

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA DE
INGA EDULIS MART. Y COFFEA
ARABICA L. EN EL ALTO MAYO, SAN
MARTÍN**

Presentado por:

Nelly Berenice Cabrera Qquellhua

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL

Lima -
Perú 2016

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por la ex-alumna de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. **NELLY BERENICE CABRERA QUELLHUA**, intitulado “ **ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA DE INGA EDULIS MART. Y COFFEA ARABICA L. 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 considerada APTA y recibir el título de **INGENIERO FORESTAL**.

La Molina, 7 de octubre de 2015

.....
Dr. Gilberto Domínguez Torrejon
Presidente

.....
Ing. Juan Carlos Ocaña
Miembro

.....
Mg. Sc. Ethel Rubín Celis Llanos
Miembro

Mg. Sc. Víctor Barrena Arroyo
Asesor

DEDICATORIA

A mis padres, Ylda y José, y a mis hermanos, José Luis, Giancarlo y Katherine, a quienes les debo todo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres Ylda y José, quienes con su apoyo y ejemplo de trabajo fueron guiándome durante el desarrollo de esta investigación, y a mis hermanos José Luis, Giancarlo y Katherine, por el apoyo incondicional que me brindaron en todo el proceso de esta tesis y de mis estudios de pregrado.

Agradezco a mi asesor Víctor Barrera por haber colaborado en la investigación desde el principio, por aceptar ser mi asesor y por orientarme en toda la elaboración del documento.

Agradezco a SOLIDARIDAD como institución, por haberme apoyado en la parte económica y logística.

Además quiero agradecer a todas las personas que se han involucrado directa e indirectamente en el desarrollo de esta investigación, especialmente:

- En Solidaridad a: Ezio Varese, Víctor Pérez, Julio Ugarte, Benjamin Kroll, Shirley Amaringo, Karina Fachin, Fredegundo Zurita, Noel Tulumba, Alfonso Cachique, Percy Jara, Jhony Vásquez, Rosa Vela, Jorge Montalván, Karen López, July Villoslada, Lister Pinedo y Marilen Puerta.

- A los dueños de las fincas, por permitir que ingrese a su propiedad para investigar la biomasa y por seguir apoyando las investigaciones de SOLIDARIDAD.

- En la UNALM a todos los Profesores de la Facultad de Ciencias Forestales por su apoyo a lo largo de mi estadía en la UNALM.

- A mis queridas amigas Ikeda Lora, Jessica Cerrón, Evelyn Roque, Shirley Mormontoy y Maylhi Quispe, por su apoyo y consejos, y a todos los buenos amigos que me acompañaron durante la realización de la presente investigación.

RESUMEN

Este estudio evaluó la cantidad de biomasa aérea de los árboles de *Inga edulis* y arbustos de *Coffea arabica* que crecen en sistemas agroforestales en el Alto Mayo, San Martín. Se estimó la biomasa aérea total de cada individuo de la muestra, evaluándose en total 15 árboles de *Inga edulis* y 65 arbustos de *Coffea arabica*. La etapa de campo implicó la realización de dos tipos de muestreos: uno no destructivo con los individuos de *Inga edulis* y otro destructivo con los individuos de *Coffea arabica*. Los árboles de *Inga edulis* fueron evaluados mediante la medición de sus diámetros a diferentes alturas, así como la medición de la longitud y el diámetro de las ramas principales por medio del uso del Realscopio de Biterlich, se calculó el volumen y se estimó la biomasa aérea total. Los arbustos de *Coffea arabica* fueron medidos; sus hojas, ramas y tallos fueron cortados y pesados, y se tomaron sub muestras de cada componente para medir el porcentaje de materia seca y a partir de esto estimar la biomasa aérea total. La cantidad de biomasa almacenada varió desde 16,15 kg a 586,05 kg por árbol de *Inga edulis* y desde 0,46 kg a 8,09 kg por arbusto de *Coffea arabica*. Se desarrollaron ecuaciones que estiman, con una alta precisión, la cantidad de biomasa almacenada utilizando las variables independientes diámetro (cm) y altura total (m) para cada ecuación. Las mejores ecuaciones de biomasa para cada especie se seleccionaron utilizando los valores del Cuadrado Medio del Error (CME) y los valores del Índice de Furnival (IF). Las ecuaciones encontradas son exclusivas para individuos de *Inga edulis* y *Coffea arabica* que crecen en sistemas agroforestales en el Alto Mayo.

Palabras clave: biomasa, sistemas agroforestales, diámetro, *Coffea arabica*, *Inga edulis*.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. Introducción	1
II. Revisión de Literatura	3
1. El cambio climático	3
1.1. El protocolo de Kyoto	4
1.2. El mercado del carbono	4
1.3. Mecanismos para un desarrollo en limpio	5
1.4. Reducción de emisiones por deforestación y degradación (REDD)	5
2. Almacenamiento y fijación de carbono	6
2.1. Ciclo del carbono	6
2.2. Bosques como sumideros de carbono	7
2.3. Sistemas agroforestales como sumideros de carbono	8
2.3.1. Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café bajo sombra	9
3. Biomasa forestal	9
3.1. Estimación de biomasa forestal	10
3.1.1. Estudios de estimación de biomasa forestal en el Perú	12
3.1.2. Estudios de estimación de biomasa en otros países	17
4. Sistemas agroforestales	18
4.1. Definición	18
4.2. Sistemas agroforestales con café	18
5. Descripción de las especies estudiadas	19
5.1. <i>Coffea arabica</i>	19
5.1.1. Taxonomía	19
5.1.2. Variedades de café cultivadas en el Perú	19
5.1.3. Factores que influyen en el desarrollo del café	20
5.1.4. Aspectos del manejo del cultivo de café	21
5.1.5. El cultivo de café en el Perú	23
5.2. <i>Inga edulis</i>	23
5.2.1. Taxonomía	23
5.2.2. Descripción botánica	23
5.2.3. Distribución y hábitat	24
5.2.4. Fenología, polinización y dispersión de la especie	24
5.2.5. Usos	24
III. Materiales y Métodos	25
1. Zona de estudio	25
1.1. Localización	25
1.2. Accesibilidad	26
1.3. Clima	26
1.4. Hidrografía	26
1.5. Fisiografía y suelos	26
1.6. Vegetación	27
1.7. Demografía	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.	Definición de la muestra y diseño de muestreo.....	29
3.3.	Presentación de la investigación a los propietarios de las fincas agroforestales	29
3.4.	Muestreo de <i>Inga edulis</i> : Método no destructivo	29
3.4.1.	Trabajo de campo	29
3.4.2.	Trabajo de gabinete	32
3.5.	Muestreo de <i>Coffea arabica</i> : Método destructivo	35
3.5.1.	Trabajo de campo	35
3.5.2.	Transporte.....	39
3.5.3.	Trabajo de laboratorio	39
3.5.4.	Trabajo de gabinete	40
3.6.	Construcción de las ecuaciones de biomasa.....	42
3.7.	Selección de la mejor ecuación	44
IV.	Resultados y discusión	45
1.	Selección de la zona de trabajo	45
2.	Definición de la muestra y diseño de muestreo	46
3.	Presentación de la investigación a los propietarios de fincas agroforestales	46
4.	<i>Inga edulis</i>: Método no destructivo.....	47
4.1.	Trabajo de campo.....	47
4.1.1.	Selección de árboles	47
4.1.2.	Ubicación y medición de árboles en pie	48
4.2.	Trabajo de gabinete.....	53
4.2.1.	Determinación del volumen total de los árboles.....	53
4.2.2.	Determinación de la biomasa aérea total de los árboles.....	54
5.	<i>Coffea arabica</i>: Método destructivo	59
5.1.	Trabajo de campo.....	59
5.1.1.	Selección de cafetos	59
5.1.2.	Ubicación y medición de cafetos	60
5.2.	Transporte.....	70
5.3.	Trabajo de laboratorio	71
5.3.1.	Secado de sub muestras de hojas, ramas y tallos de cafetos.....	71
5.4.	Trabajo de gabinete.....	71
5.4.1.	Determinación de materia seca (%) de las sub muestras de cafetos.....	71
5.4.2.	Determinación de la biomasa seca de cafetos.....	73
6.	Construcción de las ecuaciones de biomasa	85
6.1.	Construcción de ecuaciones de biomasa para <i>Inga edulis</i>	85
6.1.1.	Análisis de ecuaciones en función al coeficiente de determinación (R^2).....	85
6.1.2.	Análisis en función a la prueba F de Fisher	86
6.1.3.	Análisis en función de la prueba “t” de Student	87
6.2.	Construcción de ecuaciones de biomasa para <i>Coffea arabica</i>	87
6.2.1.	Análisis de ecuaciones en función al coeficiente de determinación (R^2).....	88
6.2.2.	Análisis en función a la prueba F de Fisher	90
6.2.3.	Análisis en función a la prueba “t” de Student.....	92
7.	Selección de la mejor ecuación	94
7.1.	Selección de la mejor ecuación de biomasa aérea de <i>Inga edulis</i>	94
7.2.	Selección de la mejor ecuación de biomasa aérea de <i>Coffea arabica</i>	95
V.	Conclusiones	99
VI.	Recomendaciones	101
VII.	Referencias bibliográficas	103
VIII.	Anexos.....	109

Índice de tablas

	Página
Tabla 1:	Modelos para estimar biomasa..... 43
Tabla 2:	Recíprocos de la primera derivada de las variables dependientes transformadas para el cálculo del Índice de Furnival..... 44
Tabla 3:	Centros poblados donde se desarrolló el estudio..... 45
Tabla 4:	Propietarios de las fincas donde se realizó el estudio. 47
Tabla 5:	Clases diamétricas de la muestra de <i>Inga edulis</i> 47
Tabla 6:	DAP y altura total (HT) de los árboles evaluados en campo. 49
Tabla 7:	Diámetros medidos a diferentes alturas de los árboles de <i>Inga edulis</i> 51
Tabla 8:	Mediciones realizadas a las ramas principales 52
Tabla 9:	Volumen total de los árboles..... 53
Tabla 10:	Biomasa aérea total de los árboles. 54
Tabla 11:	Distribución de la biomasa aérea total según componentes de <i>Inga edulis</i> 58
Tabla 12:	Clases diamétricas de la muestra de <i>Coffea arabica</i> 59
Tabla 13:	D ₁₅ (cm) y altura total (m) de cafetos. 62
Tabla 14:	Peso húmedo de los cafetos 68
Tabla 15:	Materia seca (%) de hojas ramas y tallos de los cafetos 72
Tabla 16:	Biomasa seca de las hojas y ramas de los cafetos 74
Tabla 17:	Biomasa seca del tallo (kg) 77
Tabla 18:	Biomasa aérea total de los cafetos 79
Tabla 19:	Distribución de la biomasa aérea total según tallos, hojas y ramas 83
Tabla 20:	Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie <i>Inga edulis</i> 86
Tabla 21:	Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie <i>Inga edulis</i> . Prueba de Fisher. 86
Tabla 22:	Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie <i>Inga edulis</i> . Prueba “t” de Student 87
Tabla 23:	Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie <i>Coffea arabica</i> 88
Tabla 24:	Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie <i>Coffea arabica</i> sin poda. 89
Tabla 25:	Ecuaciones de la biomasa aérea total de la especie <i>Coffea arabica</i> con poda 89
Tabla 26:	Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie <i>Coffea arabica</i> . Prueba de Fisher. 90

Tabla 27:	Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie <i>Coffea arabica</i> sin poda. Prueba de Fisher.	91
Tabla 28:	Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie <i>Coffea arabica</i> con poda. Prueba de Fisher.	91
Tabla 29:	Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie <i>Coffea arabica</i> . Prueba “t” de Student.	92
Tabla 30:	Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie <i>Coffea arabica</i> sin poda. Prueba “t” de Student.	93
Tabla 31:	Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie <i>Coffea arabica</i> con poda. Prueba “t” de Student.	93
Tabla 32:	Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie <i>Inga edulis</i> . Análisis del Cuadrado Medio del Error (CME).....	94
Tabla 33:	Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie <i>Inga edulis</i> . Análisis del Índice de Furnival (I.F)	94
Tabla 34:	Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie <i>Coffea arabica</i> . Análisis del Cuadrado Medio del Error (CME).....	95
Tabla 35:	Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie <i>Coffea arabica</i> . Análisis del Índice de Furnival (IF)	96
Tabla 36:	Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie <i>Coffea arabica</i> sin poda. Análisis del Cuadrado Medio del Error (CME)	96
Tabla 37:	Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie <i>Coffea arabica</i> sin poda. Análisis del Índice de Furnival (I.F).....	96
Tabla 38:	Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie <i>Coffea arabica</i> con poda. Análisis del Cuadrado Medio del Error (CME)	97
Tabla 39:	Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie <i>Coffea arabica</i> con poda. Análisis del Índice de Furnival (I.F).....	97

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Ubicación del Alto Mayo.....	25
Figura 2: Esquema de trabajo en campo para <i>Inga edulis</i>	29
Figura 3: Secciones en las que se divide el fuste.	31
Figura 4: Medición de ramas principales.	32
Figura 5: Esquema de trabajo en campo para <i>Coffea arabica</i>	35
Figura 6: Corta de cafetos sin poda (a) y con poda (b).	36
Figura 7: Obtención de probetas.....	37
Figura 8: Codificación de probetas.....	38
Figura 9: Mapa de ubicación de centros poblados donde se realizó la investigación.....	46
Figura 10: Distribución diamétrica de los árboles evaluados.	48
Figura 11: Relación entre el DAP (cm) y la altura total (m) de <i>Inga edulis</i>	50
Figura 12: Relación entre el DAP (cm) y la biomasa seca del fuste.	55
Figura 13: Relación entre la biomasa seca de las ramas (kg) y el DAP (cm).	56
Figura 14: Relación entre DAP y la biomasa aérea total de los árboles.....	57
Figura 15: Relación entre la altura total y la biomasa aérea total de los árboles.	57
Figura 16: Biomasa seca de los componentes del árbol según DAP.....	59
Figura 17: Distribución diamétrica de los cafetos evaluados.	60
Figura 18: Medición del D ₁₅ de los cafetos.	61
Figura 19: Relación D ₁₅ y altura total (HT).....	64
Figura 20: Poda de cafetos.	64
Figura 21: Relación del D ₁₅ y peso húmedo del tallo	66
Figura 22: Relación D ₁₅ y peso húmedo de ramas.	66
Figura 23: Relación D ₁₅ y peso húmedo de hojas.....	67
Figura 24: Relación D ₁₅ y peso húmedo total de los cafetos	70
Figura 25: Relación D ₁₅ y biomasa seca de hojas	76
Figura 26: Relación D ₁₅ y biomasa seca de ramas.....	76
Figura 27: Relación D ₁₅ y biomasa seca de tallos.....	79
Figura 28: Relación D ₁₅ y biomasa aérea total (BAT).....	81
Figura 29: Relación biomasa aérea total (kg) y altura total (m)	82
Figura 30: Biomasa aérea de los componentes del cafeto respecto al total (%).	85

Índice de anexos

	Página
Anexo 1 Volumen de las ramas principales de los árboles de <i>Inga edulis</i>	109
Anexo 2 Volumen del fute de los árboles de <i>Inga edulis</i>	110
Anexo 3 Determinación de los diámetros de los cafetos	111
Anexo 4 Mediciones realizadas al tocón de los cafetos	113
Anexo 5 Cálculo de la materia seca (%) en las probetas de los tallos de cafetos sin poda	115
Anexo 6 Cálculo de la materia seca (%) en las probetas de los tallos de cafetos con poda	118
Anexo 7 Cálculo de la materia seca (%) en las sub muestras de ramas de cafetos	120
Anexo 8 Cálculo de la materia seca (%) en las sub muestras de hojas de cafetos	122

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el cambio climático se ha convertido en un tema de discusión mundial. Las actividades humanas, tales como el uso de combustibles fósiles para la producción de energía y los procesos derivados del cambio en el uso del suelo, están generando grandes emisiones de gases de efecto invernadero, siendo el CO₂ uno de los más importantes por las grandes cantidades en las que se emite (Ordoñez y Masera 2001).

A partir de esta problemática ambiental se ha formado una conciencia general sobre la importancia de contrarrestar los efectos del cambio climático a través de estrategias de investigación tendientes a buscar soluciones económicamente factibles, socialmente sostenibles y ambientalmente amigables. Dentro del sector de uso del suelo y actividades forestales, dichas estrategias están orientadas al almacenamiento de carbono en sumideros naturales tales como la vegetación y el suelo (Aristizabal y Guerra 2002). La vegetación tiene la capacidad de asimilar el carbono e incorporarlo a su estructura, es decir, fijarlo a través de la fotosíntesis y mantenerlo almacenado en la biomasa por largos periodos. Es por esta razón que los ecosistemas forestales son importantes sumideros de carbono (Ordoñez y Masera 2001; Rüginitz et al. 2009).

Los sistemas agroforestales, como el café bajo sombra, combinan los cultivos con especies forestales e incrementan así los niveles de captura de carbono. El mantenimiento de las reservas de carbono a través del uso de forestales asociados se ha convertido en un servicio ambiental reconocido en todo el mundo, el cual puede representar un valor económico para los países en vía de desarrollo (Lapeyre et al. 2004, Ávila 2000).

En la Región San Martín, la producción de café es parte importante de la economía regional como también de la sociedad ya que es el eje económico de miles de familias y contribuye significativamente al Producto Bruto Interno (PBI) agrícola. Es importante mencionar que existe un creciente interés en identificar los beneficios ambientales que estos sistemas agroforestales brindan, ya que, además de ser sistemas sostenibles de producción, son también importantes sumideros de carbono.

Como ya se mencionó, el café es un cultivo de alta importancia en la cuenca del Alto Mayo que además se maneja bajo sombra como un sistema agroforestal, por lo que se convierte en un importante sumidero de carbono. Ante la necesidad de desarrollar modelos para estimaciones más precisas de biomasa y carbono en estos sistemas, en este estudio se desarrollaron ecuaciones de biomasa para la aplicación en sistemas agroforestales de café bajo sombra. Estas ecuaciones serán de uso exclusivo para la cuenca del Alto Mayo.

El presente estudio tiene como objetivo general estimar biomasa aérea de las especies *Inga edulis* y *Coffea arabica* cultivados en sistemas agroforestales en la zona del Alto Mayo, San Martín.

Los objetivos específicos son:

- Seleccionar la mejor ecuación para la estimación de biomasa aérea de la especie *Inga edulis*, cultivada en sistemas agroforestales en la zona del Alto Mayo.
- Seleccionar la mejor ecuación para estimar biomasa aérea de la especie *Coffea arabica*, cultivada en sistemas agroforestales en la zona del Alto Mayo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. EL CAMBIO CLIMÁTICO

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) define el 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. Por su parte, según el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) el cambio climático se refiere a cualquier cambio del clima en el transcurso del tiempo ya sea por razón de su variabilidad natural o como resultado de actividades humanas (IPCC 2007).

El cambio climático está causado por un aumento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. Son varios los gases de efecto invernadero cuya concentración está aumentando, pero el dióxido de carbono (CO₂) es con diferencia el preponderante (Proforest 2011). La deforestación y otros cambios de uso de la tierra constituyen una fuente significativa de CO₂ atmosférico. La deforestación contribuye al aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera de dos formas: disminuyendo la cobertura vegetal capaz de fijar carbono atmosférico, y promoviendo la liberación de CO₂ a la atmósfera, a través de la quema y descomposición de biomasa, incluida la materia orgánica en el suelo (Hall y Rao, citados por Ávila 2000).

En el Perú, se estimó que en el año 2000 el total de las emisiones netas de GEI fue de 120 023 Gg CO₂ equivalente (CO₂ eq). El Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero del año 2000, reportó que la principal fuente de emisiones de GEI a nivel nacional fue la conversión de bosques y pasturas (110 368 Gg de CO₂ eq), atribuida al cambio de uso del suelo principalmente en la Amazonía, mientras que la principal y única fuente que contribuye a la remoción de GEI son los cambios en biomasa forestal y otros stocks leñosos (-53 541 Gg de CO₂ eq). La diferencia entre estas dos cantidades resulta en emisiones netas asociadas con el uso de suelo o cambio de uso de suelo de 56 832 Gg de CO₂ eq (CMNUCC 2009).

1.1. EL PROTOCOLO DE KYOTO

EL Protocolo de Kyoto de la CMNUCC, es uno de los instrumentos jurídicos internacionales más importantes y está destinado a luchar contra el cambio climático. Contiene los compromisos asumidos por los países Anexo I, de reducir sus emisiones de algunos gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento global, reconociendo que son los principales responsables de los elevados niveles de emisiones de GEI que hay actualmente en la atmósfera (UNFCCC 2014).

A través del Protocolo de Kyoto, las partes incluidas se comprometen a lograr objetivos individuales y jurídicamente vinculantes para limitar o reducir sus emisiones de GEI. Las metas cubren las emisiones de seis gases de efecto invernadero, los cuales son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), y hexafluoruro de azufre (SF₆). Las emisiones son medidas como CO₂ eq (UNFCCC 2014).

El Protocolo de Kyoto señala algunas actividades que pueden reducir sustancialmente las emisiones de GEI y así mismo optar por cuantificar su reducción y comercializar la misma. En el sector agricultura, se mencionan mejores prácticas de cultivo y pastoreo para incrementar carbono en suelos, recuperación de suelos degradados, mejoras en el cultivo de arroz y en gestión de residuos animales, aplicación adecuada de fertilizantes, cultivos energéticos y eficiencia energética. Por otro lado, en el sector forestal se señalan reforestación, manejo de bosques, reducción de deforestación, gestión adecuada de productos maderables y bioenergía (IPCC 2007).

1.2. EL MERCADO DEL CARBONO

El comercio de los derechos de emisión, tal y como se dispone en el Protocolo de Kyoto, permite que los países que tengan unidades de emisión de sobra (emisiones que tienen permitidas pero a las que no llegan a emitirlas) vendan ese exceso de capacidad a países que sobrepasan sus metas de emisión. De esta manera se creó un nuevo producto básico, en forma de reducciones o eliminaciones de las emisiones. Puesto que el CO₂ es el principal gas de efecto invernadero, se habla simplemente del comercio de carbono. Este gas está sometido a los mismos seguimientos y transacciones comerciales que cualquier otro producto básico, lo que se conoce como mercado del carbono (UNFCCC 2014).

1.3. MECANISMOS PARA UN DESARROLLO EN LIMPIO

El Mecanismo para un Desarrollo en Limpio (MDL) es uno de los mecanismos del Protocolo de Kyoto que permite que un país que en virtud del protocolo haya asumido el compromiso de reducir o limitar las emisiones ponga en práctica proyectos de reducción de las emisiones en países en desarrollo. A través de tales proyectos se pueden conseguir créditos por reducciones certificadas de las emisiones (RCE), cada uno de los cuales equivale a una tonelada de CO₂, que cuenta para el cumplimiento de las metas (UNFCCC 2014). El MDL incluye proyectos en los siguientes sectores: mejoramiento de la eficiencia en el uso final de la energía; mejoramiento de la eficiencia en la oferta de energía; energía renovable; sustitución de combustibles, agricultura (reducción de las emisiones de CH₄ y N₂O); procesos industriales (CO₂ de la industria cementera, etc., HFCs, PFCs, SF₆); y proyectos de sumideros (forestación y reforestación) (PNUMA s.f.).

Las únicas actividades forestales elegibles bajo el MDL (en el primer periodo de ejecución: 2008-2012) fueron forestación y reforestación (FR). En caso de forestación, tienen que ser áreas sin bosques de ya por lo menos cincuenta años; en caso de reforestación, áreas deforestadas hasta 1990 por lo menos. Las actividades pueden incluir forestación o reforestación de tierras degradadas, conversión de tierras agrícolas a sistemas agroforestales y plantaciones forestales, entre otras (Veen 2007).

1.4. REDUCCIÓN DE EMISIONES POR DEFORESTACIÓN Y DEGRADACIÓN (REDD)

En el año 2007, en Bali, la CMNUCC reconoció la reducción de emisiones por deforestación y degradación de los bosques (REDD) como un mecanismo válido en la lucha contra el cambio climático. La deforestación y la degradación de los bosques, genera emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Estas provienen, no sólo del cambio de uso del suelo y la tala de árboles, sino también de la utilización de fuego y de maquinaria que consume combustibles fósiles y fertilizantes, ricos en nitrógeno, para actividades agrícolas y ganaderas (UICN 2010). REDD + es un mecanismo internacional bajo el marco de las negociaciones internacionales sobre el cambio climático para proporcionar incentivos a países en desarrollo que protejan y restauren las reservas de carbono de sus bosques. Se refiere al empleo de políticas e incentivos positivos para reducir las emisiones de la deforestación y degradación (REDD) y apoyar la conservación de las reservas de carbono de los bosques, la gestión sostenible del bosque y el aumento de las reservas de carbono de los bosques (+) en países en desarrollo (Proforest 2011).

2. ALMACENAMIENTO Y FIJACIÓN DE CARBONO

El almacenamiento y fijación de carbono es uno de los servicios ambientales de los ecosistemas forestales y agrícolas. La fijación del carbono se genera en el proceso de la fotosíntesis realizado por las hojas de las plantas que capturan CO₂ de la atmósfera y lo desdoblan para liberar el oxígeno y dejar carbono que se utiliza para formar biomasa, es decir, absorben el CO₂ y retienen el carbono en el tejido de la madera. Este proceso ha hecho que los bosques se consideren sumideros de carbono (Cuellar et al. 1999).

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 plantas eliminan una cantidad considerable de CO₂ de la atmósfera cada año y lo almacenan en la tierra en su biomasa. La presencia y expansión de este sumidero terrestre de carbono es vital para moderar la acumulación antropogénica de carbono en la atmósfera. Por el contrario, la pérdida de la cubierta forestal, especialmente en los trópicos, contribuye significativamente a la acumulación de CO₂ tanto por la reducción de la cubierta vegetal disponible para secuestrar carbono y promoviendo la liberación de CO₂ a la atmósfera (Polzot 2004). La captura de carbono está asociada con la restauración de la vegetación después del abandono de las tierras deforestadas, el crecimiento de los bosques jóvenes, ya sean plantaciones o bosques secundarios, y el crecimiento neto de bosques primarios. (Erickson, citado por Ávila 2000).

2.1. CICLO DEL CARBONO

Uno de los mecanismos más importantes en la naturaleza es la circulación de carbono entre el aire, la tierra y el agua, un proceso conocido como el ciclo del carbono (Polzot 2004). El carbono es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos, que circula por los océanos, la atmósfera, el suelo, y subsuelo, los cuales son considerados depósitos 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 considerado como el conjunto de los cuatro depósitos interconectados. Estos depósitos son fuentes que pueden liberar el carbono, o sumideros que absorben carbono de otra parte del ciclo (Ciesla 1996). La atmósfera es el menor y el más dinámico de los reservorios del ciclo del carbono. 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 (Rügnitz et al. 2009).

La captura de carbono por medio de la fotosíntesis ocurre cuando las plantas absorben energía solar y CO₂ de la atmósfera. Por medio de este proceso las plantas fijan el carbono en la biomasa de la vegetación, y consecuentemente constituyen, junto con sus residuos (madera muerta y hojarasca), un stock natural de carbono. El proceso inverso ocurre con la emisión de carbono por medio de la respiración de las plantas, animales y por la descomposición orgánica (forma de respiración de las bacterias y hongos). A ésta se suman las emisiones de GEI debido a la deforestación, incendios, gases industriales y quema de combustibles: acciones antropogénicas que contribuyen con el desequilibrio del ciclo de carbono (Rügnitz et al. 2009).

2.2. BOSQUES COMO SUMIDEROS DE CARBONO

Los bosques tienen influencia sobre el ciclo global del carbono. Almacenan grandes cantidades de carbono en la vegetación y el suelo, intercambian carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, son fuentes de carbono atmosférico cuando se les perturba, se convierten en sumideros de carbono atmosférico durante el abandono y regeneración después de la perturbación y pueden ser ordenados para alterar su papel en el ciclo del carbono (Brown 1997).

Los bosques almacenan entre 20 y 100 veces más carbono por hectárea que las tierras agrícolas (Cairns et al., citados por Polzot 2004). Brown y Lugo (1984) reportan que los bosques húmedos tropicales almacenan en promedio entre 155 y 187 t C ha⁻¹ (sobre el suelo), mientras que los bosques tropicales secos almacenan en promedio entre 27 y 63 t C ha⁻¹, dependiendo de la ubicación.

La cantidad de biomasa acumulada a través de crecimiento de los árboles de los bosques gradualmente disminuye a medida que aumenta la edad de los bosques; se deduce que el potencial de secuestro de carbono de los bosques también disminuye con el tiempo (Polzot 2004). Los bosques secundarios también contribuyen a la eliminación de carbono de la atmósfera. Las tasas de secuestro de carbono de los bosques secundarios varían dependiendo de la tasa de producción de biomasa o el potencial de crecimiento de la vegetación y usos del suelo previos (Finegan y Delgado 1997).

2.3. SISTEMAS AGROFORESTALES COMO SUMIDEROS DE CARBONO

Los sistemas agroforestales son también potenciales sumideros de dióxido de carbono (Medina et al. 2009). Incluyen prácticas sostenibles de bajos insumos que minimizan la alteración de los suelos y las plantas y pueden aumentar los rendimientos de madera, lo cual contribuye a crear sumideros de carbono (Kurstén y Burschel, citados por Ávila 2000).

En el contexto del ciclo global del carbono, la agroforestería es importante por dos razones principales: (1) Los árboles en sistemas agroforestales fijan el carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis y lo almacenan. Específicamente, los árboles actúan como sumideros de carbono. (2) La agrosilvicultura contribuye a la reducción de la deforestación al aliviar la necesidad de talar más bosques para la agricultura o la agricultura migratoria (Pandey 2002).

En sistemas agroforestales, la cantidad de carbono secuestrado es más evidente en la biomasa de los árboles y arbustos. La cantidad de carbono almacenado en la biomasa depende de la proporción de árboles de sombra presentes y del tamaño de los árboles. La importancia de la agroforestería como estrategia de secuestro de carbono se debe al potencial de almacenamiento de carbono en las especies leñosas que componen los sistemas agroforestales (Montagnini y Nair 2004).

Los sistemas agroforestales pueden jugar un papel importante en la captura de carbono por encima del suelo y almacenarlo bajo el suelo a través de la deposición continua de los residuos vegetales. En un estudio realizado en Brasil se llegó a la conclusión que en un sistema agroforestal de cacao bajo sombra, la biomasa de cacao y árboles de sombra (aérea y subterránea) representa una fuente importante de entrada de carbono al suelo. Los resultados del estudio arrojaron que la mayor proporción del total de carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao fue encontrado en la biomasa aérea (81 por ciento); las raíces finas representaron el 7,3 por ciento; la capa de hojarasca, el 9,7 por ciento, y las frutas, el 2 por ciento del total de almacenamiento de carbono (Gamma-Rodrigues et al. 2011).

El almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales es altamente dependiente de las especies arbóreas empleadas, la densidad de siembra, la edad de los diversos componentes y de las condiciones locales, como el clima, tipo de suelo y las prácticas de gestión que se aplican, por ejemplo la poda o cosecha de la madera (Polzot 2004).

2.3.1. ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ BAJO SOMBRA

Al igual que otros sistemas agroforestales que emplean un componente leñoso, los agroecosistemas cafetaleros bajo sombra contribuyen a la eliminación de carbono de la atmósfera y su almacenamiento en tierra (Polzot 2004). Un estudio realizado por Fournier, citado por Polzot (2004) en Ciudad Colón, Costa Rica, encontró que una finca de café bajo sombra empleando árboles de sombra de *Erythrina poeppigiana* contiene 198 t C ha⁻¹ incluyendo todos los componentes de la superficie, las raíces, el suelo y la hojarasca. Por otro lado, en un estudio sobre los sistemas de producción de café de sombra en Costa Rica se encontró que el sistema contiene 195 t C ha⁻¹ cuando el café se cultiva bajo la sombra de *Erythrina poeppigiana*, y 168,74 t C ha⁻¹ cuando se cultivan bajo *Eucalyptus deglupta* (Ávila 2000).

Por último, en un estudio llevado a cabo en las fincas cafetaleras que emplean diferentes tipos de árboles de sombra en Nicaragua, Suárez (2002) informa de un rango en el almacenamiento de carbono de 144,7 t C ha⁻¹ a 166,7 t C ha⁻¹. Por otra parte, este estudio encontró que 75 a 97 por ciento del carbono almacenado en las fincas que examinó reside en el suelo, 5,6 a 14 por ciento en los árboles de sombra, 2,3 a 3,9 por ciento en la hojarasca, y 0,1 a 1,5 por ciento en los arbustos de café.

3. BIOMASA FORESTAL

De acuerdo con el IPCC (2007), la biomasa es considerada como la masa total de organismos vivos en una zona o volumen determinado; a menudo se incluyen los restos de plantas que han muerto recientemente (biomasa muerta). Por otra parte, FAO (1998) considera que la biomasa es un elemento principal para determinar la cantidad de carbono almacenado en el bosque.

La biomasa forestal se define como el peso (o estimación equivalente) de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo. Normalmente es cuantificada en toneladas por hectárea de peso verde o seco. Es frecuente separarla en componentes, donde los más típicos corresponden a la masa del fuste, ramas, hojas, corteza, raíces, hojarasca y madera muerta (Schlegel et al. 2000).

Hakkila (1989), define a la biomasa forestal como la masa acumulada sobre y bajo el suelo, desde la madera, corteza y hojas producidas por las especies leñosas, tanto arbóreas como las arbustivas.

Por otro lado, Dauber et al. (2002) proponen las siguientes definiciones:

- Biomasa aérea total es al peso seco del material vegetal de los árboles con DAP 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 DAP 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 de un ecosistema forestal está en función de su composición florística, densidad poblacional, etapa de desarrollo (edad del plantío, en el caso de forestación o reforestación), grado de restricción ecológica (al inicio de la plantación), condiciones edafoclimáticas y del estado de degradación del área (Rügnitz et al. 2009).

La biomasa forestal se ha convertido en un importante elemento en los estudios sobre los cambios que ocurren a escala mundial. A partir de la biomasa forestal se puede calcular la concentración de carbono en la vegetación (aproximadamente el 50 por ciento de la biomasa está formada por carbono) y, por consiguiente, se pueden hacer estimaciones sobre la cantidad de dióxido de carbono que entra a la atmósfera, cada vez que se desmonta o se quema un bosque. (FAO, citado por Vidal et al. 2002).

La biomasa forestal permite elaborar previsiones sobre el ciclo mundial del carbono, que es un elemento de importancia en los estudios sobre el cambio climático. Además, para una parte de la población humana que vive en las zonas rurales de los países en desarrollo, la biomasa es una fuente primordial de combustible para cocinar y para calefacción.

3.1. ESTIMACIÓN DE BIOMASA FORESTAL

Satoo y Madgwick (1982) mencionan que la estimación de la biomasa forestal es una actividad que consume tiempo y recursos. El cálculo de la biomasa es el primer paso para evaluar la productividad de los ecosistemas y la contribución de los bosques tropicales en el ciclo global del carbono (Parresol, Ketterings et al., citados por Álvarez 2008).

Polzot (2004) menciona tres enfoques para la medición o estimación de la biomasa de las formaciones leñosas. El primero se basa en el uso de estimaciones de volumen, el segundo calcula directamente la biomasa utilizando ecuaciones de regresión existentes y el tercero, y más complejo de los tres métodos, implica la recopilación de datos primarios y mediciones en campo para desarrollar ecuaciones de regresión específicos del sitio.

Husch (2001) describe un método indirecto, el cual es 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. En éste método se cubica y estima el 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.

Un segundo método consiste en estimar la biomasa aérea a través de ecuaciones y modelos matemáticos obtenidos por análisis de regresión entre las variables colectadas en terreno y en inventarios forestales (Brown 1997). El cálculo de biomasa basado en la aplicación de ecuaciones de regresión en general puede no tomar en consideración las especies de árboles, la altura o los diferentes patrones de ramificación de los árboles que crecen en condiciones abiertas. La ventaja de este segundo método, sin embargo, es que produce estimaciones de biomasa sin necesidad de realizar estimaciones de volumen o tener que destructivamente árboles tipo para desarrollar ecuaciones específicas del lugar, que no siempre es factible (Polzot 2004).

Por último, Husch (2001) describe un método directo o denominado también método destructivo que consiste en medir los parámetros básicos de un árbol (entre los más importantes el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total, diámetro de copa y área de copa); derribarlo y calcular la biomasa pesando cada uno de los componentes (fuste, ramas y follaje). Finalmente, la suma del peso en seco de todos los componentes se correlaciona con la altura y DAP de los árboles y los coeficientes de regresión y ecuaciones se desarrollan. Polzot (2004) menciona que este método es la forma más precisa para calcular la biomasa de un sistema de bosque abierto, como un agroecosistema con café. En este caso, los individuos seleccionados deberán provenir de la población de interés y representar las principales especies en el sistema en todas las clases de tamaño (Brown 1997).

3.1.1. ESTUDIOS DE ESTIMACIÓN DE BIOMASA FORESTAL EN EL PERÚ

Domínguez (1995) estimó la biomasa total del fuste y la biomasa del fuste sin corteza de la especie Pájaro Bobo (*Tessania integrifolia* Ruiz & Pav.) en la Reserva de Biosfera del Manu en Madre de Dios. El autor determinó fórmulas para evaluar el crecimiento de los rodales de Pájaro bobo aportando una mejora en la metodología para la selección de ecuaciones para la predicción de biomasa y/o volumen de dicha especie forestal. La metodología utilizada fue: (1) Selección de las zonas de evaluación y de los árboles; (2) medición de los árboles seleccionados; (3) obtención e identificación de las muestras; (4) determinación del contenido de humedad y cálculo del peso seco; (5) revisión bibliográfica en cuanto a modelos; (6) selección de variables para nuevos modelos; (7) aplicación del paquete estadístico SAS; (8) elección de la mejor ecuación por tipo de modelo; (9) ponderación de modelos para el ajuste de la heterocedasticidad; (10) comparación de ecuaciones usando el índice de Furnival; y (11) Selección de la mejor ecuación para la estimación de la biomasa. El autor utilizó dos tipos de modelos, con el primero estimó directamente el peso seco del fuste y con el segundo estimó el logaritmo del mismo, concluyendo que la metodología utilizada para la selección de la ecuación de volumen es compatible para la selección de ecuaciones de biomasa.

Los modelos obtenidos fueron:

$$\ln\text{PSECO} = 3,486012 + 5,830811 \times \ln\text{DAP} - 1,679999 \times \text{DAP} + 0,088889 \times \text{DAP}^2 + 0,050361 \times \text{DAP} \times \text{H} - 0,04540 \times \text{DAP}^2 \times \text{H}$$

$$\ln\text{PSF} = 1,419288 + 6,100854 \times \ln\text{DAP} - 0,769047 \times \text{DAP} + 0,040578 \times \text{DAP}^2 + 0,022173 \times \text{DAP} \times \text{H} - 0,002025 \times \text{DAP}^2 \times \text{H}$$

Dónde:

$\ln\text{PSECO}$ = ln del peso seco del fuste con corteza

$\ln\text{PSF}$ = ln del peso seco del fuste sin corteza

DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm)

H = Altura (m)

Salgado (2000) estimó la biomasa forrajera de Overo (*Cordia lutea* Lam.) en los bosques secos del departamento de Piura aplicando la siguiente metodología: (1) Selección de la zona de trabajo; (2) inventario forestal de overales: forma y distribución de parcelas, medición de diámetro alturas; (3) estudio de biomasa: selección de individuos para el estudio de biomasa, medición de diámetros y alturas, recolección del follaje aprovechable, pesaje, toma de muestras e identificación de las mismas; (4) análisis del inventario forestal de overales: relación altura/diámetro, número de individuos por hectárea, área de cobertura de copa por hectárea; (5) análisis del estudio de biomasa: determinación del contenido de materia seca, cálculo de peso seco; (6) estimación de biomasa: determinación de las variables independientes a utilizar en las ecuaciones, selección de modelos, resolución de modelos escogidos, selección de la mejor ecuación, aplicación de la ecuación escogida a la población de *Cordia lutea* Lam. Se logró establecer una relación entre la biomasa forrajera aprovechable del Overo (B) y los parámetros de diámetro (D) y altura (H), a través de la siguiente ecuación:

$$B = -2,467029 + 1,191953 (D/H)^{1/2}$$

Dónde:

B = Biomasa forrajera aprovechable del overo (kg)

D = Diámetro (cm)

H = Altura (m)

El autor señala que esta ecuación es válida para el periodo de fin de la época húmeda e inicio de la época seca.

Larrea (2003) determinó las reservas de carbono en la biomasa aérea de combinaciones agroforestales de *Theobroma cacao* L. Los sistemas evaluados fueron siete sistemas agroforestales de cacao bajo sombra: Tres sistemas de 3 años, dos de 6 años y dos de 8 años de edad en la provincia de Mariscal Cáceres, región de San Martín. Cada uno de los sistemas evaluados estuvo provisto de diferentes sombras, distanciamiento y manejo particular. La autora determinó la siguiente ecuación alométrica para estimar biomasa aérea del cacao:

$$\text{Biomasa} = 0,4849 \times \text{Diámetro}^{1,42}$$

Dónde:

Biomasa = Biomasa aérea del cacao (kg)

Diámetro = Diámetro a los 30 cm sobre el suelo (cm)

Esta ecuación fue elaborada en base a una muestra 30 árboles de diferentes zonas con similares condiciones ambientales. La determinación de las reservas de carbono en las asociaciones forestales se realizó siguiendo la metodología propuesta por ICRAF (Arévalo et al. 2003). Se determinó que los sistemas de cacao con especies forestales maderables y frutales, presentaron una mayor acumulación de carbono almacenado en la biomasa aérea arbórea.

Catpo (2004) determinó una ecuación alométrica de *Pinus patula* y estimó el contenido de carbono en su biomasa aérea en Porcón Cajamarca aplicando la siguiente metodología: (1) Selección de la plantación a estudiar; (2) tamaño de la muestra; (3) establecimiento de las parcelas y selección de los árboles a medir; (4) cálculo de biomasa aérea; (5) determinación del peso seco de cada componente arbóreo; (5) inventario forestal por muestreo; (6) elaboración de la ecuación de biomasa arbórea total del *Pinus patula*; (8) aplicación de la ecuación de biomasa arbórea total del *Pinus patula* y de la ecuación de carbono en los datos del inventario por muestreo. Siendo así que se llegó a establecer la ecuación de biomasa arbórea total del *Pinus patula* (BATPp) utilizando como variable independiente el DAP.

$$\text{BATPp} = 15,9613 \times e^{9,0757} \times \text{DAP}$$

Dónde:

BATp = Biomasa aérea total del *Pinus patula* (kg)

DAP = Diámetro a la altura de pecho (cm)

El autor recomienda el uso de estas ecuaciones para otras plantaciones de *Pinus patula*, dentro de Porcón y plantaciones en otros lugares del Perú con similares características climáticas, fisiográficas y edáficas.

Lapeyre et al. (2004) determinaron la biomasa aérea en diferentes sistemas de uso de la tierra en la región de San Martín-Perú, con la finalidad de conocer el potencial de captura de carbono. Los sistemas de uso de la tierra evaluados fueron: Bosque primario, Bosque secundario de diferentes edades, sistemas agrícolas locales de maíz, arroz, pastos y sistemas agroforestales con café bajo sombra y cacao. Se utilizó la metodología de evaluación que fue desarrollada por el ICRAF siguiendo los procedimientos del Manual de determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra (Arévalo et al. 2003). Los autores desarrollaron una ecuación alométrica para el café de cuatro años. El desarrollo de esta ecuación se realizó mediante el método destructivo de tres a cuatro especies de café por transecto. La mejor correlación se obtuvo entre el diámetro del arbusto y la biomasa seca, siendo su ecuación la siguiente:

$$Y = 0,0474 * X^{2.629}$$

Dónde:

Y = Biomasa seca del café (kg)

X = Diámetro del arbusto (cm)

Llanos (2010) determinó una ecuación de biomasa aérea total del algarrobo *Prosopis pallida* (H&B. ex. Willd.) H.B.K. var. *pallida* Ferreira. Esta ecuación permite estimar el almacenamiento de biomasa aérea total de los árboles individuales. El proceso de construcción de la ecuación se realizó en tres etapas: (1) el trabajo de campo, que implicó la ubicación y medición de árboles en pie, el tumbado de los árboles, mediciones realizadas a cada componente del árbol y obtención de rodajas y muestras de follaje y transporte de las mismas; (2) el trabajo de laboratorio, que implicó pesado y secado en horno de las muestras hasta su peso seco constante; y (3) el trabajo de gabinete que consistió en determinar el contenido de humedad de las muestras, determinación del peso seco total o biomasa total medida de cada uno de los componentes arbóreos, elaboración de modelos de ecuaciones de biomasa aérea de cada componente y del total, selección de la mejor ecuación de biomasa aérea total y de cada componente del algarrobo. Se determinó que las ecuaciones que estiman mejor biomasa aérea del algarrobo en el área de estudio son las siguientes:

$$B_{\text{Aérea Total}} = 18,552 + 0,052 \times \text{DAP}^2 \times H$$

$$B_{\text{fuste}} = -0,415 + 0,009 \times \text{DAP}^2 \times H$$

$$B_{\text{follaje}} = -8,238 + 1,986 \times \text{DAP}^2 \times H$$

$$B_{\text{Ramas delgadas}} = 31,365 + 0,015 \times \text{DAP}^2 \times H$$

$$B_{\text{Ramas gruesas}} = -33,715 + 0,025 \times \text{DAP}^2 \times H$$

Dónde:

$B_{\text{Aérea Total}}$ = Biomasa aérea Total (kg)

B_{fuste} = Biomasa del fuste (kg)

B_{follaje} = Biomasa del follaje (kg)

$B_{\text{Ramas delgadas}}$ = Biomasa de ramas delgadas (kg)

$B_{\text{Ramas gruesas}}$ = Biomasa de ramas gruesas (kg)

DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm)

H = Altura total (m)

El autor recomienda que la ecuación de biomasa aérea total encontrada es exclusiva para individuos de Algarrobo *Prosopis pallida* (H&B. ex. Willd.) H.B.K. var. *pallida* Ferreira pertenecientes al bosque seco ralo de llanura, particularmente de la comunidad campesina José Ignacio Távara Pasapera.

Simbaña (2012) determino biomasa, contenido de carbono y fracción de carbono en parcelas de 250 m² en diez rodales de plantaciones de eucalipto de las provincias de Pomabamba y Mariscal Luzuriaga. Mediante el análisis de regresión basado en el método de los mínimos cuadrados, método presentado por Alder (1980), se determinaron los modelos de biomasa y carbono; para ello se seleccionaron combinaciones de las variables independientes el DAP y altura, utilizando una hoja de cálculo (Excel). Las ecuaciones elegidas por el autor fueron aquellas con menor valor de cuadrado medio de error (CME) del ANVA. A continuación se presentan los siguientes modelos para estimar biomasa (B).

$$B = 39,86430 - 3,51885 \times \text{DAP} + 0,02138 \times \text{DAP}^2 \times H.$$

Donde

B = Biomasa aérea total (kg)

DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm)

H = Altura total (m)

3.1.2. ESTUDIOS DE ESTIMACIÓN DE BIOMASA EN OTROS PAÍSES

Brown et al. (1989) publicaron ecuaciones de biomasa para bosques en zonas de vida seca, húmeda y muy húmeda según zonificación de Holdridge (1967), basadas en el análisis de datos de 269 árboles provenientes de diferentes países tropicales. Las ecuaciones mencionadas se distinguen por el número de variables independientes, siendo estas: el “DAP”; “el DAP y la altura total”; “el DAP, la altura total y la densidad básica” de los árboles.

Segura et al. (2006) desarrollaron modelos alométricos para especies dominantes de árboles de sombra y plantas de café (*Coffea arabica*) en los sistemas agroforestales de café en Matagalpa, Nicaragua. Las especies de árboles de sombra estudiados fueron *Cordia alliodora*, *Juglans olanchana*, *Inga tonduzzie*, *Inga punctata*. Los modelos predicen la biomasa aérea basada en el diámetro a la altura de pecho (de árboles), y el diámetro del tronco a una altura de 15 cm del suelo y altura de la planta (para plantas de café). Los autores determinaron las siguientes ecuaciones, una general que incluye todas las especies de árboles de sombra analizados, y las siguientes específicas para cada especie evaluada.

Árboles de sombra general $\log_{10}\text{biomasa} = -0,834 + 2,223 (\log_{10}\text{DAP})$

Inga spp. $\log_{10}\text{biomasa} = -0,889 + 2,317 (\log_{10}\text{DAP})$

Inga punctata $\log_{10}\text{biomasa} = -0,559 + 2,067 (\log_{10}\text{DAP})$

Inga tonduzzi $\log_{10}\text{biomasa} = -0,936 + 2,348 (\log_{10}\text{DAP})$

Juglans olanchana $\log_{10}\text{biomasa} = -1,417 + 2,755 (\log_{10}\text{DAP})$

Cordia alliodora $\log_{10}\text{biomasa} = -0,755 + 2,072 (\log_{10}\text{DAP})$

Coffea arabica $\text{Biomasa} = e^{-2,719 + 1,991(\ln(d15)) (\log_{10}d15)}$

Dónde:

Biomasa = Biomasa aérea total (kg)

Dap = Diámetro a la altura del pecho (cm)

d15 = Diámetro a los 15 cm sobre el suelo (cm)

4. SISTEMAS AGROFORESTALES

4.1. DEFINICIÓN

El Centro Mundial para la Agroforestería (ICRAF) define la agroforestería como un sistema sostenido de manejo de la tierra que aumenta su rendimiento total, combina la producción de cultivos (incluyendo cultivos arbóreos) con especies forestales y/o animales, en forma simultánea o secuencial sobre la misma superficie de terreno, y aplica prácticas de manejo que son compatibles con las prácticas culturales de la población local (Altieri et al. 1999).

Un sistema agroforestal es un conjunto integrado de prácticas de manejo de vegetación forestal integrada al ciclo agrícola, de modo que brinde un beneficio o cumpla una función beneficiosa específica (Reynel y Felipe-Morales 1987).

Por otro lado, Somarriba (1990) señala que los sistemas agroforestales se definen como formas de cultivo múltiple que satisfacen 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).

4.2. SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ

El café es un cultivo que por su origen se comporta mejor bajo sombra; por lo tanto, la forma tradicional de cultivar café requiere de estar sembrado bajo dosel forestal (MINAG 2003; Cuellar et al. 1999).

El manejo del cultivo de café desarrollado bajo el entorno arbóreo tiene diferentes formas de conducción según el tipo de productor. Algunos conducen los cafetales con árboles de paca debidamente instalados, otros con árboles que fueron dejados durante el roce con distanciamientos variables para sombra del café, como una modalidad de aprovechar los árboles maderables, otros agricultores conducen bajo sombra de agroforestería, dejando los

árboles maderables de mayor costo, completando el resto del área con árboles de paca en los lugares donde falta sombra. Asimismo, existen muchos cafetales con árboles de sombra que no están instalados adecuadamente (MINAG 2003).

Un porcentaje considerable de la producción cafetera de varios países de Centro América y Latino América se maneja bajo sombra, con intensidades que van desde muy poco hasta un sombrero excesivo. 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).

5. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS

5.1. COFFEA ARABICA

5.1.1. TAXONOMÍA

Nombre Común: Café.

Nombre Científico: *Coffea arabica* L.

Familia: RUBIACEAE.

5.1.2. VARIETADES DE CAFÉ CULTIVADAS EN EL PERÚ

Las variedades de café cultivadas en los diferentes pisos altitudinales (m.s.n.m.) y climas de las zonas cafetaleras del país, son las variedades de la especie *Coffea arabica*, que muestran su buena adaptación debido a sus características de rusticidad. Se identificaron las siguientes variedades: típica, bourbón, caturra, paches y catimor; como las más difundidas. Otras de menor presencia son mundo nuevo, catuaí y villa sarchi (MINAG, 2003).

a. Variedades de porte alto

Los cultivares de porte alto presentan características favorables para el manejo de los pequeños productores, quienes por lo general, conducen las plantaciones sin manejo técnico adecuado, en suelos de baja fertilidad y sin fertilización. Sus tallos y ramas flexibles facilitan la cosecha y resisten las condiciones adversas del mal manejo de la plantación. En las zonas donde se cultivan estas variedades, se conducen de manera extensiva y se obtienen bajos rendimientos (MINAG 2003).

b. Variedades de porte bajo

Los cultivares de porte bajo se conocen por sus características genotípicas de mayor producción, pero también exigen mayores cuidados y labores (MINAG 2003).

b.1. Variedad Caturra

Se adapta muy bien a diversas zonas del país, presenta ramas con entrenudos cortos, de hojas anchas, ramas quebradizas y no soporta condiciones adversas, requiere de un excelente manejo, responde muy bien a la fertilización y adecuadas prácticas culturales, se deteriora muy rápidamente cuando no se fertiliza ni se controla la maleza en forma adecuada. Esta variedad es una de las más difundidas después de la Typica (MINAG 2003).

b.2. Variedad Pache

Tiene buena ramificación con entrenudos cortos y abundante follaje. Sus brotes terminan en color pardo – violáceo semejante a los del Typica, esta variedad obtiene buenos rendimientos en alturas medias (MINAG 2003).

b.3. Variedad Catimor

Hace referencia a una gran cantidad de líneas y poblaciones de cafetos, todas descendientes del cruce entre híbrido Timor y Caturra, se caracteriza por su resistencia a Roya y por su alta producción (MINAG 2003).

5.1.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESARROLLO DEL CAFÉ

a.1. Luz

La intensidad de luz solar presenta efectos determinantes en los procesos de respiración y transpiración en este cultivo, de tal manera que a poca intensidad lumínica, hay poca apertura de las estomas de las hojas y baja actividad fotosintética, produciendo una reducción de la producción de carbohidratos en la planta. Por el contrario, al aumentar la intensidad de luz, se intensifican y mejoran las funciones metabólicas del cafeto, debido a la mayor apertura de las estomas y como consecuencia aumenta la fotosíntesis. Sin embargo, si la intensidad de la luz aumenta demasiado, hay funciones que se vuelven negativas; las estomas se cierran, la fotosíntesis disminuye, y aumenta la transpiración, con la consecuente disminución de la oferta de carbohidratos (Hagggar y Schepp; Muschler, citados por Guzmán 2013).

b. Temperatura

El rango óptimo de temperatura para la producción del cultivo es de 18°C a 22°C. Temperaturas por encima a 25°C reducen la tasa fotosintética y las hojas son dañadas por la continua exposición a altas temperaturas (> 30°C) (MINAG 2003).

c. Precipitación

La precipitación en las zonas cafetaleras oscila entre 1 000 mm a 3 500 mm anuales. El cafeto prospera con éxito en zonas donde las precipitaciones alcancen entre 1 500 mm y 1 800 mm anuales. Aunque el cafeto presenta cierta tolerancia a la sequía, su producción declina cuando las precipitaciones disminuyen por debajo de los 1 000 mm al año. Durante una sequía prolongada los cafetos presentan coloración amarilla y fuerte defoliación. Por otra parte, donde las lluvias superan los 3 000 mm por año, la proliferación de enfermedades y pérdida de nutrientes del suelo se ven favorecidos, afectando las cosechas. (MINAG 2003).

5.1.4. ASPECTOS DEL MANEJO DEL CULTIVO DE CAFÉ

a. Abonamiento

Los requerimientos nutricionales del café se determinan en función de su edad y de su potencial de rendimiento, de acuerdo a lo cual se deberá conocer el aporte de fertilidad del suelo para después aplicar los fertilizantes y los abonos orgánicos que sean necesarios. Además deberá tenerse en cuenta los componentes del clima y las respuestas fisiológicas del cafeto a la fertilización, según lo cual se ha determinado que las épocas adecuadas de aplicación son al inicio de la floración, llenado de grano y maduración de grano, en un mínimo de dos a tres fertilizaciones por campaña, para lograr buenos rendimientos (MINAG 2003).

b. Poda

La labor de poda en el café consiste en rehabilitar las plantaciones de café en la finca, iniciando por cortar los tallos sobremaduros (mayores de cuatro años de producción) a una altura promedio de 0,70 cm a 0,90 cm del nivel del suelo, dependiendo de la altitud de la zona (m.s.n.m.), para lograr rápida regeneración de tejidos o brotes nuevos con alta capacidad productiva (Solidaridad y ACDI/VOCA 2013.).

El manejo del tejido productivo de las plantas, para lograr un mejor estado de mantenimiento y de producción, requiere de un manejo más intenso y frecuente, que tome en cuenta el desarrollo del cultivo, la época del año y el estado fisiológico de la planta. Estudios de la fisiología del café, indican que su productividad depende de un adecuado desarrollo del

follaje, alta asimilación fotosintética y un buen manejo de las plantas mediante la poda, para canalizar los productos de la fotosíntesis hacia la formación y sostenimiento de los frutos. Con estas consideraciones podemos afirmar que de nada sirve realizar las prácticas culturales si la plantación no dispone de la formación de nuevas ramas y nudos para dar la floración y los frutos. La labor de poda en el café, el manejo del tejido productivo de las plantas, para lograr un mejor estado de mantenimiento y de producción, requiere de un manejo más intenso y frecuente, que tome en cuenta el desarrollo del cultivo, la época del año y el estado fisiológico de la planta. Estudios de la fisiología del café, indican que su productividad depende de un adecuado desarrollo del follaje, alta asimilación fotosintética y un buen manejo de las plantas mediante la poda, para canalizar los productos de la fotosíntesis hacia la formación y sostenimiento de los frutos. Con estas consideraciones podemos afirmar que de nada sirve realizar las prácticas culturales si la plantación no dispone de la formación de nuevas ramas y nudos para dar la floración y los frutos (MINAG 2003).

c. Renovación

La edad recomendada para hacer la renovación, es decir el reemplazo de un cafetal de baja producción por una nueva plantación es cuando el cafetal tenga más de 20 años (Solidaridad y ACIDI/VOCA 2013).

d. Manejo de sombra

El café es un cultivo que por su origen se comporta mejor bajo sombra, el establecimiento de plantaciones de sombra varía según los pisos altitudinales, los casos más comunes son de 8 m x 8 m, 10 m x 10 m y 12 m x 12 m para la parte baja, media y alta; respectivamente. El manejo del cultivo de café desarrollado bajo el entorno arbóreo, tiene diferentes formas de conducción según el tipo de productor. Algunos conducen los cafetales con árboles de *Inga sp.* debidamente instalados, otros con árboles que fueron dejados durante el roce con distanciamientos variables para sombra del café, como una modalidad de aprovechar los árboles maderables, otros agricultores conducen bajo sombra de agroforestería, dejando los árboles maderables de mayor costo, completando el resto del área con plantas de *Inga sp.* en los lugares donde falta sombra. Asimismo, existen muchos cafetales con árboles de sombra que no están instalados adecuadamente. Los árboles de sombra actúan como barreras rompe vientos, regulan la radiación solar y la temperatura y ayudan a disminuir la demanda de agua. (MINAG 2003).

5.1.5. EL CULTIVO DE CAFÉ EN EL PERÚ

El café se desarrolla con relativa facilidad desde los 600 hasta los 2000 msnm en casi todas las regiones geográficas del Perú. Sin embargo, el 75% de los cafetales esta sobre los 1000 msnm (Figuroa, citado por Márquez 2015). Los mayores productores a nivel nacional son las regiones de Junín, Cajamarca, San Martín y Cusco quienes poseen el 24, 23, 17, y 11 por ciento de la producción nacional (Márquez 2015).

5.2. INGA EDULIS

5.2.1. TAXONOMÍA

Nombres Comunes: “Guaba”, “Pacae sogá”

Nombre Científico: *Inga edulis* C. Martius

Familia: LEGUMINOSAE (MIMOSOIDEAE)

5.2.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Reynel et al. (2003) describen a esta especie como un árbol de 15 - 50 cm de diámetro y 6 - 18 m de altura total, con el fuste cilíndrico o irregular, la ramificación desde el segundo tercio, la base del fuste recta o con pequeñas raíces tablares de hasta 0,5 m de alto; con corteza externa lisa o lenticelada, color marrón claro, con lenticelas circulares o alargadas dispuestas en hileras horizontales y abundantes hacia la zona basal del fuste; la corteza interna homogénea, color rosado blanquecino, con tenue olor a legumbre. Las hojas compuestas paripinnadas, alternas y dispuestas en espiral, el peciolo de 3 - 6 cm de longitud, el raquis alado, las alas de 1 - 2 cm de longitud, el raquis con glándulas elípticas de 2 - 3 mm de ancho situadas en la zona de inserción de los foliolos, éstos 4 - 6 pares, elípticos, de 8 - 20 cm de longitud y 5 - 8 cm de ancho, enteros, los nervios secundarios 15 - 18 pares, prominulos en ambas caras, el ápice de los foliolos agudo, a veces cortamente acuminado, la base aguda, las hojas con pubescencia densa y corta de pelos amarillentos en el envés y los nervios secundarios. Las inflorescencias espigas axilares agrupadas cerca del ápice de las ramitas en las axilas de hojas no desarrolladas, cada inflorescencia de 2 - 10 cm de longitud, las flores dispuestas en una espiga congestionada. Las flores hermafroditas, de 2,5 - 5 cm de longitud, sésiles, actinomorfas, con cáliz y corola presentes, el cáliz de 1 - 2 cm de longitud, con 5 dientes, la corola tubular amarillenta, de 1,5 - 2,5 cm de longitud, con 5 dientes, el androceo 4 - 5 cm de longitud, los estambres muy numerosos y fusionados inmediatamente encima del nivel de la corola, el gineceo con un pistilo de ovario súpero y estilo linear, alargado, el estigma

inconspicuo. Los frutos legumbres cilíndricas y muy largas, de color verde, de unos 30 - 100 cm de longitud (en plantas cultivadas a menudo más grandes) y 2 - 5 cm de diámetro, longitudinalmente estriadas, con la superficie a menudo finamente pubescente.

5.2.3. DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT

Crece silvestre en el oeste de Sudamérica (Ecuador, Colombia, Venezuela, Perú) hasta Bolivia, mayormente debajo de los 1200 m.s.n.m. Se le cultiva desde Centroamérica a Sudamérica. Se le observa en ámbitos con pluviosidad elevada y constante, pero también en zonas con una estación seca marcada; es una especie heliófita, de crecimiento rápido, presente en bosques secundarios tempranos y tardíos; prefiere los suelos arenosos de zonas ribereñas, tolera la inundación temporal y la pedregosidad elevada (Reynel et al. 2003).

5.2.4. FENOLOGÍA, POLINIZACIÓN Y DISPERSIÓN DE LA ESPECIE

Los picos de floración en el Perú han sido observados entre Marzo-Mayo y Julio-Septiembre. Fructifica durante todo el año aunque aparentemente con un pico de fructificación entre Diciembre-Enero (Reynel et al. 2003).

5.2.5. USOS

Los frutos tienen semillas envueltas en un tejido algodonoso, comestible, muy dulce; son muy apreciados localmente. La madera es corriente y poco durable; se emplea como leña (Reynel et al. 2003). La especie tiene alto potencial para la recuperación de suelos degradados; su crecimiento es muy rápido y aporta gran cantidad de hojarasca y materia orgánica. Es excelente para revegetar zonas en las que la cubierta vegetal ha sido devastada pues facilita el establecimiento posterior de árboles más exigentes en calidad de suelo. La tasa de generación de biomasa en esta especie es espectacular, y se registran promedios de casi 25 t/ha/año en este aspecto (Pennington, citado por Reynel et al. 2003).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. ZONA DE ESTUDIO

1.1. LOCALIZACIÓN

El área de estudio abarca la zona de Alto Mayo. Esta zona está situada en la parte noroeste de la Región San Martín, y comprende dentro de su ámbito a las provincias de Moyobamba y Rioja.

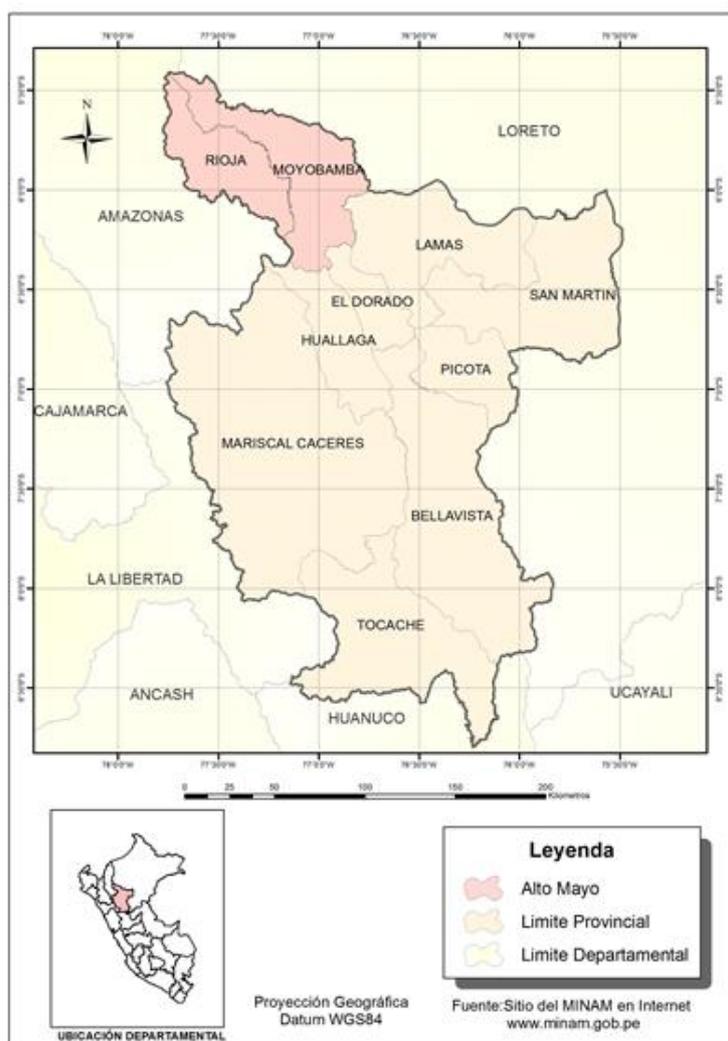


Figura 1: Ubicación del Alto Mayo.

FUENTE: Sitio web del MINAM: www.minam.gob.pe

1.2. ACCESIBILIDAD

Para llegar a la zona del Alto Mayo se cuenta con dos medios: El primero es por vía terrestre, ya que el Alto Mayo está integrada 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 Fernando Belaunde Terry, la misma que de Tarapoto se prolonga hacia Juanjui, Tocache, Tingo María y otras localidades de la selva del país. La segunda posibilidad es entrar por vía aérea, la cual se realiza mediante vuelos de aerolíneas comerciales hasta la ciudad de Tarapoto, y desde aquí a las ciudades de Moyobamba y Rioja mediante la Carretera Fernando Belaunde Terry (GTZ 2004).

1.3. CLIMA

Las precipitaciones anuales oscilan entre 1 200 mm, en las partes más bajas y más de 3 000 mm a altitudes de 1 200 m. Hay dos épocas de lluvia, una entre septiembre y diciembre y otra en febrero y abril. En las zonas de permanente nubosidad se presenta un microclima especial, con alta saturación de humedad. La temperatura promedio anual es de 22°C, con un promedio máximo de 28°C, variando entre 12°C y 25°C, según la gradiente altitudinal, en algunas. Los vientos son ocasionales, de moderada intensidad y de corta duración (INRENA 2008)

1.4. HIDROGRAFÍA

El río principal es el Río Mayo, el cual constituye el eje central de la cuenca, recorre con dirección Noroeste a Suroeste, tiene una longitud de 300 km, de las cuales 200 km, corresponden al Alto Mayo (INRENA 2008).

1.5. FISIOGRAFÍA Y SUELOS

El paisaje es 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 los suelos de las colinas altas y terrenos montañosos, con pendientes que superan el 50% (INRENA 2008).

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).

1.6. VEGETACIÓN

Según la clasificación ecológica basados en zonas de vida por Holdridge (1978), se reconocen las siguientes zonas de vida: Bosque muy húmedo – Pre montano Tropical, Bosque pluvial – Pre montano 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).

Por otro lado, las familias botánicas más diversas en esta área son las siguientes: Rubiaceae, Solanaceae, Melastomataceae, Orquidaceae y Lauraceae (INRENA 2008).

1.7. DEMOGRAFÍA

La población de la zona del Alto Mayo es de 115 389 habitantes en la provincia de Moyobamba, de los cuales 68 406 habitantes están en la parte urbana (59, 28%) y 46 983 habitantes están en la zona rural (40,72 %); y 104 882 habitantes en la provincia de Rioja, de los cuales 75 251 están en la zona urbana (71,75%) y 29 631 habitantes en la parte rural (28,25%) (INEI 2007).

2. MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

2.1. MATERIALES

- Libreta de campo
- Materiales de oficina (Lápices, borradores, tajadores, etc.)
- Plumones indelebles
- Un ciento de bolsas de papel de 1 kg
- Un ciento de bolsa de plástico de 5 kg
- Formatos de campo
- Una lima plana
- Soguilla

2.2. EQUIPOS

- Un relascopeo de Bitterlich
- Una balanza digital de 5 kg con 1 gr de precisión (Modelo EK5055)
- Una balanza de laboratorio con 0,01 gr de precisión

2.3. HERRAMIENTAS

- 02 serruchos de podar (Tipo cola de zorro)
- 02 tijeras de podar
- 02 machetes
- Una wincha de 30 m.
- Una cinta métrica
- Una wincha de 5 m

3. METODOLOGÍA

3.1. SELECCIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO

El área de trabajo se ubicó en los distritos de Moyobamba y Jepelacio en la provincia de Moyobamba, y los distritos de Awajun y Nueva Cajamarca, en la provincia de Rioja.

En los distritos mencionados se seleccionaron fincas de productores cafetaleros con base en un listado de agricultores que vienen trabajando con un programa de buenas prácticas agrícolas para el manejo de cafetales impartido por Solidaridad, institución que proporciona asistencia técnica a productores cafetaleros en la región San Martín.

Las fincas donde se realizó el estudio fueron seleccionadas tomando en cuenta aspectos como la accesibilidad, recursos financieros y el tiempo disponible para la realización del estudio. Además, otro de los criterios considerados fue que los propietarios tuvieran programada la poda o rehabilitación del cafetal.

3.2. DEFINICIÓN DE LA MUESTRA Y DISEÑO DE MUESTREO

La muestra estuvo conformada por dos especies, *Inga edulis* y *Coffea arabica*. Se realizaron dos métodos para la toma de muestras, uno no destructivo para individuos de la especie *Inga edulis* y uno destructivo para individuos de la especie *Coffea arabica*. Ambas especies se encontraron en las plantaciones agroforestales de las fincas seleccionadas.

Se desarrolló un diseño de muestreo subjetivo, es decir, las unidades de muestreo fueron seleccionadas por la persona ejecutora de la investigación (Phillip 1994).

3.3. PRESENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN A LOS PROPIETARIOS DE LAS FINCAS AGROFORESTALES

Solidaridad se encargó de informar a los propietarios de las fincas sobre la investigación que se ejecutaría para que se autorizara la realización de la misma. La comunicación fue de modo personal, a través del equipo técnico de la institución.

3.4. MUESTREO DE *INGA EDULIS*: MÉTODO NO DESTRUCTIVO

3.4.1. TRABAJO DE CAMPO

La labor de campo con la especie *Inga edulis* se inició con la ubicación y medición de los árboles en pie. El flujo del trabajo de campo se puede observar en la figura 2.

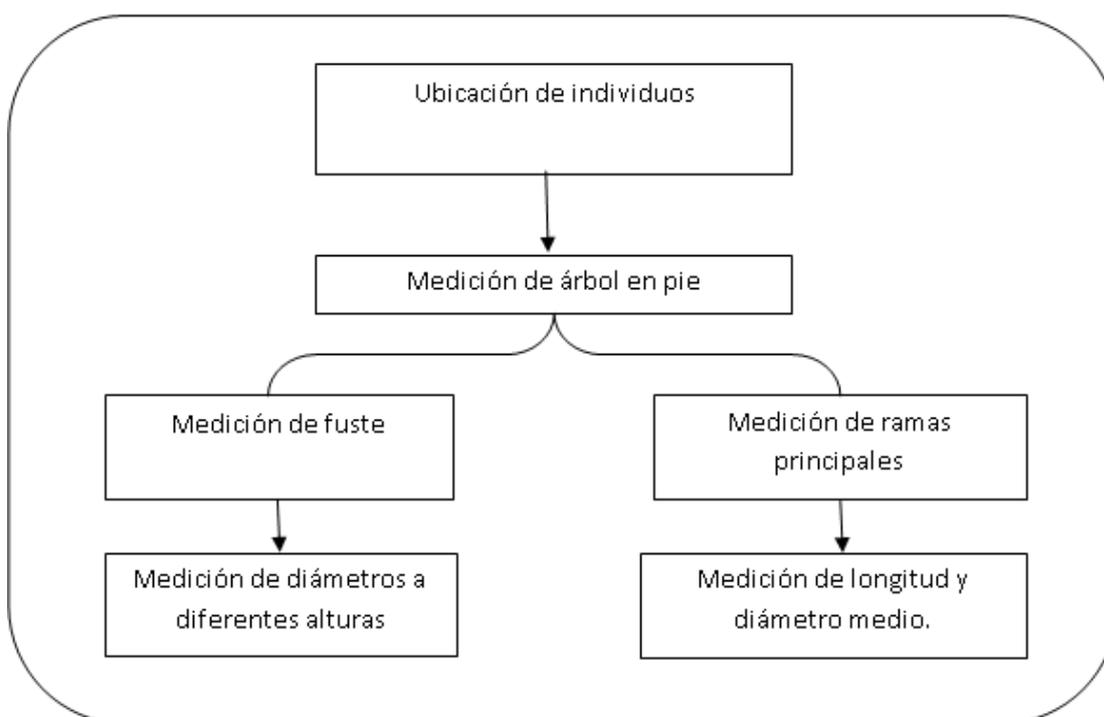


Figura 2: Esquema de trabajo en campo para *Inga edulis*.

FUENTE: Elaboración propia.

a. Ubicación y medición de árboles en pie

a.1. Ubicación y codificación de árboles

La ubicación de los árboles se realizó con un muestreo selectivo dentro de las fincas visitadas, es decir, la selección de individuos se realizó a juicio personal (Kalkham 2011). Cada árbol fue codificado con la letra “A” (árbol muestra) seguido de tres dígitos que indicaron el número de árbol evaluado, iniciando desde el “001”.

a.2. Ubicación del punto de medición

El punto de medición es aquel que se encuentra a una distancia (D) del árbol a evaluar. El punto de medición se ubicó utilizando la wincha, midiéndose desde el árbol una distancia (D) de 10, 15 ó 20 m, dependiendo de la altura del árbol a medir. Además, cada árbol fue observado con el fin de determinar en cual lado se apreciara mejor todo el fuste y así realizar las mediciones sin problemas.

b. Medición de diámetros a diferentes alturas

Se procedió a medir los diámetros a diferentes alturas haciendo uso del Relascopio de Biterlich. La primera lectura realizada fue la de la base del árbol seguida de lecturas del diámetro de cada sección sumando un metro a la altura de la lectura anterior hasta llegar al diámetro a punto de copa, tal como se observa en la figura 3. En campo se registró el número de bandas, gruesa (B) o delgadas (b) medidas con el Relascopio.

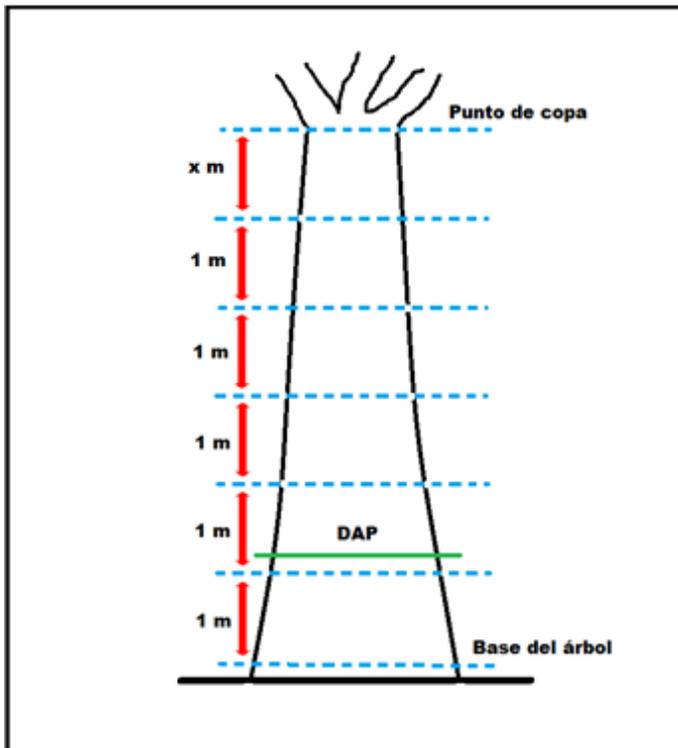


Figura 3: Secciones en las que se divide el fuste.

FUENTE: Elaboración propia.

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

Se midió el diámetro a la altura de pecho (DAP) del árbol a una altura de 1,30 m por encima del suelo. Se utilizó el Reliscopio de Biterlich.

d. Medición de la altura total (HT)

Se midió la altura total del árbol desde la base hasta el punto más alto de la copa. Se realizó con el hipsómetro (10 m, 15 m y 20 m) del Reliscopio de Biterlich.

e. Medición de ramas principales

Las ramas principales del árbol se midieron utilizando el Reliscopio de Biterlich. Se consideró como principales a aquellas ramas que presentaran diámetros mayores a 2,5 cm. Se midieron el diámetro en la mitad de la rama ($D_{(r)}$) y la longitud ($L_{(r)}$), tal como se indica en la figura 4. En ambos casos, la medida tomada en campo fue el número de bandas registrado con el instrumento.

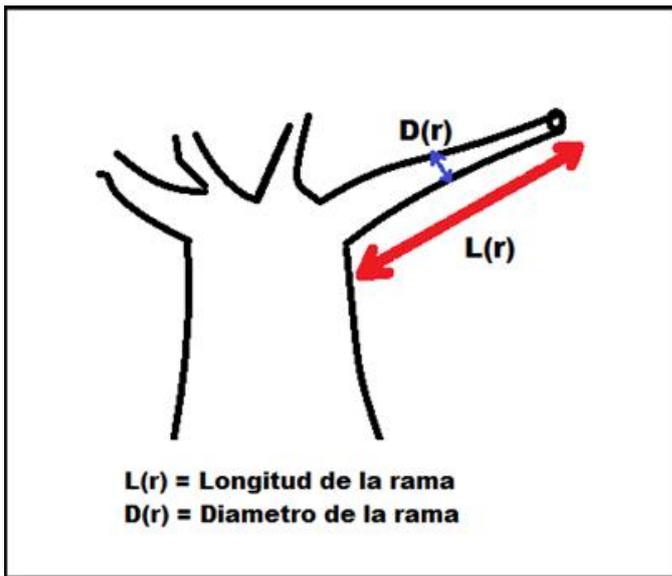


Figura 4: Medición de ramas principales.

FUENTE: Elaboración propia.

3.4.2. TRABAJO DE GABINETE

a. Cálculo de los diámetros del fuste

A partir de las mediciones realizadas con el Reloscopio de Biterlich en campo, se calcularon las medidas de los diámetros correspondientes a las bandas medidas con el instrumento y se transformaron los diámetros a su equivalencia en centímetros.

Como equivalencia se consideró que cada banda gruesa (B) equivale al doble de la distancia al punto de medición (D) expresada en centímetros, y que una banda delgada (b) equivale a la cuarta parte de la banda gruesa (B) o a la mitad de la distancia (D) expresada en centímetros.

$$B = 2 \times D$$

$$b = D/2$$

Dónde:

B = Banda gruesa del Reloscopio de Biterlich

b = Banda delgada Reloscopio de Biterlich

D = Distancia al punto de medición (cm)

b. Cálculo de la longitud y diámetro medio de las ramas

De la misma forma que en el caso de los diámetros del fuste, la longitud y el diámetro de las ramas principales se calcularon a partir de las mediciones realizadas con el Relascopio de Biterlich. Las bandas medidas con el instrumento se transformaron a su equivalencia en centímetros.

c. Determinación de volumen de los fustes

Según las mediciones realizadas en campo, cada fuste fue dividido en una cantidad determinada de secciones, dependiendo de su altura. Para calcular el volumen de cada sección se utilizó la fórmula de Smalian (Loetsch et al. 1973).

$$VS_i = (L \times (A_1 + A_2)) / 2$$

Dónde:

VS_i = Volumen de la sección (m^3)

A_1 = Área de la cara inferior (m^2)

A_2 = Área de la cara superior de la sección (m^2)

L = Longitud de la sección (m)

El volumen total del fuste se determinó como la sumatoria de los volúmenes de las secciones calculadas.

$$V_{\text{fuste}} = \sum_{i=1}^n VS_i$$

Dónde:

V = Volumen del fuste del árbol (m^3)

VS_i = Volumen de la sección i del fuste (m^3)

d. Determinación de volumen de las ramas principales

El volumen de las ramas se calculó con las medidas de diámetros medios ($D_{(r)}$) y longitud de la rama ($L_{(r)}$), aplicando la fórmula de Huber (Loetsch et al. 1973).

$$VR = Am \times L(r)$$

Dónde:

$$VR = \text{Volumen de la rama (m}^3\text{)}$$

$$Am = \pi/4 \times (D_{(r)})^2 = \text{Área de la sección media de la rama (m}^2\text{)}$$

$$L_{(r)} = \text{Longitud de la rama (m)}$$

El volumen total de las ramas de un árbol se determinó como la sumatoria de los volúmenes de las ramas principales de cada árbol.

$$V_{\text{ramas}} = \sum_{i=1}^n VR_i$$

Dónde:

$$V_{\text{ramas}} = \text{Volumen total de las ramas de un árbol (m}^3\text{)}$$

$$VR_i = \text{Volumen de una rama (m}^3\text{)}$$

e. Cálculo de los volúmenes totales de los árboles

El volumen total de un árbol se obtuvo como la suma del volumen del fuste y la suma del volumen total de las ramas principales.

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

Dónde:

$$V_{\text{árbol}} = \text{Volumen total del árbol (m}^3\text{)}$$

$$V_{\text{fuste}} = \text{Volumen del fuste (m}^3\text{)}$$

$$V_{\text{ramas}} = \text{Volumen de las ramas principales (m}^3\text{)}$$

f. Determinación de la biomasa seca de los árboles

De acuerdo con Segura y Kanninen (2002), la biomasa seca de un árbol se determina multiplicando su volumen total por la densidad básica de la madera de la especie (DB), siendo para *Inga edulis* $DB = 510 \text{ kg/m}^3$ (PADT-REFORT 1981).

$$BS = V_{\text{árbol}} \times DB$$

Dónde:

BS = Biomasa seca del árbol en kg

$V_{\text{árbol}}$ = Volumen del árbol (m^3)

DB = Densidad Básica de la madera (kg/m^3)

3.5. MUESTREO DE *COFFEA ARABICA*: MÉTODO DESTRUCTIVO

3.5.1. TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo se inició con la ubicación y medición del cafeto en pie; luego se realizó la corta del cafeto y las mediciones y pesadas de los respectivos componentes. Además se obtuvieron probetas del tallo y sub muestras de las hojas y ramas. El flujo de trabajo se presenta en la figura 5.

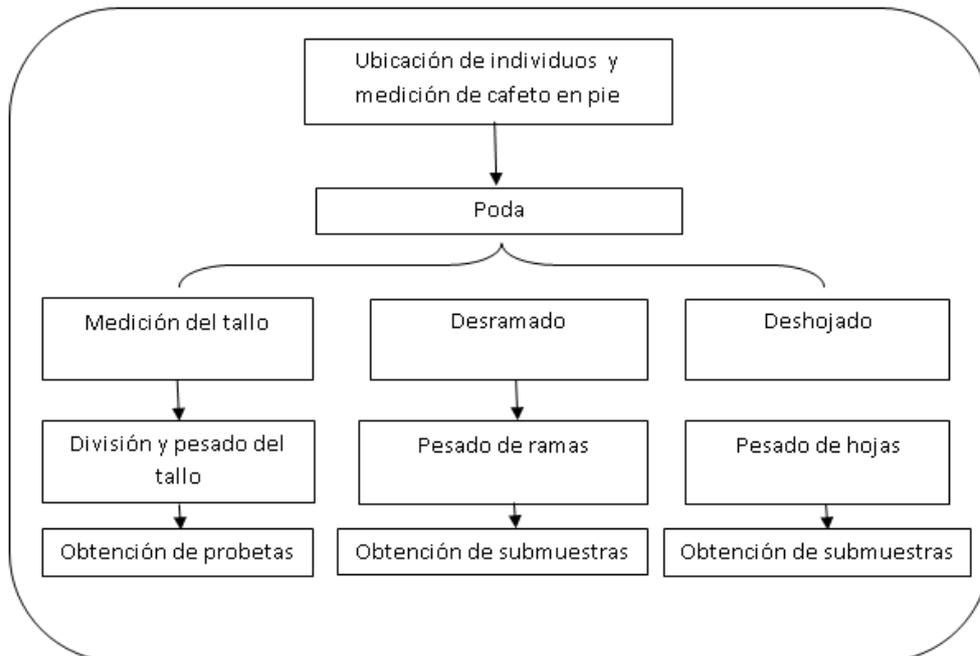


Figura 5: Esquema de trabajo en campo para *Coffea arabica*.

FUENTE: Elaboración propia.

a. Ubicación y medición del café en pie

a.1. Ubicación y codificación de cada café

Se realizó un muestreo selectivo (Kalkham 2011). Cada individuo seleccionado se ubicó con la ayuda del propietario de la plantación. Cada café se codificó con las letras “S” (café sin poda) o “C” (café con poda) seguido de tres dígitos que indicaron el número de café evaluado, iniciando desde el “001”.

a.2. Medición de la longitud de la circunferencia a 15 cm sobre el suelo (C15)

Se midió la longitud de la circunferencia del tallo a 15 cm sobre el suelo (cm). Para esto se utilizó una cinta métrica.

a.3. Medición de la altura total (HT)

La altura total del café (m) fue medida desde el ras del suelo hasta el extremo final del tallo, para esto se utilizó una wincha de carpintero.

b. Poda de cafetos

La poda de cafetos fue realizada por uno de los técnicos de Solidaridad encargado del mantenimiento de la plantación. Los cafetos fueron cortados a una altura promedio de 70 cm sobre el suelo como parte de la práctica de poda realizada en la plantación (figura 6). Luego del corte, se recibió el material para el desarrollo de las mediciones posteriores.

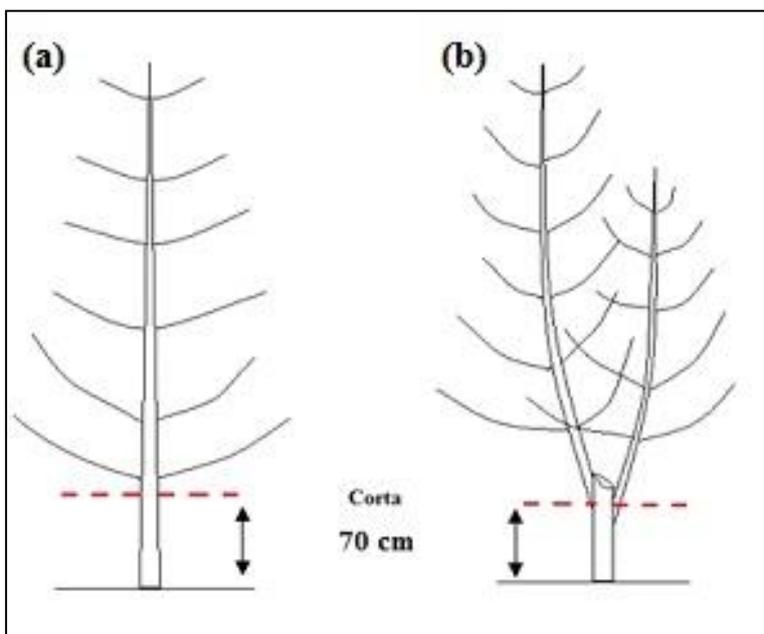


Figura 6: Corta de cafetos sin poda (a) y con poda (b).

FUENTE: Elaboración propia

c. Mediciones realizadas al tallo

c.1. Medición de longitud del tallo (Lt)

La longitud del tallo (m) fue medida desde ras del corte hasta el extremo final del tallo. Se utilizó una wincha de carpintero de 5 m.

c.2. Medición de la longitud de la circunferencia del tocón (D tocón)

La longitud de la circunferencia del tocón se midió a 30 cm sobre el suelo, se utilizó una cinta métrica (cm).

c.3. Medición de la altura del tocón (H tocón)

La altura del tocón (m) fue medida desde el ras del suelo hasta el extremo del corte. Se utilizó una wincha de carpintero.

c.4. División y pesado del tallo

El tallo fue dividido en dos secciones de igual longitud con un serrucho de tipo cola de zorro (figura 7). Cada sección del tallo fue pesada en una balanza digital para obtener el peso húmedo del tallo (kg).

c.5. Obtención de sub muestras del tallo

Luego del pesado, se obtuvieron probetas de aproximadamente 10 cm de longitud. Las probetas se cortaron a mitad de cada sección de los tallos, tal como se observa en la figura 7. Cada probeta fue pesada en una balanza digital en campo.



Figura 7: Obtención de probetas.

FUENTE: Elaboración propia.

Las probetas fueron codificadas utilizando el código asignado al cafeto, seguido de las letras “m” que significaba sub muestra del tallo y el número “1” que indica que la probeta procede de la parte baja del tallo o “2” que indica que pertenece a la sección alta del tallo (figura 8).

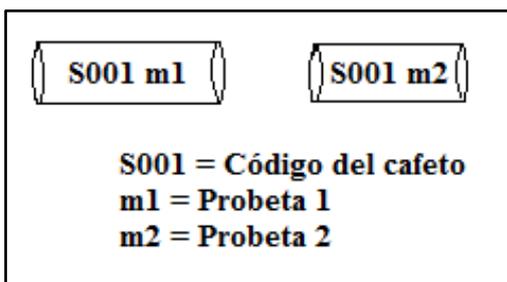


Figura 8: Codificación de probetas.

FUENTE: Elaboración propia

d. Mediciones realizadas a las ramas

d.1. Desramado y pesado

El desramado se realizó utilizando un machete. Las ramas cortadas fueron agrupadas y amarradas con una soguilla formando atados para facilitar su pesado. Estos atados fueron pesados en una balanza digital de 1 g de precisión, obteniéndose así el peso húmedo total de las ramas (kg).

d.2. Obtención de sub muestras de ramas

Luego del pesado, las ramas fueron extendidas sobre una manta. Del total del material se extrajo al azar una sub muestra de ramas. Esta sub muestra tuvo un peso aproximado de 200 g. Por último, la sub muestra se colocó en una bolsa de papel donde se anotó la codificación del cafeto y el peso húmedo obtenido.

e. Mediciones realizadas a las hojas

e.1. Deshojado y pesado

El deshojado se realizó de manera manual. Todas las hojas del cafeto fueron puestas en bolsas de polietileno para facilitar su pesado. El peso húmedo total de las hojas (kg) se obtuvo utilizando una balanza digital de 1 g de precisión.

e.2. Obtención de sub muestras de hojas

El total del material fue extendido sobre una manta de donde se obtuvo al azar una sub muestra de hojas. La sub muestra tuvo un peso aproximado de 200 g y fue introducida en una bolsa de papel. En la bolsa de papel se anotó la codificación del cafeto y el peso húmedo de la sub muestra.

3.5.2. TRANSPORTE

Las sub muestras de tallos, ramas y hojas de los cafetos fueron ordenadas en costales y trasladadas por medio de motocicletas desde su lugar de origen hasta la oficina de Solidaridad en Moyobamba.

Para su transporte a Lima, las sub muestras fueron colocadas en cajas de cartón grandes. Las cajas fueron enviadas a través de la empresa de transporte terrestre interprovincial “Móvil Tour”.

Una vez en Lima, las cajas fueron recogidas y trasladadas al Laboratorio de Ensayos y Propiedades Físico - Mecánicas de la madera de la FCF –UNALM.

3.5.3. TRABAJO DE LABORATORIO

a. Secado de sub muestras de hojas, ramas y tallos de cafetos

Este procedimiento se llevó a cabo en el horno del Laboratorio de Ensayos y Propiedades Físico -Mecánicas de la madera de la FCF –UNALM.

a.1. Pesado de sub muestras

Antes del ingreso al horno las muestras fueron agrupadas como tallos, ramas y hojas y fueron pesadas en una balanza digital de precisión (0,1 g).

a.2. Secado de sub muestras

Las sub muestras de las hojas, ramas y tallos fueron secadas a la estufa del laboratorio a una temperatura de 105° C hasta alcanzar un peso seco constante. Este procedimiento se llevó a cabo siguiendo la Norma Técnica Peruana para Secado de la Madera (NTP 2004).

Durante el proceso de secado cada una de las sub muestras fue pesada hasta alcanzar el peso seco constante. Una vez registrado el peso seco constante, las sub muestras fueron retiradas del horno y el secado finalizó. De esta forma se obtuvo el peso seco o biomasa seca de cada sub muestra de los tallos, ramas y hojas.

3.5.4. TRABAJO DE GABINETE

a. Cálculo de los diámetros a 15 cm sobre el suelo (D_{15}) de los cafetos

Para calcular el valor del D_{15} se utilizó la siguiente fórmula:

$$D_{15} = C_{15}/\pi$$

Dónde:

D_{15} = Diámetro a 15 cm sobre el suelo

C_{15} = Longitud de circunferencia a 15 cm sobre el suelo

$$\pi = 3,1416$$

b. Determinación de materia seca (%) de las sub muestras de cafetos

La determinación de la materia seca se realizó aplicando las siguientes relaciones (Segura y Kanninen 2002):

$$MS\% (T) = Ps (T)/Ph (T) \times 100$$

$$MS\% (R) = Ps (R)/Ph (R) \times 100$$

$$MS\% (H) = Ps (H)/Ph (H) \times 100$$

Dónde:

(T) = Tallos

(R) = Ramas

(H) = Hojas

MS% = Porcentaje de materia seca (%)

Ph = Peso húmedo de las sub muestra de tallos, ramas u hojas (g)

Ps = Peso seco de las sub muestras de tallos, ramas u hojas (g)

c. Determinación de la biomasa seca de cafetos

Se calculó la biomasa seca de tallos, ramas y hojas según las formulas sugeridas por Segura et al. (2008).

$$BS (t) = (Ph (T) \times MS\% (T))/100$$

$$BS (R) = (Ph (R) \times MS\% (R))/100$$

$$BS (H) = (Ph (H) \times MS\% (H))/100$$

Donde:

(t) = Tallos

(R) = Ramas

(H) = Hojas

BS = Biomasa seca (kg)

MS = Materia seca (%)

Ph = Peso húmedo total de tallos, ramas u hojas (kg)

Además, se determinó la biomasa seca del tocón de cada cafeto. Para esto se calculó el volumen del tocón a través de la siguiente ecuación (Suarez 2002).

$$V_{\text{tocón}} = \pi/4 \times (D_{\text{tocón}})^2 \times H_{\text{tocón}}$$

Dónde:

V tocón = Volumen del tocón (m³)

D tocón = Diámetro medido a 30 cm del suelo (m)

H tocón = Altura del tocón (m)

De acuerdo con Suarez (2002) la biomasa seca del tocón se determinó multiplicando su volumen por la densidad básica de la madera. Según Segura et al. (2006), la madera de *Coffea arabica* tiene una densidad básica de 820 kg/m³.

$$BS_{\text{tocón}} = V_{\text{tocón}} \times DB$$

Dónde:

$BS_{\text{tocón}} = \text{Biomasa seca del tocón (kg)}$

$V_{\text{tocón}} = \text{Volumen del tocón (m}^3\text{)}$

$DB = \text{Densidad Básica de la madera (kg/m}^3\text{)}$

La biomasa seca total del tallo BS (T) se obtuvo como la suma de la biomasa seca del tallo y la biomasa seca del tocón.

$$BS (T) = BS (t) + BS_{\text{tocón}}$$

Dónde:

$BS (T) = \text{Biomasa seca total del tallo}$

$BS_{\text{tocón}} = \text{Biomasa seca del tocón}$

$BS (t) = \text{Biomasa seca del tallo}$

La biomasa aérea total (BAT) fue determinada como suma de los tallos, ramas y hojas.

$$BAT=BS (T) + BS (R) + BS (H)$$

Dónde:

$BAT = \text{Biomasa aérea total}$

$BS (T) = \text{Biomasa seca total del tallo}$

$BS (R) = \text{Biomasa seca de ramas}$

$BS (H) = \text{Biomasa seca de hojas}$

3.6. CONSTRUCCIÓN DE LAS ECUACIONES DE BIOMASA

Los modelos de las ecuaciones a utilizar se eligieron con base en una consulta bibliográfica. Se seleccionaron 10 modelos, los cuales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Modelos para estimar biomasa.

N	Modelos
1	$BAT = b_0 + b_1 \times D$
2	$BAT = b_1 \times D^2$
3	$BAT = b_0 + b_1 \times D^2$
4	$BAT = b_1 \times D + b_2 \times D^2$
5	$BAT = b_0 + b_1 \times D + b_2 \times D^2$
6	$BAT = b_0 + b_1 \times D^2 \times HT$
7	$BAT = b_0 + b_1 \times D^2 + b_2 \times HT$
8	$BAT = b_1 \times D + b_1 \times D^2 + b_2 \times HT$
9	$\ln BAT = b_0 + b_1 \times \ln D$
10	$\ln BAT = b_0 + b_1 \ln D + b_2 \times \ln HT$

FUENTE: *Fucaraccio y Stafferi (1999)*

Dónde:

BAT = Biomasa aérea total (kg)

D = Diámetro (a la altura de pecho o a otra referencia; cm)

HT = Altura total (m)

Siguiendo el análisis de regresión basado en el Método de los Mínimos Cuadrados (Alder 1980) se construyeron ecuaciones de biomasa a partir de los modelos propuestos.

La información de los individuos muestreados de *Inga edulis* y *Coffea arabica* fue organizada en una hoja de cálculo en el programa Microsoft Excel 2010. Se trabajó a través de la herramienta Análisis de Datos, la cual permitió obtener información completa del análisis de regresión desarrollado para poder generar las ecuaciones.

Las pruebas de hipótesis para las variables se realizaron con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. A cada ecuación se le analizó el coeficiente de determinación (R^2) como medida de la bondad de ajuste de la ecuación a los datos. Además, cada ecuación se analizó con la Prueba F de Fisher y la Prueba t de Student.

3.7. SELECCIÓN DE LA MEJOR ECUACIÓN

Para la selección de la mejor ecuación se siguió la metodología de Barrena et al. (1986). En la Tabla 1 se presentaron modelos de dos tipos, uno en el que la variable dependiente es la biomasa aérea total (BAT) y otro donde la variable dependiente es el logaritmo de la biomasa aérea total (lnBAT). Ya que las ecuaciones de regresión con variables dependientes diferentes no se pueden comparar entre sí, se determinó la mejor ecuación dentro de cada grupo y luego se compararon las dos ecuaciones seleccionadas.

En una primera etapa se determinó la mejor ecuación de regresión en cada grupo de modelos. Para ello se empleó el cuadrado medio del error (CME). La mejor ecuación fue aquella cuyo valor de CME fue el menor, obteniéndose así dos ecuaciones: una que explica la biomasa y otra que explica el logaritmo de la biomasa. En una segunda etapa se compararon los mejores modelos de cada grupo de ecuaciones. Al no poder ser comparadas con el CME se empleó el Índice de Furnival. Se seleccionaron como mejores ecuaciones para estimar biomasa aquellas que presentaran menor Índice de Furnival (Barrena et al. 1986).

La expresión general del Índice de Furnival (IF) es la siguiente:

$$IF = RCME \times \text{anti log} \left[\left(\sum \log ((B')^{-1}) / n \right) \right]$$

Donde

IF = Índice de Furnival

RCME = Raíz cuadrada del cuadrado medio del error

(B') = Recíproco de la primera derivada de la variable (dependiente transformada)

Tabla 2: Recíprocos de la primera derivada de las variables dependientes transformadas para el cálculo del Índice de Furnival.

<i>Variable dependiente transformada</i>	(B')
log (B)	2,3026 x B
ln (B)	B
B^k	$1/(k \times B^{k-1})$
1/ B	$-B^2$
\sqrt{B}	$2B^{1/2}$

FUENTE: Segura y Andrade (2008)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. SELECCIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO

La zona de trabajo elegida se encuentra dentro del área de intervención de Solidaridad en el Alto Mayo. Se trabajó en fincas de productores beneficiarios del programa impartido por la institución.

Las fincas donde se realizó el estudio se encuentran distribuidas en las provincias de Moyobamba y Rioja en el departamento de San Martín. En la Tabla 3 se enlistan los centros poblados en los que se ejecutó el trabajo: Cordillera Andina, Creación 2000, Nuevo Edén, Sugllaquiro, Carrizal y Jepelacio en la provincia de Moyobamba; y Nueva Cajamarca, Túpac Amaru y Sol de Oro, en la provincia de Rioja. La ubicación se presenta en la figura 9. En estos centros poblados se trabajó con productores cafetaleros que manejan su cultivo como sistemas agroforestales.

Tabla 3: Centros poblados donde se desarrolló el estudio.

N°	Centro poblado	Distrito	Provincia
1	Cordillera Andina	Moyobamba	Moyobamba
2	Creación 2000	Moyobamba	Moyobamba
3	Nuevo Edén	Moyobamba	Moyobamba
3	Sugllaquiro	Moyobamba	Moyobamba
4	Alto Carrizal	Jepelacio	Moyobamba
5	Jepelacio	Jepelacio	Moyobamba
6	La Florida	Nueva Cajamarca	Rioja
7	Túpac Amaru	Nueva Cajamarca	Rioja
8	Sol de Oro	Awajun	Roja

Estos centros poblados fueron seleccionados teniendo en cuenta la accesibilidad a las fincas. Fue de mucha importancia que se contara con vías de acceso que permitieran el ingreso de motocicletas, a fin de facilitar el transporte y no incrementar el tiempo destinado a la labor de campo.

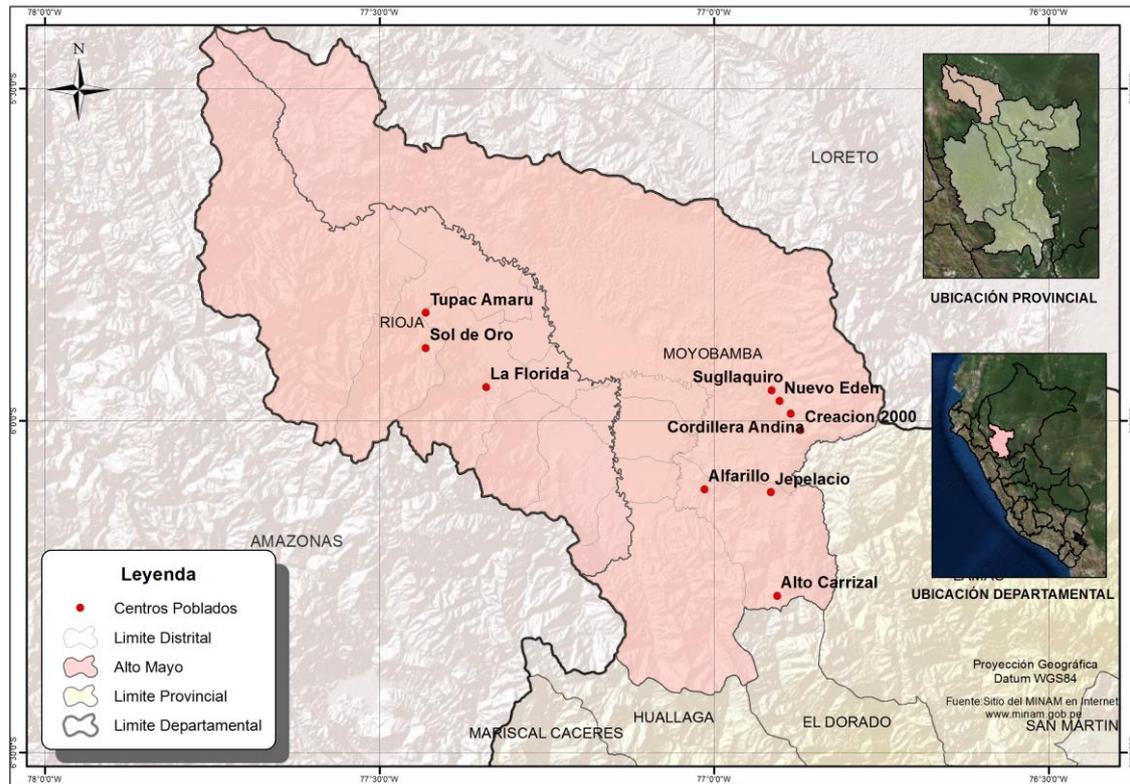


Figura 9: Mapa de ubicación de centros poblados donde se realizó la investigación.

2. DEFINICIÓN DE LA MUESTRA Y DISEÑO DE MUESTREO

Se realizaron dos muestreos. El muestreo no destructivo se ejecutó con la especie *Inga edulis* y el muestreo destructivo, con la especie *Coffea arabica*.

Para ambas especies el diseño de muestreo fue subjetivo, es decir, los individuos fueron seleccionados por la persona ejecutora de la investigación (Phillip 1994).

3. PRESENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN A LOS PROPIETARIOS DE FINCAS AGROFORESTALES

Los dueños de las fincas visitadas fueron informados a través del técnico de Solidaridad sobre la investigación que se realizaría en su propiedad. Cada propietario autorizó que se evaluaran como mínimo cinco individuos por el método destructivo, esto con el fin de que su producción no se viera afectada; sin embargo, algunos de los propietarios permitieron un número mayor al acordado. Cabe mencionar que los propietarios siempre estuvieron presentes durante el desarrollo del muestreo, siendo ellos quienes aprobaron la selección de los individuos que serían extraídos. En total se visitaron 12 fincas con plantaciones de café bajo sombra de guaba (Tabla 4).

Tabla 4: Propietarios de las fincas donde se realizó el estudio.

N°	Centro Poblado	Propietario de Finca	Variedad del café de la plantación
1	Cordillera Andina	Santos Padilla	Villa Sarche
2	Nuevo Edén	Víctor Jiménez	Caturra
3	Creación 2000	Lorenzo Carrera	Catimor
4	Creación 2000	Gonzalo Diaz	Caturra
5	Cordillera Andina	Maximino Alberca	Catimor
6	Alto Carrizal	Elvis Cueva	Típica
7	Tupac Amaru	Joselito Mego	Catimor
8	La Florida	María Vela	Catimor
9	Alfarillo	Lucina Díaz	Pache
10	Sugllaquiro	Santos Cueva	Catimor
11	Sol de Oro	Daniel Terrones	Catimor
12	Jepelacio	Tarifeño Ríos	Catimor

4. *INGA EDULIS*: MÉTODO NO DESTRUCTIVO

4.1. TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo se realizó entre los meses de noviembre y diciembre del 2013. Cabe señalar que el periodo de lluvias en la zona inicia en diciembre, por lo cual, eventualmente, el trabajo fue afectado por la ocurrencia de fuertes precipitaciones que retrasaron las labores.

4.1.1. SELECCIÓN DE ÁRBOLES

Se seleccionaron 15 individuos de la especie *Inga edulis*. La Tabla 5 presenta las clases diamétricas en las que se distribuyen los árboles muestra. Se observa que el 86,7% de los individuos se encuentran en las clases 2, 3 y 4 con diámetros entre 10 cm y 39,9 cm.

Tabla 5: Clases diamétricas de la muestra de *Inga edulis*.

Clase diamétrica	Límite inferior	Límite superior	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
1	0	9,99	4,995	1	6,7
2	10	19,99	14,995	4	26,7
3	20	29,99	24,995	6	40,0
4	30	39,99	34,995	3	20,0
5	40	49,99	44,995	1	6,7

La figura 10 muestra la estructura diamétrica de los 15 árboles seleccionados. Se observa que la clase 3 (marca de clase 24,995) es la que posee mayor número de árboles y que el gráfico se asemeja a una distribución normal.

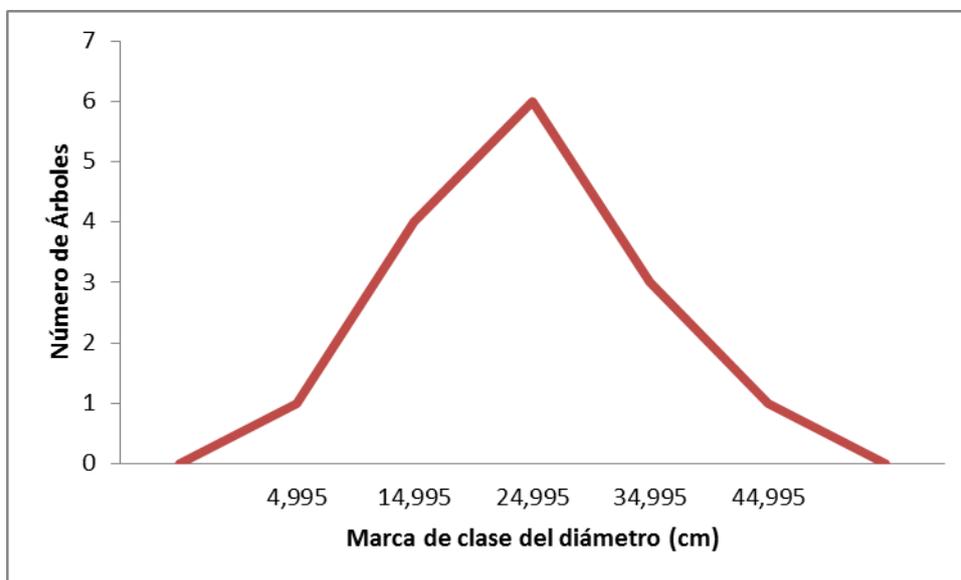


Figura 10: Distribución diamétrica de los árboles evaluados.

4.1.2. UBICACIÓN Y MEDICIÓN DE ÁRBOLES EN PIE

a. Ubicación del árbol

Los árboles de *Inga edulis* fueron ubicados dentro de las fincas seleccionadas. En la mayoría de casos los árboles no se encontraban distribuidos uniformemente por lo que se seleccionaron a los individuos ubicados en el centro de la finca. Para la ubicación de individuos se tomó en cuenta que la base de los árboles se encontrara despejada y que así se tuviera la visibilidad necesaria para realizar las mediciones.

b. Medición del DAP y de la altura total (HT)

Los DAP medidos oscilaron entre los 7,5 cm (A004) y los 41,25 cm (A014) con un promedio de 22,67 cm. La altura total promedio fue de 12,43 m con un rango de 6 m (A004) a 19,5 m (A014).

En la Tabla 6 se presentan el DAP y la altura total de los árboles evaluados. Se observa que el árbol que tiene el menor DAP y la menor altura es el árbol 4 (A004) y el árbol de mayor DAP y mayor altura total es el árbol 14 (A014). Es posible que el amplio rango entre las medidas y la variabilidad de los datos se deban a que los individuos se evaluaron en fincas ubicadas en diferentes sitios y que los individuos evaluados son de edades diferentes.

Tabla 6: DAP y altura total (HT) de los árboles evaluados en campo.

N°	Código	DAP (cm)	Altura Total (m)
1	A001	16,25	14,50
2	A002	20,00	11,50
3	A003	12,50	13,50
4	A004	7,50	6,00
5	A005	12,50	9,50
6	A006	15,00	7,50
7	A007	35,00	16,00
8	A008	20,00	11,00
9	A009	20,00	11,50
10	A010	32,50	12,50
11	A011	22,50	10,50
12	A012	22,50	9,00
13	A013	25,00	17,50
14	A014	41,25	19,50
15	A015	37,50	16,50
	Promedio	22,67	12,43

La figura 11 presenta la relación entre el DAP (cm) y la altura total del árbol (m). La tendencia que se observa es que a mayor DAP, mayor altura. Se podría decir que según el grafico la tendencia es que al aumentar el DAP incrementa la altura total. Sin embargo, en el grafico se observan individuos que salen de esta tendencia y que alcanzan alturas mayores a las esperadas. La variabilidad en alturas puede atribuirse a razones como la edad de los individuos, características de los sitios donde crecieron los individuos, y el manejo que reciben estos árboles en su función de sombra de cafetales.

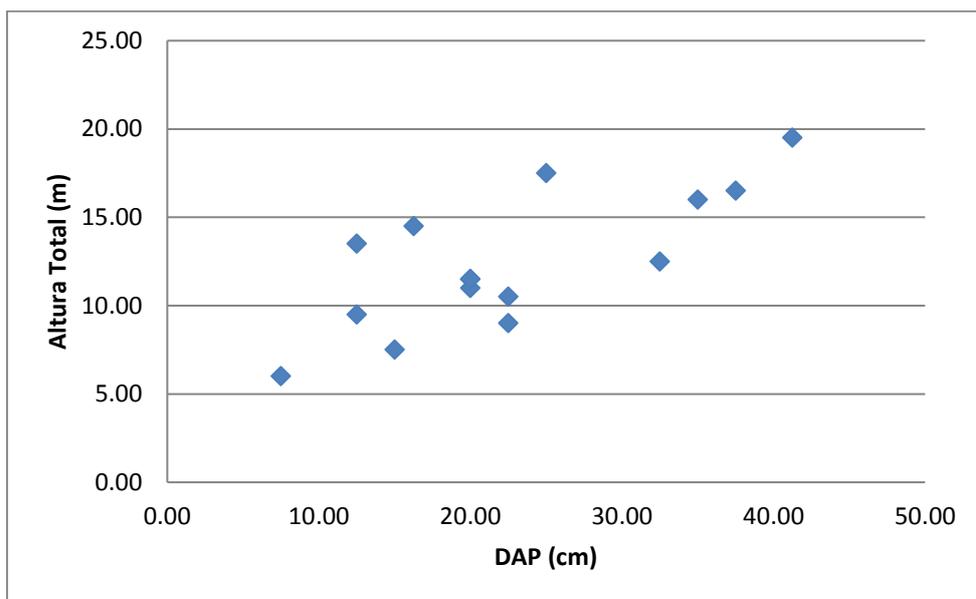


Figura 11: Relación entre el DAP (cm) y la altura total (m) de *Inga edulis*.

c. Medición de diámetros a diferentes alturas

En la Tabla 7 se presentan los diámetros medidos a diferentes alturas del fuste. Dado que cada sección representa una altura de un metro, se observa que las alturas de los fustes varían entre 4 m (A004) y 12 m (A013 y A014). Sólo los individuos A013 y A014 alcanzaron fustes de 12 m de altura, siendo ellos también los que presentaron los DAP más grandes.

d. Medición de ramas principales

En la Tabla 8 se presentan las mediciones realizadas a las ramas principales de los individuos de *Inga edulis*. Se observa que el número de ramas principales varía entre una (A005 y A006) y cinco ramas por árbol (A014).

La presencia de ramas se encuentra relacionada con el manejo que se le da a la sombra en la finca. Los árboles de *Inga edulis* utilizados como sombra en sistemas agroforestales son manejados con corta de ramas para regulación de sombra. Los árboles manejados tienen menor número de ramas que aquellos que no reciben manejo.

Tabla 7: Diámetros medidos a diferentes alturas de los árboles de *Inga edulis*.

N°	Código	Diámetro de sección (cm)												Diámetro en la última sección (cm)	Longitud de la última sección (m)	
		Base	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			12
1	A001	17,50	16,25	16,25	15,00	15,00	12,50	12,50	11,25	10,00	10,00	-	-	-	10,00	0,50
2	A002	21,25	17,50	16,25	11,25	15,00	15,00	15,00	-	-	-	-	-	-	-	-
3	A003	18,75	12,50	12,50	10,00	10,00	10,00	10,00	7,50	7,50	-	-	-	-	25,00	0,50
4	A004	10,00	7,50	6,25	5,00	5,00	-	-	-	-	-	-	-	-	3,75	0,50
5	A005	12,50	15,00	12,50	12,50	10,00	5,00	5,00	5,00	-	-	-	-	-	-	-
6	A006	12,50	15,00	10,00	5,00	5,00	5,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	A007	37,50	35,00	30,00	30,00	30,00	25,00	25,00	25,00	-	-	-	-	-	20,00	0,50
8	A008	30,00	25,00	15,00	10,00	10,00	7,50	5,00	5,00	-	-	-	-	-	-	-
9	A009	30,00	25,00	15,00	10,00	10,00	10,00	7,50	7,50	5,00	-	-	-	-	-	-
10	A010	38,75	32,50	20,00	27,50	27,50	27,50	-	-	-	-	-	-	-	25,00	0,50
11	A011	35,00	25,00	18,75	12,50	15,00	10,00	10,00	10,00	-	-	-	-	-	-	-
12	A012	35,00	25,00	25,00	20,00	17,50	12,50	-	-	-	-	-	-	-	12,50	0,50
13	A013	25,00	23,75	23,75	20,00	20,00	17,50	17,50	15,00	15,00	10,00	10,00	10,00	10,00	-	-
14	A014	41,25	41,25	37,50	30,00	26,25	26,25	22,50	22,50	22,50	24,38	22,50	22,50	20,63	-	-
15	A015	37,50	37,50	33,75	33,75	30,00	30,00	28,13	22,50	22,50	-	-	-	-	22,50	0,50

Tabla 8: Mediciones realizadas a las ramas principales

N°	Código	Rama 1		Rama 2		Rama 3		Rama 4		Rama 5	
		Longitud (m)	Diámetro (cm)								
1	A001	4,80	5,00	2,40	5,00	3,20	5,00	-	-	-	-
2	A002	4,40	10,00	5,40	7,50	2,00	7,50	-	-	-	-
3	A003	2,40	6,25	1,30	3,75	1,90	5,00	2,50	6,25	-	-
4	A004	3,00	5,00	2,00	6,25	1,60	3,75	1,40	5,00	-	-
5	A005	4,80	10,00	-	-	-	-	-	-	-	-
6	A006	7,60	7,50	-	-	-	-	-	-	-	-
7	A007	4,80	12,50	4,40	10,00	3,22	10,00	-	-	-	-
8	A008	2,80	5,00	2,80	5,00	-	-	-	-	-	-
9	A009	3,20	7,50	-	-	-	-	-	-	-	-
10	A010	3,10	15,00	3,05	12,50	3,40	12,50	2,80	10,00	-	-
11	A011	2,20	7,50	2,10	8,75	-	-	-	-	-	-
12	A012	2,15	10,00	2,40	7,50	-	-	-	-	-	-
13	A013	2,00	20,00	1,40	15,00	-	-	-	-	-	-
14	A014	5,40	18,75	3,45	11,25	3,00	13,13	4,35	18,75	3,00	15,00
15	A015	5,40	22,50	6,00	18,75	3,00	15,00	3,60	11,25	-	-

4.2. TRABAJO DE GABINETE

4.2.1. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN TOTAL DE LOS ÁRBOLES

El volumen total de los árboles se ha calculado como la suma de los volúmenes del fuste y de las ramas principales. Los resultados se presentan en la Tabla 9. Se observa que el volumen promedio de los fustes fue $0,241943 \text{ m}^3$ variando en un rango de $0,015125 \text{ m}^3$ (A004) a $0,752003 \text{ m}^3$ (A014), mientras que el volumen promedio de ramas por árbol fue de $0,099946 \text{ m}^3$ variando en un rango de $0,010996 \text{ m}^3$ (A008) a $0,469171 \text{ m}^3$ (A015). Al comparar con la Tabla 7, se observa también que el volumen de las ramas por árbol está relacionado con el número de ramas presentes en un individuo, siendo menor el volumen cuando la cantidad de ramas es baja.

El promedio del volumen total de los árboles evaluados fue de $0,341889 \text{ m}^3$, variando en un rango de $0,031667 \text{ m}^3$ (A004) a $1,149114 \text{ m}^3$ (A014).

Tabla 9: Volumen total de los árboles.

N°	Código	DAP (cm)	Altura Total (m)	Volumen del Fuste (m³)	Volumen de las Ramas (m³)	Volumen Total del Árbol (m³)
1	A001	16,25	14,50	0,139040	0,020420	0,159460
2	A002	20,00	11,50	0,116644	0,067250	0,183894
3	A003	12,50	13,50	0,089769	0,020199	0,109968
4	A004	7,50	6,00	0,015125	0,016542	0,031667
5	A005	12,50	9,50	0,061114	0,037699	0,098813
6	A006	15,00	7,50	0,036570	0,033576	0,070146
7	A007	35,00	16,00	0,506336	0,118752	0,625089
8	A008	20,00	11,00	0,125173	0,010996	0,136168
9	A009	20,00	11,50	0,135481	0,014137	0,149618
10	A010	32,50	12,50	0,348950	0,155926	0,504876
11	A011	22,50	10,50	0,174383	0,022347	0,196730
12	A012	22,50	9,00	0,214021	0,027489	0,241510
13	A013	25,00	17,50	0,286916	0,087572	0,374488
14	A014	41,25	19,50	0,752003	0,397111	1,149114
15	A015	37,50	16,50	0,627613	0,469177	1,096790
	Promedio	22,67	12,43	0,241943	0,099946	0,341889

4.2.2. DETERMINACIÓN DE LA BIOMASA AÉREA TOTAL DE LOS ÁRBOLES

La biomasa aérea total de un árbol (BAT) se ha determinado como la suma de la biomasa seca de las ramas principales y la biomasa seca del fuste. Los resultados se presentan en la Tabla 10.

Se observa que la biomasa seca promedio de ramas por árbol (BS ramas) fue 50,97 kg, variando en un rango de 5,61 kg (A008) a 239,28 kg (A015), mientras que la biomasa seca de los fustes (BS fuste) fue de 123,39 kg variando en un rango de 7,71 kg (A008) a 383,52 (A014). La biomasa aérea total de los árboles (kg) varió de 16,15 kg (A004) hasta 586,05 kg (A014), con un promedio de 225,37 kg.

Tabla 10: Biomasa aérea total de los árboles.

N°	Código	DAP (cm)	Altura Total (m)	BS ramas (kg)	BS fuste (kg)	BAT (kg)
1	A001	16,25	14,50	10,41	70,91	81,32
2	A002	20,00	11,50	34,30	59,49	93,79
3	A003	12,50	13,50	10,30	45,78	56,08
4	A004	7,50	6,00	8,44	7,71	16,15
5	A005	12,50	9,50	19,23	31,17	50,39
6	A006	15,00	7,50	17,12	18,65	35,77
7	A007	35,00	16,00	60,56	258,23	318,80
8	A008	20,00	11,00	5,61	63,84	69,45
9	A009	20,00	11,50	7,21	69,10	76,31
10	A010	32,50	12,50	79,52	177,96	257,49
11	A011	22,50	10,50	11,40	88,94	100,33
12	A012	22,50	9,00	14,02	109,15	123,17
13	A013	25,00	17,50	44,66	146,33	190,99
14	A014	41,25	19,50	202,53	383,52	586,05
15	A015	37,50	16,50	239,28	320,08	559,36
	Promedio	22,67	12,43	50,97	123,39	174,36

En la figura 12 se observa la relación entre la biomasa seca de los fustes y el DAP. En promedio un fuste tiene 154,08 kg de biomasa seca, con un rango amplio que va desde 7,71 kg (A004) hasta 640,51 kg (A014). Se observa que la relación entre estas variables es que a un mayor DAP mayor biomasa acumulada en el fuste.

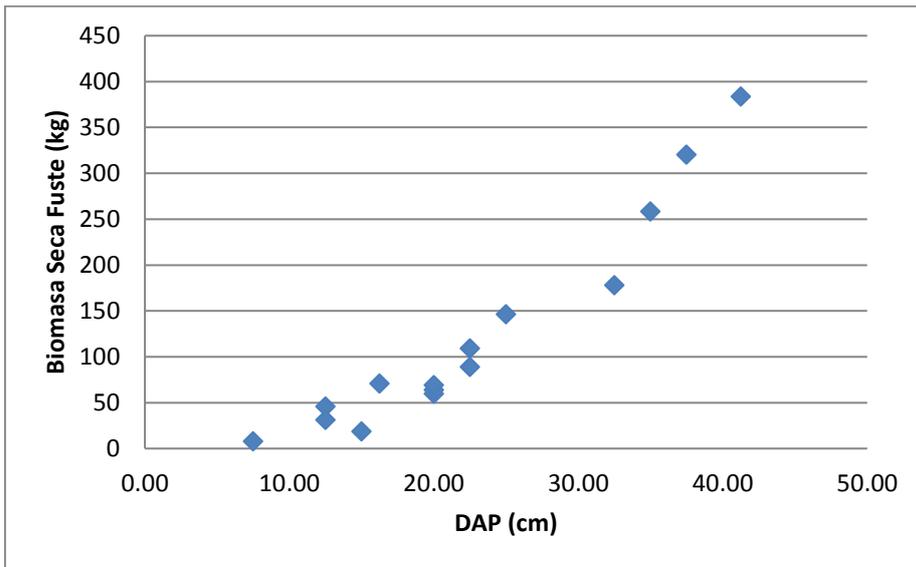


Figura 12: Relación entre el DAP (cm) y la biomasa seca del fuste.

En la figura 13 se presenta la relación entre la biomasa seca de las ramas y el DAP. Se observa que la tendencia es que a medida que incrementa el diámetro, incrementa la biomasa seca de las ramas. Además, se puede distinguir que los árboles de menor tamaño acumulan poca biomasa en las ramas debido a que se tiene controlado su crecimiento como parte de las prácticas de manejo de sombra. Por otro lado, los individuos de mayor diámetro presentan los valores más altos de biomasa en las ramas. En el gráfico se observan dos individuos con un alto almacenamiento de biomasa en las ramas (A014 y A015), los cuales son los mismos individuos que presentaron el mayor número de ramas.

Se observa que la relación entre la biomasa seca de las ramas y el DAP, es mucho más variable que la relación de la biomasa seca del fuste con el DAP. Esta variabilidad se puede atribuir a la realización de podas a la que se encuentran sometidos estos árboles. En la figura 13 resalta el comportamiento de dos individuos que presentan un notable incremento en la biomasa seca de las ramas, en comparación con los árboles de menor DAP. Este comportamiento se puede explicar teniendo en cuenta que al ser los individuos de DAP más grande, son árboles que han sido podados en algún momento y que probablemente este manejo haya dado como resultado el rebrote de un mayor número de ramas, lo que se refleja en una mayor cantidad de biomasa acumulada.

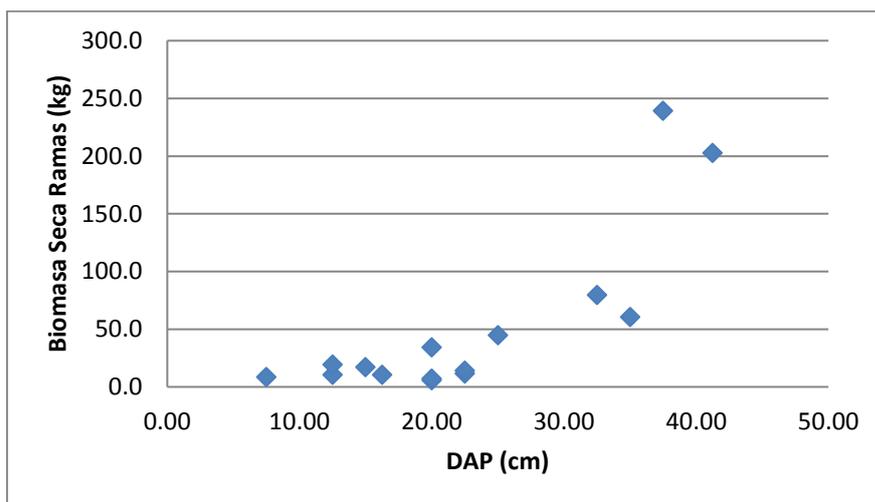


Figura 13: Relación entre la biomasa seca de las ramas (kg) y el DAP (cm).

En la figura 14 se observa la relación entre el DAP (cm) de los árboles y la biomasa aérea total (kg). Se observa que existe una tendencia de incremento en la biomasa aérea total, a medida que incrementa el DAP. Sin embargo, se distingue cierta variabilidad entre los individuos. Esta variabilidad tendría su explicación en las prácticas de manejo a las que son sometidos estos árboles en su función de sombra de cafetales. Generalmente, cuando la densidad de siembra de árboles de sombra por unidad de área es muy alta y la sombra se considera excesiva, se abre espacio entre las ramas para permitir el ingreso de luz a los cafetales, lo que genera que la biomasa en ramas se reduzca inicialmente, pero que con el tiempo puede generar rebrotes, un mayor número de ramas y por consecuencia mayor biomasa en las ramas.

Por otro lado, se observa que la relación DAP con el BAT sigue la tendencia de la relación DAP con biomasa seca del fuste (figura 12), aunque con mayor variabilidad en los DAP más grandes, por lo que se puede decir que a DAP mayor, la biomasa seca en las ramas tendrá un mayor aporte en la biomasa aérea total. Es así, que se tiene que los individuos A014 y A015 poseen los valores más altos de biomasa aérea total registrada en la muestra y tienen como características estar ubicadas en la clase diamétrica mayor y portar el mayor número de ramas por árbol.

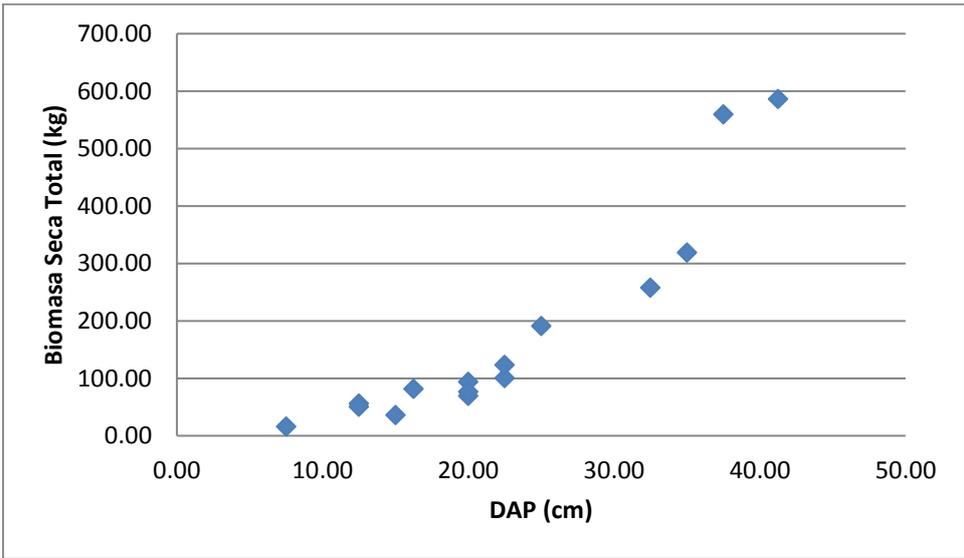


Figura 14: Relación entre DAP y la biomasa aérea total de los árboles.

La figura 15 presenta la relación entre la altura total y la biomasa aérea total. Se observa variabilidad entre los datos, por lo que se puede decir que la altura total explica poco el comportamiento de la biomasa aérea total de los árboles.

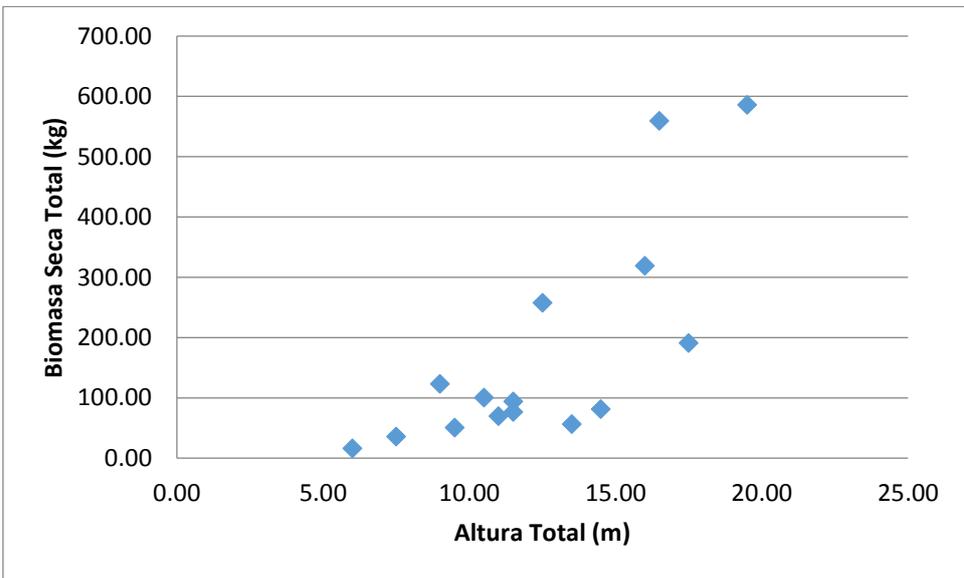


Figura 15: Relación entre la altura total y la biomasa aérea total de los árboles.

La Tabla 11 presenta los porcentajes de cómo se distribuye la biomasa según los componentes de los árboles evaluados. Se observa que en promedio la biomasa de un individuo de *Inga edulis* se distribuye un 76,5% en el fuste y un 23,5% en las ramas. Sin embargo, se pueden encontrar árboles en los que el porcentaje de biomasa en las ramas puede ser hasta un 52% (A004). La variabilidad en este aspecto esta también relacionada con el manejo que haya recibido el individuo.

Tabla 11: Distribución de la biomasa aérea total según componentes de *Inga edulis*

N°	Código	% BS Ramas	% BS Fuste
1	A001	12,806	87,194
2	A002	36,570	63,430
3	A003	18,368	81,632
4	A004	52,238	47,762
5	A005	38,152	61,848
6	A006	47,866	52,134
7	A007	18,998	81,002
8	A008	8,075	91,925
9	A009	9,449	90,551
10	A010	30,884	69,116
11	A011	11,359	88,641
12	A012	11,382	88,618
13	A013	23,384	76,616
14	A014	34,558	65,442
15	A015	42,777	57,223
	Promedio	26,46	73,54

En la figura 16 se presenta la biomasa seca de los componentes del árbol respecto al total de biomasa y ordenados según el DAP (cm). Como se muestra, todos los árboles evaluados tienen un porcentaje mayor de biomasa seca en su fuste. Además, se observa que a medida que incrementa el diámetro la proporción de biomasa seca de las ramas se hace mayor con respecto al total. Esto debido principalmente a que los árboles evaluados cumplen la función de sombra de cafetales, por lo que en sus estadios iniciales constantemente vienen siendo podados en las ramas con el fin de regular la sombra que ingresa al cafetal, mientras que en los DAP más grandes hay una mayor acumulación de ramas, tomando en cuenta que *Inga edulis* es una especie que tiende a ramificarse.

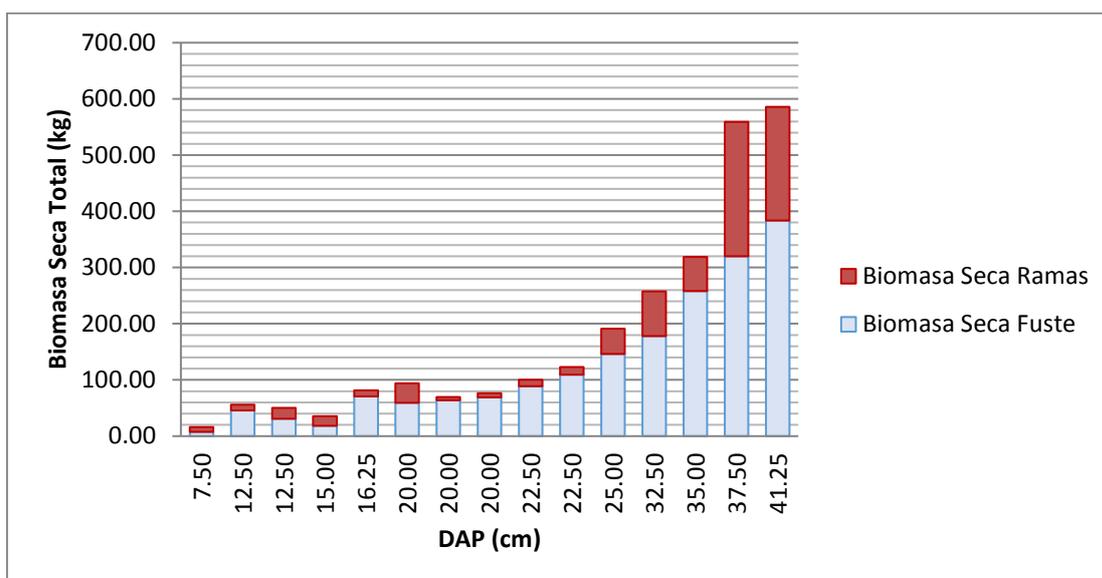


Figura 16: Biomasa seca de los componentes del árbol según DAP.

5. *COFFEA ARABICA*: MÉTODO DESTRUCTIVO

5.1. TRABAJO DE CAMPO

5.1.1. SELECCIÓN DE CAFETOS

Se evaluaron 65 individuos de *Coffea arabica* de las variedades villa sarche, catimor, caturra, pache y típica. La Tabla 12 presenta la distribución diamétrica de los individuos de *Coffea arabica*. Se observa que la mayor cantidad de individuos se encuentran en las clases 3; 4 y 5, esto debido a que la muestra estuvo compuesta por individuos destinados a podarse y que se encontraban en edad productiva (más de tres años) y, por tanto, con diámetros mayores a 2 cm.

Tabla 12: Clases diamétricas de la muestra de *Coffea arabica*.

Clase diamétrica	Límite inferior	Límite superior	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
1	2	2,99	2,495	2	3,08
2	3	3,99	3,495	5	7,69
3	4	4,99	4,495	12	18,46
4	5	5,99	5,495	18	27,69
5	6	6,99	6,495	16	24,62
6	7	7,99	7,495	4	6,15
7	8	8,99	8,495	5	7,69
8	9	9,99	9,495	3	4,62

La figura 17 muestra la distribución diamétrica de los 65 individuos seleccionados. Se tiene que la clase 4 (marca de clase 5,495) es la que posee mayor número de cafetos. Además se observa que el gráfico asemeja una distribución bimodal, la cual aparece debido a que el total de la muestra incluye individuos con dos tipos de manejo, sin poda y con poda.

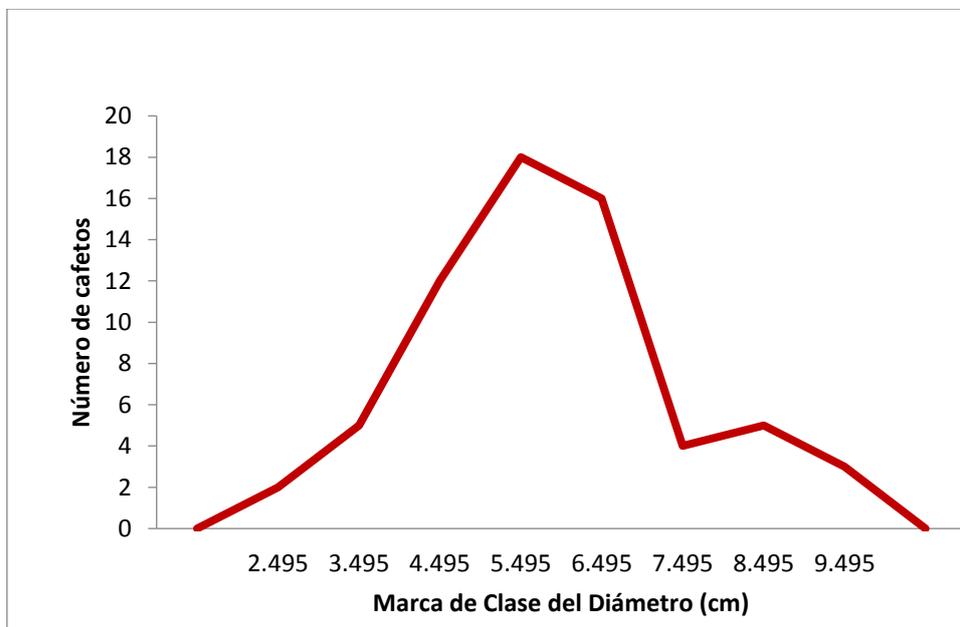


Figura 17: Distribución diamétrica de los cafetos evaluados.

5.1.2. UBICACIÓN Y MEDICIÓN DE CAFETOS

a. Ubicación y codificación del cafeto

El propietario de la plantación ubicó a los cafetos destinados a la poda. En algunas de las fincas seleccionadas se encontraron plantaciones de cafetos con individuos que habían sido podados en años anteriores, que presentaban una arquitectura diferente a los que no han sido podados. Debido a esto, se le otorgó un código diferente para cada tipo de crecimiento, enumerando a cada individuo con las letras “S” (cafeto sin poda) o “C” (cafeto con poda) seguido de tres dígitos que indican el número correspondiente de cafeto evaluado, iniciando desde el “001”.

De los 65 arbustos de café seleccionados, los cafetos sin poda constituyeron el 77% del total, mientras que los arbustos de café podado representaron el 23% de la muestra.

b. Medición del cafeto en pie

b.1. Medición del D_{15} y de la altura total (HT)

Durante la fase de campo se midió la circunferencia del tallo sobre 15 cm del suelo (C_{15}) tal como se observa en la figura 18. Por otro lado, dado que en los cafetos evaluados no sobrepasaron los 5 m de altura, esta variable se midió con una wincha de carpintero de 5 m.



Figura 18: Medición del D_{15} de los cafetos.

La circunferencia del tallo se convirtió a diámetro (D_{15}). Los D_{15} oscilaron entre los 2,5 cm (cafeto S035) y los 9,9 cm (cafeto C010), y la altura total entre los 1,50 m (cafeto C012) y los 4,80 m (cafeto S034), tal como se aprecia en la Tabla 13.

Si se analiza a los individuos según el tipo de manejo (sin poda o con poda) se tiene que los cafetos sin poda presentan D_{15} que fluctúan entre 5,7 cm (cafeto C011) y 9,9 cm (cafeto C010), y la altura total entre 1,8 m (cafeto S035) y 4,8 m (cafeto S034); mientras que en los cafetos con poda los D_{15} oscilan entre 2,5 cm (cafeto S035) y 8,6 cm (cafeto S033), y la altura total entre 1,5 m (cafeto C012) y 3,0 m (cafeto C009). El promedio de los diámetros de los cafetos con poda es mayor, debido a que esta práctica se realiza en cafetales maduros; mientras que el promedio de la altura es menor, debido a que esta práctica modifica la arquitectura y el crecimiento del arbusto.

Tabla 13: D₁₅ (cm) y altura total (m) de cafetos.

N°	Código	Variedad	D15 (cm)	HT (m)
1	S001	Villa Sarche	5,1	2,60
2	S002	Villa Sarche	4,1	2,60
3	S003	Villa Sarche	3,5	2,50
4	S004	Villa Sarche	6,7	2,20
5	S005	Villa Sarche	5,4	2,50
6	S006	Villa Sarche	5,1	2,40
7	S007	Villa Sarche	5,1	2,55
8	S008	Villa Sarche	4,5	2,55
9	S009	Caturra	5,7	3,00
10	S010	Caturra	5,1	2,60
11	S011	Caturra	5,7	2,90
12	S012	Caturra	5,4	2,65
13	S013	Caturra	5,7	3,00
14	S014	Catimor	5,7	1,85
15	S015	Catimor	4,5	2,00
16	S016	Catimor	5,7	2,15
17	S017	Catimor	4,8	2,20
18	S018	Catimor	6,4	2,50
19	S019	Catimor	6,7	2,10
20	S020	Catimor	5,4	2,20
21	S021	Catimor	4,8	1,80
22	S022	Catimor	6,4	1,90
23	S023	Catimor	6,4	2,20
24	S024	Caturra	5,3	3,10
25	S025	Caturra	6,0	2,90
26	S026	Caturra	7,3	2,50
27	S027	Caturra	6,7	2,15
28	S028	Caturra	4,8	2,20
29	S029	Caturra	4,8	2,10
30	S030	Tipica	7,6	4,65
31	S031	Tipica	5,7	3,60
32	S032	Tipica	5,7	4,00
33	S033	Tipica	8,6	3,80
34	S034	Tipica	7,0	4,80
35	S035	Catimor	2,5	1,80
36	S036	Catimor	2,9	2,20
37	S037	Catimor	3,5	2,10
38	S038	Catimor	3,5	2,25
39	S039	Catimor	3,8	2,60
40	S040	Catimor	3,8	1,80
41	S041	Catimor	4,5	1,90
42	S042	Catimor	4,1	2,00

Continuación

43	S043	Catimor	4,1	2,20
44	S044	Catimor	4,1	1,85
45	S045	Pache	6,4	2,50
46	S046	Pache	5,7	2,30
47	S047	Pache	6,7	2,15
48	S048	Pache	6,7	2,10
49	S049	Pache	4,8	2,20
50	S050	Pache	5,7	2,90
51	C001	Catimor	8,6	2,90
52	C002	Catimor	8,0	2,25
53	C003	Catimor	9,5	2,10
54	C004	Catimor	8,6	2,30
55	C005	Catimor	9,5	2,50
56	C006	Catimor	6,7	2,40
57	C007	Catimor	6,4	2,65
58	C008	Catimor	6,7	2,70
59	C009	Catimor	8,9	2,95
60	C010	Catimor	9,9	2,60
61	C011	Catimor	5,7	1,75
62	C012	Catimor	6,7	1,50
63	C013	Catimor	7,3	1,70
64	C014	Catimor	6,4	1,85
65	C015	Catimor	6,4	1,55
		Promedio	5,9	2,45

En la figura 19 se presenta la relación entre el D_{15} (cm) y la altura total (m) de los cafetos. En general no se observa relación entre las variables, a excepción de cinco individuos que presentan un comportamiento diferente alcanzando Alturas totales mayores. La variabilidad presente debido a la presencia de estos individuos se debe a la variedad de café. Tal como se observa en la Tabla 13, la variedad típica es la que presenta las alturas totales más grandes, mayores a 3,6 m, pero que no necesariamente se relaciona a los D_{15} más grandes.

La tendencia poco marcada en relación al D_{15} con la altura total, se explica a través de las prácticas de manejo a las que han sido sometidos estos arbustos. Los cafetos con poda están constituidos por rebrotes que aún no alcanzan la altura que tendría un individuo del mismo diámetro y sin poda.

Por otro lado, se observa que los cafetos con poda presentan D_{15} mayores a los cafetos sin poda.

d. Medición de la altura del tocón (H tocón).

Las alturas de los tocones de los cafetos oscilaron entre los 0,49 m (C012) y 0,90 m (C005), con un promedio de 0,68 m. Estos resultados pueden encontrarse en el Anexo 4.

e. Medición del diámetro del tocón (D tocón)

Se tomó la medida de la circunferencia del tocón sobre los 30 cm del suelo (C_{30}). Esta medida fue luego convertida a diámetro (D_{30}). Para efectos de cálculos, esta medida fue considerada como diámetro del tocón (D tocón) dado que los 30 cm sobre el suelo se encuentran ubicados a la mitad de la altura de los tocones. Los diámetros de los tocones oscilan entre los 2,23 cm (S035) y 9,87 cm (C010). Estos resultados son presentados en el Anexo 4.

f. Mediciones realizadas a los tallos, ramas y hojas

f.1. Mediciones realizadas a los tallos

El promedio del peso húmedo de los tallos para los 65 cafetos fue 1,192 kg con un rango que va desde 0,150 kg (cafeto S035) a 6,664 kg (cafeto S030).

En la figura 21 se observa que la relación entre el D_{15} y el peso húmedo de los tallos no presentan una tendencia clara. Se observa una alta variabilidad entre los datos y se puede decir que el D_{15} no explica adecuadamente el peso húmedo. Se tienen individuos que a un mismo D_{15} presentan una alta variabilidad en el peso húmedo de los cafetos.

Esta variabilidad se puede atribuir a las características propias del sitio donde crecieron estos cafetos, teniendo en cuenta que los individuos provienen de 12 fincas diferentes.

Si se analiza según el tipo de manejo, se observa que tanto los individuos sin poda y con poda presentan alta variabilidad dentro de su grupo. Por otro lado, se observa que los individuos sin poda alcanzan peso húmedo más alto que alcanzados por los individuos con poda, a pesar de que los cafetos con poda son los que alcanzan mayores D_{15} .

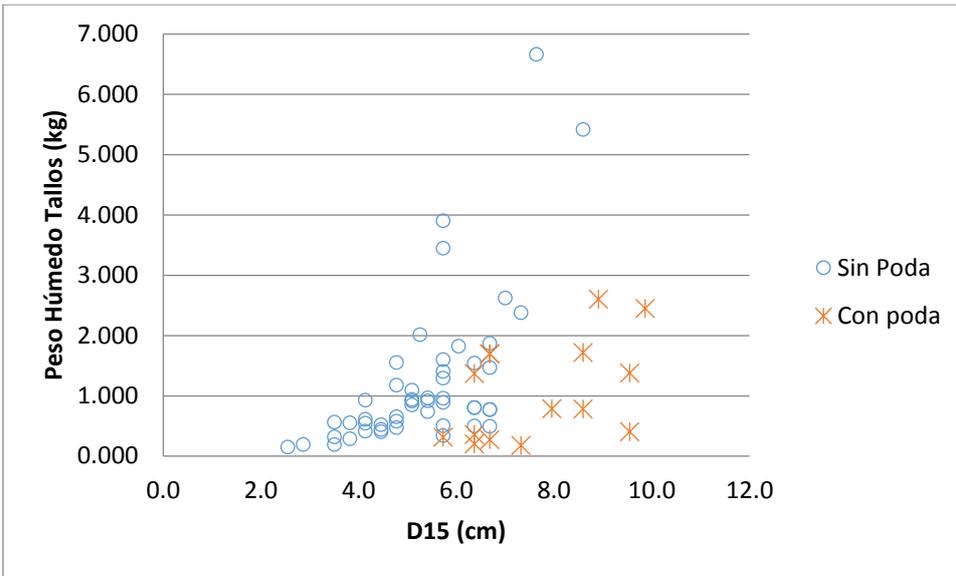


Figura 21: Relación del D₁₅ y peso húmedo del tallo

f.2. Mediciones realizadas a las ramas

En promedio el peso húmedo total de las ramas es de 1,360 kg con un rango que va desde 0,102 kg (C014) a 4,197 kg (S026).

En la figura 22 se presenta la relación entre el peso húmedo de las ramas con el D₁₅. Al igual que en el caso anterior, el D₁₅ no explica el peso húmedo de las ramas. Se observa que a nivel general, hay mucha variabilidad. Se puede observar a individuos con D₁₅ similares que poseen diferencias notables en el peso húmedo de ramas, esta diferencia es más clara entre los cafetos sin poda y con poda.

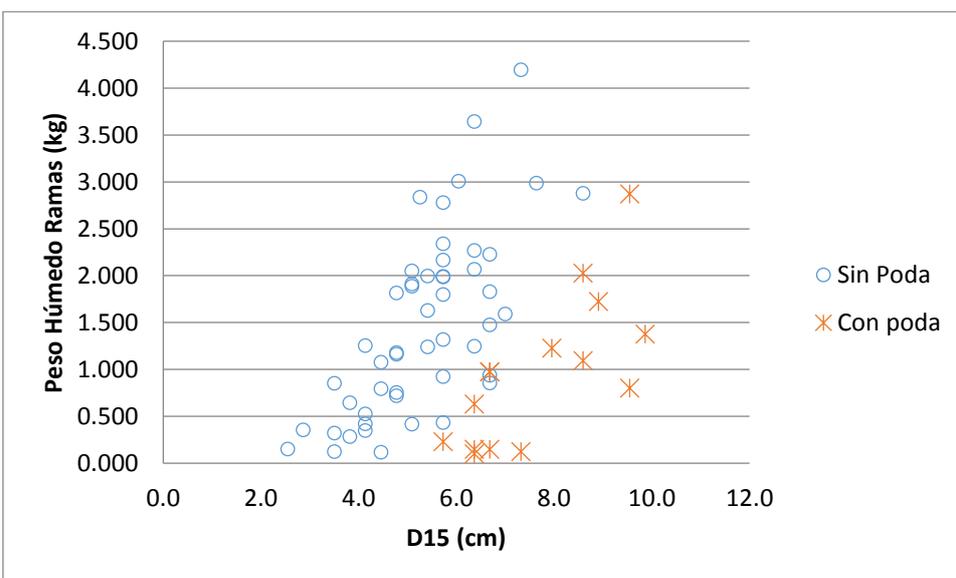


Figura 22: Relación D₁₅ y peso húmedo de ramas.

f.3. Mediciones realizadas a las hojas

El peso húmedo total promedio de las hojas es de 1,545 kg con un rango que va desde 0,212 kg (C014) a 4,132 kg (S019). En la figura 23 se observa que no hay relación entre el D₁₅ y el peso húmedo de las hojas, teniendo a individuos que a un mismo D₁₅ presentan diferencias considerables en el peso húmedo de hojas, sobre todo entre los cafetos con poda y sin poda, siendo los sin poda los que alcanzan mayores cantidades de peso húmedo en las hojas.

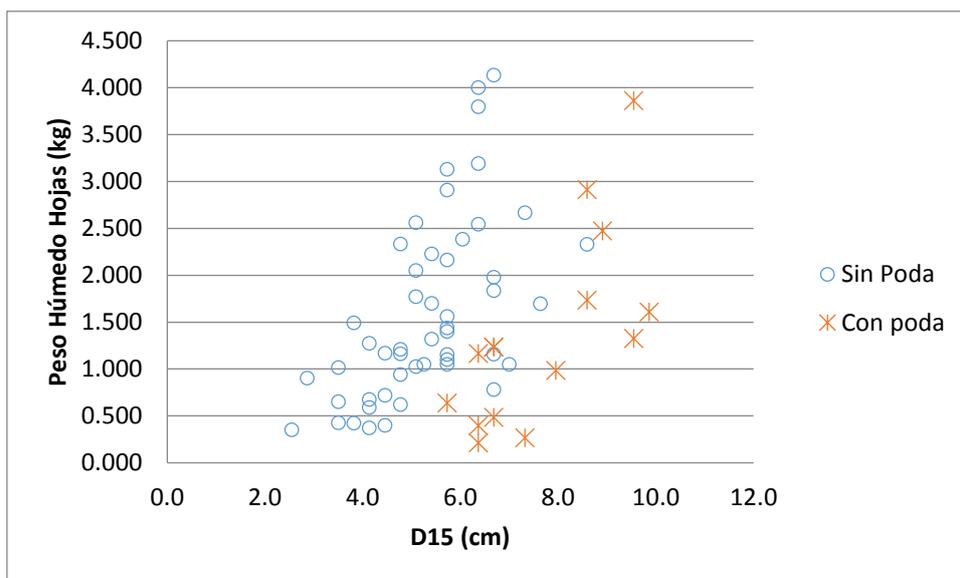


Figura 23: Relación D₁₅ y peso húmedo de hojas.

En la Tabla 14 se presenta el peso húmedo total de cada cafeto y el peso húmedo de cada componente. Se observa que el peso húmedo total promedio es de 4,10 kg, con un rango que va de 0,57 kg (C013) a 11,35 kg (S030).

Las proporciones de los valores promedios indican que a nivel de arbusto, las ramas y hojas tienen un mayor porcentaje de peso húmedo que los tallos. Esto se relaciona con las características propias del arbusto, el cual desarrolla favorablemente con buena ramificación y abundante follaje, lo que a su vez tendrá que ver con el desarrollo de frutos y la productividad del cultivo.

Tabla 14: Peso húmedo de los cafetos

N°	Código	PH hojas (kg)	PH ramas (kg)	PH tallo (kg)	PH Total (kg)
1	S001	2,050	2,054	0,912	5,016
2	S002	1,274	1,255	0,930	3,459
3	S003	1,014	0,853	0,565	2,432
4	S004	1,977	1,831	0,770	4,578
5	S005	1,318	1,998	0,739	4,055
6	S006	1,027	0,420	0,851	2,298
7	S007	1,770	1,914	0,940	4,624
8	S008	0,718	0,120	0,520	1,358
9	S009	3,130	0,925	1,407	5,462
10	S010	2,560	1,890	1,093	5,543
11	S011	2,162	1,800	0,960	4,922
12	S012	1,701	1,241	0,966	3,908
13	S013	2,909	2,343	1,599	6,851
14	S014	1,559	0,435	0,341	2,335
15	S015	1,170	1,080	0,404	2,654
16	S016	1,400	1,320	0,504	3,224
17	S017	2,334	1,165	0,654	4,153
18	S018	4,000	3,644	1,542	9,186
19	S019	4,132	2,229	1,467	7,828
20	S020	2,226	1,630	0,919	4,775
21	S021	0,622	0,722	0,472	1,816
22	S022	3,795	2,069	0,801	6,665
23	S023	2,544	1,250	0,497	4,291
24	S024	1,050	2,840	2,012	5,902
25	S025	2,383	3,008	1,823	7,214
26	S026	2,667	4,197	2,382	9,246
27	S027	1,837	0,940	1,873	4,650
28	S028	0,940	0,755	1,175	2,870
29	S029	1,160	1,181	1,551	3,892
30	S030	1,695	2,989	6,664	11,348
31	S031	1,155	2,781	3,451	7,387
32	S032	1,050	1,988	3,906	6,944
33	S033	2,329	2,879	5,419	10,627
34	S034	1,051	1,592	2,621	5,264
35	S035	0,352	0,152	0,150	0,654

Continuación

36	S036	0,904	0,359	0,190	1,453
37	S037	0,425	0,127	0,319	0,871
38	S038	0,651	0,325	0,195	1,171
39	S039	1,492	0,648	0,554	2,694
40	S040	0,423	0,285	0,289	0,997
41	S041	0,398	0,795	0,444	1,637
42	S042	0,589	0,422	0,545	1,556
43	S043	0,373	0,351	0,613	1,337
44	S044	0,676	0,529	0,413	1,618
45	S045	3,191	2,269	0,808	6,268
46	S046	1,099	1,993	0,891	3,983
47	S047	1,157	1,478	0,776	3,411
48	S048	0,782	0,858	0,495	2,135
49	S049	1,208	1,818	0,580	3,606
50	S050	1,438	2,169	1,296	4,903
46	C001	2,911	2,030	1,718	6,659
47	C002	0,984	1,230	0,783	2,997
48	C003	3,860	2,874	1,379	8,113
49	C004	1,733	1,096	0,782	3,611
50	C005	1,325	0,804	0,404	2,533
51	C006	1,234	0,977	1,696	3,907
52	C007	1,165	0,633	1,370	3,168
53	C008	1,234	0,977	1,696	3,907
54	C009	2,473	1,725	2,600	6,798
55	C010	1,609	1,379	2,446	5,434
56	C011	0,639	0,230	0,315	1,184
57	C012	0,485	0,149	0,272	0,906
58	C013	0,267	0,126	0,176	0,569
59	C014	0,212	0,102	0,356	0,670
60	C015	0,395	0,149	0,203	0,747
	Promedio	1,54	1,36	1,19	4,10
	Proporciones	37,56%	33,17%	29,02%	100%

La figura 24 presenta la relación entre el D₁₅ y el peso húmedo total de los cafetos. Se observa una alta variabilidad, la cual puede tener su explicación en las diferentes condiciones de sitio en los que se encuentran los individuos, además de la variedad de los cafetos y el tipo de manejo al que han sido sometidos. Se puede decir que el D₁₅ no explica el peso húmedo de los cafetos.

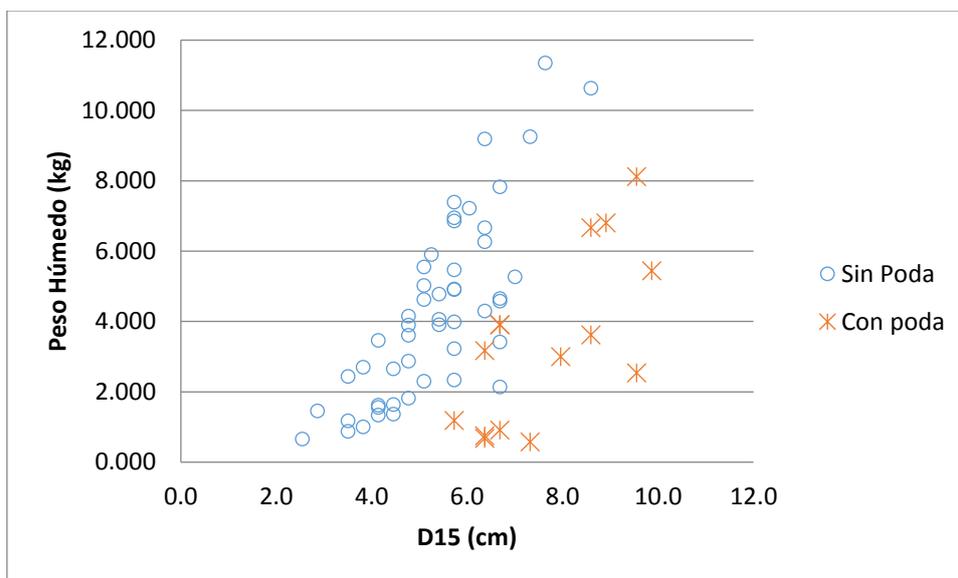


Figura 24: Relación D₁₅ y peso húmedo total de los cafetos

5.2. TRANSPORTE

El tiempo de traslado desde las fincas hasta la oficina de Solidaridad en Moyobamba osciló entre uno y dos horas dependiendo de la fisiografía, distancia del centro poblado y las condiciones climáticas. La mayor dificultad que se encontró para el traslado de sub muestra se originaba en los días de lluvias, puesto que las vías de acceso a los centros poblados que de por sí se encuentran en mal estado, empeoran su situación cuando en periodos lluviosos, por lo que la entrada y salida de motocicletas resultaba complicado e incluso hasta riesgoso.

El traslado a Lima de las sub muestras fue realizado en un camión carguero de la empresa de Transporte Móvil Tour. El tiempo de viaje aproximado fue de 26 horas.

Por último, las sub muestras fueron recogidas tres días después en la agencia de la empresa de transporte, y trasladadas hasta la Universidad Nacional Agraria la Molina.

5.3. TRABAJO DE LABORATORIO

5.3.1. SECADO DE SUB MUESTRAS DE HOJAS, RAMAS Y TALLOS DE CAFETOS

Los tiempos de secado fueron variables entre las sub muestras. Los primeros en llegar a peso seco constante fueron las sub muestras de hojas, a las que les tomo un aproximado de 20 horas para finalizar el proceso. Las siguientes en finalizar el secado fueron las ramas, las que alcanzaron peso seco constantes 44 horas después de iniciado el proceso de secado. Una vez retiradas del horno sub muestras de hojas y ramas, se elevó la temperatura a 105°C, para acelerar el proceso. Las probetas de los tallos alcanzaron un peso seco constante 72 horas después de iniciado el proceso de secado. Algunas de las probetas presentaron grietas o rajaduras, aunque el porcentaje fue mínimo.

5.4. TRABAJO DE GABINETE

5.4.1. DETERMINACIÓN DE MATERIA SECA (%) DE LAS SUB MUESTRAS DE CAFETOS

Los resultados pueden apreciarse en la Tabla 15, donde se presentan lo porcentajes de materia seca de cada componente de los cafetos. En promedio, del peso fresco total de las hojas de un arbusto de café, solo el 25,14% es materia seca; en el caso de las ramas, la materia seca representa el 39,40% y en el caso de los tallos, el 50,52%. Estos porcentajes están relacionados con los niveles de lignificación de cada componente, siendo los tallos los que presentan un mayor porcentaje de materia seca.

Por otro lado, se observa que el porcentaje de materia seca (MS%) varía entre cafetos y esto puede estar relacionado a múltiples factores como son la variedad del café, la edad, incidencia de plagas, el tipo de suelo, cercanía a fuentes de agua, condiciones climáticas, entre otras.

Tabla 15: Materia seca (%) de hojas ramas y tallos de los cafetos

N°	Código	MS% Hojas	MS% Ramas	MS% Tallos
1	S001	27,05	45,19	50,20
2	S002	27,05	45,19	49,77
3	S003	27,05	45,19	50,11
4	S004	28,87	43,47	50,97
5	S005	23,63	38,86	51,99
6	S006	23,42	40,63	51,33
7	S007	23,11	42,38	50,37
8	S008	23,11	42,38	51,22
9	S009	23,10	44,56	51,31
10	S010	23,92	41,13	50,74
11	S011	25,09	42,17	51,71
12	S012	23,99	42,00	50,88
13	S013	22,59	40,88	51,55
14	S014	29,20	39,07	51,52
15	S015	31,46	40,63	49,38
16	S016	30,35	43,75	50,20
17	S017	29,40	42,40	52,11
18	S018	25,76	45,89	54,71
19	S019	27,94	44,62	54,09
20	S020	30,30	45,96	54,55
21	S021	39,22	48,06	54,13
22	S022	30,11	45,37	52,36
23	S023	32,06	41,59	52,74
24	S024	19,95	36,21	46,41
25	S025	19,25	34,61	46,63
26	S026	22,10	38,09	48,87
27	S027	29,00	32,79	48,41
28	S028	25,50	36,70	47,15
29	S029	25,50	36,70	47,76
30	S030	22,75	36,55	53,97
31	S031	25,63	44,84	49,09
32	S032	24,11	43,45	51,62
33	S033	24,51	36,83	53,14
34	S034	24,11	41,99	53,43
35	S035	29,00	26,60	54,34
36	S036	23,39	36,89	52,75
37	S037	22,49	27,44	50,21
38	S038	25,54	39,95	41,14
39	S039	21,03	38,14	51,64
40	S040	26,04	35,94	46,02
41	S041	30,54	41,99	50,31

Continuación

42	S042	23,39	40,97	49,89
43	S043	26,37	38,44	51,36
44	S044	24,79	37,99	48,96
45	S045	19,34	36,50	47,78
46	S046	18,78	34,94	48,81
47	S047	19,62	36,06	48,16
48	S048	19,62	36,06	47,05
49	S049	18,73	33,29	50,28
50	S050	19,64	35,90	49,56
51	C001	24,87	47,81	49,82
52	C002	26,88	41,81	52,32
53	C003	27,60	42,24	51,54
54	C004	27,15	41,95	49,36
55	C005	28,99	46,07	54,98
56	C006	25,07	37,20	49,73
57	C007	27,99	39,59	50,84
58	C008	27,47	40,40	52,99
59	C009	28,59	40,39	54,01
60	C010	27,54	42,73	54,64
61	C011	20,02	28,81	50,14
62	C012	20,97	26,48	51,29
63	C013	19,28	29,55	48,08
64	C014	23,24	39,07	44,68
65	C015	19,73	29,83	47,00
	Promedio	25,14	39,40	50,52

5.4.2. DETERMINACIÓN DE LA BIOMASA SECA DE CAFETOS

La Tabla 16 presenta la biomasa seca de las hojas y ramas de los cafetos. El promedio de la biomasa seca de las hojas es de 0,39 kg, y varía dentro de un rango de 0,05 kg (C012) a kg 1,15 (S019). Por otro lado, el promedio de la biomasa seca de las hojas es de 0,55 kg, y varía dentro de un rango de 0,03 kg (S037) a 1,67 kg (S018). Asimismo, se observa que hay individuos donde la biomasa seca de las hojas supera a la biomasa seca de las ramas, siendo así que el individuo con menos biomasa en las ramas no necesariamente es el que presenta menos biomasa en las hojas.

Tabla 16: Biomasa seca de las hojas y ramas de los cafetos

N°	Código	BS Hojas (kg)	BS Ramas (kg)
1	S001	0,55	0,93
2	S002	0,34	0,57
3	S003	0,27	0,39
4	S004	0,57	0,80
5	S005	0,31	0,78
6	S006	0,24	0,17
7	S007	0,41	0,81
8	S008	0,17	0,05
9	S009	0,72	0,41
10	S010	0,61	0,78
11	S011	0,54	0,76
12	S012	0,41	0,52
13	S013	0,66	0,96
14	S014	0,46	0,17
15	S015	0,37	0,44
16	S016	0,42	0,58
17	S017	0,69	0,49
18	S018	1,03	1,67
19	S019	1,15	0,99
20	S020	0,67	0,75
21	S021	0,24	0,35
22	S022	1,14	0,94
23	S023	0,82	0,52
24	S024	0,21	1,03
25	S025	0,46	1,04
26	S026	0,59	1,60
27	S027	0,53	0,31
28	S028	0,24	0,28
29	S029	0,30	0,43
30	S030	0,39	1,09
31	S031	0,30	1,25
32	S032	0,25	0,86
33	S033	0,57	1,06
34	S034	0,25	0,67
35	S035	0,10	0,04

Continuación

36	S036	0,21	0,13
37	S037	0,10	0,03
38	S038	0,17	0,13
39	S039	0,31	0,25
40	S040	0,11	0,10
41	S041	0,12	0,33
42	S042	0,14	0,17
43	S043	0,10	0,13
44	S044	0,17	0,20
45	S045	0,62	0,83
46	S046	0,21	0,70
47	S047	0,23	0,53
48	S048	0,15	0,31
49	S049	0,23	0,61
50	S050	0,28	0,78
51	C001	0,72	0,97
52	C002	0,26	0,51
53	C003	1,07	1,21
54	C004	0,47	0,46
55	C005	0,38	0,37
56	C006	0,31	0,36
57	C007	0,33	0,25
58	C008	0,34	0,39
59	C009	0,71	0,70
60	C010	0,44	0,59
61	C011	0,13	0,07
62	C012	0,10	0,04
63	C013	0,05	0,04
64	C014	0,05	0,04
65	C015	0,08	0,04
	Promedio	0,39	0,55

En la figura 25 se observa que, en general, no hay relación entre el D_{15} y la biomasa seca de hojas. La variabilidad es muy alta, se tiene que para diámetros iguales la biomasa de hojas es bastante diferente.

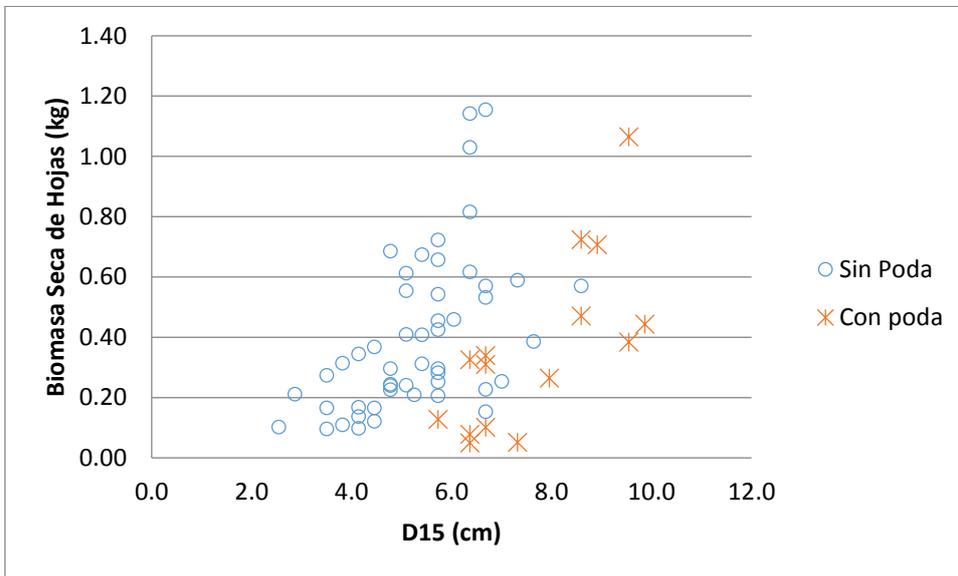


Figura 25: Relación D_{15} y biomasa seca de hojas

En la figura 26 se observa que la relación entre la biomasa seca de las ramas y el D_{15} es igual de variable que la relación entre el D_{15} y la biomasa seca de las hojas.

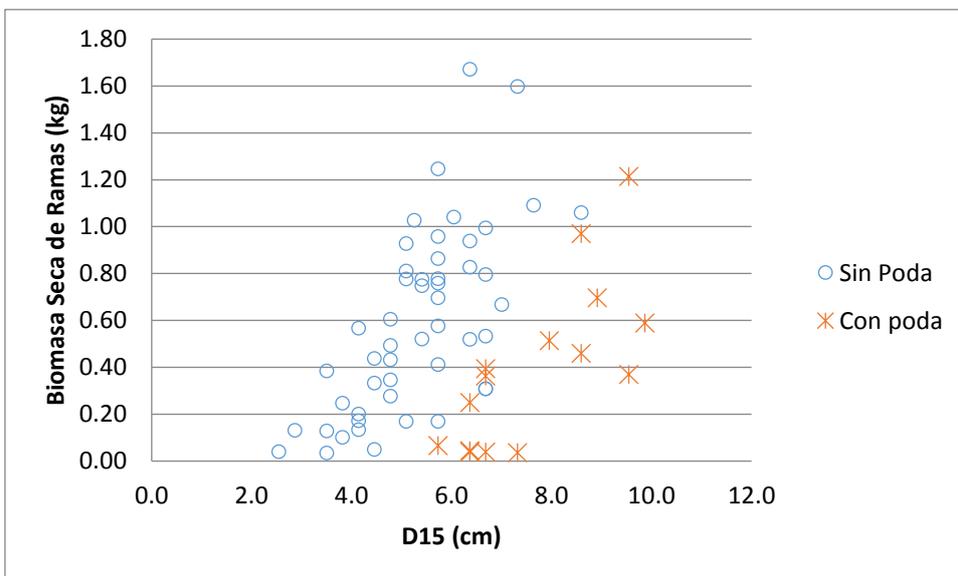


Figura 26: Relación D_{15} y biomasa seca de ramas

Para hallar la biomasa seca del tallo fue necesario sumar la biomasa seca del tallo cortado durante el muestreo y la biomasa correspondiente al tocón que quedo luego de la corta. Los resultados se muestran en la Tabla 17. En promedio el tallo tiene 2,07 kg de biomasa seca, con un rango que varía entre 0,32 kg (S035) y 6,46 kg (S033).

Tabla 17: Biomasa seca del tallo (kg)

N°	Código	B_{tocón} (kg)	B_{tallo} (kg)	BS Tallo (kg)
1	S001	0,77	0,46	1,23
2	S002	0,55	0,46	1,02
3	S003	0,66	0,28	0,94
4	S004	2,09	0,39	2,48
5	S005	1,25	0,38	1,63
6	S006	1,02	0,44	1,46
7	S007	1,10	0,47	1,57
8	S008	0,96	0,27	1,23
9	S009	1,35	0,72	2,08
10	S010	0,88	0,55	1,44
11	S011	1,35	0,50	1,85
12	S012	0,88	0,49	1,37
13	S013	1,13	0,82	1,96
14	S014	0,91	0,18	1,08
15	S015	0,79	0,20	0,99
16	S016	1,48	0,25	1,73
17	S017	0,75	0,34	1,09
18	S018	1,92	0,84	2,76
19	S019	1,72	0,79	2,52
20	S020	1,13	0,50	1,63
21	S021	0,88	0,26	1,14
22	S022	1,48	0,42	1,90
23	S023	1,63	0,26	1,89
24	S024	0,85	0,93	1,79
25	S025	1,30	0,85	2,15
26	S026	1,87	1,16	3,03
27	S027	1,41	0,91	2,32
28	S028	0,91	0,55	1,46
29	S029	0,91	0,74	1,65
30	S030	1,73	3,60	5,32
31	S031	1,23	1,69	2,92
32	S032	0,84	2,02	2,85
33	S033	3,58	2,88	6,46

Continuación

34	S034	1,57	1,40	2,97
35	S035	0,24	0,08	0,32
36	S036	0,33	0,10	0,43
37	S037	0,33	0,16	0,49
38	S038	0,38	0,08	0,46
39	S039	0,55	0,29	0,84
40	S040	0,66	0,13	0,79
41	S041	0,61	0,22	0,83
42	S042	0,60	0,27	0,87
43	S043	0,58	0,31	0,90
44	S044	0,57	0,20	0,77
45	S045	2,16	0,39	2,54
46	S046	1,34	0,43	1,77
47	S047	1,54	0,37	1,92
48	S048	1,56	0,23	1,80
49	S049	0,78	0,29	1,07
50	S050	1,42	0,64	2,06
51	C001	3,67	0,86	4,53
52	C002	2,42	0,41	2,83
53	C003	3,07	0,72	3,79
54	C004	3,09	0,38	3,47
55	C005	5,29	0,22	5,51
56	C006	1,62	0,84	2,46
57	C007	1,57	0,70	2,27
58	C008	1,96	0,90	2,86
59	C009	1,23	1,41	4,50
60	C010	4,11	1,34	5,45
61	C011	1,46	0,16	1,62
62	C012	1,41	0,14	1,55
63	C013	2,24	0,08	2,33
64	C014	1,57	0,16	1,73
65	C015	1,70	0,10	1,79
	Promedio	0,61	1,46	2,07

La figura 27 presenta la relación entre la biomasa seca de tallos en función al D₁₅. Se observa una clara tendencia positiva, es decir que a más diámetro aumenta el contenido de biomasa.

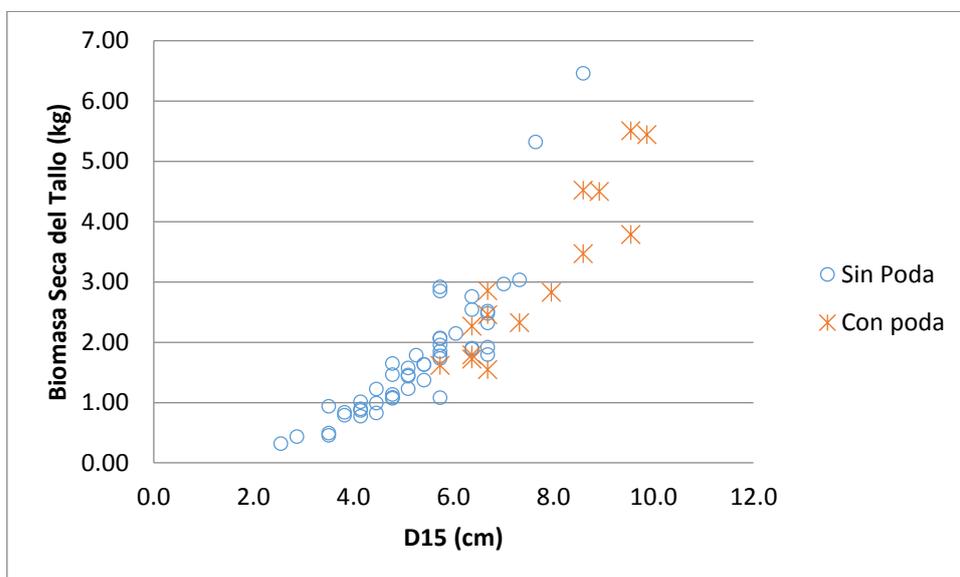


Figura 27: Relación D₁₅ y biomasa seca de tallos

En la Tabla 18 se presenta la biomasa seca de las hojas, ramas, tallos y la biomasa aérea total de cada cafeto. Se observa que un individuo de *Coffea arabica* tiene en promedio 3,01 kg de biomasa aérea total en un rango de 0,46 kg (S035) a 8,09 kg (S033).

Tabla 18: Biomasa aérea total de los cafetos

N°	Código	BS Hojas (kg)	BS Ramas (kg)	BS Tallo (kg)	BAT (kg)
1	S001	0,55	0,93	1,23	2,71
2	S002	0,34	0,57	1,02	1,93
3	S003	0,27	0,39	0,94	1,60
4	S004	0,57	0,80	2,48	3,85
5	S005	0,31	0,78	1,63	2,72
6	S006	0,24	0,17	1,46	1,87
7	S007	0,41	0,81	1,57	2,79
8	S008	0,17	0,05	1,23	1,44
9	S009	0,72	0,41	2,08	3,21
10	S010	0,61	0,78	1,44	2,83
11	S011	0,54	0,76	1,85	3,15
12	S012	0,41	0,52	1,37	2,30
13	S013	0,66	0,96	1,96	3,57
14	S014	0,46	0,17	1,08	1,71
15	S015	0,37	0,44	0,99	1,80

Continuación

16	S016	0,42	0,58	1,73	2,74
17	S017	0,69	0,49	1,09	2,27
18	S018	1,03	1,67	2,76	5,47
19	S019	1,15	0,99	2,52	4,67
20	S020	0,67	0,75	1,63	3,06
21	S021	0,24	0,35	1,14	1,73
22	S022	1,14	0,94	1,90	3,98
23	S023	0,82	0,52	1,89	3,22
24	S024	0,21	1,03	1,79	3,02
25	S025	0,46	1,04	2,15	3,65
26	S026	0,59	1,60	3,03	5,22
27	S027	0,53	0,31	2,32	3,16
28	S028	0,24	0,28	1,46	1,98
29	S029	0,30	0,43	1,65	2,38
30	S030	0,39	1,09	5,32	6,80
31	S031	0,30	1,25	2,92	4,46
32	S032	0,25	0,86	2,85	3,97
33	S033	0,57	1,06	6,46	8,09
34	S034	0,25	0,67	2,97	3,89
35	S035	0,10	0,04	0,32	0,46
36	S036	0,21	0,13	0,43	0,78
37	S037	0,10	0,03	0,49	0,62
38	S038	0,17	0,13	0,46	0,75
39	S039	0,31	0,25	0,84	1,40
40	S040	0,11	0,10	0,79	1,00
41	S041	0,12	0,33	0,83	1,29
42	S042	0,14	0,17	0,87	1,18
43	S043	0,10	0,13	0,90	1,13
44	S044	0,17	0,20	0,77	1,14
45	S045	0,62	0,83	2,54	3,99
46	S046	0,21	0,70	1,77	2,68
46	C001	0,72	0,97	4,53	6,22
47	S047	0,23	0,53	1,92	2,68
47	C002	0,26	0,51	2,83	3,61
48	S048	0,15	0,31	1,80	2,26
48	C003	1,07	1,21	3,79	6,07
49	S049	0,23	0,61	1,07	1,91
49	C004	0,47	0,46	3,47	4,40
50	S050	0,28	0,78	2,06	3,12
50	C005	0,38	0,37	5,51	6,26
51	C006	0,31	0,36	2,46	3,13
52	C007	0,33	0,25	2,27	2,84

Continuación

53	C008	0,34	0,39	2,86	3,59
54	C009	0,71	0,70	4,50	5,91
55	C010	0,44	0,59	5,45	6,48
56	C011	0,13	0,07	1,62	1,81
57	C012	0,10	0,04	1,55	1,69
58	C013	0,05	0,04	2,33	2,42
59	C014	0,05	0,04	1,73	1,81
60	C015	0,08	0,04	1,79	1,91
	Promedio	0,39	0,55	2,07	3,01

En la figura 28 se presenta la relación entre la biomasa aérea total de los cafetos y su diámetro a 15 cm sobre el suelo. Esta relación es alta, se observa que a mayor diámetro se encuentra mayor biomasa aérea en los cafetos. Asimismo, los se diferencian los cafetos sin poda de los con poda. Se observa que a un mismo diámetro, los cafetos sin poda alcanzan mayor biomasa seca.

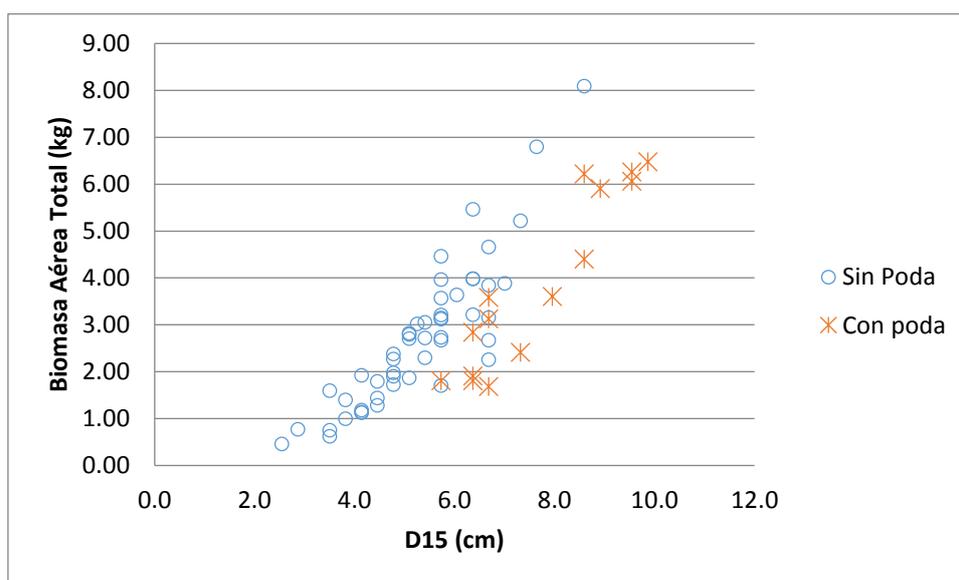


Figura 28: Relación D₁₅ y biomasa aérea total (BAT)

La relación entre la biomasa aérea total y la altura total de los cafetos es presentada en la figura 29. Se observa que la relación presenta una tendencia positiva, aunque con alta variabilidad entre los datos, tal es el caso de individuos que para una misma altura presentan diferencias notables en la biomasa aérea total. Los cafetos con poda presentan la misma variabilidad que los cafetos sin poda.

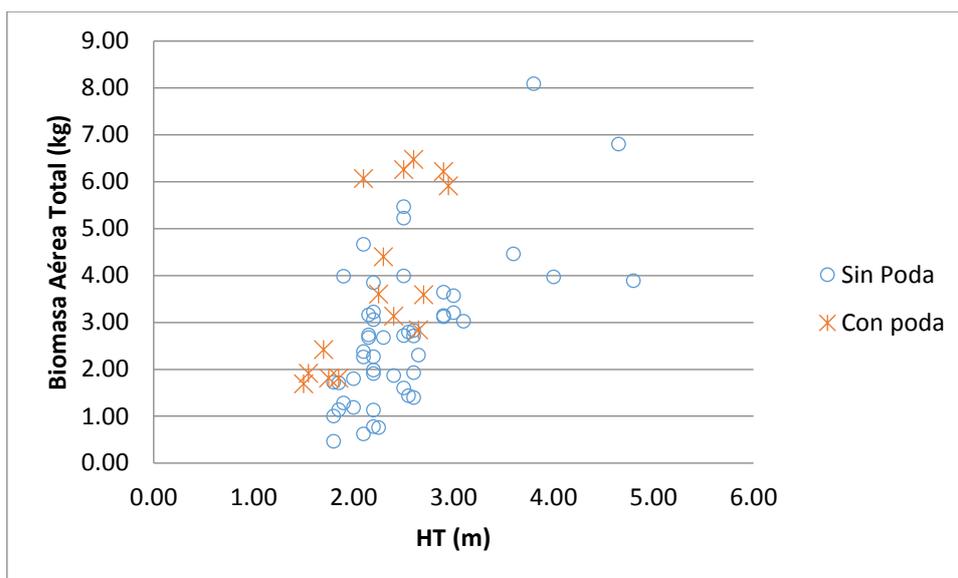


Figura 29: Relación biomasa aérea total (kg) y altura total (m)

En la Tabla 19 se presentan los resultados en porcentajes de biomasa seca de los tallos, ramas y hojas de los cafetos. En promedio se observa que el mayor porcentaje de biomasa se encuentra en el tallo, con un 68,47%, seguido de las ramas, con un 17,71%, y por último las hojas, con un 13,82%.

Con respecto a los cafetos con poda (C001 – C015), se observa que la distribución de biomasa es variable. En los cafetos con poda el mayor peso de biomasa seca se encuentra en el tallo, con un 81%, mientras que en los cafetos de sin poda (S001 – S050), representa el 65% del peso seco total. Esta variación tiene su explicación en la arquitectura del arbusto, dado que en los cafetos manejados con poda se tiene que a partir del tallo principal se origina dos o más tallos (rebrote), por lo que en el peso del tallo de estos individuos se está considerando la biomasa del tallo principal y la biomasa de los rebrotes del tallo, mientras que en los cafetos sin poda solo se considera al tallo principal.

Por otro lado, al comparar las proporciones obtenidas con el peso húmedo (Tabla 14) se observa que las proporciones según tallos, hojas y ramas han variado, se observa una menor proporción en el peso de hojas y ramas. Esto se relaciona también con la MS% (Tabla 15), en el cual se observa que el menor porcentaje de materia seca se encuentra en las hojas y ramas. Esto permite comprender porque la variabilidad observada en las hojas y ramas en relación al D_{15} no influye en la relación de la biomasa aérea total con el D_{15} .

Tabla 19: Distribución de la biomasa aérea total según tallos, hojas y ramas

N°	Código	% BS Hojas	% BS Ramas	%BS Tallos
1	S001	20,443	34,220	45,337
2	S002	17,881	29,427	52,692
3	S003	17,136	24,083	58,781
4	S004	14,833	20,690	64,477
5	S005	11,451	28,542	60,006
6	S006	12,853	9,110	78,037
7	S007	14,633	29,025	56,341
8	S008	11,502	3,526	84,971
9	S009	22,523	12,839	64,639
10	S010	21,676	27,513	50,812
11	S011	17,215	24,091	58,694
12	S012	17,726	22,646	59,628
13	S013	18,403	26,824	54,773
14	S014	26,639	9,946	63,415
15	S015	20,443	24,372	55,186
16	S016	15,533	21,111	63,356
17	S017	30,218	21,751	48,031
18	S018	18,853	30,594	50,553
19	S019	24,746	21,321	53,933
20	S020	22,069	24,512	53,419
21	S021	14,121	20,088	65,791
22	S022	28,676	23,556	47,768
23	S023	25,305	16,129	58,566
24	S024	6,929	34,015	59,056
25	S025	12,582	28,562	58,855
26	S026	11,286	30,613	58,101
27	S027	16,851	9,752	73,398
28	S028	12,100	13,987	73,913
29	S029	12,428	18,210	69,362
30	S030	5,671	16,064	78,265
31	S031	6,633	27,944	65,422
32	S032	6,379	21,768	71,853
33	S033	7,054	13,102	79,844
34	S034	6,517	17,193	76,290
35	S035	22,008	8,717	69,275
36	S036	27,171	17,020	55,809
37	S037	15,302	5,579	79,119
38	S038	22,025	17,202	60,773
39	S039	22,413	17,659	59,928
40	S040	10,976	10,210	78,814

Continuación

41	S041	9,457	25,971	64,572
42	S042	11,632	14,602	73,766
43	S043	8,710	11,948	79,342
44	S044	14,678	17,604	67,718
45	S045	15,466	20,759	63,775
46	S046	7,710	26,017	66,274
47	S047	6,787	13,688	79,525
48	S048	9,043	24,931	66,026
49	S049	7,334	14,261	78,405
50	S050	10,688	10,443	78,870
51	C001	8,479	19,908	71,614
52	C002	11,871	31,750	56,379
53	C003	11,638	15,601	72,761
54	C004	17,559	20,011	62,430
55	C005	6,133	5,915	87,952
56	C006	9,882	11,609	78,509
57	C007	11,467	8,814	79,719
58	C008	9,442	10,994	79,563
59	C009	11,965	11,791	76,244
60	C010	6,837	9,094	84,069
61	C011	7,064	3,659	89,277
62	C012	6,017	2,334	91,649
63	C013	2,130	1,540	96,329
64	C014	2,715	2,197	95,088
65	C015	4,071	2,322	93,607
Promedio General		13,815	17,712	68,473
Promedio Sin Poda		15,414	19,875	64,711
Promedio Con Poda		8,485	10,503	81,013

La figura 30 presenta la relación de la biomasa seca de los componentes de los cafetos según el diámetro. En todos los cafetos el mayor peso de biomasa se encuentra en el tallo, y en menor porcentaje en las ramas y hojas.

Por otro lado, se observa que existe una tendencia creciente de la biomasa aérea total, es decir la biomasa aérea total aumenta a medida que incrementa el diámetro, aunque aún se observa variabilidad. Esta variabilidad se puede explicar por la presencia de los individuos con poda que se encuentran en estas clases diamétricas y que a un mismo diámetro almacenan cantidades diferentes de biomasa seca que los cafetos sin poda.

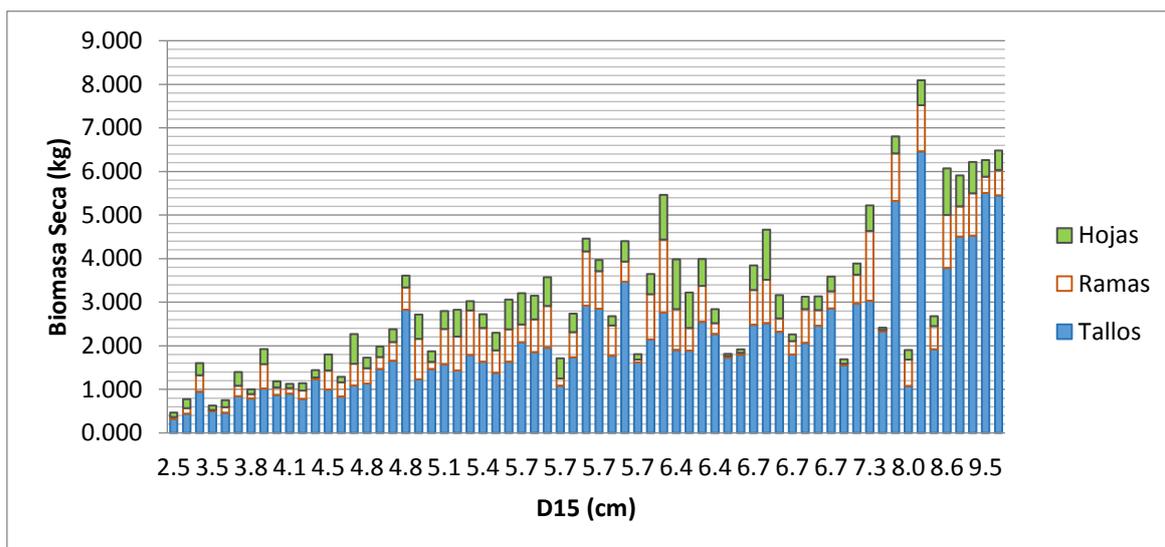


Figura 30: Biomasa aérea de los componentes del cafeto respecto al total (%).

6. CONSTRUCCIÓN DE LAS ECUACIONES DE BIOMASA

Se construyeron ecuaciones de biomasa aérea total para las especies *Inga edulis* y *Coffea arabica*.

6.1. CONSTRUCCIÓN DE ECUACIONES DE BIOMASA PARA *INGA EDULIS*

6.1.1. ANÁLISIS DE ECUACIONES EN FUNCIÓN AL COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (R^2)

Se analizó el coeficiente de determinación en función de la biomasa aérea total con relación a su DAP y/o altura total (HT).

En la Tabla 20 se presentan el coeficiente de determinación (R^2) de las 10 ecuaciones elaboradas. De acuerdo con el análisis, se tiene que todas las ecuaciones mantienen una fuerte relación entre la cantidad de biomasa y el DAP y/o la altura total, teniendo correlaciones mayores a 0,8 en todos los casos.

Tabla 20: Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie *Inga edulis*

N°	Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	R ²
1	BAT = b ₀ + b ₁ x DAP x b ₀	-208,9416	16,9105	-	-	0,8505
2	BAT = b ₀ x DAP ²	-	0,3120	-	-	0,9576
3	BAT = b ₀ + b ₁ x DAP ²	-37,2084	0,3493	-	-	0,9334
4	BAT = b ₁ x DAP + b ₂ x DAP ²	-	-4,0751	0,4357	-	0,8920
5	BAT = b ₀ + b ₁ x DAP + c x DAP ²	113,2668	-13,7573	0,6158	-	0,9534
6	BAT = b ₀ + b ₁ x DAP ² x HT	9,0397	0,0186	-	-	0,9543
7	BAT = b ₀ + b ₁ x DAP ² + c x HT	-81,4787	0,3214	4,9198	-	0,9381
8	BAT = b ₁ x DAP + b ₂ x DAP ² + b ₃ x HT	-	-10,5217	0,5101	8,2419	0,9790
9	lnBAT = b ₀ + b ₁ x lnDAP	-1,5406	2,0632	-	-	0,9250
10	lnBAT = b ₀ + b ₁ x lnDAP + b ₃ x lnHT	-2,2617	1,6395	0,8097	-	0,9549

6.1.2. ANÁLISIS EN FUNCIÓN A LA PRUEBA F DE FISHER

En la Tabla 21 se presentan todas las ecuaciones que fueron analizadas bajo la prueba de Fisher. Se observa que todos los valores de F calculado (F_c) fueron mayores que los valores de F tabular (F_α), indicando que existe relación entre la variable dependiente e independiente.

Tabla 21: Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie *Inga edulis*. Prueba de Fisher.

N°	Ecuación	F _α	F _c	Nivel de significancia
1	BAT = -208,9416 + 16,9105 x DAP	4,67	73,96	*
2	BAT = 0,3120 x DAP ²	4,60	316,23	*
3	BAT = -37,2084 + 0,3493 x DAP ²	4,67	182,29	*
4	BAT = -4,0751 x DAP + 0,4357 x DAP ²	3,81	219,10	*
5	BAT = 113,2668 + 13,7573 x DAP + 0,6158 x DAP ²	3,89	122,76	*
6	BAT = 9,0397 + 0,0168 x DAP ² x HT	4,67	271,44	*
7	BAT = -81,4787 + 0,3214 x DAP ² + 4,9198 x HT	3,89	90,98	*
8	BAT = -10,5217 x DAP + 0,5101 x DAP ² + 8,2419 x HT	3,49	186,50	*
9	lnBAT = -1,5406 + 2,0632 x ln DAP	4,67	160,43	*
10	log ₁₀ BAT = -0,2617 + 1,6395 x lnDAP + 0,8097 X lnHT	3,89	126,92	*

6.1.3. ANÁLISIS EN FUNCIÓN DE LA PRUEBA “t” DE STUDENT

Cada una de las ecuaciones se analizó utilizando la prueba de “t” de Student. Los resultados del análisis se presentan en la Tabla 22.

Se observa que todas las ecuaciones, a excepción de la ecuación 8, resultaron significativas con la prueba t, demostrando que los coeficientes de las ecuaciones son diferentes a cero. Sin embargo, en la ecuación 8 el análisis del coeficiente b3 resultó no significativo (ns) cuando el “t” calculado ($t\alpha$) fue menor que el “t” tabular (t_c), por lo que no se demostró que el coeficiente fuese diferente de cero indicando que la variable en cuestión no explica la biomasa. En consecuencia, la ecuación 8 fue descartada del análisis posterior.

Tabla 22: Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie *Inga edulis*. Prueba “t” de Student

N°	Ecuación	$t\alpha$	$t_c b_1$	n.s.	$t_c b_2$	n.s.	$t_c b_3$	n.s.
1	BAT = -208,9416 +16,9105 x DAP	2,145	16,911	*	-	-	-	-
2	BAT = 0,3120 x DAP ²	2,145	17,783	*	-	-	-	-
3	BAT = -37,2084 + 0,3493 x DAP ²	2,145	13,501	*	-	-	-	-
4	BAT = -4,0751 x DAP + 0,4357 x DAP ²	2,145	-2,475	*	8,351	*	-	-
5	BAT = 113,2668 + 13,7573 x DAP + 0,6158 x DAP ²	2,145	-2,268	*	5,148	*	-	-
6	BAT = 9,0397 + 0,0168 x DAP ² x HT	2,145	16,476	*	-	-	-	-
7	BAT = -81,4787 + 0,3214 x DAP ² + 4,9198 x HT	2,145	8,223	*	0,955	*	-	-
8	BAT = -10,5217 x DAP + 05101 x DAP ² + 8,2419 x HT	2,145	-3,110	*	8,762	*	2,11 3	n.s
9	lnBAT = -1,5406 + 2,0632 x ln DAP	2,145	12,666	*	-	-	-	-
10	lnBAT = -0,2617 + 1,6395 x lnDAP + 0,8097 X lnHT	2,145	8,202	*	2,815	*	-	-

6.2. CONSTRUCCIÓN DE ECUACIONES DE BIOMASA PARA *COFFEA ARABICA*

Como se mencionó anteriormente, el muestreo de la especie *Coffea arabica* involucró a dos grupos de individuos con diferente tipos de crecimiento ocasionado por las prácticas de poda realizadas en algunas de las plantaciones evaluadas. Teniendo en cuenta lo anterior, con esta especie se elaboraron ecuaciones de biomasa aérea total agrupando a los individuos según su tipo de crecimiento. En consecuencia, se generaron ecuaciones de biomasa para los siguientes grupos: (1) el total de los individuos; (2) cafetos de sin poda y (3) cafetos con poda.

6.2.1. ANÁLISIS DE ECUACIONES EN FUNCIÓN AL COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (R²)

En todas las ecuaciones se analizó el coeficiente de determinación en función de la biomasa aérea total con relación a su D₁₅ y/o altura total (HT).

En la Tabla 23 se presenta el Coeficiente de Determinación (R²) de las 10 ecuaciones construidas para la especie *Coffea arabica*. De acuerdo con el análisis, se tiene que todas las ecuaciones mantienen una fuerte relación entre la cantidad de biomasa y el D₁₅ y/o la altura total, teniendo coeficientes de determinación mayores a 0,7 en todos los casos.

Tabla 23: Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie *Coffea arabica*

N°	Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	R ²
1	BAT = b ₀ + b ₁ x DAP x b ₀	-2,1509	0,8797	-	-	0,7229
2	BAT = b ₁ x DAP ²	-	0,0786	-	-	0,9300
3	BAT = b ₀ + b ₁ x DAP ²	0,4476	0,0693	-	-	0,7169
4	BAT = b ₁ x DAP + b ₂ x DAP ²	-	0,1647	0,0555	-	0,9349
5	BAT = b ₀ + b ₁ x DAP + c x DAP ²	-1,2423	0,5661	0,0252	-	0,7256
6	BAT = b ₀ + b ₁ x DAP ² x HT	0,7686	0,0239	-	-	0,8353
7	BAT = b ₀ + b ₁ x DAP ² + c x HT	-1,6632	0,0620	0,9706	-	0,8452
8	BAT = b ₁ x DAP + b ₂ x DAP ² + b ₃ x HT	-	-0,4683	0,0974	0,8872	0,9604
9	lnBAT = b ₀ + b ₁ x lnDAP	-2,2958	1,8693	-	-	0,7737
10	lnBAT = b ₀ + b ₁ x lnDAP x b ₃ x lnHT	-2,7308	1,6826	0,8732	-	0,8786

En la Tabla 24 se presenta el coeficiente de determinación de las ecuaciones de biomasa aérea total de la especie *Coffea arabica* sin poda.

Tabla 24: Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie *Coffea arabica* sin poda.

N°	Modelo	b_0	b_1	b_2	b_3	R^2
1	$BAT = b_0 + b_1 \times DAP \times b_0$	-3,0445	1,0886	-	-	0,7716
2	$BAT = b_1 \times DAP^2$	-	0,0938	-	-	0,9537
3	$BAT = b_0 + b_1 \times DAP^2$	-0,3019	0,1022	-	-	0,8097
4	$BAT = b_1 \times DAP + b_2 \times DAP^2$	-	-0,1242	0,1141	-	0,9555
5	$BAT = b_0 + b_1 \times DAP + c \times DAP^2$	0,7093	-0,3872	0,1373	-	0,8121
6	$BAT = b_0 + b_1 \times DAP^2 \times HT$	0,8102	0,0244	-	-	0,7782
7	$BAT = b_0 + b_1 \times DAP^2 + c \times HT$	-1,2942	0,0885	0,5581	-	0,8535
8	$BAT = b_1 \times DAP + b_2 \times DAP^2 + b_3 \times HT$	-	-0,4643	0,1310	0,5236	0,9655
9	$\ln BAT = b_0 + b_1 \times \ln DAP$	-2,8146	2,2303	-	-	0,8427
10	$\ln BAT = b_0 + b_1 \times \ln DAP \times b_3 \times \ln HT$	-2,9344	1,9836	0,5883	-	0,8825

En la Tabla 25 se aprecia que las ecuaciones de biomasa aérea total para el grupo con poda de la especie *Coffea arabica* han tenido un alto coeficiente de determinación.

Tabla 25: Ecuaciones de la biomasa aérea total de la especie *Coffea arabica* con poda

N°	Modelo	b_0	b_1	b_2	b_3	R^2
1	$BAT = b_0 + b_1 \times DAP \times b_0$	-5,6669	1,2424	-	-	0,8683
2	$BAT = b_1 \times DAP^2$	-	0,0654	-	-	0,9722
3	$BAT = b_0 + b_1 \times DAP^2$	-0,9301	0,0790	-	-	0,8714
4	$BAT = b_1 \times DAP + b_2 \times DAP^2$	-	-0,2419	0,0943	-	0,9773
5	$BAT = b_0 + b_1 \times DAP + c \times DAP^2$	-1,0743	0,0377	0,0767	-	0,8714
6	$BAT = b_0 + b_1 \times DAP^2 \times HT$	0,1117	0,0266	-	-	0,9650
7	$BAT = b_0 + b_1 \times DAP^2 + c \times HT$	-3,1238	0,0642	1,3794	-	0,9696
8	$BAT = b_1 \times DAP + b_2 \times DAP^2 + b_3 \times HT$	-	-0,8352	0,1168	1,4198	0,9952
9	$\ln BAT = b_0 + b_1 \times \ln DAP$	-3,9533	2,5659	-	-	0,8249
10	$\ln BAT = b_0 + b_1 \times \ln DAP \times b_3 \times \ln HT$	-3,4242	1,9140	1,0047	-	0,9701

Se observa que los coeficientes de determinación para las ecuaciones de cafetos con poda presentan valores más altos que los de las ecuaciones de cafetos sin poda. Esta diferencia ocurre debido a que la correlación de las variables de los cafetos con poda es más alta que las de los cafetos sin poda.

6.2.2. ANÁLISIS EN FUNCIÓN A LA PRUEBA F DE FISHER

En la Tabla 26 se presentan todas las ecuaciones de biomasa aérea total de *Coffea arabica* que fueron analizadas bajo la prueba de Fisher. Se observa que todos los valores de F calculado (F_c) fueron mayores que los valores de F tabular (F_α), lo que indica que existe la regresión es estadísticamente significativa.

Tabla 26: Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie *Coffea arabica*. Prueba de Fisher.

N°	Ecuación	F_α	F_c	Nivel de significancia
1	BAT = -2,1509 + 0,8797 x DAP	3,99	164,33	*
2	BAT = 0,0786 x DAP ²	3,99	850,92	*
3	BAT = -0.4476 + 0,0693 x DAP ²	3,99	159,50	*
4	BAT = 0,1647 x DAP + 0,0555 x DAP ²	3,15	452,72	*
5	BAT = -1,2423 + 0,5661 x DAP + 0,0252 x DAP ²	3,15	81,99	*
6	BAT = 0,7686 + 0,0239 x DAP ² x HT	3,99	319,62	*
7	BAT = -1,6632 + 0,0620 x DAP ² + 0,9706 x HT	3,15	169,22	*
8	BAT = -0,4683 x DAP + 0,0974 x DAP ² + 0,8872 x HT	2,75	500,62	*
9	lnBAT = -2,2958 + 1,8693 x ln DAP	3,99	215,45	*
10	lnBAT = -2,7308 + 1,6826 x lnDAP + 0,8732 X lnHT	3,15	224,36	*

En la Tabla 27 se presentan todas las ecuaciones de la especie de *Coffea arabica* sin poda que fueron analizadas bajo la prueba de Fisher. Se observa que todos los valores de F calculado (F_c) fueron mayores que los valores de F tabular (F_α), indicando que la regresión es estadísticamente significativa.

Tabla 27: Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie *Coffea arabica* sin poda. Prueba de Fisher.

N°	Ecuación	F α	F c	Nivel de significancia
1	BAT = -3,0445 + 1,0886 x DAP	4,04	166,53	*
2	BAT = 0,0938 x DAP ²	4,04	1008,86	*
3	BAT = -0,3019 + 0,1022 x DAP ²	4,04	204,25	*
4	BAT = -0,1242 x DAP + 0,1141 x DAP ²	3,19	515,63	*
5	BAT = -0,7093 - 0,3872 x DAP + 0,1374 x DAP ²	3,20	101,58	*
6	BAT = 0,8102 + 0,0244 x DAP ² x HT	4,04	168,40	*
7	BAT = -1,2941 + 0,0885 x DAP ² + 0,5581 x HT	3,20	136,90	*
8	BAT = -0,4643 x DAP + 0,1310 x DAP ² + 0,5236 x HT	2,80	438,06	*
9	lnBAT = -2,8146 + 2,2303 x ln DAP	4,04	257,12	*
10	lnBAT = -2,9344 + 1,9836 x lnDAP + 0,5882 X lnHT	3,20	176,45	*

En la Tabla 28 se aprecian todas las ecuaciones de la especie de *Coffea arabica* con poda que fueron analizadas bajo la prueba de Fisher. Se observa que todos los valores de F calculado (F c) fueron mayores que los valores de F tabular (F α),

Tabla 28: Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie *Coffea arabica* con poda. Prueba de Fisher.

N°	Ecuación	F α	F c	Nivel de significancia
1	BAT = -5,6669 + 1,2424 x DAP	4,67	85,75	*
2	BAT = 0,0654 x DAP ²	4,60	489,87	*
3	BAT = -0,9301 + 0,0790 x DAP ²	4,67	88,07	*
4	BAT = -0,2419 x DAP + 0,0943 x DAP ²	3,81	279,99	*
5	BAT = -1,0743 + 0,0377 x DAP + 0,0767 x DAP ²	3,89	40,65	*
6	BAT = 0,1117 + 0,0266 x DAP ² x HT	4,67	358,74	*
7	BAT = -3,1238 + 0,0642 x DAP ² + 1,3794 x HT	3,89	191,33	*
8	BAT = -0,8352 x DAP + 0,1168 x DAP ² + 1,4198 x HT	3,49	826,17	*
9	lnBAT = -3,9533 + 2,5659 x ln DAP	4,67	61,23	*
10	lnBAT = -3,4242 + 1,9140 x lnDAP + 1,0047 X lnHT	3,89	194,66	*

6.2.3. ANÁLISIS EN FUNCIÓN A LA PRUEBA “t” DE STUDENT

En la Tabla 29 se presentan todas las ecuaciones de la especie de *Coffea arabica* que fueron analizadas con la prueba “t” de Student. Se puede apreciar que cada uno de los coeficientes obtenidos en todas las ecuaciones, con excepción de la 5, presentan un significativo valor estadístico, demostrando ser diferentes a cero. Los coeficientes de la ecuación 5 no demuestran el nivel mínimo de significancia, por lo que la ecuación 5 es descartada del análisis.

Tabla 29: Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie *Coffea arabica*. Prueba “t” de Student.

N°	Ecuación	$t\alpha$	$tc\ b_1$	N.S	$tc\ b_2$	N.S	$tc\ b_3$	N,S
1	BAT = -2,1509 +0,8797 x DAP	1,998	12,819	*	-	-	-	-
2	BAT = 0,0786 x DAP ²	1,998	29,170	*	-	-	-	-
3	BAT = -0,4476 + 0,0693 x DAP ²	1,998	12,629	*	-	-	-	-
4	BAT = 0,1647 x DAP + 0,0555 x DAP ²	1,998	2,178	*	5,094	*	-	-
5	BAT = -1,2423 + 0,5661 x DAP + 0,0252 x DAP ²	1,998	1,410	n.s	0,793	n.s	-	-
6	BAT = 0,7686 + 0,0239 x DAP ² x HT	1,998	17,878	*	-	-	-	-
7	BAT = -1,6632 + 0,0620 x DAP ² + 0,9706 x HT	1,998	14,731	*	7,168	*	-	-
8	BAT = -0,4683 x DAP + 0,0974 x DAP ² + 0,8872 x HT	1,998	-4,012	*	8,978	*	6,304	*
9	lnBAT = -2,2958 + 1,8693 x ln DAP	1,998	14,678	*	-	-	-	-
10	lnBAT = -2,7308 + 1,6826 x lnDAP + 0,8732 X lnHT	1,998	17,270	*	7,318	*	-	-

En la Tabla 30 se presentan todas las ecuaciones de la especie de *Coffea arabica* sin poda analizadas con la prueba “t” de Student. Se observa que cada uno de los coeficientes obtenidos en todas las ecuaciones, con excepción de la 5, son significativas, demostrando ser diferentes a cero. Las ecuación 5 es descartada del análisis pues la prueba resultó no significativa para ambos coeficientes de la ecuación.

Tabla 30: Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie *Coffea arabica* sin poda. Prueba “t” de Student.

N°	Ecuación	$t\alpha$	$tc\ b_1$	N.S.	$tc\ b_2$	N.S.	$tc\ b_3$	N.S.
1	BAT = -3,0445 +1,0886 x DAP	2,010	12,819	*	-	-	-	-
2	BAT = 0,0938 x DAP ²	2,010	29,170	*	-	-	-	-
3	BAT = -0,3019 + 0,1022 x DAP ²	2,010	12,629	*	-	-	-	-
4	BAT = -0,1242 x DAP + 0,1141 x DAP ²	2,010	2,178	*	5,094	*	-	-
5	BAT = -0,7093 – 0,3872 x DAP + 0,1374 x DAP ²	2,010	1,410	n.s	0,793	n.s	-	-
6	BAT = 0,8102 + 0,0244 x DAP ² x HT	2,010	17,878	*	-	-	-	-
7	BAT = -1,2941 + 0,0885 x DAP ² + 0,5581 x HT	2,010	14,731	*	7,168	*	-	-
8	BAT = -0,4643 x DAP + 0,1310 x DAP ² + 0,5236 x HT	2,010	-4,012	*	8,978	*	6,304	*
9	lnBAT = -2,8146 + 2,2303 x ln DAP	2,010	14,678	*	-	-	-	-
10	lnBAT = -2,9344 + 1,9836 x lnDAP + 0,5882 X lnHT	2,010	17,270	*	7,318	*	-	-

En la Tabla 31 se presentan todas las ecuaciones de la especie de *Coffea arabica* con poda que fueron analizadas con la prueba “t” de Student. Se puede apreciar que las ecuaciones han demostrado ser significativas, a excepción de las ecuaciones 4, 5, y 6 las cuales son descartadas al no demostrar el nivel mínimo de significancia.

Tabla 31: Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie *Coffea arabica* con poda. Prueba “t” de Student.

N°	Ecuación	$t\alpha$	$tc\ b_1$	N.S.	$tc\ b_2$	N.S.	$tc\ b_3$	N.S.
1	BAT = -5,6669 +1,2424 x DAP	2,145	9,260	*	-	-	-	-
2	BAT = 0,0654 x DAP ²	2,145	22,133	*	-	-	-	-
3	BAT = -0,9301 + 0,0790 x DAP ²	2,145	9,385	*	-	-	-	-
4	BAT = -0,2419 x DAP + 0,0943 x DAP ²	2,145	-1,709	n.s	5,502	*	-	-
5	BAT = -1,0743 + 0,0377 x DAP + 0,0767 x DAP ²	2,145	0,017	n.s	0,532	n.s	-	-
6	BAT = 0,1117 + 0,0266 x DAP ² x HT	2,145	18,941	n.s	-	-	-	-
7	BAT = -3,1238 + 0,0642 x DAP ² + 1,3794 x HT	2,145	13,127	*	6,226	*	-	-
8	BAT = -0,8352 x DAP + 0,1168 x DAP ² + 1,4198 x HT	2,145	-7,465	*	13,144	*	6,671	*
9	lnBAT = -3,9533 + 2,5659 x ln DAP	2,145	7,825	*	-	-	-	-
10	lnBAT = -3,4242 + 1,9140 x lnDAP + 1,0047 X lnHT	2,145	11,610	*	7,634	*	-	-

Por el análisis realizado, en las tablas presentadas se han sombreado las celdas en donde la “prueba t” ha resultado no significativa, es decir, el t calculado (tc) resultó menor que el t tabular (t_{α}), por lo tanto son ecuaciones que quedaron descartadas y ya no fueron considerados en el análisis siguiente.

7. SELECCIÓN DE LA MEJOR ECUACIÓN

7.1. SELECCIÓN DE LA MEJOR ECUACIÓN DE BIOMASA AÉREA DE *INGA EDULIS*

En la Tabla 32 se presentan los modelos para estimar biomasa aérea total de la especie *Inga edulis*. Se observa que entre las ecuaciones de variable dependiente no transformada la ecuación 7 presento el menor cuadrado medio del error (CME), mientras que en el grupo de ecuaciones con variable dependiente transformada, fue la ecuación 10 la con menor CME.

Tabla 32: Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie *Inga edulis*. Análisis del Cuadrado Medio del Error (CME)

N°	Ecuación	CME
1	BAT = -208,9416 +16,9105 x DAP	393976,8
2	BAT = 0,3120 x DAP ²	880292,4
3	BAT = -37,2084 + 0,3493 x DAP ²	432388,9
4	BAT = -4,0751 x DAP + 0,4357 x DAP ²	446388,7
5	BAT = 113,2668 + 13,7573 x DAP + 0,6158 x DAP ²	220820,0
6	BAT = 9,0397 + 0,0168 x DAP ² x HT	442054,5
7	BAT = -81,4787 + 0,3214 x DAP ² + 4,9198 x HT	217283,2
8	BAT = -10,5217 x DAP + 05101 x DAP ² + 8,2419 x HT	299987,3
9	lnBAT = -1,5406 + 2,0632 x ln DAP	13,0
10	lnBAT = -0,2617 + 1,6395 x lnDAP + 0,8097 X lnHT	6,7

En la Tabla 33 se presentan las ecuaciones seleccionadas con el menor cuadrado medio del error. Además se muestra al Índice de Furnival de las dos ecuaciones. Se observa que la ecuación 10 es la que presenta el menor índice de Furnival.

Tabla 33: Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie *Inga edulis*. Análisis del Índice de Furnival (I.F)

N°	Ecuación	IF
7	BAT = -81.4787 + 0.3214 x DAP ² + 4.9198 x HT	466,1
10	lnBAT = -0.2617 + 1.6395 x lnDAP + 0.8097 x lnHT	285,4

Este resultado muestra que la ecuación de biomasa aérea total correspondiente al modelo 10, que utiliza el lnBAT como variable dependiente, es la más apropiada para estimar biomasa aérea total de la especie *Inga edulis*, pues presenta el menor valor de Índice de Furnival. En esta ecuación podrán ser aplicadas las variables independientes de DAP (cm) y HT (m) para poder determinar la cantidad de biomasa aérea que almacena cada árbol de *Inga edulis*.

La ecuación seleccionada para la especie *Inga edulis*, dado el tamaño y variabilidad de la muestra, es un resultado a nivel exploratorio.

7.2. SELECCIÓN DE LA MEJOR ECUACIÓN DE BIOMASA AÉREA DE *COFFEA ARABICA*

En la Tabla 34 se presentan los modelos para estimar biomasa aérea total de la especie *Coffea arabica*. Se observa que los modelos 7 y 10 presentan el menor Cuadrado medio del Error de cada grupo.

Tabla 34: Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie *Coffea arabica*. Análisis del Cuadrado Medio del Error (CME)

N°	Ecuación	CME
1	$BAT = -2,1509 + 0,8797 \times D_{15}$	129,7
2	$BAT = 0,0786 \times D_{15}^2$	715,4
3	$BAT = -0,4476 + 0,0693 \times D_{15}^2$	128,6
4	$BAT = 0,1647 \times D_{15} + 0,0555 \times D_{15}^2$	359,6
6	$BAT = 0,7686 + 0,0239 \times D_{15}^2 \times HT$	149,8
7	$BAT = -1,6632 + 0,0620 \times D_{15}^2 + 0,9706 \times HT$	75,8
8	$BAT = -0,4683 \times D_{15} + 0,0974 \times D_{15}^2 + 0,8872 \times HT$	246,2
9	$\ln BAT = -2,2958 + 1,8693 \times \ln D_{15}$	18,0
10	$\ln BAT = -2,7308 + 1,6826 \times \ln D_{15} + 0,8732 \times \ln HT$	10,2

En la Tabla 35 se presentan las ecuaciones seleccionadas con el menor cuadrado medio del error. Además se muestra al Índice de Furnival de las dos ecuaciones. Se observa Selección que la ecuación 10 presenta el menor índice de Furnival. Sin embargo, de acuerdo a Sato y Madgwick (1982) las ecuaciones de variable transformada, como el modelo 10, estiman la media geométrica de la biomasa y no la media aritmética, por lo que al transformar la variable hay una subestimación de la media aritmética.

Tabla 35: Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie *Coffea arabica*. Análisis del Índice de Furnival (IF)

N°	Ecuación	IF
7	$BAT = -1,6632 + 0,0620 \times D_{15}^2 + 0,9706 \times HT$	8,71
10	$\ln BAT = -2,7308 + 1,6826 \times \ln D_{15} + 0,8732 \times \ln HT$	8,20

Según el IF la mejor ecuación es el modelo 10 ya que es la más apropiada para la estimación de la biomasa aérea total en función del D_{15} y la altura total (HT).

En la Tabla 36 se presentan los modelos para estimar biomasa aérea total de la especie *Coffea arabica* sin poda. Se observa que los modelos 7 y 10 presentan el menor Cuadrado medio del Error, por lo que son seleccionados como mejores ecuaciones en cada grupo.

Tabla 36: Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie *Coffea arabica* sin poda. Análisis del Cuadrado Medio del Error (CME)

N°	Ecuación	CME
1	$BAT = -3,0445 + 1,0886 \times D_{15}$	90,48
2	$BAT = 0,0938 \times D_{15}^2$	472,49
3	$BAT = -0,3019 + 0,1022 \times D_{15}^2$	94,39
4	$BAT = -0,1242 \times D_{15} + 0,1141 \times D_{15}^2$	236,70
5	$BAT = -0,7093 - 0,3872 \times D_{15} + 0,1374 \times D_{15}^2$	47,33
6	$BAT = 0,8102 + 0,0244 \times D_{15}^2 \times HT$	90,71
7	$BAT = -1,2941 + 0,0885 \times D_{15}^2 + 0,5581 \times HT$	49,75
8	$BAT = -0,4643 \times D_{15} + 0,1310 \times D_{15}^2 + 0,5236 \times HT$	159,44
9	$\ln BAT = -2,8146 + 2,2303 \times \ln D_{15}$	15,12
10	$\ln BAT = -2,9344 + 1,9836 \times \ln D_{15} + 0,5882 \times \ln HT$	7,92

En la Tabla 37 se presenta el I.F. de las ecuaciones 7 y 10. De acuerdo al resultado el I.F. de la ecuación 10 es menor que el I.F. de la ecuación 7.

Tabla 37: Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie *Coffea arabica* sin poda. Análisis del Índice de Furnival (I.F)

N°	Ecuación	IF
7	$BAT = -1,2941 + 0,0885 \times D_{15}^2 + 0,5581 \times HT$	7,05
10	$\ln BAT = -2,9344 + 1,9836 \times \ln D_{15} + 0,5882 \times \ln HT$	6,59

Luego del análisis con el Índice de Furnival se seleccionó el modelo 10 como mejor ecuación para estimar biomasa aérea total de *Coffea arabica* sin poda.

En la Tabla 38 se presentan los modelos para estimar biomasa aérea total del grupo con poda de la especie *Coffea arabica*. Se observa que los modelos 7 y 10 presentan el menor Cuadrado medio del Error en cada grupo.

Tabla 38: Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie *Coffea arabica* con poda. Análisis del Cuadrado Medio del Error (CME)

N°	Ecuación	CME
1	$BAT = -5,6669 + 1,2424 \times D_{15}$	41,87
2	$BAT = 0,0654 \times D_{15}^2$	266,11
3	$BAT = -0,9301 + 0,0790 \times D_{15}^2$	42,02
7	$BAT = -3,1238 + 0,0642 \times D_{15}^2 + 1,3794 \times HT$	23,38
8	$BAT = -0,8352 \times D_{15} + 0,1168 \times D_{15}^2 + 1,4198 \times HT$	90,80
9	$\ln BAT = -3,9533 + 2,5659 \times \ln D_{15}$	2,99
10	$\ln BAT = -3,4242 + 1,9140 \times \ln D_{15} + 1,0047 \times \ln HT$	1,76

La Tabla 39 presenta el Índice de Furnival de las ecuaciones 7 y 10. De acuerdo al resultado el IF de la ecuación 10 es menor que el I.F. de la ecuación 7.

Tabla 39: Ecuaciones de biomasa aérea total de la especie *Coffea arabica* con poda. Análisis del Índice de Furnival (I.F)

N°	Ecuación	IF
7	$BAT = -3,1238 + 0,0642 \times D_{15}^2 + 1,3794 \times HT$	4,84
10	$\ln BAT = -3,4242 + 1,9140 \times \ln D_{15} + 1,0047 \times \ln HT$	4,58

El análisis de las ecuaciones con el índice de Furnival permitió seleccionar a la ecuación 10 como mejor ecuación para estimar biomasa aérea total de *Coffea arabica* con poda, en función al D_{15} y la altura total (HT).

V. CONCLUSIONES

- 1) La ecuación que mejor estima la biomasa aérea total de *Inga edulis* para el área de estudio es:

$$\ln\text{BAT} = -0,2617 + 1,6395 \times \ln\text{DAP} + 0,8097 \times \ln\text{HT}$$

- 2) Las prácticas de manejo aplicadas a los árboles de *Inga edulis* en su función de árboles de sombra, definen la arquitectura de los árboles e influyen en la cantidad de biomasa seca almacenada. en un individuo.

- 3) La ecuación que mejor estima la biomasa aérea de *Coffea arabica* para el área de estudio es:

$$\ln\text{BAT} = -2,7308 + 1,6826 \times \ln\text{D15} + 0,8732 \times \ln\text{HT}$$

- 4) La poda de cafetales es una práctica que genera variabilidad en los contenidos de biomasa de los arbustos de café.

- 5) La ecuación que mejor estima la biomasa aérea total de individuos de *Coffea arabica* sin poda es:

$$\ln\text{BAT} = -2,9344 + 1,9836 \times \ln\text{D15} + 0,5882 \times \ln\text{HT}$$

- 6) La ecuación que mejor estima la biomasa aérea total de individuos de *Coffea arabica* con poda es:

$$\ln\text{BAT} = -3,4242 + 1,9140 \times \ln\text{D15} + 1,0047 \times \ln\text{HT}$$

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda desarrollar ecuaciones de contenido de carbono a partir de las estimaciones de biomasa aérea total generadas en el presente trabajo.
- La ecuación de biomasa aérea total encontrado en esta investigación será de alta utilidad para evaluar el contenido de carbono en las especies trabajadas y analizar la efectiva contribución de las especies estudiadas en el secuestro de carbono.
- Se recomienda realizar un inventario en las plantaciones de los agricultores, para poder aplicar las fórmulas propuestas y determinar el stock de carbono de todo el sistema.
- Para una mejor evaluación de la plantación se recomienda generar funciones para evaluar la variación de la biomasa cada año, de esa manera los estudios detallados pueden ser más precisos.
- Para la especie *Inga edulis*, se recomienda realizar un estudio con un número de muestra mayor.
- Para complementar la información sobre biomasa en sistemas agroforestales con las especies *Inga edulis* y *Coffea arabica*, se recomienda realizar estudios relacionados con la medición de biomasa almacenada en las raíces de los cafetos y de los árboles.
- Para realizar estimaciones de biomasa aérea de las especies *Inga edulis* y *Coffea arabica* en zonas diferentes al área de estudio, se recomienda replicar la investigación, y así obtener resultados más precisos.
- Los resultados de este estudio pueden ser utilizados para el desarrollo de políticas de promoción de sistemas agroforestales en áreas deforestadas en el Alto Mayo, así como los servicios ambientales que otorgan. Además, pueden ser fuente de información base para el desarrollo de investigaciones y proyectos de cuantificación de carbono.
- Los trabajos desarrollados dentro de la propiedad de un agricultor se deben realizar siempre previa coordinación con los dueños.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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).
- Altieri, M; Hencht, S; Liebman, Matt; Magdoff, F; Norgaard; Sikor, TO. 1999. Bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo, UY. Nordan Comunidad. 338 p.
- 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.
- 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.
- Aristizabal, J; Guerra, A 2002. Estimación de la tasa de fijación de carbono en el sistema agroforestal nogal cafetero (*Cordia alliodora*) – cacao (*Theobroma cacao* L.) – plátano (*Musa paradisiaca*). Tesis Ing. Forestal. Bogotá, CO, Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”. 108 p.
- 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.
- Barrena, V; Dancé, J; Sáenz, D. 1986. Metodología para la selección de ecuaciones de volumen. Revista Forestal del Perú. 13(2): 1-10
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. FAO. Roma, Italia. 55 p. (Estudio FAO Montes 134).
- Brown, S; Lugo, AE. 1984. Biomass of tropical forest: a new estimate based on forest volumes. Science 223(4642): 1290-1293.
- Brown, S; Gillespe A; Lugo, AE. 1989. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. Forest Science 35(4): 881-902.

- Catpo, J. 2004. Determinación de la ecuación alométrica de *Pinus patula* y estimación del contenido de carbono en su biomasa aérea en Porcón, Cajamarca, Perú. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 59 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.
- Cuellar, N; Rosa, H; Gonzales, M. 1999. Los servicios ambientales del agro: el caso del café de sombra. Prisma. San Salvador, SV. 16 p. (Boletín no. 34).
- Dauber, EJ; Terán R; Guzmán. 2002. Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. Revista Forestal Iberoamericana 1(1): 1-10.
- Domínguez, J. 1995. Elaboración y aplicación de un modelo para la estimación de la biomasa de *Tessaria integrifolia* (ASTERACEAE) (Pájaro Bobo) en la Reserva de Biosfera del Manu. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 64 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 1998. FRA 200: Directrices para la evaluación en los países tropicales y subtropicales (en línea). Roma, IT. Consultado 26 set. 2014. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/007/ae218s/AE218S00.htm#TopOfPage>
- Finegan, B; Delgado, D. 1997. Ciclos y flujos de materia y energía: Ecosistema, océano y atmósfera. Bases ecológicas. Turrialba, CR. CATIE. 24 p.
- 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.
- Gamma-Rodrigues, EF; Gama-Rodrigues, AC; Nair, PKR. 2011. Soil carbon sequestration in cacao agroforestry systems: a case study from Bahia Brazil. Advances in Agroforestry 8:85-99
- GTZ (Cooperación Técnica Alemana, DE). 2004. Análisis socio-económico y ambiental de la cuenca del Alto Mayo. CONDESAN. San Martín, PE. 167 p.

- Guzmán, F. 2013. Evaluación del impacto del cambio climático en el cultivo de café en la Cuenca alta del río Sisa – provincial de Lamas (distrito Alonso de Alvarado) y El Dorado (distrito San Martín de Alao) – Región San Martín. Tesis Mag. Sc. Lima, PE, UNALM. 94 p.
- Hakkila, P. 1989. Utilization of residual forest biomass. Ed. TE Timell. Springer series in wood science. Berlín, DE. 568 p.
- Holdridge, LR. 1967. Ecología Basada en Zonas de Vida. Tropical Science Center. San José, CR. 206 p.
- Husch, B. 2001. Estimación del contenido de carbono de los bosques. INFORA. Valdivia, CL. 9 p.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática, PE). 2007. Banco de información provincial (en línea). Lima, PE. Consultado 20 ene 2015. Disponible en <https://www.inei.gob.pe/bases-de-datos/>
- INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales, PE). 2008. Bosque de Protección Alto Mayo: Plan Maestro 2008 – 2013. Lima. PE. 272 p.
- IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático, 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 (Panel Intergubernamental del Cambio Climático, 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.
- Kalkhan, M. 2011. Spatial statistics: Geospatial information modeling and thematic mapping. CRC Press. New York, US. 154 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.
- Larrea, C. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la Biomasa aérea de combinaciones agroforestales de *Theobroma cacao* L. & determinación de la ecuación alométrica para el cacao. Tesis Ing. Ambiental. Lima, PE, UNALM. 146 p.

- 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 Távara Pasapera del departamento de Piura. Tesis Ing. Forestal. Lima. PE, UNALM. 132 p.
- Loetsch, G; Zoehrer, F; Haller, HE. 1973. Forest inventory. BLV Verlagsgesellschaft. Munich, DE. 469 p.
- Medina, C; Calero, C; Hurtado, H; Vivas, E. 2009. Cuantificación de carbono en la biomasa aérea de café (*Coffea arabica* L.) con sombra, en la comarca Palo de Sombrero, Jinotega, Nicaragua. La Calera 9(12): 28 – 34.
- MINAG (Ministerio de Agricultura, PE). 2003. Caracterización de las zonas cafetaleras en el Perú: Informe final. PROAMAZONIA. Lima, PE. 136 p.
- Marquez, F. Sustentabilidad de la caficultura orgánica en La Convención Cusco. Tesis PhD. en agricultura sustentable. Lima, PE, UNALM. 122 p.
- Montagnini, F; Nair, P. 2004. Carbon sequestration: An unerexploited environmental benefit of agroforestry systems. Agroforestry Systems. 61(1): 281 – 295.
- Ordoñez, JA; Masera, O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. Madera y Bosques 7(1): 3- 12.
- PADT-REFORT (Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el área de los recursos forestales tropicales, PE). 1981. Tablas de propiedades físicas y mecánicas de la madera de 20 especies del Perú. Junta del Acuerdo de Cartagena. Lima, PE. 53 p.
- Pandey, N. 2002. Carbon sequestration in agroforestry systems. Climate Policy 2(4): 367–377.
- Philip, M. 1994. Measuring trees and forests. 2 ed. CABI. Oxford, UK. 310 p.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). s.f. Introducción al MDL: El mecanismos de desarrollo limpio. Trad. CORDELIM. Roskeldi, DK. 33 p.
- 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.

- Proforest. 2011. Vínculos FLEGT –REDD+: ¿Qué es REDD+? (en línea). Nota informativa. Oxford, UK. Consultado 22 ene. 2015. Disponible en <http://www.proforest.net/en/publications/notas-informativas-sobre-flegt-y-redd>
- Reynel, C; Felipe-Morales, C. 1987. Agroforestería tradicional en los Andes del Perú: un inventario de tecnologías y especies para la integración de la vegetación leñosa a la agricultura. Proyecto FAO /HOLANDA /INFOR. Lima, PE. 157 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. 2008. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. ICRAF/IA. Lima, PE. 79 p. (Manual técnico no. 11)
- Salgado, L. 2000. Estimación de la Biomasa Forrajera Potencial de Overo (*Cordia lutea* Lam) en los Bosques Secos de la Comunidad Ignacio Távara Pasapera (Piura). Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 84 p.
- Samaniego, D. 2009. Estimación de la cantidad de carbono capturado por *Guazuma crinita* en una plantación de 8 años en Ucayali. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 146 p.
- Satoo T, Madgwick HAI, 1982. Forest Biomass. Ed. M Nijhoff. Amsterdam, NE. 132 p.
- Schlegel, B; Gayoso, J; Guerra, J. 2000. Manual de procedimientos: Muestreos de biomasa forestal. Universidad Austral de Chile. Valdivia CL. 26 p.
- Segura, M; Kanninen, M. 2002. Inventario para estimar carbono en ecosistemas forestales tropicales. Eds. L Orozco; C Brumer. Turrialba, CR. CATIE. p. 202-212. (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.
- Simbaña, N. 2011. Estimación de la captura de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill. Tesis Mag. Sc. Lima, PE, UNALM. 120 p.

- Solidaridad; ACDI/VOCA. 2013. Manual de renovación de cafetales y buenas prácticas agrícolas – BPA. Programa Fortalecimiento de la Cadena de Valor del Café en el Perú. Lima, PE.54 p.
- Somarriba, E. 1990. ¿Qué es agroforestería? El Chasqui: Boletín informativo sobre recursos naturales renovables 8(24): 5-13.
- Suarez, D. 2002. Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la Comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 117 p.
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, CH). 2010. Qué es REDD+ (en línea). Consultado 2 jul. 2014. Disponible en <https://www.iucn.org/>
- UNFCCC (United Nation Framework Convention on Climate Change, DE). 2014. Protocolo de Kyoto: Información Básica (en línea). Consultado 4 jul. 2014. Disponible en http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/protocolo_de_kyoto/items/6215.php
- Veen, M. 2007. Oportunidades para Pago por Servicios Ambientales en la Amazonía Peruana: Diagnóstico rápido. s.l. Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo. 20 p.
- Vidal, A; Rodríguez, J; Benítez, J; Álvarez, R; Gra, H. 2002. Estimación de la biomasa de copa para árboles en pie de *Pinus tropicalis* Morelet en la empresa forestal integral Macurije de la provincia de Pinar del Río, Cuba. Floresta 32(2): 261 – 265.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

VOLUMEN DE LAS RAMAS PRINCIPALES DE LOS ÁRBOLES DE *INGA EDULIS*

N°	Código	Volumen (m ³)					VT Ramas (m ³)
		R1	R2	R3	R4	R5	
1	A001	0,009425	0,004712	0,006283	-	-	0,020420
2	A002	0,034558	0,023856	0,008836	-	-	0,067250
3	A003	0,007363	0,001436	0,003731	0,007670	-	0,020199
4	A004	0,009817	0,003068	0,000884	0,001374	-	0,015143
5	A005	0,037699	-	-	-	-	0,037699
6	A006	0,033576	-	-	-	-	0,033576
7	A007	0,058905	0,034558	0,025290	-	-	0,118752
8	A008	0,005498	0,014137	-	-	-	0,019635
9	A009	0,005498	-	-	-	-	0,005498
10	A010	0,054782	0,037429	0,041724	0,021991	-	0,155926
11	A011	0,006220	0,012628	-	-	-	0,018848
12	A012	0,016886	0,010603	-	-	-	0,027489
13	A013	0,003927	0,001546	-	-	-	0,005473
14	A014	0,353429	0,081289	0,096211	0,284707	0,125664	0,941300
15	A015	0,266397	0,207087	0,066268	0,044731	-	0,584483

ANEXO 2

VOLUMEN DEL FUTE DE LOS ÁRBOLES DE *INGA EDULIS*

N°	Código	Volumen (m ³)												Volumen Fuste (m ³)
		Sección 1	Sección 2	Sección 3	Sección 4	Sección 5	Sección 6	Sección 7	Sección 8	Sección 9	Sección 10	Sección 11	Sección 12	
1	A001	0,027734	0,024053	0,020862	0,017671	0,014972	0,012272	0,010063	0,007854	0,007854	0,003927	-	-	0,147262
2	A002	0,029759	0,022396	0,015340	0,013806	0,017671	0,017671	-	-	-	-	-	-	0,116644
3	A003	0,019942	0,012272	0,010063	0,007854	0,007854	0,007854	0,006136	0,004418	0,013376	-	-	-	0,089769
4	A004	0,006136	0,003743	0,002516	0,001963	0,000767	-	-	-	-	-	-	-	0,015125
5	A005	0,059887	0,059887	0,033379	0,012763	0,004909	0,001963	0,001963	-	-	-	-	-	0,174751
6	A006	0,065041	0,047369	0,015953	0,006136	0,004418	-	-	-	-	-	-	-	0,138917
7	A007	0,103329	0,083449	0,070686	0,070686	0,059887	0,049087	0,049087	0,020126	-	-	-	-	0,506336
8	A008	0,059887	0,033379	0,012763	0,007854	0,006136	0,003191	0,001963	-	-	-	-	-	0,125173
9	A009	0,051051	0,024544	0,012763	0,007854	0,007854	0,006136	0,004418	0,003191	-	-	-	-	0,117810
10	A010	0,100445	0,057187	0,045406	0,059396	0,059396	0,027121	-	-	-	-	-	-	0,348950
11	A011	0,072649	0,038350	0,019942	0,014972	0,012763	0,007854	0,007854	-	-	-	-	-	0,174383
12	A012	0,049087	0,049087	0,040252	0,027734	0,018162	0,006136	-	-	-	-	-	-	0,190459
13	A013	0,046694	0,044301	0,037859	0,031416	0,027734	0,024053	0,020862	0,017671	0,012763	0,007854	0,007854	0,007854	0,286916
14	A014	0,196350	0,186778	0,151435	0,110937	0,096211	0,083449	0,070686	0,070686	0,076822	0,076822	0,070686	0,065041	1,255901
15	A015	0,159043	0,146342	0,133640	0,122044	0,110447	0,086297	0,050955	0,039761	0,019880	-	-	-	0,868409

ANEXO 3

DETERMINACIÓN DE LOS DIÁMETROS DE LOS CAFETOS

N°	Código	Variedad	C₁₅ (cm)	C₃₀ (cm)	D₁₅ (cm)	D₃₀ (cm)
1	S001	Villa Sarche	16	13	5,1	4,1
2	S002	Villa Sarche	13	11	4,1	3,5
3	S003	Villa Sarche	11	12	3,5	3,8
4	S004	Villa Sarche	21	20	6,7	6,4
5	S005	Villa Sarche	17	15	5,4	4,8
6	S006	Villa Sarche	16	14	5,1	4,5
7	S007	Villa Sarche	16	15	5,1	4,8
8	S008	Villa Sarche	14	14	4,5	4,5
9	S009	Caturra	18	16	5,7	5,1
10	S010	Caturra	16	15	5,1	4,8
11	S011	Caturra	18	16	5,7	5,1
12	S012	Caturra	17	15	5,4	4,8
13	S013	Caturra	18	17	5,7	5,4
14	S014	Catimor	18	14	5,7	4,5
15	S015	Catimor	14	13	4,5	4,1
16	S016	Catimor	18	18	5,7	5,7
17	S017	Catimor	15	13	4,8	4,1
18	S018	Catimor	20	20,5	6,4	6,5
19	S019	Catimor	21	20	6,7	6,4
20	S020	Catimor	17	17	5,4	5,4
21	S021	Catimor	15	15	4,8	4,8
22	S022	Catimor	20	19	6,4	6,0
23	S023	Catimor	20	19	6,4	6,0
24	S024	Caturra	16,5	15	5,3	4,8
25	S025	Caturra	19	18,5	6,0	5,9
26	S026	Caturra	23	21,5	7,3	6,8
27	S027	Caturra	21	19	6,7	6,0
28	S028	Caturra	15	15	4,8	4,8
29	S029	Caturra	15	15	4,8	4,8
30	S030	Típica	24	23	7,6	7,3
31	S031	Típica	18	17	5,7	5,4
32	S032	Típica	18	16	5,7	5,1
33	S033	Típica	27	28	8,6	8,9
34	S034	Típica	22	20	7,0	6,4
35	S035	Catimor	8	7	2,5	2,2

Continuación

36	S036	Catimor	9	8	2,9	2,5
37	S037	Catimor	11	8	3,5	2,5
38	S038	Catimor	11	10	3,5	3,2
39	S039	Catimor	12	11	3,8	3,5
40	S040	Catimor	12	12	3,8	3,8
41	S041	Catimor	14	13	4,5	4,1
42	S042	Catimor	13	12,5	4,1	4,0
43	S043	Catimor	13	12,5	4,1	4,0
44	S044	Catimor	13	12,5	4,1	4,0
45	S045	Pache	20	21	6,4	6,7
46	S046	Pache	18	17	5,7	5,4
47	S047	Pache	21	18	6,7	5,7
48	S048	Pache	21	18	6,7	5,7
49	S049	Pache	15	13	4,8	4,1
50	S050	Pache	18	16	5,7	5,1
51	C001	Catimor	27	25	8,6	8,0
52	C002	Catimor	25	23	8,0	7,3
53	C003	Catimor	30	28	9,5	8,9
54	C004	Catimor	27	26	8,6	8,3
55	C005	Catimor	30	30	9,5	9,5
56	C006	Catimor	21	20	6,7	6,4
57	C007	Catimor	20	20	6,4	6,4
58	C008	Catimor	21	21	6,7	6,7
59	C009	Catimor	28	27	8,9	8,6
60	C010	Catimor	31	30	9,9	9,5
61	C011	Catimor	18	18	5,7	5,7
62	C012	Catimor	21	21	6,7	6,7
63	C013	Catimor	23	23	7,3	7,3
64	C014	Catimor	20	20	6,4	6,4
65	C015	Catimor	20	20	6,4	6,4

ANEXO 4

MEDICIONES REALIZADAS AL TOCÓN DE LOS CAFETOS

N°	Código	Variedad	D tocón (cm)	H tocón (m)
1	S001	Villa Sarche	4,1	0,70
2	S002	Villa Sarche	3,5	0,70
3	S003	Villa Sarche	3,8	0,70
4	S004	Villa Sarche	6,4	0,80
5	S005	Villa Sarche	4,8	0,85
6	S006	Villa Sarche	4,5	0,80
7	S007	Villa Sarche	4,8	0,75
8	S008	Villa Sarche	4,5	0,75
9	S009	Caturra	5,1	0,81
10	S010	Caturra	4,8	0,60
11	S011	Caturra	5,1	0,81
12	S012	Caturra	4,8	0,60
13	S013	Caturra	5,4	0,60
14	S014	Catimor	4,5	0,71
15	S015	Catimor	4,1	0,72
16	S016	Catimor	5,7	0,70
17	S017	Catimor	4,1	0,68
18	S018	Catimor	6,5	0,70
19	S019	Catimor	6,4	0,66
20	S020	Catimor	5,4	0,60
21	S021	Catimor	4,8	0,60
22	S022	Catimor	6,0	0,63
23	S023	Catimor	6,0	0,69
24	S024	Caturra	4,8	0,58
25	S025	Caturra	5,9	0,58
26	S026	Caturra	6,8	0,62
27	S027	Caturra	6,0	0,60
28	S028	Caturra	4,8	0,62
29	S029	Caturra	4,8	0,62
30	S030	Típica	7,3	0,50
31	S031	Típica	5,4	0,65
32	S032	Típica	5,1	0,50
33	S033	Típica	8,9	0,70

Continuación

34	S034	Típica	6,4	0,60
35	S035	Catimor	2,2	0,75
36	S036	Catimor	2,5	0,80
37	S037	Catimor	2,5	0,80
38	S038	Catimor	3,2	0,58
39	S039	Catimor	3,5	0,70
40	S040	Catimor	3,8	0,70
41	S041	Catimor	4,1	0,55
42	S042	Catimor	4,0	0,59
43	S043	Catimor	4,0	0,57
44	S044	Catimor	4,0	0,56
45	S045	Pache	6,7	0,75
46	S046	Pache	5,4	0,71
47	S047	Pache	5,7	0,73
48	S048	Pache	5,7	0,74
49	S049	Pache	4,1	0,71
50	S050	Pache	5,1	0,85
46	C001	Catimor	8,0	0,90
47	C002	Catimor	7,3	0,70
48	C003	Catimor	8,9	0,60
49	C004	Catimor	8,3	0,70
50	C005	Catimor	9,5	0,90
51	C006	Catimor	6,4	0,62
52	C007	Catimor	6,4	0,60
53	C008	Catimor	6,7	0,68
54	C009	Catimor	8,6	0,65
55	C010	Catimor	9,5	0,70
56	C011	Catimor	5,7	0,69
57	C012	Catimor	6,7	0,49
58	C013	Catimor	7,3	0,65
59	C014	Catimor	6,4	0,60
60	C015	Catimor	6,4	0,65

ANEXO 5

CÁLCULO DE LA MATERIA SECA (%) EN LAS PROBETAS DE LOS TALLOS DE CAFETOS SIN PODA

Código cafeto	Código probeta	PH (g)	PS (g)	%MS
S001	S001 m1	32,00	16,02	50,06%
S001	S001 m2	18,00	9,06	50,33%
S002	S002 m1	107,00	52,55	49,11%
S002	S002 m2	76,00	38,32	50,42%
S003	S003 m1	130,00	66,46	51,12%
S003	S003 m2	34,00	16,69	49,09%
S004	S004 m1	200,00	104,12	52,06%
S004	S004 m2	89,00	44,39	49,88%
S005	S005 m1	168,00	87,98	52,37%
S005	S005 m2	38,00	19,61	51,61%
S006	S006 m1	163,00	86,82	53,26%
S006	S006 m2	71,00	35,07	49,39%
S007	S007 m1	193,00	100,00	51,81%
S007	S007 m2	68,00	33,27	48,93%
S008	S008 m1	95,00	50,45	53,11%
S008	S008 m2	46,00	22,69	49,33%
S009	S009 m1	193,00	103,82	53,79%
S009	S009 m2	83,00	40,53	48,83%
S010	S010 m1	139,00	73,04	52,55%
S010	S010 m2	72,00	35,23	48,93%
S011	S011 m1	123,00	65,95	53,62%
S011	S011 m2	64,00	31,87	49,80%
S012	S012 m1	125,00	65,37	52,30%
S012	S012 m2	71,00	35,12	49,46%
S013	S013 m1	197,00	105,63	53,62%
S013	S013 m2	100,00	49,49	49,49%
S014	S014 m1	53,00	26,74	50,45%
S014	S014 m2	24,00	12,62	52,58%
S015	S015 m1	104,00	52,11	50,11%
S015	S015 m2	46,00	22,38	48,65%
S016	S016 m1	100,00	51,51	51,51%
S016	S016 m2	54,00	26,40	48,89%
S017	S017 m1	104,00	55,83	53,68%
S017	S017 m2	75,00	37,90	50,53%
S018	S018 m1	243,00	135,51	55,77%
S018	S018 m2	124,00	66,52	53,65%
S019	S019 m1	222,00	121,69	54,82%
S019	S019 m2	114,00	60,83	53,36%
S020	S020 m1	137,00	76,48	55,82%

Continuación

S020	S020 m2	77,00	41,02	53,27%
S021	S021 m1	91,00	50,19	55,15%
S021	S021 m2	54,00	28,68	53,11%
S022	S022 m1	188,00	100,92	53,68%
S022	S022 m2	72,00	36,75	51,04%
S023	S023 m1	133,00	71,54	53,79%
S023	S023 m2	49,00	25,33	51,69%
S024	S024 m1	213,00	101,45	47,63%
S024	S024 m2	106,00	47,90	45,19%
S025	S025 m1	216,00	104,33	48,30%
S025	S025 m2	145,00	65,20	44,97%
S026	S026 m1	302,00	152,55	50,51%
S026	S026 m2	212,00	100,10	47,22%
S027	S027 m1	141,00	69,35	49,18%
S027	S027 m2	49,00	23,34	47,63%
S028	S028 m1	143,00	68,75	48,08%
S028	S028 m2	96,00	44,38	46,23%
S029	S029 m1	195,00	94,70	48,56%
S029	S029 m2	130,00	61,05	46,96%
S030	S030 m1	290,00	158,73	54,73%
S030	S030 m2	152,00	80,87	53,20%
S031	S031 m1	173,00	75,45	43,61%
S031	S031 m2	127,00	69,29	54,56%
S032	S032 m1	130,00	68,35	52,58%
S032	S032 m2	129,00	65,35	50,66%
S033	S033 m1	371,00	200,55	54,06%
S034	S034 m2	291,00	151,99	52,23%
S034	S034 m1	207,00	112,52	54,36%
S035	S035 m2	142,00	74,55	52,50%
S035	S035 m1	71,00	38,58	54,34%
S036	S036 m1	40,00	21,10	52,75%
S037	S037 m1	48,00	24,10	50,21%
S038	S038 m1	43,00	17,69	41,14%
S039	S039 m1	69,00	35,63	51,64%
S040	S040 m1	54,00	24,85	46,02%
S041	S041 m1	74,00	37,23	50,31%
S042	S042 m1	73,00	36,42	49,89%
S043	S043 m1	98,00	50,33	51,36%
S044	S044 m1	89,00	43,57	48,96%
S045	S045 m1	159,00	77,66	48,84%
S045	S045 m2	89,00	41,57	46,71%
S046	S046 m1	198,00	101,24	51,13%
S046	S046 m2	76,00	35,33	46,49%
S043	S043 m1	152,00	75,91	49,94%
S043	S043 m2	65,00	30,14	46,37%

Continuación

S043	S043 m1	88,00	42,95	48,81%
S043	S043 m2	49,00	22,19	45,29%
S049	S049 m1	121,00	62,49	51,64%
S049	S049 m2	51,00	24,95	48,92%
S050	S050 m1	168,00	84,75	50,45%
S050	S050 m2	90,00	43,80	48,67%

ANEXO 6

CÁLCULO DE LA MATERIA SECA (%) EN LAS PROBETAS DE LOS TALLOS DE CAFETOS CON PODA

Código cafeto	Código probeta	PH (g)	PS (g)	%MS
C001	C001 A m1	124,00	64,98	52,40%
C001	C001 A m2	63,00	29,78	47,27%
C001	C001 B m1	109,00	56,57	51,90%
C001	C001 B m2	61,00	29,10	47,70%
C002	C002 A m1	46,00	24,56	53,39%
C002	C002 A m2	22,00	10,95	49,77%
C002	C002 B m1	82,00	44,20	53,90%
C002	C002 B m2	34,00	17,75	52,21%
C003	C003 A m1	55,00	28,02	50,95%
C003	C003 A m2	36,00	17,27	47,97%
C003	C003 B m1	50,00	26,89	53,78%
C003	C003 B m2	35,00	17,04	48,69%
C003	C003 C m1	155,00	85,25	55,00%
C003	C003 C m2	47,00	24,83	52,83%
C004	C004 A m1	61,00	31,83	52,18%
C004	C004 A m2	32,00	16,02	50,06%
C004	C004 B m1	76,00	36,65	48,22%
C004	C004 B m2	38,00	17,85	46,97%
C005	C005 A m1	64,00	36,04	56,31%
C005	C005 A m2	26,00	13,95	53,65%
C006	C006 A m1	108,00	52,10	48,24%
C006	C006 A m2	47,00	22,83	48,57%
C006	C006 B m1	53,00	27,90	52,64%
C006	C006 B m2	36,00	17,80	49,44%
C007	C007 A m1	57,00	29,51	51,77%
C007	C007 A m2	31,00	14,69	47,39%
C007	C007 B m1	53,00	28,58	53,92%
C007	C007 B m2	29,00	14,58	50,28%
C008	C008 A m1	72,00	39,54	54,92%
C008	C008 A m2	63,00	32,50	51,59%
C008	C008 B m1	115,00	65,37	56,84%

Continuación

C008	C008 B m2	43,00	20,91	48,63%
C009	C009 A m1	119,00	68,74	57,76%
C009	C009 A m2	86,00	45,51	52,92%
C009	C009 B m1	99,00	55,01	55,57%
C009	C009 B m2	53,00	26,38	49,77%
C010	C010 A m1	137,00	75,65	55,22%
C010	C010 A m2	89,00	47,10	52,92%
C010	C010 B m1	116,00	62,43	53,82%
C010	C010 B m2	77,00	43,57	56,58%
C011	C011 A m1	28,00	14,04	50,14%
C012	C012 A m1	41,00	21,03	51,29%
C013	C013 A m1	25,00	12,02	48,08%
C014	C014 A m1	28,00	12,51	44,68%
C015	C015 A m1	23,00	10,81	47,00%

ANEXO 7

CÁLCULO DE LA MATERIA SECA (%) EN LAS SUB MUESTRAS DE RAMAS DE CAFETOS

Código	PH (g)	PS (g)	% MS
S001	205	92,64	45,19%
S002	207	89,99	43,47%
S003	202	78,49	38,86%
S004	203	82,48	40,63%
S005	204	86,46	42,38%
S006	201	89,56	44,56%
S007	200	82,25	41,13%
S008	202	85,19	42,17%
S009	200	84,00	42,00%
S010	202	82,58	40,88%
S011	202	78,93	39,07%
S012	206	83,69	40,63%
S013	200	87,49	43,75%
S014	204	86,49	42,40%
S015	199	91,32	45,89%
S016	205	91,48	44,62%
S017	198	91,01	45,96%
S018	202	97,08	48,06%
S019	198	89,83	45,37%
S020	205	85,25	41,59%
S021	207	74,95	36,21%
S022	202	69,92	34,61%
S023	201	76,56	38,09%
S024	202	66,24	32,79%
S025	199	73,04	36,70%
S026	184	67,25	36,55%
S027	187	83,86	44,84%
S028	232	100,81	43,45%
S029	184	67,76	36,83%
S030	132	55,43	41,99%
S031	152	40,43	26,60%
S032	152	56,08	36,89%
S033	127	34,85	27,44%
S034	198	79,10	39,95%

Continuación

S035	213	81,24	38,14%
S036	192	69,01	35,94%
S037	149	62,56	41,99%
S038	141	57,77	40,97%
S039	154	59,20	38,44%
S040	192	72,95	37,99%
S041	246	89,79	36,50%
S042	247	86,30	34,94%
S043	248	89,42	36,06%
S044	247	82,22	33,29%
S045	249	89,39	35,90%
C001	200	95,62	47,81%
C002	198	82,79	41,81%
C003	201	84,91	42,24%
C004	200	83,89	41,95%
C005	202	93,07	46,07%
C006	155	57,66	37,20%
C007	155	61,37	39,59%
C008	198	79,99	40,40%
C009	181	73,1	40,39%
C010	156	66,66	42,73%
C011	230	66,27	28,81%
C012	149	39,46	26,48%
C013	120	35,46	29,55%
C014	143	55,87	39,07%
C015	149	44,45	29,83%

ANEXO 8

CÁLCULO DE LA MATERIA SECA (%) EN LAS SUB MUESTRAS DE HOJAS DE CAFETOS

Código	PH (g)	PS (g)	% MS
S001	201	54,37	27,05%
S002	200	57,73	28,87%
S003	204	48,21	23,63%
S004	200	46,83	23,42%
S005	198	45,75	23,11%
S006	200	46,20	23,10%
S007	201	48,08	23,92%
S008	200	50,18	25,09%
S009	200	47,97	23,99%
S010	200	45,18	22,59%
S011	204	59,57	29,20%
S012	200	62,91	31,46%
S013	201	61,00	30,35%
S014	200	58,80	29,40%
S015	201	51,78	25,76%
S016	200	55,88	27,94%
S017	207	62,73	30,30%
S018	200	78,43	39,22%
S019	208	62,63	30,11%
S020	206	66,04	32,06%
S021	200	39,90	19,95%
S022	202	38,88	19,25%
S023	202	44,64	22,10%
S024	202	58,57	29,00%
S025	203	51,77	25,50%
S026	199	45,28	22,75%
S027	203	52,03	25,63%
S028	203	48,94	24,11%
S029	199	48,77	24,51%
S030	204	49,19	24,11%
S031	190	55,10	29,00%
S032	202	47,25	23,39%
S033	205	46,11	22,49%

Continuación

S034	198	50,56	25,54%
S035	196	41,21	21,03%
S036	200	52,07	26,04%
S037	200	61,08	30,54%
S038	200	46,77	23,39%
S039	200	52,74	26,37%
S040	200	49,58	24,79%
S041	247	47,76	19,34%
S042	246	46,19	18,78%
S043	248	48,65	19,62%
S044	245	45,89	18,73%
S045	200	39,28	19,64%
C001	201	49,99	24,87%
C002	201	54,03	26,88%
C003	200	55,20	27,60%
C004	200	54,30	27,15%
C005	202	58,55	28,99%
C006	200	50,14	25,07%
C007	200	55,98	27,99%
C008	200	54,94	27,47%
C009	200	57,17	28,59%
C010	200	55,07	27,54%
C011	212	42,44	20,02%
C012	198	41,53	20,97%
C013	201	38,76	19,28%
C014	198	46,01	23,24%
C015	205	40,45	19,73%

