

**Universidad de El Salvador**  
**Facultad de Ciencias Agronómicas**  
**Dirección de Investigación**

**NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN.**

Desarrollo de ecuación alométrica para estimar carbono en café (*Coffea arabica* L.) de media altura en el Municipio de Comasagua, Cordillera del Bálsamo, El Salvador.

**TÍTULO A OBTENER:** Ingeniero Agrónomo.

**AUTORES.**

<b>Nombre, apellido y formación académico.</b>	<b>Dirección</b>	<b>Teléfono y Correo electrónico</b>	<b>Firma</b>
Br. Rafael Arturo Marroquín Castro	Col. San Antonio #2, Calle Acrópolis Block "K" # 8, San Marcos, San Salvador.	<a href="mailto:mc11134@ues.edu.sv">mc11134@ues.edu.sv</a>	
Br. Rigoberto Antonio Urías Fernández	Col. Mancia, Pasaje J Casa # 8 Puerto El Triunfo, Usulután.	<a href="mailto:uf12001@ues.edu.sv">uf12001@ues.edu.sv</a>	
Br. José Arnoldo Sánchez Hernández	Calle Principal, B ° San José, Concepción Quezaltepeque, Chalatenango.	<a href="mailto:arnher16@gmail.com">arnher16@gmail.com</a>	
Ing. Agr. M. Sc. Juan Rosa Quintanilla Quintanilla	Universidad de El Salvador Facultad de Ciencias Agronómicas.	<a href="mailto:juan.quintanilla@ues.edu.sv">juan.quintanilla@ues.edu.sv</a>	
M. Sc. Ada Yanira Arias de Linares.	Universidad de El Salvador Facultad de Ciencias Agronómicas.	<a href="mailto:yani_linares@hotmail.com">yani_linares@hotmail.com</a>	
Lic. Daniel de Jesús Palacios Hernández	Universidad de El Salvador Facultad de Ciencias Agronómicas.	<a href="mailto:daniel.palacios@ues.edu.sv">daniel.palacios@ues.edu.sv</a>	

**VISTO BUENO:**

Coordinador General de Procesos de Graduación del Departamento: Ing. Agr. M. Sc. Nelson Bernabé Granados Alvarado	Firma:
Director general de Procesos de Graduación de la Facultad: Ing. Agr. Enrique Alonso Alas García	Firma:
Jefe del Departamento: Ing. Agr. M. Sc. José Mauricio Tejada Asencio.	Firma:
Sello:	
Lugar y fecha: Ciudad Universitaria, septiembre de 2020.	

## **NOMBRE DE LA INVESTIGACION:**

Desarrollo de ecuación alométrica para estimar carbono en café (*Coffea arabica* L.) de media altura en el Municipio de Comasagua, Cordillera del Bálsamo, El Salvador.

**AUTORES:** Marroquín-Castro R.A.<sup>1</sup>, Sánchez-Hernández J.A.<sup>1</sup>, Urías-Fernández R.A.<sup>1</sup>, Quintanilla-Quintanilla J.R.<sup>2</sup>, Arias de Linares A.Y.<sup>2</sup>, Palacios-Hernández D.J.<sup>2</sup>

## **RESUMEN.**

La investigación, se realizó en cuatro fincas del municipio de Comasagua, departamento de La Libertad, en la zona de media altura de los 800 a 1,200 metros sobre el nivel del mar; durante el periodo de agosto de 2018 a febrero 2020. El objetivo principal fue desarrollar una ecuación alométrica para estimar la biomasa y el carbono de las plantas de café. El método aplicado fue el destructivo para realizar el levantamiento de información de campo; este consistió en seccionar cada uno de los 72 arbustos en sus partes principales: raíz, tocón, rebrotes, bandolas, hojas, flores y frutos, según su fenología. Los análisis de humedad parcial y densidad específica de madera se realizaron en el Laboratorio de Química Agrícola y el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El registro y manejo de datos dasométricos y de laboratorio, se realizó en la aplicación Open Data Kit® (ODK®), en esta se diseñó un formulario para registrar las variables: altura total de la planta, altura de rebrotes, altura de tocón, diámetro a 15 centímetros del tocón, diámetro a la base de los rebrotes, peso húmedo y peso seco de las secciones. Para el análisis de laboratorio se tomó una sub muestra de cada sección para determinar la humedad parcial, y densidad específica de madera para tocón y rebrotes. El análisis estadístico se realizó en el software IBM SPSS® Statistics 23 y Excel® con el complemento estadístico XLSTAT® 2019. Se realizaron diferentes pruebas para comprobar la normalidad de las variables. Mediante análisis de regresión se desarrollaron diferentes análisis combinando la variable dependiente e independiente, hasta lograr un modelo que se ajuste o describa el fenómeno estudiado. La biomasa seca arriba del suelo está compuesta por el tocón más rebrotes, bandolas, hojas, flores y frutos. La variable dependiente en el modelo para tocón fue la biomasa seca en kilogramos y las variables independientes fueron el diámetro a 15 centímetros de la base y la altura en metros; para el modelo de rebrotes se relacionaron las variables biomasa seca de rebrotes más bandolas y hojas en kilogramos y el diámetro de la base en centímetro. Se obtuvieron como resultado dos modelos de regresión de potencia el de tocón con un  $R^2 = 0.692$  y un P-valor igual a  $10 \times 10^{-5}$ . El de rebrotes con un  $R^2 = 0.914$  y un P-Valor igual a  $10 \times 10^{-5}$ . Esto mediante la verificación del gráfico de regresiones y el resumen de ajuste de los modelos.

**Palabras claves:** Ecuación alométrica, café, biomasa, carbono, densidad gravimétrica, modelo alométrico, factor de forma, carbono fijado, CO<sub>2</sub> fijado.

---

<sup>1</sup> Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Estudiantes tesistas.

<sup>2</sup> Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamentos de Fitotecnia, Química Agrícola y Recursos Naturales y Medio ambiente, Docentes asesores.

**NAME OF RESEARCH:**

Development of an allometric equation to estimate carbon in coffee (*Coffea arabica* L.) of medium height in the Municipality of Comasagua, Cordillera del Bálsamo, El Salvador

**AUTHORS:** Marroquín-Castro R.A.<sup>3</sup>, Sánchez-Hernández J.A.<sup>1</sup>, Urías-Fernández R.A.<sup>1</sup>, Quintanilla-Quintanilla J.R.<sup>2</sup>, Arias de Linares A.Y.<sup>2</sup>, Palacios-Hernández D.J.<sup>2</sup>

**ABSTRACT.**

The investigation was carried out in four farms in the municipality of Comasagua, department of La Libertad, in the mid-altitude area of 800 to 1,200 meters above sea level; during the period from august 2018 to february 2020. The main objective was to develop an allometric equation to estimate the biomass and carbon of coffee plants. The applied method was the destructive one to carry out the field information survey; this consisted of sectioning each of the 72 shrubs into their main parts: root, stump, sprouts, bandolas, leaves, flowers and fruits, according to their phenology. The analyzes of partial humidity and specific wood density were carried out in the Agricultural Chemistry Laboratory and the Soil Laboratory of the Faculty of Agronomic Sciences, University of El Salvador. The registration and management of dasometric and laboratory data was carried out in the Open Data Kit® (ODK®) application, in which a form was designed to record the variables: total height of the plant, height of sprouts, stump height, diameter a 15 centimeters from the stump, diameter at the base of the shoots, wet weight and dry weight of the sections. For the laboratory analysis, a sub-sample was taken from each section to determine the partial humidity, and specific wood density for stumps and sprouts. The statistical analysis was performed in the IBM SPSS® Statistics 23 software and Excel® with the statistical complement XLSTAT® 2019. Different tests were performed to verify the normality of the variables. Through regression analysis, different analyzes were developed combining the dependent and independent variable, until a model was achieved that fits or describes the phenomenon studied. The above-ground dry biomass is composed of the stump plus sprouts, bandolas, leaves, flowers and fruits. The dependent variable in the model for stump was the dry biomass in kilograms and the independent variables were the diameter at 15 centimeters from the base and the height in meters; for the sprout model, the variables of sprout dry biomass plus bandolas and leaves were related in kilograms and the diameter of the base in centimeter. As a result, two power regression models were obtained: the stump one with  $R^2 = 0.692$  and a P-value equal to  $10 \times 10^{-5}$ . The one of regrowth with an  $R^2 = 0.914$  and a P-Value equal to  $10 \times 10^{-5}$ . This by verifying the regression graph and the summary of fit of the models.

**Key words:** Allometric equation, coffee, biomass, carbon, gravimetric density, allometric model, form factor, fixed carbon, fixed CO<sub>2</sub>.

---

<sup>1</sup> Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Estudiantes tesistas.

<sup>2</sup> Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamentos de Fitotecnia, Química Agrícola y Recursos Naturales y Medio ambiente, Docentes asesores.

## **1. INTRODUCCIÓN.**

El café en El Salvador se encuentra zonificado por elevación como café de bajo, media altura y estricta altura (Arévalo y Méndez 2011), la zonificación por regiones, se encuentra dividida en seis cordilleras: Apaneca-Illamatepec, Alotepec-Metapán, Bálsamo-Quezaltepec, Chinchontepec, Tecapa-Chinameca y Cacahuatique (CSC 2017). Con un área cultivada de 174,833.51 ha en total, lo cual representa el 8.29% de la cobertura de bosque de café a nivel nacional (MARN 2018).

El cambio climático, según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, se define como el “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo” (Benavides y León 2007).

De 2005 a 2010, en la biomasa forestal el carbono ha disminuido, debido a la pérdida de bosques (Ruiz *et al.* 2014). La biomasa es la capacidad existente en los diferentes componentes de los ecosistemas para acumular o almacenar materia orgánica en diferentes periodos de tiempo (Cuenca *et al.* 2014). Los inventarios de carbono en cafetales son estimaciones que permiten ilustrar el potencial de los cafetales arbolados como sumideros de Carbono (Filho y Abarca 2008). Fisiológicamente la asimilación fotosintética de CO<sub>2</sub>, es el primer paso para la producción de nueva biomasa (Azcón-Bieto y Talón 2000).

Los modelos alométricos ayudan al cálculo de la biomasa de grandes áreas forestales (Solano *et al.* 2014). El método más accesible para obtener una estimación de la biomasa de un árbol consiste en utilizar la relación existente entre el diámetro del árbol y de la biomasa. En este nivel las ecuaciones entran en juego. La alometría estudia las relaciones de las características dimensionales de los individuos en una población (Sola *et al.* 2012). En este contexto, existen dos métodos para medir y estimar la biomasa arbórea sobre el suelo: el método directo y el indirecto (Rügnitz *et al.* 2009).

El objetivo del estudio fue desarrollar una ecuación alométrica para estimar el carbono almacenado en plantaciones de café de la zona de media altura 800 a 1200 msnm del municipio de Comasagua, departamento de La Libertad, en El Salvador. Aplicando principios de dasimetría y alometría como herramientas para el desarrollo de modelos utilizados para estimar biomasa y carbono en plantaciones de bosques de café bajo sombra.

## **2. MATERIALES Y METODOS.**

### **2.1. Ubicación espacial.**

La investigación, se realizó en cuatro fincas, ubicadas en el municipio de Comasagua, departamento de La Libertad, sobre la Cordillera del Bálsamo. Comasagua cuenta con un área de 3,141.07 hectáreas cultivadas de café bajo sombra de media altura de 800 – 1200 msnm, que equivale a 42.7% del área total; punto de referencia geográfica 13° 38' 16.3" N y -89° 22' 38.2" W, con pendiente promedio de 55%. Ubicada a 21 kilómetros de la ciudad de San Salvador. Delimita al norte con Talnique, este con Santa Tecla, sur con La Libertad y al oeste con Tamanique.

## 2.2. Caracterización Climática.

Temperatura máxima de 22 °C, la mínima de 19 °C, una precipitación anual de 1800 mm, y humedad relativa del 80 %.

## 2.3. Metodología de campo.

La metodología de muestreo de campo se adaptó de Castellanos *et al.* (2010), Andrade y Segura (2008) y Picard *et al.* (2012). Para el desarrollo del modelo de estimación de biomasa se utilizó el método destructivo; consistió en seccionar cada individuo en sus partes principales, en este caso raíz, tocón, rebrotes, bandola y hojas. El procedimiento fue el siguiente:

- Visitas de campo con los coordinadores de la zona de estudio, con el personal de unidad ambiental de la alcaldía y personal del Consejo Salvadoreño del Café (CSC).
- Se desarrolló una planificación de los posibles lugares de muestreo con ArcGis® versión 10.3 Según la cartografía oficial del Centro Nacional de Registro (CNR). Los puntos de muestreo fueron distribuidos aleatoriamente.
- Con las coordenadas de los diferentes puntos se realizó otra visita para establecer día de trabajo en cada una de las fincas cafetaleras.
- Con los puntos cargado en un GPS Garmin® Modelo 78 se localizaron uno a uno los sitios de muestreo, previamente se codificaron.
- Mediante un análisis visual de la zona en el punto de muestro, se seleccionaron individuos que no tuviera rasgos atípicos que generan errores en las mediciones.
- Se realizó una descripción general del lugar como manejo de la finca, topografía, pendiente y orientación topográfica.
- Las variables medidas en campo se registraron en un formulario digital diseñado en la plataforma ODK® Build.
- Los individuos se ubicaron por medio de la coordenada GPS, determinada al azar en el software ArcGis®, además se utilizó un mapa cartográfico de la zona donde se realizó el muestreo y el registro de datos.
- Se midieron las variables altura total altura de tocón, altura de rebrotes, diámetro a 15 cm de altura y diámetro a la base de rebrotes utilizando cinta diamétrica, cinta métrica y vernier.
- Luego de registrar las variables dasométricas, se continuó con el seccionamiento de cada individuo sus partes, raíz, tocón, tallo, bandolas, hojas, flores y frutos. Estas dos últimas variables se tomaron dependiendo el estado fenológico de los cafetos.
- Se extrajo la raíz de los individuos utilizando palín y bieldo.
- Luego se pesó en balanza analítica, cada uno de los elementos seccionados y se registraron estos pesos en el formulario Open Data Kit®.
- Se tomaron muestras de cada elemento, para el respectivo análisis de laboratorio, cada muestra fue etiquetada con el número correlativo, código, fecha, tipo de sección y lugar.
- Las muestras tomadas se colocaron en sobres de papeles manila debidamente etiquetados y se transportados en una caja para evitar pérdidas o deterioro.

### 2.3.1. Definición de ecosistemas.

El ecosistema seleccionado fue café bajo sombra, que se sitúa entre los 800 y 1200 msnm, donde se desarrolla el cultivo que se denomina café de media altura, en dichas zonas se cultivan variedades como: Borbón, Pacamara, Pacas, Catuai, entre otras de la especie arábica. Por ser plantaciones permanentes las edades varían y se realizan diferentes manejos agronómicos.

### 2.3.2. Determinación del tamaño de muestra.

El muestreo se basó en la metodología del Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles de Picard *et al.* (2012), que indica el procedimiento del método destructivo (figura A 1), para la recolección de datos y muestras; en el estudio de línea base de carbono en cafetales de Castellanos *et al.* (2010), se muestreo el 10% del área total cultivada con café, para ello se utilizaron un total de 72 individuos, para desarrollar el modelo alométrico. Por lo tanto, se consideró el criterio técnico de los autores antes mencionados y se determinó un total de 72 individuos de distintas variedades distribuidos, en la zona de media altura del municipio de Comasagua.

### 2.3.3. Selección de individuos por muestreo.

Se seleccionaron arbustos de café de 5 años en adelante, plantas recepadas (con tocón), distribuidas por rango de elevaciones a cada 100 msnm, definiendo cuatro diferentes zonas.

### 2.3.4. Medición, corte y estimación de biomasa por árbol.

Una vez seleccionado la planta por cortar; se midió la altura de tocón a 15 cm de la base, altura total de la planta, altura total de los rebrotes, diámetro de la base de los rebrotes y el diámetro a  $\frac{2}{3}$  de altura. Los diámetros se registraron utilizando cinta diamétrica y la altura con cinta métrica. Se cortaron todas las secciones en el siguiente orden: frutos, flores, hojas, bandolas, rebrotes, tocón y raíz. Teniendo el cuidado de recuperar en su totalidad cada sección.

Se procedió a pesar la raíz, tocón, rebrotes, bandolas y hojas, para registrar la biomasa húmeda en una balanza digital de una precisión  $\pm 1$  g. Luego se procedió a tomar una sub muestra de aproximadamente 100 g de cada sección, adicionalmente se tomaron muestras para determinar la densidad específica de la madera de tocón y rebrotes; para almacenarse en bolsas de papel Kraft. Cada una de estas sub muestras se les asignó un código para su identificación y manejo en laboratorio.

Cuadro 1. Codificación de muestras.

Código	Sección
H_FSA_A02A	HOJA
B_FSA_A02A	BANDOLA
FR_FSA_A02A	FRUTO
FL_FSA_A02A	FLOR
To_FSA_A02A	TOCÓN
top_FSA_A02A	TOCON
T_FSA_A02A	DENSIDAD
Tp_FSA_A02A	TALLO
R_FSA_A02A	TALLO
	DENSIDAD
	RAIZ

Estas sub muestras se utilizaron para estimar la biomasa seca de cada sección de la planta (ecuación 1).

$$B = \frac{P_f \times M_s}{100} \quad (1)$$

Donde:

*B*: biomasa

*P<sub>f</sub>*: peso fresco (Kg)

*M<sub>s</sub>*: materia seca %

#### 2.4. Metodología de laboratorio.

Se determinó el contenido de humedad de la biomasa para poder estimar el peso seco; se requirió 100 g de muestra. Esto se hizo mediante el secado en horno de convección de todas las muestras de biomasa viva colectadas. El secado según Andrade y Segura (2008) a una temperatura media de 60°C hasta llegar a un peso constante.

Estas muestras siguieron el siguiente proceso:

- Se tomaron 9 sub muestras de biomasa verde por planta.
- Se pesaron la muestra para obtener peso húmedo (PH). Aproximadamente 100 g en balanza semi-analítica.
- Se calentó el horno a 60 °C y se colocaron las muestras por 72 horas hasta obtener un peso constante determinado mediante pesajes periódicos. Y así evitar dejar residuos de humedad y no provocar oxidación de las muestras.
- Las sub muestras se colocaron en bolsas de papel Kraft etiquetadas en el horno.
- Se retiraron las muestras del horno y se colocaron en desecador por 30 minutos y posterior mente se pesaron balanza semi-analítica. Para así conocer la pérdida de peso (ecuación 2).
- Conociendo el peso inicial de madera y el de madera más parafina por diferencia, se determina el peso únicamente de la parafina.
- Finalmente, La gravedad específica es el peso de un bloque de madera secado al horno dividido entre el peso de un volumen de agua desplazada (Panshin y Zeeuw 1970).
- Calculo de humedad:

$$H\% = \frac{PH - PS}{PS} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

*H%*: Porcentaje de humedad.    *PH*: Peso humedad de la muestra.    *PS*: Peso seco de la muestra

##### 2.4.1. Densidad de madera.

Para la determinación de la densidad específica de madera se realizaron los siguientes pasos: Se seleccionaron muestras de tallo y de tocón, se determinó la humedad parcial, se parafinó cada trozo de tocón y rebrote sin corteza, se sumergía en un vaso de eureka que contenía agua a temperatura ambiente, con la ayuda de una pesa, ya que la madera tiende a flotar y el vaso de eureka se utilizó para medir el volumen desplazado de un cuerpo sumergido.

Cálculo de la densidad:

$$V_p = \rho_p * m_p \quad (3)$$

$$V_m = V_{m+p} - V_p \quad (4) \quad \rho_m = \frac{M_m}{V_m} \quad (5)$$

Donde:

$V_p$ : Volumen desplazado por la parafina

$\rho_p$ : Densidad de la parafina

$m_p$ : Masa de la parafina

$V_m$ : Volumen de madera

$V_{m+p}$ : Volumen de madera + parafina

$\rho_m$ : densidad de la madera ( $g * cm^{-3}$ )

$M_m$ : Masa de madera

## 2.5. Factor de forma de rebrotes.

Se determinó el factor de forma de rebrotes, este factor permite estimar volúmenes de madera con más precisión. El volumen total se define como la cantidad de madera estimada en metros cúbicos a partir del tocón hasta el ápice de un árbol. Para determinar el factor de forma se utilizó la ecuación de volumen de Smalian para un paraboloide (CARDER 2013) (ecuación 6).

$$V = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times \left(\frac{D_1^2 + D_2^2}{2}\right) \times h \times F_f \quad (6)$$

Para determinar el factor de forma de un fuste cualquiera se realiza a través del volumen real del fuste y el de un sólido de igual base o diámetro (ecuación 7) (CARDER 2013), para el caso del café se determinó de la siguiente manera:

$$F_f = \frac{\text{Volumen real del rebrote}}{\text{Volumen del cilindro}}$$

$$F_f = \frac{\pi/4 \times \left(\frac{Dm^2 + dm^2}{2}\right) \times h + \pi/4 \times \left(\frac{Dm^2 + dm^2}{2}\right) \times h}{\pi/4 \times DAB^2 \times h} \quad (7)$$

Donde:

$Dm^2$ : Diámetro mayor al cuadrado

$dm^2$ : Diámetro menor al cuadrado

$h$ : Altura

$DAB$ : Diámetro a la altura de base.

## 2.6. Metodología estadística.

Para el análisis e interpretación estadística de las variables cuantitativas se consideró la media, el coeficiente de variación, el P-Valor o significancia, ANVA,  $R^2$  y error. La interpretación del coeficiente de variación se hizo según Bonilla (1993) (cuadro A 1). Las variables analizadas e interpretadas con el coeficiente de variación fueron el porcentaje de humedad de las secciones, factor de forma de los rebrotes y densidad específica de madera determinada a tocones y rebrotes.

Los análisis estadísticos de regresión se realizaron con el programa estadístico IBM SPSS® versión 23 y Excel® con el complemento estadístico XLSTAT® 2019, las variables analizadas fueron el diámetro de la base a 15 cm ( $DAB$  a 15 cm), altura de tocones ( $h_{to}$ ), biomasa seca de tocones, altura total de rebrotes ( $h$ ), biomasa seca de rebrotes (Incluyendo biomasa seca de hojas y bandolas) y diámetro de la base de los rebrotes ( $DAB$ ).

La interpretación de los modelos de regresión se realizó mediante el coeficiente de correlación de Pearson en los que explica en una escala de 0 – 1, tanto en dirección positiva como negativa

(Bonilla 1992). Un valor de 0 que no hay relación lineal entre las variables. Un valor de 1 'o -1 indica una correlación positiva o negativa perfecta entre los valores, normalmente el valor se ubica entre 0 y 1 o entre -1 y 0 (Pacheco 1994).

Para verificar que las variables cumplan con una distribución normal o una distribución ideal teórica se utilizó el gráfico P-P normal. Es un método gráfico para el diagnóstico de diferencias entre la distribución de probabilidad de una población de la que se ha extraído una muestra aleatoria y una distribución usada para la comparación. Una forma básica de gráfico surge cuando la distribución para la comparación es una distribución teórica. Se grafican las funciones cuantiles muestrales versus los teóricos de la distribución normal, si el conjunto de datos es razonablemente normal los puntos del grafico estarán sobre una recta.

Para los coeficientes de los modelos, se tomaron significativos aquellos que su P-valor es mayor a 0.05 y la hipótesis alterna lo más cercano a  $1 \times 10^{-5}$ . Se realizó un análisis general de las variables para todos los modelos de regresión, se combinaron variables y se hizo un análisis grafico para identificar datos extremos y observar cual curva presenta un coeficiente "r" de Pearson y un R<sup>2</sup> mayor. Se dividió la variable de biomasa en dos (tocón y rebrotes), ya que no fue posible realizar en conjunto el análisis preciso para un solo modelo y obtener un R<sup>2</sup> significativo. Por lo tanto, se desarrollaron dos modelos alométricos de biomasa para las diferentes secciones.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 3.1. Resumen de datos obtenidos por finca en estudio.

En el cuadro 2, se detallan los resultados obtenidos en el muestreo de campo organizado por fincas. En total fueron 72 plantas: 26 en Finca San Antonio, 28 Finca Germania, 12 Finca Las nubes y 6 Finca el Faro. También se muestran los valores máximos y mínimos de las variables altura total promedio, altura promedio de tocón, promedio del diámetro a 15 cm de la base, altura promedio de rebrotes, promedio del diámetro de la base de rebrotes, toneladas de carbono y CO<sub>2</sub> fijado por hectárea, promedio de biomasa seca total y área por fincas.

Cuadro 2.Resultados obtenidos por finca.

FINCAS	Código	N	Promedio de altura (m)	Altura promedio de tocón (m)	Promedio de diámetro de la base de tocón. (cm)	Promedio de altura rebrotes (m)	Diámetro de la base del rebrote (cm)	Biomasa Total (Kg)	Área (ha)
<b>SAN ANTONIO</b>	FSA	26	2.16	0.34	6.2	1.28	2.21	2.50	209
<b>GERMANIA</b>	FG	28	1.63	0.16	6.6	1.32	2.87	2.11	209
<b>LAS NUBES</b>	LN	12	2.25	0.33	6.0	1.21	1.89	1.73	419
<b>EL FARO</b>	FF	6	2.57	0.36	4.9	1.21	1.91	2.03	61.5
<b>TOTAL</b>		72							898.5

### 3.2. Porcentaje de humedad por sección.

Se obtuvieron los siguientes resultados de humedad (figura 1): Hojas 64.51%, en ellas se produce el intercambio gaseoso y diferentes procesos bioquímicos y representa la parte turgente de la planta. Seguido de las bandolas con 45.98% aquí desarrolla la floración y fructificación. Tallo con 43.19% en el que se presentan los tejidos conductores floema y xilema, tocón con 39.81 % y finalmente la raíz 39.08 % estos últimos tejidos leñosos.

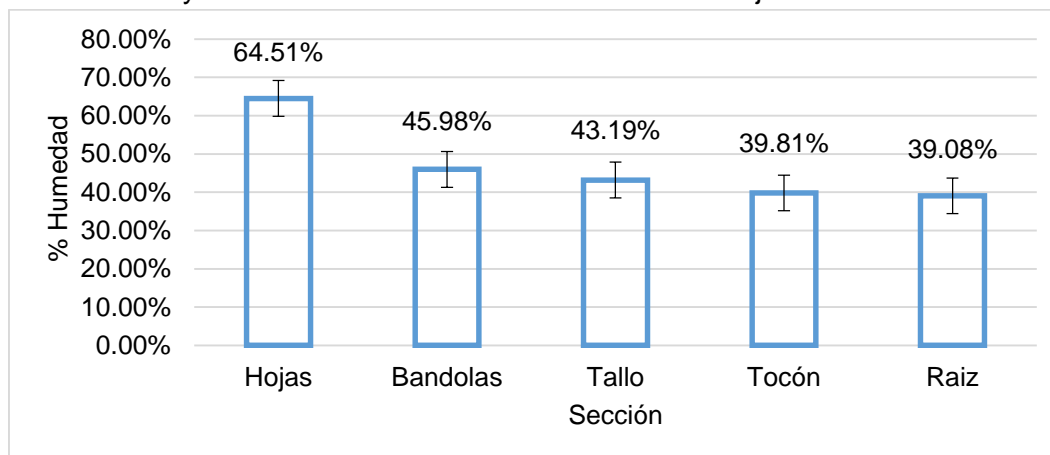


Figura 1. Porcentaje de humedad por sección.

El coeficiente de variación de la humedad por secciones se analizó según Bonilla (1993) para interpretar el grado de representatividad de la media aritmética para distintos coeficientes de variabilidad (cuadro 3 y A 1), lo que indica que las medias son representativas de los datos y existe homogeneidad. Con estos porcentajes de humedad se estimó la biomasa seca total de cada sección de las plantas de café.

Cuadro 3. Medidas resumen para la humedad por sección.

VARIABLE	N	MEDIA	D. E.	CV	MÍN.	MÁX.
%H_HOJAS	72	64.51	5.97	9.25*	41.50	75.40
%H_BANDOLAS	72	45.98	7.38	16.05**	23.90	57.95
%H_TALLO	72	43.19	5.90	13.67**	29.20	51.21
%H_TOCÓN	72	39.81	4.25	10.67**	25.26	55.09
%H_RAÍZ	72	39.08	10.20	26.11***	18.00	63.40

\*Media altamente representativa (entre 0% y 10%).

\*\*Media bastante representativa (entre 10% y 20%).

\*\*\*Media tiene representatividad (entre 20% y 30%).

### 3.3. Biomasa seca por sección.

Se determinó que la raíz representa un 32.93% de la biomasa seca total (figura 2). Castellanos *et al.* (2010) en el estudio de línea base de Carbono en cafetales realizado en Guatemala reporta que un 26.6% de la biomasa seca total lo representa la raíz. Teniendo una diferencia de 6.33%, con respecto a los datos obtenidos.

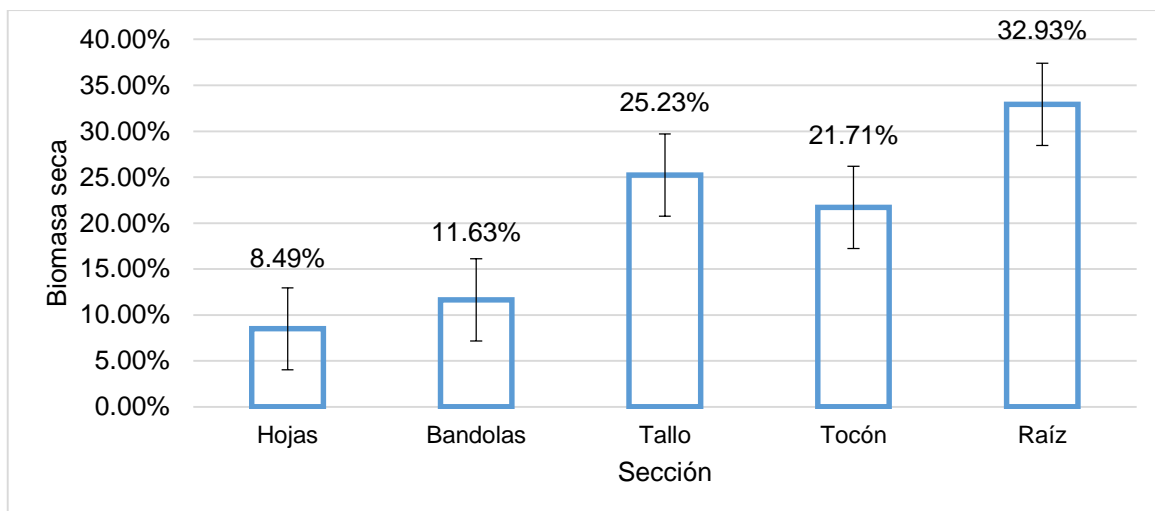


Figura 2. Porcentaje promedio de peso de biomasa por sección.

### 3.4. Carbono y dióxido de carbono fijado por sección.

La figura 3 muestra el contenido promedio de carbono y dióxido de carbono fijado en las diferentes secciones de una planta de café expresado en porcentaje. En la raíz es donde se fija la mayor cantidad de C y CO<sub>2</sub>, Castellanos *et al.* 2010 reporta que el 21% de Carbono se fija en la raíz. Y en el estudio realizado se encontró un porcentaje de 33.11% una diferencia de 12.10%, para carbono y dióxido de carbono. El carbono y el CO<sub>2</sub> se estimaron según el IPCC 2006. Las principales diferencias de contenido de carbono y CO<sub>2</sub> fijado se dan por el manejo agronómico, estado fenológico y la edad de las plantas.

Con el procesamiento total de las muestras de cada una de las plantas con sus diferentes resultados en base seca se utiliza un factor de conversión que ha desarrollado el Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC 2006) el cual afirma que la fracción de Carbono en la biomasa seca total es del 47 %. El resultado final se expresa en  $Kg/planta$  o  $Tn ha^{-1}$ .

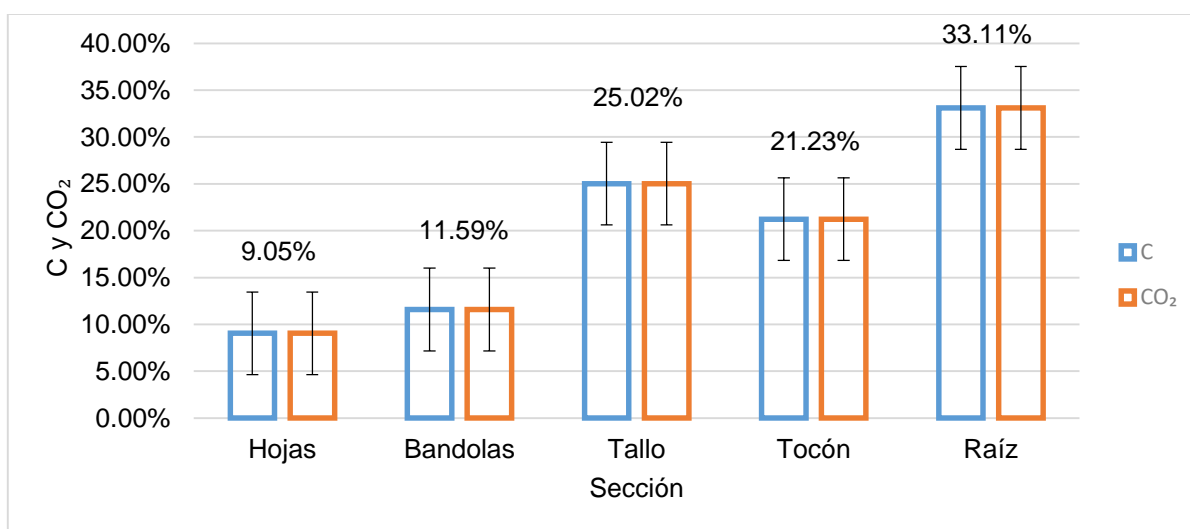


Figura 3. Porcentaje promedio de carbono y dióxido de carbono fijado por sección.

### 3.5. Densidad de madera.

El coeficiente de variación del factor de forma de rebrotes y de la densidad de específica de madera se analizó según Bonilla (1993) para interpretar el grado de representatividad de la media aritmética para distintos coeficientes de variabilidad (cuadro A 1), lo que indica que las medias son representativas de los datos y existe homogeneidad. El factor de forma para rebrotes fue de 0.50, CARDER (2013) reporta que el factor de forma para un tallo con forma de paraboloide puede ser  $0.74 \geq f \geq 0.40$ , por tanto, el factor encontrado está dentro de este rango. En cuanto a la densidad específica de madera para café, MARN (2018) reporta un valor de  $0.62 \text{ g cm}^3$ , el valor promedio determinado para rebrotes y tocón (cuadro 4) fue de  $0.795 \text{ g cm}^3$ , existiendo una diferencia de  $0.175 \text{ g cm}^3$ .

Cuadro 4. Resumen densidad de madera.

Variable	N	Media	D.E	E.R	CV	Mínimo	Máximo
Factor de forma	197	0.50	0.09	0.01	17.81**	0.34	0.81
$\rho_{\text{tallo}} \text{ g cm}^{-3}$	75	0.80	0.04	4.6E <sup>-03</sup>	5.00*	0.70	0.88
$\rho_{\text{tocón}} \text{ g cm}^{-3}$	75	0.79	0.04	4.6E <sup>-03</sup>	4.84*	0.63	0.90

\*Media altamente representativa (entre 0% y 10%).

\*\*Media bastante representativa (entre 10% y 20%).

### 3.6. Modelo alométrico para plantas de café de media altura.

Se colectaron un total de 72 plantas de café, distribuidas en cuatro fincas cafetaleras de media altura. Todas las plantas evaluadas se encontraron en diferentes estados fenológicos, por lo cual solo se incluyó la biomasa seca arriba del suelo en kilogramos del tocón, rebrotes, bandolas y hojas en el análisis de regresión. La biomasa seca de raíz se incluyó como porcentaje de la biomasa seca total arriba del suelo. Por ser plantas recepadas no fue posible realizar un solo modelo alométrico. Razón por la que se desarrollaron dos modelos; uno para tocón y otro para rebrotes que incluye la biomasa de bandolas y hojas.

#### 3.6.1. Modelo alométrico para tocón.

El modelo alométrico desarrollado para tocón, se realizó con la variable dependiente biomasa seca en kilogramos de 72 tocones y el producto de las variables regresoras: diámetro de la base a 15 cm elevado al cuadrado multiplicado por la altura de los tocones en metros. Gould (1979) citado por Picard *et al.* (2012) enfatiza en que los modelos utilizados que permiten hacer mejores estimaciones de biomasa seca son los modelos de potencia. Esto será el punto de partida para la exploración gráfica de los datos y selección del modelo que mejor se ajuste.

Con el software IBM SPSS® Statistics versión 23.0 2014 se realizó la exploración gráfica de los modelos de regresión. Se observó, que el modelo que mejor se ajustó es el de potencia. Por lo antes expuesto y por los resultados obtenidos se eligió este modelo, ya que se conoce como una relación alométrica y es el que mayor  $R^2$  presento en la evaluación gráfica.

Castellanos *et al.* (2010) en el estudio de línea base de carbono en cafetales realizado en Guatemala, desarrolló un modelo de potencia con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.70, que relaciona la biomasa seca en kilogramos con el producto del diámetro de la base a 15 cm elevado al cuadrado multiplicado por la altura de tocón en metros (figura 4) (ecuación 9).

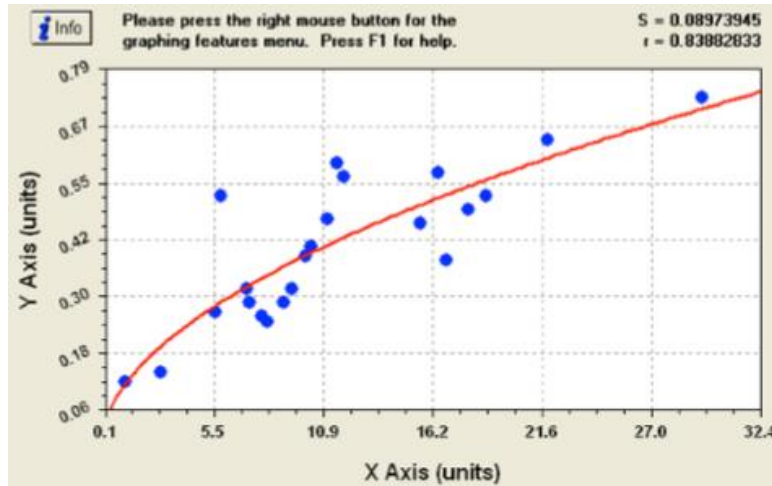


Figura 4. Análisis gráfico del modelo de potencia de Castellanos *et al.* (2010) para tocones.

$$\text{Ecuación del modelo: } y = 0.1124X^{0.5435} \quad R^2 = 0.70 \quad (9)$$

El modelo alométrico de potencia desarrollado (figura 5) (ecuación 10), obtuvo un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.692, (Cuadro A 2) lo que significa que el modelo describe una proporción del 69.2% de la variación total observada de la variable dependiente explicada por el modelo, existiendo una diferencia de 0.008 %, con un nivel de significancia de 95%.

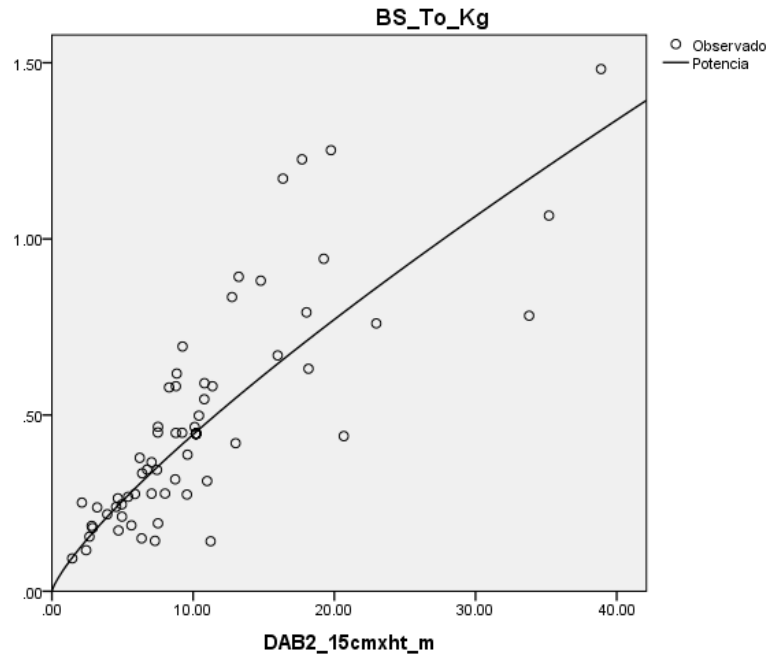


Figura 5. Relación de la biomasa seca de los tocones (eje Y) y el DAB2 a 15 cm \* ht\_m (eje X).

$$B_{\text{tocón}} = 0.071X^{0.794} \quad (10)$$

Donde:

$B_{\text{tocón}}$  = biomasa seca (Kg)  
a: 0.071 (Constante)

X:  $DAB^2_{15 \text{ cm}} * ht_m$   
b: 0.794 (Coeficiente de regresión)

El análisis de varianza indica que estadísticamente las constantes del modelo son significativas (cuadro A 3) con un intervalo de confianza del 95%. En el cuadro A 4 se resume la significancia de los coeficientes propiamente dichos. Así mismo, se comprobó mediante la gráfica P-P normal que los datos de la variable independiente biomasa seca en kilogramos, cumplan con una distribución normal (figura 6).

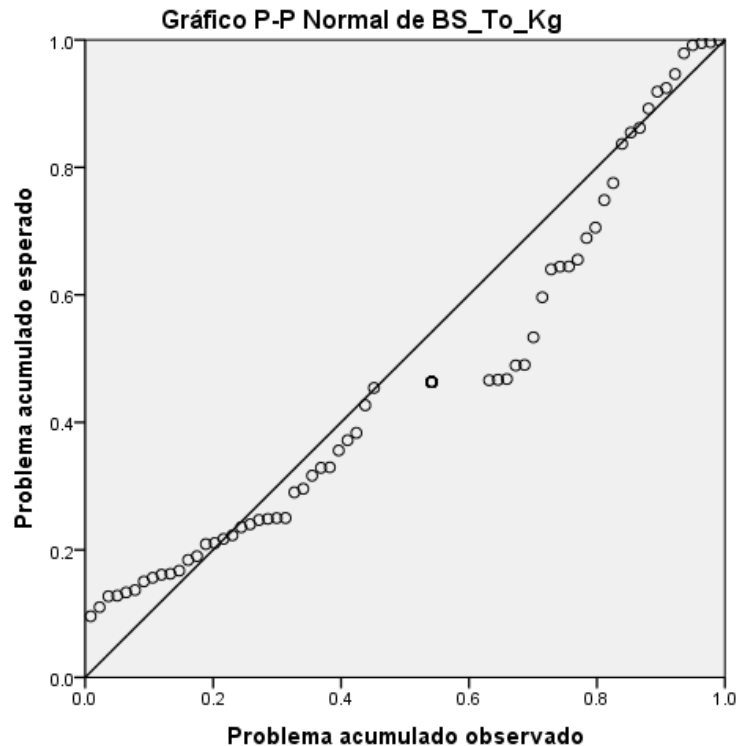


Figura 6. Prueba de normalidad de la variable independiente biomasa seca de tocones en kilogramos. Gráfico P-P Normal.

### 3.6.2. Modelo alométrico para rebrotes.

Para desarrollar el modelo alométrico de rebrotes se utilizaron 196 datos de biomasa seca incluyendo la biomasa seca de bandolas y hojas en kilogramos como variable dependiente y el diámetro de la base de los rebrotes en centímetro como variable regresoras.

Se utilizó el software IBM SPSS® Statistics 23.0 versión 2014 para realizar la exploración gráfica las pruebas de regresión con diferentes modelos. Se observó, que el modelo de potencia tiene mejor ajuste. Por lo antes expuesto y por los resultados obtenidos se eligió este modelo, ya que se conoce como una relación alométrica y es el que mayor  $R^2$  presenta en la evaluación gráfica.

Castellanos *et al.* (2010) en el estudio de línea base de carbono en cafetales realizado en Guatemala, reporta un modelo de potencia para rebrotes con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.63, que relaciona la biomasa seca de rebrotes en kilogramos con el diámetro a la base de los rebrotes (figura 7) (ecuación 11).

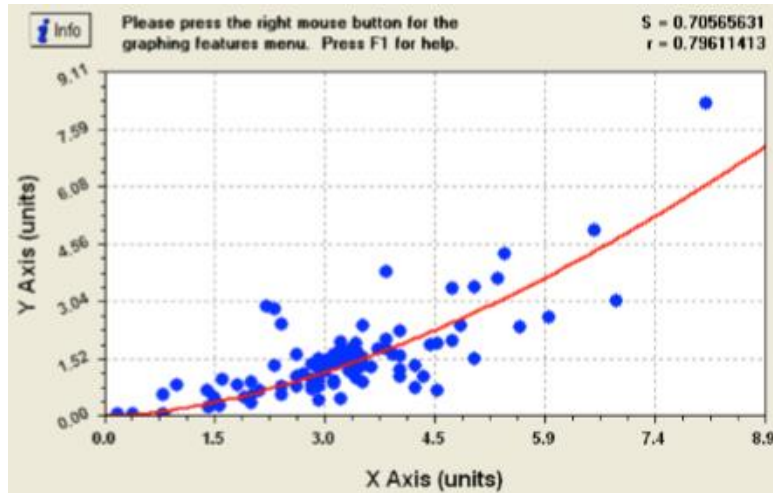


Figura 7. Análisis gráfico del modelo de potencia de castellanos et al (2010) para rebrotes.

$$\text{Ecuación del modelo: } 0.1955x^{1.648} \quad R^2 = 0.63 \quad (11)$$

El modelo alométrico de potencia desarrollado (figura 8) (ecuación 12), obtuvo un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.914. (Cuadro A 5) Significa que el modelo describe una proporción del 91.4% de la variación total observada en la variable dependiente explicada por el modelo, existiendo una diferencia de 0.284 con respecto al modelo para rebrotes de Castellanos *et al.* (2010). Con un nivel de significancia de 95%.

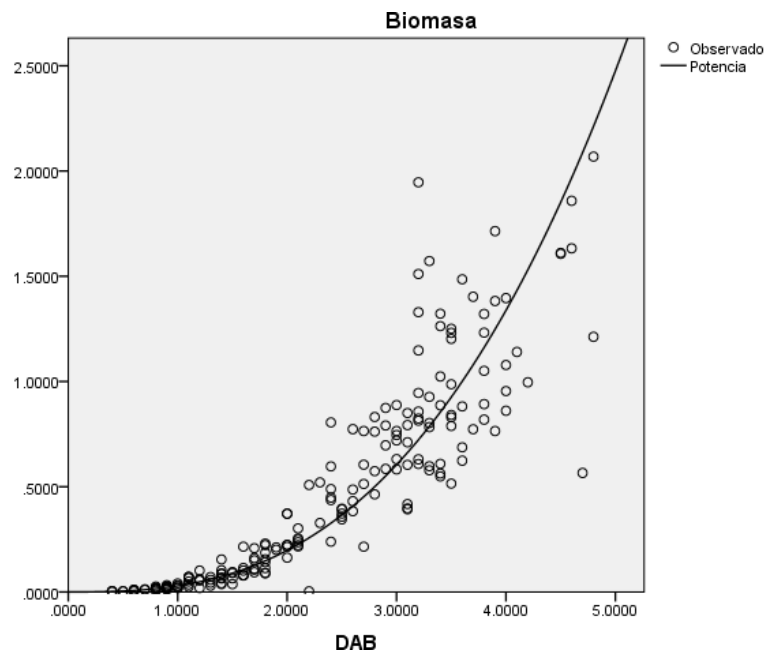


Figura 8. Relación de la biomasa seca de los rebrotes (eje Y) y el DAB en cm (eje X).

$$B_{rebrotos} = 0.029X^{2.758} \quad (12)$$

Donde:

$B_{rebrotos}$  = biomasa seca (Kg)

a: 0.029 (Constante)

X:  $DAB_{cm}$

b: 2.758 (Coeficiente de regresión)

El análisis de varianza indica que estadísticamente las constantes del modelo son significativas (cuadro A 6), en el cuadro A 7 se resume la significancia de los coeficientes propiamente dichos. Así mismo, se comprobó que los datos de la variable independiente biomasa seca de rebrotes en kilogramos, tienen una distribución normal mediante la gráfica P-P normal (figura 9).

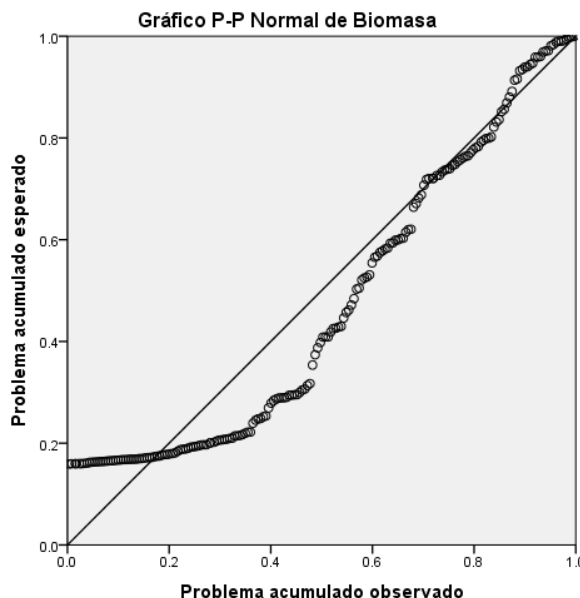


Figura 9. Prueba de normalidad de la variable independiente biomasa seca de rebrotes en kilogramos Gráfico P-P Normal.

### 3.7. Ecuación alométrica desarrollada para la estimación de biomasa y carbono en plantas de café.

Para obtener la biomasa total de una planta de café (ecuación 13), se debe usar la ecuación (10) para tocón y la ecuación (12) para rebrotes. El resultado de la combinación de los dos modelos anteriores se debe multiplicar por el porcentaje de biomasa seca correspondiente a raíz. Así mismo se determina el carbono y el CO<sub>2</sub> fijado como se muestra en las ecuaciones 14 y 15.

$$B_{total} = (0.071X^{0.794} + 0.029X^{2.758}) * 1.3293 \quad (13)$$

$$C_{ton/ha} = Biomasa_{total} * 0.47 \quad IPCC\ 2006 \quad (14)$$

$$CO^2_{ton/ha} = C * \left(\frac{44}{12}\right) \quad IPCC\ 2006 \quad (15)$$

Donde:

$$Biomasa\ total = \left( \sum_{i=1}^n Biomasa\ tocón + \sum_{i=1}^n Biomasa\ rebrotes \right) * \% de\ raiz$$

0.47 = factor de conversión para pasar de biomasa a carbono.

$\frac{44}{12}$  = factor de conversión de carbono a dióxido de carbono.

La fracción de carbono de la materia seca (CF) se estima en un 47%. La conversión de carbono en bióxido de carbono se basa en la relación del peso de ratio de la molécula de (CO<sub>2</sub>) (44/12) (IPCC 2006).

### 3.8. Estimación de carbono y CO<sub>2</sub> almacenado en las plantaciones de café de cuatro fincas de media altura de Comasagua.

Con los valores promedio de las variables altura de tocón, diámetro a 15 centímetros de la base de tocón y diámetro de la base de rebrotes resumidos en el cuadro 2, se proyectaron las estimaciones de biomasa seca, carbono y CO<sub>2</sub> total fijado por finca. Se aplicó una densidad de siembra de 3,906 cafetos por hectárea, ya que durante la fase de campo se comprobó que el distanciamiento de siembra predominante fue de 1.60 m \* 1.60 m. Obteniendo los resultados de los cuadros 5 y 6.

Cuadro 5. Estimaciones de biomasa seca, carbono y CO<sub>2</sub> fijado arriba del suelo, por finca.

Finca	Densidad de siembra. (Plantas ha <sup>-1</sup> )	Biomasa tocón. (ton ha <sup>-1</sup> )	Carbono y CO <sub>2</sub> fijado en tocón. (ton ha <sup>-1</sup> )	Biomasa rebrotes. (ton ha <sup>-1</sup> )	Carbono y CO <sub>2</sub> fijado en rebrotes. (ton ha <sup>-1</sup> )
San Antonio	3,906	2.13	1.00/3.67	2.72	1.28/4.68
Germania	3,906	1.30	0.61/2.25	4.79	2.25/8.25
Las Nubes	3,906	1.98	0.93/3.41	2.28	1.07/3.93
El Faro	3,906	1.53	0.72/2.64	2.51	1.18/4.33

En cuanto al carbono y CO<sub>2</sub> fijado, el mayor promedio lo registro la Finca Las Nubes con 1,114.61/4,086.91 toneladas de C y CO<sub>2</sub>, el menor promedio lo registro la Finca el Faro con 155.30/569.45 toneladas de C y CO<sub>2</sub> fijado.

Cuadro 6. Estimaciones totales de biomasa seca, carbono y CO<sub>2</sub> fijado por finca.

Finca	Densidad de siembra. (Plantas ha <sup>-1</sup> )	Biomasa total. (ton ha <sup>-1</sup> )	Carbono y CO <sub>2</sub> total fijado. (ton ha <sup>-1</sup> )	Área total por finca.	Biomasa total por finca. (ton)	Carbono y CO <sub>2</sub> total fijado por finca. (ton)
San Antonio	3,906	6.44	3.03/11.10	209	1,346.52	632.86/2,320.50
Germania	3,906	8.10	3.81/13.95	209	1,692.10	795.29/2,916.05
Las Nubes	3,906	5.66	2.66/9.75	419	2,371.51	1,114.61/4,086.91
El Faro	3,906	5.37	2.53/9.26	61.5	330.44	155.30/569.45

#### **4. CONCLUSIONES.**

Se comprobó que las fincas cafetaleras de la zona de media altura de Comasagua, son de mucha variabilidad, en cuanto a las edades, variedades, el manejo y la producción. Por lo tanto, se mantuvo la disciplina del muestreo para reducir al máximo el error de las mediciones dasométricas, pesaje de las secciones y en el procedimiento de preparación de muestras para el análisis de laboratorio.

Las metodologías para la elaboración de modelos alométricos desarrolladas por otros autores, sirvieron de base para la adaptación de la metodología del estudio. Esto permitió obtener resultados satisfactorios para el desarrollo de los modelos alométricos para estimar la biomasa seca y carbono de las plantas de café.

Con la información recolectada en campo, fue posible determinar otras variables relevantes que se relacionan con el estudio desarrollado. Estos resultados obtenidos son la determinación del contenido de carbono y CO<sub>2</sub> de las plantas aplicando los modelos desarrollados, el factor de forma para rebrotes y la densidad específica de madera determinada para tocones y rebrotes.

Para la determinación de la biomasa de tocones, la relación del producto del diámetro de la base a 15 centímetros elevado al cuadrado multiplicado la altura en metros, son menos dispersos si los valores calculados son menores a 20 unidades. Y para rebrotes los resultados son menos dispersos si los diámetros de las bases son menores a 3.5 cm.

#### **5. RECOMENDACIONES.**

Se recomienda hacer pruebas de estimación de biomasa y carbono en plantaciones de café, en otras cordilleras y elevaciones, para hacer comparaciones de variabilidad, con el propósito de ajustar un solo modelo alométrico que pueda ser utilizado a nivel nacional.

Se recomienda la aplicación del modelo alométrico para rebrotes en cafetos de plantilla, la variable a utilizar es el diámetro de la base en centímetros.

Para la estimación de biomasa seca de cafetos, se recomienda hacer parcelas de 25 m<sup>2</sup> (2.5 m \* 10.0 m), y multiplicar la biomasa obtenida por 400, factor de expansión de biomasa, para proyectar kilogramos de materia seca por hectárea o toneladas de materia seca por hectárea.

Luego aplicar los factores (0.47) de fracción de carbono y el peso de ratio molecular del dióxido de carbono (44/12), para obtener kilogramos o toneladas de carbono y dióxido de carbono fijado por hectárea respectivamente.

Para agregar la fracción de carbono contenido en los frutos se recomienda utilizar el 10% que reporta Castellanos *et al.* (2010) en base al peso total de Carbono determinado en un cafeto.

## 6. BIBLIOGRAFÍAS.

- Andrade, HJ; Segura, M. 2008.** ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o Carbono de especies leñosas perennes?: determinación del tamaño de la muestra. Costa Rica, CATIE. 8 p.
- Arévalo Beltrán, MA; Méndez Alfaro, DC. 2011.** Análisis multitemporal de las zonas cafetaleras de El Salvador y su impacto en el desarrollo socioeconómico. Tesis Ing. Agro. San Salvador, El Salvador. UES. 165 p.
- Azcón-Bieto, J; Talón, M. 2000.** Fundamentos de fisiología vegetal. Barcelona, España. McGraw-Hill. 522 p.
- Benavides Ballesteros, HO; León Aristizábal, GE. 2007.** Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Bogotá, Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. 102 p.
- Bonilla, G. 1992.** Estadística II: métodos prácticos de inferencia estadística. 2ª. Ed. San Salvador. El Salvador. UCA editores 90-92 p.
- Bonilla, G. 1993.** Estadística I Elementos de estadística descriptiva y probabilidad: coeficiente de variación, UCA editores, El Salvador. 215 p.
- CARDER (Corporación Autónoma Regional del Risaralda, Colombia). 2013.** Guía de cubicación de madera (en línea). Consultado feb. 2020. Disponible en [http://www.rivasdaniel.com/pdf/GUIA\\_DE\\_CUBICACION\\_MADERA.pdf](http://www.rivasdaniel.com/pdf/GUIA_DE_CUBICACION_MADERA.pdf)
- Castellanos, E; Quilo, A; Pons, D. 2010.** Estudio de línea base de carbono en cafetales: resumen. Guatemala. UVG. 48 p.
- CSC (Consejo Salvadoreño del Café). 2017.** Variedades cultivadas en El Salvador (en línea, sitio web). Consultado 12 may. 2015. Disponible en <http://www.csc.gob.sv/variedades/>
- Cuenca, ME; Jadán, O; Cueva, K; Aguirre, C. 2014.** Carbono y ecuaciones alométricas para grupos de especies y bosque de tierras bajas, Amazonía Ecuatoriana. Revista CEDAMAZ. 4(1):21-31 p.
- Filho, EMV; Abarca Monge, S. 2008.** Cafetales para servicios ecosistémicos, con énfasis en el potencial de sumideros de Carbono: El caso de cooperativas cafetaleras afiliadas a COOCAFE. Informe final. Costa Rica. 61 p. CATIE-FUNCAFOR-COOCAFE-OIKOCREDIT.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006.** Guidelines for National Inventories of Greenhouse Gases Agriculture, forestry and other land uses (en línea). Consultado 10 ene. 2020. Disponible en <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html>
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2018.** Inventario Nacional de Bosques de El Salvador. San Salvador, El Salvador. 426 p.
- Pacheco, RG. 1994.** Estadística II: aplicada. San Salvador, El Salvador. 2 ed. Star Print. 269 p.
- Panshin, AJ; De Zeeuw, C. 1970.** Textbook of wood technology. Structure, Identification, Defects, and uses of the commercial woods of the United States. New York, US, McGraw-Hill. V 1. 705 p.
- Picard, N; Saint-André, L; Henry, M. 2012.** Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo

a la predicción. Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Rome, Montpellier, 213 p.

**Rügnitz, MT; Chacón, ML; Porro R. 2009.** Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. Lima, Perú. ICRAF-Consorcio Iniciativa Amazónica. 79 p.

**Ruiz Días, C; Rodríguez Ortiz, G; Leyva López, JC; Enríquez del Valle, JR. 2014.** Metodologías para estimar biomasa y Carbono en especies forestales de México. Revista Naturaleza y desarrollo. 12(1):28-44 p.

**Sola, G; Picard, N; Saint-André, L; Henry, M. 2012.** Resumen del manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción. Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Rome, Montpellier, 17 p.

**Solano, D; Vega, C; Eras; VH; Cueva, K. 2014.** Generación de modelos alométricos para determinar biomasa aérea a nivel de especies, mediante el método destructivo de baja intensidad para el estrato de bosque seco pluviestacional del Ecuador. Revista CEDAMAZ. 4(1):32-44 p.

## 7. AGRADECIMIENTOS.

Agradecemos a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, al Consejo Salvadoreño del Café y a la Unidad Ambiental de la Alcaldía de Comasagua, por haber desempeñado un papel fundamental para el desarrollo y ejecución de la investigación.

## 8. ANEXOS.

Cuadro A 1. Grado de representación de la media aritmética, para distintos coeficientes de variabilidad.

Valor del coeficiente de variabilidad (CV)	Grado en que la media representa a la serie
De 0 a menos de 10%	Media altamente representativa.
De 10 a menos de 20%	Media bastante representativa.
De 20 a menos de 30%	Media tiene representatividad.
De 30 a menos de 40%	Media cuya representación es dudosa.
De 40% o más	Media carente de representatividad.

Fuente: tomado de Bonilla 1993.

Cuadro A 2. Resumen del modelo para la variable independiente DAB2 a 15 cm \* ht\_m.

R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado	Error estándar de la estimación
0.832	0.692	0.688	0.336

Cuadro A 3. Análisis de varianza para la regresión de la variable independiente DAB2 a 15 cm \* ht\_m.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	P-valor
<b>Regresión</b>	17.791	1	17.791	157.209	0.000
<b>Residuo</b>	7.922	70	0.113		
<b>Total</b>	25.713	71			

Cuadro A 4. Significancia de los coeficientes del modelo de regresión para la variable independiente Ln (Biomasa).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	P-valor
	B	Error estándar	Beta		
<b>ln(BAD<sup>2</sup> a 15 cm * ht_m)</b>	0.794	0.063	0.832	12.538	0.000
<b>(Constante)</b>	0.071	0.010		7.006	0.000

Cuadro A 5. Resumen del modelo para la variable independiente diámetro de la base de rebrotes.

R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado	Error estándar de la estimación
<b>0.956</b>	0.914	0.914	0.496

Cuadro A 6. Análisis de varianza para la regresión de la variable independiente diámetro de la base de rebrotes.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	P-valor
<b>Regresión</b>	507.785	1	507.785	2067.364	0.000
<b>Residuo</b>	47.650	194	0.246		
<b>Total</b>	555.435	195			

Cuadro A 7. Significancia de los coeficientes del modelo de regresión para la variable independiente Ln (Biomasa).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	P-valor
	B	Error estándar	Beta		
<b>ln(DAB)</b>	2.758	0.061	0.956	45.468	0.000
<b>(Constante)</b>	0.029	0.002		18.134	0.000