	210,88	143,39	1,644,75
CM18	361,86	170,57	2,067,54
CM19	154,37	106,77	1,222,08
CM20	58,17	68,02	738,37
CM21	8,57	18,51	193,69
CM22	13,69	25,39	267,58
CM23	729,32	177,87	2,508,03
CM24	91,79	148,55	1,577,27
CM25	26,15	26,27	288,86
CM26	47,33	31,44	361,69
CM27	83,34	19,23	275,68
CM28	32,22	27,83	310,52
CM29	62,61	27,49	337,52
CM30	46,17	29,55	341,67

ANEXO 7

CARBONO CONTENIDO EN LA BIOMASA AÉREA TOTAL DE LA ESPECIE

Croton matourensis

Código Árbol	Biomasa Aérea Total (kg)	Carbono (kg)	CO₂ eq (kg)
CM01	79,08	35,59	130,48
CM02	127,59	57,42	210,52
CM03	232,97	104,84	384,40
CM04	285,67	128,55	471,36
CM05	316,01	142,20	521,42
CM06	113,92	51,26	187,97
CM07	105,93	47,67	174,78
CM08	552,95	248,83	912,37
CM09	212,88	95,80	351,25
CM10	300,52	135,23	495,86
CM11	825,27	371,37	1361,70
CM12	51,33	23,10	84,69
CM13	3542,3	1594,04	5844,80
CM14	136,65	61,49	225,47
CM15	1175,15	528,82	1939,00
CM16	319,33	143,70	526,89
CM17	1644,75	740,14	2713,84
CM18	2067,54	930,39	3411,44
CM19	1222,08	549,94	2016,43
CM20	738,37	332,27	1218,31
CM21	193,69	87,16	319,59
CM22	267,58	120,41	441,51
CM23	2508,03	1128,61	4138,25
CM24	1577,27	709,77	2602,50
CM25	288,86	129,99	476,62
CM26	361,69	162,76	596,79
CM27	275,68	124,06	454,87
CM28	310,52	139,73	512,36
CM29	337,52	151,88	556,91
CM30	341,67	153,75	563,76
Promedio	683,76	307,69	1128,20
TOTAL	20512,80	9230,76	33846,12

