

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**DANIEL HERNÁN ORTEGA ORTEGA**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN ESTRUCTURADO DE MANERA  
INDEPENDIENTE COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**“CUANTIFICACIÓN Y LOGÍSTICA DE LA BIOMASA DISPONIBLE EN EL  
CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)”**

**AMBATO - ECUADOR**

**2014**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **DANIEL HERNÁN ORTEGA ORTEGA**, portador de cédula de identidad número: 180393503-8, en honor a la verdad, declaro que el trabajo de investigación titulado “CUANTIFICACIÓN Y LOGÍSTICA DE LA BIOMASA DISPONIBLE EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)” es original, auténtica y personal. En tal virtud, declaro que el contenido será de mi sola responsabilidad legal y académica.

---

Daniel Hernán Ortega Ortega

## **DERECHOS DE AUTOR**

Al presentar este trabajo de investigación como uno de los requisitos previos para la obtención del título de Tercer Nivel en la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias, autorizo a la Biblioteca para que haga de éste trabajo un documento disponible para consulta, según las normas de la Universidad.

Estoy de acuerdo en que se realice cualquier copia de esta investigación dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga ganancia económica potencial.

Sin perjuicio de ejercer mi derecho de autor, autorizo a la Universidad Técnica de Ambato la publicación de este trabajo, o de parte de él.

---

**Daniel Hernán Ortega Ortega**

**Fecha:**

CUANTIFICACIÓN Y LOGÍSTICA DE LA BIOMASA DISPONIBLE EN  
CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)

APROBADO POR:

.....

Ing. Mg. Segundo Curay

TUTOR:

.....

Ing. MSc. Jaime Ávalos

ASESOR BIOMETRISTA

**APROBADO POR LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO:**

FECHA:

.....

.....

Ing. Agr. Mg. Hernán Zurita Vásquez

PRESIDENTE

.....

.....

Ing. Mg. Luciano Valle

.....

.....

Ing. Mg. Marilú Gonzáles Parra

## **DEDICATORIA**

A Dios por haberme dado la vida y la oportunidad de poder realizar este trabajo.

A mi Madre Yolanda Ortega y a mi Padre Hernán Ortega, y hermanas Antonella y Julissa ya que gracias a sus enseñanzas he podido seguir adelante con mis estudios y siempre han estado pendiente de que pueda seguir una vida correcta y dedicada a los mismos.

A toda mi familia como son Abuelitos, Tíos, Primos y de manera especial A mi tío Ing. Enrique Ortega Erazo y primo Ing. Enrique Parada Ortega que hoy pueden ver la felicidad que me embarga el haber culminado mi formación como Ingeniero, ellos son y serán siempre mi apoyo incondicional.

A mi querida novia Natalie Vera quien supo entender el largo camino que cruce para poder culminar mi carrera Universitaria y darme fuerza con su cariño con sus palabras y consejos para la culminación del mismo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi gratitud a la Facultad de Ciencias Agropecuarias Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Ambato y a los Señores Maestros que generosamente comparten sus ciencias y su ética a los futuros profesionales que allí forjamos nuestro futuro.

Y de manera muy especial mi agradecimiento al Ing. Segundo Curay, tutor de tesis, por su guía, apoyo y confianza brindada mientras realizaba este estudio, y por la gran colaboración prestada.

A mi familia y amigos, que han colaborado para buscar más altos objetivos profesionales y personales.

## Índice de Contenido

CAPÍTULO I.....	- 1 -
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	- 1 -
1.1 Planteamiento del problema.....	- 1 -
1.2 Análisis crítico del problema .....	- 3 -
1.3 Justificación .....	- 4 -
1.3.1. Efectos Multiplicadores .....	- 5 -
1.4 Objetivos .....	- 7 -
1.4.1 General: .....	- 7 -
1.4.2 Específicos: .....	- 7 -
CAPÍTULO II.....	- 8 -
MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS .....	- 8 -
2.1 Antecedentes investigativos.....	- 8 -
2.2 Marco conceptual o categorías fundamentales .....	- 10 -
2.3 Hipótesis .....	- 12 -
2.4 Variables de la hipótesis .....	- 12 -
Variable Independiente. ....	- 12 -
Variables Dependientes.....	- 12 -
2.5 Operacionalización de variables .....	- 13 -
VARIABLES DEPENDIENTES.....	- 13 -
VARIABLE INDEPENDIENTE. ....	- 14 -
CAPÍTULO III .....	- 15 -
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	- 15 -
3.1 Enfoque, modalidad y tipo de investigación.....	- 15 -
3.2 Ubicación del ensayo .....	- 15 -
3.3 Caracterización del lugar .....	- 15 -
3.4 Factores de estudio.....	- 16 -
3.5 Diseño experimental .....	- 16 -
3.6 Tratamientos .....	- 17 -
3.7 Diseño o esquema de campo.....	- 18 -
3.8 Datos tomados.....	- 19 -
a)Cubicación de fuste y ramas .....	- 19 -

b)Análisis de la cantidad de biomasa en copas .....	- 22 -
c)Logística.....	- 24 -
3.9    Procesamiento de la información recolectada.....	- 24 -
3.10   Manejo de la investigación .....	- 24 -
CAPITULO IV .....	- 25 -
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	- 25 -
4.1.- Análisis dendrométrico de las ramas .....	- 25 -
4.2. Biomasa y su distribución en la planta .....	- 27 -
4.3.- Caracterización física de la biomasa .....	- 29 -
4.4 Logística.....	- 30 -
4.5 Verificación de la hipótesis.....	- 31 -
CAPITULO V .....	- 33 -
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	- 33 -
CAPITULO VI.....	- 34 -
PROPUESTA .....	- 34 -
6.1 Título.....	- 34 -
6.2 Fundamentación.....	- 34 -
6.3 Objetivos .....	- 38 -
6.4 Justificación e importancia .....	- 38 -
6.5 Manejo Técnico .....	- 40 -
6.6 Implementación / plan de acción .....	- 40 -
BIBLIOGRAFÍA .....	- 41 -
ANEXOS .....	- 44 -



## Índice de tablas

Tabla 1: Variable dependiente, biomasa y logística .....	- 13 -
Tabla 2: Variable independiente, cacao.....	- 14 -
Tabla 3. Diseño experimental para el análisis dendrométrico de las ramas de las distintas especies.....	- 17 -
Tabla 4. Descripción estadística de los parámetros medidos en las ramas de cacao..	- 25 -
Tabla 5. Modelo de regresión para las ramas principales.....	- 26 -
Tabla 6. Cálculo de factores de forma en cada uno de los, modelos geométricos estudiados .....	- 27 -
Tabla 7. Diámetro, longitud, y volumen medios de las ramas en cada estrato.....	- 27 -
Tabla 8. Calculo de la media y desviación típica del factor de ocupación.....	- 28 -
Tabla 9. Modelo de regresión para el factor de ocupación (FO) de la especie .....	- 28 -
Tabla 10. Media y desviación típica de los parámetros físicos del material lignocelulosico del cacao.....	- 29 -
Tabla 11. Análisis de varianza en tiempos de poda del cacaotero .....	- 30 -
Tabla 12. Análisis de varianza en tiempos de recolección .....	- 31 -

## Índice de figuras

Figura 1. Árbol de problemas.....	- 3 -
Figura 2. Esquema de campo .....	- 18 -
Figura 3. Mediciones de diámetros cada cierto intervalo.....	- 20 -
Figura 4. Sección de un tronco de cono, donde $R$ = radio mayor; $r$ = radio menor; $h$ = longitud del intervalo.....	- 21 -
Figura 5. Modelos de crecimiento de copas arbóreas en una superficie determinada: (a) semielipse, (b) paraboloides, (c) crecimiento cónico, (d) crecimiento cilíndrico .....	- 23 -
Figura 6. Tipos de distribución según la asimetría.....	- 25 -
Figura 7. Clasificación de las distribuciones de acuerdo a su grado de apuntamiento.....	- 26 -
Figura 8. Variación de humedad tras los primeros días transcurridos después del corte de las ramas. ....	- 30 -

## Índice de ecacuiones

Ecuación 1.....	- 20 -
Ecuación 2.....	- 20 -
Ecuación 3.....	- 20 -
Ecuación 4.....	- 21 -
Ecuación 5.....	- 21 -
Ecuación 6.....	- 23 -

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación se llevó a efecto en la Propiedad ubicada en Santo Domingo de los Tsáchilas en la vía colorados del Bua en el kilómetro 12, esta provincia tiene de superficie 3.857 km<sup>2</sup> - 352.300 ha a una altitud de 625 msnm. Limita al norte y al este con Pichincha, al noroeste con Esmeraldas, al oeste con Manabí, al sur con Los Ríos y al sureste con Cotopaxi. Ubicado a 133 km al oeste de Quito, zona centro noroccidental del Ecuador.

En el objetivo del proceso de medida se determinó la biomasa que contiene un árbol de cacao entero tanto en el fuste como en la copa. La cubicación del fuste resulta sencilla, aplicando métodos plenamente desarrollados en mensura forestal, determinando diámetros a distintas alturas del fuste y longitud total. En cambio, la cuantificación de la biomasa contenida en la copa resulta más complicada, pues la estructura de los árboles frutales es de copa latifoliada, en la que no existen métodos plenamente desarrollados. Por ello, en este trabajo se realiza una propuesta metodológica, que parte de la concepción de la copa como un hipotético rodal forestal, en que cada rama se considera un individuo del mismo, es decir, un árbol. Atendiendo a este concepto el proceso de medida fué el siguiente:

Se realizó la medición del fuste principal aplicando métodos dendrométricos tradicionales, con los que se obtuvo el volumen del mismo.

Medición de la biomasa de la copa, para lo cual se realizó un muestreo de un número de ramas en cada estrato de formación (ramas principales, ramas secundarias, etc.). Para la determinación de los volúmenes de ramas es necesario analizar los patrones de forma propios de cada especie y clase diamétrica, por lo que se hace necesario un estudio dendrométrico de las ramas. Una vez se tiene conocimiento de los patrones de forma de las ramas deben ser aplicados los métodos dasométricos para una valoración de la biomasa total en el conjunto.

Luego de haber seleccionado los treinta árboles en estudio, se va selecciono al azar 30 ramas por cada estrato para comenzar la toma de datos donde de cada una de ellas realizamos mediciones de los diámetros cada diez centímetros en el caso de ramas del estrato I y en las ramas del estrato II y III se las tomó cada cinco centímetros, en estas últimas se la tomó a diferente distancia ya que si se las considera como estrato I la

ecuación nos va a dar resultados equivocados, dichas mediciones se las realizó hasta el final de cada rama, seguidamente se realizó la medición del largo de la rama completa, se las peso y se llevó una muestra al laboratorio para realizar los análisis de cenizas, contenido de humedad, etc.

El estudio nos dio como resultados que en el estrato I tenemos la mayor cantidad de biomasa disponible para usos energéticos posteriores, con el 36.23% de biomasa contenida. A diferencia que en los forestales la menor cantidad de biomasa disponible la encontramos en el estrato 4 con el 3,95%, esto debido que en explotaciones intensivas la longitud no sobrepasa los sesenta centímetros ya que no es deseable un árbol muy grande por su difícil manejo al momento de realizar las podas de cada año.

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Planteamiento del problema

La biomasa es un parámetro que caracteriza la capacidad de los ecosistemas para acumular materia orgánica a lo largo del tiempo (Brown 1997, Eamus *et al.* 2000) y está compuesta por el peso de la materia orgánica aérea y subterránea que existe en un ecosistema forestal (Schlegel *et al.* 2000). Según el IPCC (2005), es la masa total de organismos vivos presentes en un área o volumen dados; se suele considerar biomasa muerta el material vegetal muerto recientemente. La biomasa es importante para cuantificar la cantidad de nutrientes en diferentes partes de las plantas y estratos de la vegetación, permite comparar distintos tipos de especies o vegetación o comparar especies y tipo de vegetación similares en diferentes sitios. Además, la cuantificación de la biomasa y el crecimiento de la vegetación en los ecosistemas son críticos para las estimaciones de fijación de carbono, un tema actualmente relevante por sus implicaciones en relación al cambio climático (Dixon *et al.* 1991, Ciesla 1996, Dixon 1995, Begon *et al.* 1996, Brown 1996, Márquez 1997, Budowski 1999, Malhi y Grace 2000, Snowdon *et al.* 2002).

Una gran cantidad de biomasa residual con posible uso energético puede ser extraída de la gestión del cultivo de cacao, especialmente en operaciones de poda, renovación de plantaciones, restos de cosecha, o residuos en general. La biomasa residual es muy variable según variedades, densidad de plantación o sistemas de cultivo. Actualmente estos residuos son amontonados o eliminados para quema en campo no consiguiendo ningún beneficio directo y suponiendo un factor de elevada peligrosidad de contaminación ambiental en zonas cercanas a áreas naturales. La presente investigación se ha desarrollado en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*), de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. La biomasa del cultivo de cacao no ha sido utilizada hasta ahora, debido a que presenta diferentes dificultades técnicas en su extracción, manipulación y transporte, así como por la carencia de suficiente información sobre la

cantidad y calidad de estos residuos. Ello imposibilita el desarrollo del sector bioenergético, el cual podría suponer una oportunidad para los agricultores, los cuales podrían conseguir diversificar sus ingresos. De esta manera, el agricultor tendría un ingreso económico al comercializar sus productos alimentarios tradicionales, además, existiría la posibilidad de recibir un ingreso por gestionar sus residuos orgánicos si el mercado bioenergético tuviera éxito. La elevada diversidad de los sistemas naturales del Ecuador, al igual que las distintas variantes tecnologías aplicables para transformar esa biomasa en biocombustibles propicia el desarrollo de proyectos de investigación, en el marco de un programa de investigación.

Cuestiones clave a responder en la investigación fueron: determinar qué tipo de residuos se están produciendo; donde se están originando; adaptar la tecnología y sistemas de trabajo a las condiciones de la agricultura ecuatoriana; establecer parámetros de predicción que posteriormente pueden ser aplicados a los inventarios de biomasa con destino energético o sistemas de información geográfica; análisis de la logística para el abastecimiento; definición de la tecnología que permite mejorar la calidad energética de estos residuos.

Esto permitió orientar mejor las políticas de promoción del uso energético de la biomasa; evaluar cuáles son los potenciales de biomasa residual procedente de los sistemas agrícolas de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas; definir la tecnología apropiada para la extracción de biomasa potencial que todavía no ha sido utilizada.

Estudios semejantes han sido emprendidos en todos los países del mundo, por ser la biomasa uno de los recursos renovables que podría paliar la dependencia del petróleo. Además la utilización de biomasa supone una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera evitando el agravamiento del efecto invernadero, responsable del cambio climático. La oportunidad que supone la investigación como el que se plantea, es que las características de los sistemas agroforestales y los materiales susceptibles de ser aprovechados en los mismos para la producción de bioenergía, son específicos en cada zona, debido a las condiciones climáticas, edáficas y biodiversidad. Los sistemas andinos y tropicales del Ecuador han sido poco estudiados, los modelos de cuantificación y caracterización elaborados en Europa o Estados Unidos no son aplicables.

## 1.2 Análisis crítico del problema

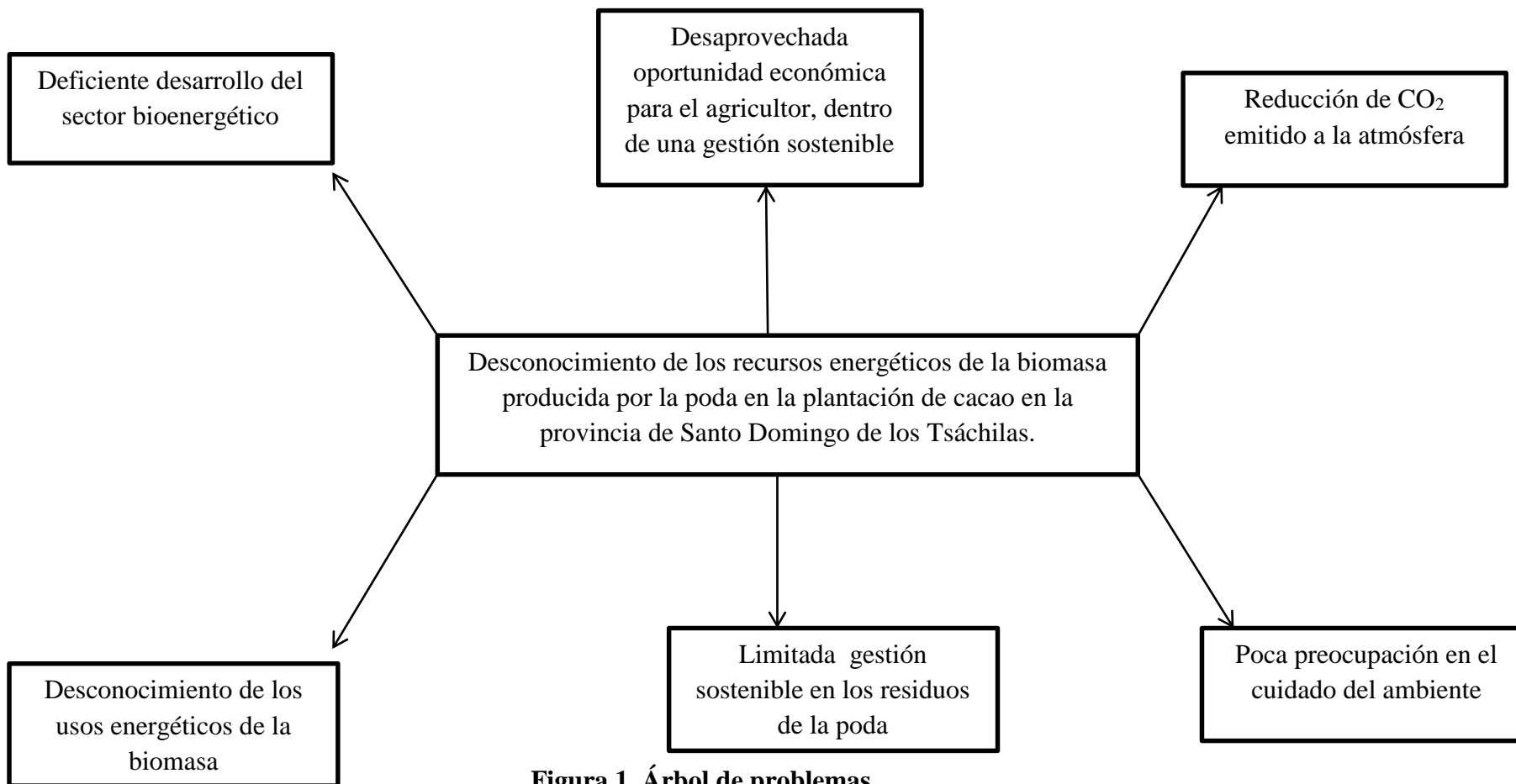


Figura 1. Árbol de problemas



El problema depende fundamentalmente del desconocimiento tanto de la cantidad, el costo de recogida y transporte así como de los procesos adecuados de cuantificación; los cuales al tenerlos permitirán llegar a un proceso de planificación correcto y por ende llegar al macro objetivo que consiste en la “cuantificación de la biomasa proveniente de las plantaciones de cacao”.

### **1.3 Justificación**

La provincia tiene de superficie 3.857 km<sup>2</sup> - 385700 ha a una altitud de 625 msnm. Limita al norte y al este con Pichincha, al noroeste con Esmeraldas, al oeste con Manabí, al sur con Los Ríos y al sureste con Cotopaxi. Ubicado a 133 km al oeste de Quito, zona centro noroccidental del Ecuador. Su temperatura habitual es de unos 21 a 33 °C en verano. En invierno normalmente hace más calor de 23 a 34 grados y a veces llega a los 38 °C. Su temperatura media es de 25,5 °C. La playa más cercana, Pedernales, está a 120 km a 1 hora por el nuevo camino.

Se ha detectado un interés creciente por la tecnología destinada al tratamiento de los residuos agrícolas así como de su utilización con fines energéticos. Sin embargo, son escasas las experiencias reales que persigan la modernización y optimización de estas operaciones, junto una valoración global de la cadena producción-abastecimiento.

Existen dos métodos comúnmente usados para estimar la biomasa: el método directo y el indirecto. Dentro del primero está el destructivo, que consiste en cortar el árbol y determinar la biomasa pesando directamente cada componente (Klinge y Herrera 1983, Araujo *et al.* 1999). Dentro de los indirectos se utilizan métodos de cubicación del árbol donde se suman los volúmenes de madera, se toman muestras de ésta y se pesan en el laboratorio para calcular los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la gravedad o densidad específica (Segura 1997). Otra forma de estimar la biomasa es mediante ecuaciones o modelos basados en análisis de regresión, que utilizan variables colectadas en el campo tales como el diámetro a la altura del pecho ( $d$ ), la altura comercial ( $h_c$ ) y total ( $h_t$ ), el crecimiento diamétrico, el área basal y la densidad específica de la madera (Jordan y Uhl 1978, Saldarriaga *et al.* 1988, Brown 1997, Araujo *et al.* 1999, Francis 2000). Este método no es destructivo y es extrapolable a situaciones de crecimiento similares (Parresol 1999).

Las características productivas de los sistemas agrícolas ecuatorianos con estructuras de propiedad muy diseminada, reducida superficie de las explotaciones y estrechos marcos de plantación obligan a un análisis particularizado de las tecnologías a emplear. La utilización de los residuos generados por tales sistemas para destino energético supone una oportunidad de rentabilizar su gestión, dado que ahora no proporcionan ningún beneficio directo. Para esto se realizó una valoración de los potenciales existentes en los diferentes cultivos y variedades, se determinó la tecnología apropiada para extraer, transportar y obtener un producto energético de calidad. Ello permitió orientar mejor las políticas de promoción del uso energético de la biomasa. Diversas empresas presentan interés en estos estudios de cuantificación. No obstante, por ser de interés general, con un conjunto de actuaciones muy diverso y una amplia zona de trabajo, este tipo de investigación debe ser promovida por las administraciones públicas. El desarrollo de esta tecnología revertirá beneficiosamente en dos sectores:

**Sector agrario**, en el que se estudió sistemas de recolección de residuos molestos, analizando el costo, organización del trabajo etc.

**Sector energético y maderero**. Se realizó un análisis de la logística para el abastecimiento; definición de la tecnología que permite mejorar la calidad energética o industrial de estos residuos. Esto permitió orientar las políticas de promoción del uso energético de la biomasa; evaluar cuáles son los potenciales de biomasa residual procedente de los sistemas agrícolas ecuatorianos y se definió la tecnología apropiada para la extracción de biomasa potencial que todavía no ha sido utilizada.

### **1.3.1. Efectos Multiplicadores**

Mediante esta investigación se obtuvo parámetros de predicción de la biomasa potencial que se puede extraer del cultivo de cacao. Posteriormente estos parámetros pueden ser aplicados a los inventarios agrícolas o sistemas de información geográfica de forma que permita, gestionar o hacer políticas de promoción de uso de esta biomasa.

Se obtuvo conocimientos sobre la tecnología apropiada para extraer los residuos energéticos de los sistemas agrícolas, también sobre las carencias o necesidades de infraestructuras para realizar estas operaciones.

Se caracterizó la biomasa producida por el cultivo de cacao en base a su potencial energético.

Los estudios de logística permitieran optimizar la gestión para el abastecimiento a los consumidores finales y su forma de integrarse en los sistemas energéticos convencionales. Se realizará un sistema de información geográfica que servirá de instrumento en la gestión de estos recursos.

Los resultados de las determinaciones de la fracción de biomasa potencial obtenida en los diferentes sistemas productivos son extrapolables a diferentes ámbitos de carácter local, regional e incluso de diferentes países de sistemas agrícolas similares, mediante su aplicación a sus inventarios.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 General:**

Cuantificar y evaluar la logística de la biomasa disponible en cacao en su etapa final de producción en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

### **1.4.2 Específicos:**

- Determinar el factor de forma en las ramas y análisis de su variabilidad en el cacao como instrumento para el cálculo de su volumen a partir de mediciones tales como: diámetro de la base y longitud de la rama.
- Determinar las funciones de volumen de ramas en el cacao para el cálculo de su biomasa a partir de mediciones tales como diámetro de la base y longitud de la rama.
- Evaluar la biomasa existente en la copa de la especie cacao.
- Obtener un factor de ocupación que relacione el volumen aparente de la copa con la biomasa contenida en ella.
- Analizar la distribución de la biomasa de la copa por estratos.
- Determinar la biomasa residual obtenida por árbol de la poda.
- Obtener ecuaciones predictivas de la biomasa residual procedente de la poda, a partir de variables explicativas de fácil medición: Diámetro de la copa (Dc), Diámetro del tronco (Dt), Altura de la planta (Hp), Altura de la copa (Hc) y Marco de plantación (Mp).
- Evaluar los tiempos de recolección de la biomasa residual con distintos sistemas de organización.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS

#### 2.1 Antecedentes investigativos

En los últimos años, el estudio de fuentes de energía renovables está cobrando mayor importancia dado que las fuentes de energía fósiles (carbón, petróleo, gas natural, etc.) no cumplen con los criterios de sostenibilidad y respeto al medio ambiente deseados en la actualidad. La biomasa cumple con estos criterios, además posee un gran potencial de generación de empleo directo e indirecto derivado de su aprovechamiento. La biomasa procedente de residuos de poda es susceptible de ser aprovechada como fuente de energía. Diversos estudios se han encaminado a la cuantificación de este recurso en sistemas mediterráneos (Velázquez, 2010a; Velázquez et al, 2010b). Pero estos estudios deben realizarse de forma particularizada en cada ecosistema específico y además complementados con la valoración de sus propiedades energéticas (Vargas, 2012). La determinación del poder calorífico de forma directa supone un tiempo de análisis aproximado de 20 min por muestra (Sajdak y Velázquez, 2012). El presente trabajo se centró en el desarrollo de modelos indirectos de cuantificación de la biomasa en Cultivo de Cacao *Theobroma cacao L.*

*Theobroma cacao L.* es el nombre científico que recibe el árbol del cacao o cacaotero, planta de hoja perenne de la familia Malvaceae. *Theobroma* significa en griego “alimento de los dioses”; *cacao* deriva del nahua “cacáhua”.

*Theobroma cacao* es el nombre del árbol del cacao (o cacaotero). Comenzó en la Amazonia Sudamericana y se extendió hasta el sur de México por las rutas comerciales que mantenían las diferentes civilizaciones aborígenes. El *Xocolatl*, nombre con el cual se lo conoce comúnmente hoy en día es originario de la lengua Nahuatl de México y así luego sería introducido al viejo continente por los españoles (*Chocolate*).

El cacaotero es un árbol que necesita de humedad y de calor. Es de hoja perenne y siempre se encuentra en floración, crece entre los 6 y los 10 m de altura. Requiere

sombra (crecen a la sombra de otros árboles más grandes como cocoteros y plataneros), protección del viento y un suelo rico y poroso, pero no se desarrolla bien en las tierras bajas de vapores cálidos. Su altura ideal es, más o menos, a 400 msnm. El terreno debe ser rico en nitrógeno y en potasio, y el clima húmedo, con una temperatura entre los 20 °C y los 30 °C.

Árbol caulífloro (flores y frutos nacen directamente del tallo y ramas). Sus pequeñas flores de color rosa y sus frutos crecen de forma inusual: directamente del tronco y de las ramas más antiguas. Las flores son polinizadas por unas pequeñas mosquitas. El fruto es una baya denominada maraca o mazorca, que tiene forma de calabacín alargado, se vuelve roja o amarillo purpúrea y pesa aproximadamente 450 g cuando madura (de 15 a 30 cm de largo por 7 a 12 de ancho). Un árbol comienza a rendir cuando tiene 4 o 5 años. En un año, cuando madura, puede tener 6.000 flores pero sólo 20 maracas. A pesar de que sus frutos maduran durante todo el año, normalmente se realizan dos cosechas: la principal (que empieza hacia el final de la estación lluviosa y continúa hasta el inicio de la estación seca) y la intermedia (al principio del siguiente periodo de lluvias), y son necesarios de cinco a seis meses entre su fertilización y su recolección.

El cacao es uno de los más significativos símbolos del país. Durante casi un siglo, el orden socioeconómico ecuatoriano se desarrollaba en gran medida alrededor del mercado internacional del cacao.

Hoy, el Ecuador posee una gran superioridad en este producto: más del 70% de la producción mundial de cacao fino de aroma se encuentra en nuestras tierras convirtiéndonos en el mayor productor de cacao fino o de aroma del mundo. Esto ha generado una fama importante y favorable para el país.

Este tipo de cacao, tiene características individuales distintivas, de toques florales, frutales, nueces, almendras, especias que lo hace único y especial, sobresaliendo con su ya conocido sabor arriba. Todos estos detalles de sabor y aroma están en el origen genético del grano, que se logra con el correcto tratamiento post-cosecha, sumado a condiciones naturales de suelo, clima, temperatura, luminosidad que convergen en un

solo punto, en un solo territorio, en el mágico y maravilloso Ecuador situado en la mitad del mundo.

El cacao nacional arriba, conocido también como la pepa de oro, nuestros industriales procesan el grano para obtener semielaborados con las mismas virtudes de exquisitas tonalidades de aroma y sabor únicos del cacao ecuatoriano, y de alta calidad como:

Licor, manteca, torta y polvo, con los que se logra un producto final exquisito; desde la chocolatera más fina y gourmet, los más apetecidos platos en artes culinarias, bebidas frías y calientes y muchas otras delicias combinadas que son un deleite absoluto para el paladar hasta productos de belleza y que son de gran beneficio para la salud.

## **2.2 Marco conceptual o categorías fundamentales**

La investigación de cuantificación de biomasa agrícola está basada en la hipótesis de proporcionalidad entre los distintos elementos de los sistemas naturales. Los sistemas naturales manifiestan una proporcionalidad, establecida por el equilibrio si consideramos éstos sistemas en estado estacionario. Las especies vegetales están formadas por estructuras materiales que las podemos clasificar de forma simplificada en biomasa leñosa, hojas, flores y frutos. Estos materiales constituyen la biomasa del vegetal, pues se denomina, de forma genérica, como biomasa a toda materia orgánica no fosilizada originada en un proceso biológico espontáneo o provocado (Callejón-Ferre y López-Martínez, 2009). Los distintos tipos de biomasa del árbol frutal desempeñan distintas funciones y es razonable pensar que la cantidad de materia en cada una de las estructuras está relacionada, conservando una proporcionalidad equilibrada característica de la especie y de las prácticas de cultivo (Velázquez, 2010).

La ciencia que se ocupa de la medición de las estructuras vegetales se denomina dendrometría. La dendrometría se ha aplicado tradicionalmente a la ciencia forestal, donde se han desarrollado técnicas de medición o estimación de la biomasa leñosa en diferentes estructuras de los árboles forestales, principalmente del fuste del árbol, por ser la fuente principal de madera para las industrias. La dendrometría para la medición de las estructuras leñosas de los árboles frutales ha sido poco estudiada, sin embargo

supone una oportunidad para la obtención de variables de podrían ser aplicadas a la gestión integral de la plantación (Velázquez., 2011). La dendrometría ofrece herramientas para la medición de la fracción leñosa de los árboles frutales, tanto en el tallo como en la copa y ésta se podría correlacionar estadísticamente con la biomasa foliar, producción de frutos, necesidades nutricionales, necesidades de riego, residuos biomásicos generados en la poda, entre otros parámetros, basándonos en el principio de proporcionalidad (Velázquez. 2010).

La línea de investigación en la que se enmarca este trabajo se centra a las plantaciones de cacao con la finalidad de medir y cuantificar la biomasa, tanto en el fuste como en la copa. Esto supone determinar factores de forma, funciones de densidad y funciones de volumen de las ramas, factores de ocupación y funciones de volumen de biomasa en la copa. A partir de estas determinaciones puede estimarse el volumen de biomasa en cada una de las estructuras y de la planta entera a partir de mediciones sencillas tal como el diámetro de la base del tallo, altura de la planta y diámetro de la copa. Ello permitió la medición de la biomasa y de las dimensiones del árbol individual, junto el estudio de su crecimiento.

Para la elaboración de estudios e inventarios espaciales de biomasa en parcelas es necesario realizar muestreos de árboles individuales, y después hacer inferencias a la población de individuos existentes (Velázquez y Annevelink, 2009). Para ello pueden aplicarse técnicas de dasimetría. Se define como dasimetría la ciencia que se ocupa de la determinación de volúmenes y crecimientos de las masas forestales, así como del estudio de las relaciones métricas y las que rigen su desarrollo (Diéguez, 2003).

El objetivo del presente trabajo es el desarrollo de técnicas de dendrometría adaptada, que permitirán la cuantificación rápida de la biomasa total que existe en especies vegetales a partir de variables de fácil medición: diámetro de copa, altura de la planta, diámetro del fuste.

La biomasa total de la planta de cacao dependió de las características agronómicas de la plantación, clima, altura de la planta, diámetro de copa, diámetro del tallo principal, tipo de poda que se le realiza, edad, marco de plantación, secano/regadío, etc.



### **2.3 Hipótesis**

- a) El volumen de una estructura como el tallo o las ramas de las especies vegetales guardan una proporcionalidad con volúmenes de figuras geométricas de revolución. La constante de proporcionalidad se denomina factor de forma.
  
- b) El volumen que ocupa el tallo o cualquier estructura guarda una relación matemática con su diámetro basal y su longitud. Esa relación se va a definir en este trabajo a través de una ecuación.
  
- c) La biomasa contenida en las plantas estudiadas es proporcional al espacio aparente que ocupa. La constante de proporcionalidad se denomina factor de ocupación

### **2.4 Variables de la hipótesis**

#### **Variable Independiente.**

- Cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*).

#### **Variables Dependientes.**

- Procesos logísticos
  - ✓ Tiempos de recolección
  - ✓ Tiempos de podas
  - ✓ Costo de transporte
  - ✓ Coste de recolección
  
- Cuantificación de la biomasa
  - ✓ Diámetro de tallo y ramas
  - ✓ Longitudes de tallo y ramas
  - ✓ Peso de cada rama

## 2.5 Operacionalización de variables

### VARIABLES DEPENDIENTES.

**Tabla 1: Variable dependiente, biomasa y logística**

DEFINICIÓN	DIMENSIONES	CATEGORÍAS	INDICADOR	ÍNDICE
<p><i>Biomasa:</i> Se considera biomasa a cualquier tipo de residuo obtenido de materia orgánica. Estos residuos pueden tener diversas procedencias: agrícolas, forestales y ganaderos.</p>	Cuantificación de biomasa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diámetro de fuste y ramas.</li> <li>- Longitudes de fuste y ramas.</li> <li>- Peso de cada rama.</li> </ul>	<p>cm.</p> <p>cm.</p> <p>kg.</p>	<p>kg/superficie</p> <p>Se medirá el diámetro cada 10 centímetros.</p> <p>kg/planta</p>
<p><i>Procesos Logísticos.- es</i> el proceso de planificación, implementación y control para la cuantificación correcta de biomasa aprovechable.</p>	Procesos logísticos	<p>Tiempo de recolección.</p> <p>Costo de recolección.</p> <p>Costo de transporte.</p>	<p>Tiempo: horas, minutos, segundos.</p> <p>Económico.</p>	<p>Tiempo de recogida/hect área</p> <p>Costo de recogida/hect área.</p>

Las variables se relacionan a través de ecuaciones generalmente de tipo lineal.

$$Biomasa = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_nx_n$$

Es objeto de esta investigación definir los coeficientes  $\beta_i$  de las mismas.

## **VARIABLE INDEPENDIENTE.**

**Tabla 2: Variable independiente, cacao**

<b>DEFINICIÓN</b>
El cacaotero es un árbol que necesita de humedad y de calor. Es de hoja perenne y siempre se encuentra en floración, crece entre los 6 y los 10 m de altura. Requiere sombra (crecen a la sombra de otros árboles más grandes como cocoteros y plataneros), protección del viento y un suelo rico y poroso, pero no se desarrolla bien en las tierras bajas de vapores cálidos. Su altura ideal es, más o menos, a 400 msnm. El terreno debe ser rico en nitrógeno y en potasio, y el clima húmedo, con una temperatura entre los 20 °C y los 30 °C.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 Enfoque, modalidad y tipo de investigación**

- En la presente investigación predomina el enfoque cuantitativo debido a que los datos obtenidos podrán ser analizados estadísticamente para establecer patrones de comportamiento que a su vez estos podrán ser generalizados.
- La modalidad de la investigación es de campo ya que centra en buscar los procedimientos que permiten la obtención de la biomasa disponible en cacao.
- Esta investigación es de tipo exploratoria, descriptiva, explicativa ya que aplica técnicas conocidas y desarrolla nuevas técnicas para la obtención de los resultados que tienen que ver con la biomasa disponible en cacao.

#### **3.2 Ubicación del ensayo**

La Propiedad se encuentra ubicada en Santo Domingo de los Tsáchilas en la vía colorados del Bua en el kilómetro 12, esta provincia tiene de superficie 3.857 km<sup>2</sup> - 352.300 ha a una altitud de 625 msnm. Limita al norte y al este con Pichincha, al noroeste con Esmeraldas, al oeste con Manabí, al sur con Los Ríos y al sureste con Cotopaxi. Ubicado a 133 km al oeste de Quito, zona centro noroccidental del Ecuador.

#### **3.3 Caracterización del lugar**

Su principal característica es una quinta de 2 hectáreas y media, tiene cerramiento y un portón grande tiene casa de dos pisos. En la misma podemos encontrar otros pequeños cultivos de verde, naranjas, mango, ovos, guabas.

Su temperatura habitual es de unos 21 a 33 °C en verano. En invierno normalmente hace más calor de 23 a 34 grados y a veces llega a los 38 °C. Su temperatura media es de 25,5 °C a una altitud de 625 msnm.

### **3.4 Factores de estudio**

- Diámetro copa
- Diámetro tronco
- Altura árbol
- Altura copa
- Marco de plantación
- Cuantificación de la biomasa

### **3.5 Diseño Estadístico**

Se midió un conjunto de variables continuas, y un conjunto de variables de tipo carácter llamadas factores. Las variables de tipo continuo fueron las siguientes: Diámetro copa, Diámetro tronco, Altura árbol, Altura copa, Marco de plantación.

**Las variables respuestas serán:**

- a) Biomasa contenida en el árbol entero
- b) Biomasa residual obtenida en las operaciones de poda
- c) Tiempo de recogida por kilogramo de biomasa y por hectárea

Tabla 3. Diseño estadístico para el análisis dendrométrico de las ramas de las distintas especies

Número de ramas muestreadas	Mediciones a realizar	Variable respuesta
30	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diámetro base</li> <li>- Longitud</li> <li>- Diámetros a distintas longitudes</li> <li>- Volumen real de la rama</li> <li>- Volumen modelo</li> <li>- Factor de forma</li> <li>- Diámetro copa</li> <li>- Diámetro tronco</li> <li>- Altura árbol</li> <li>- Altura copa</li> <li>- Marco de plantación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Función de volumen</li> <li>- Factor de forma</li> <li>- Biomasa residual por rama</li> <li>- Tiempo de recogida de la biomasa residual (logística)</li> <li>- Biomasa total por árbol</li> <li>- Biomasa residual por árbol</li> <li>- Factor de ocupación</li> </ul>

### 3.6 Tratamientos

Se realizó un análisis estadístico basado en cuatro bases:

1. Análisis unidimensional de las variable cuantitativas: medias, coeficientes de curtosis, a partir de los cuales de analizará la normalidad de los datos.
2. Se realizó un análisis multidimensional de la variables cuantitativas (factores) a partir de la comparación de cada par de variables a partir del coeficiente de correlación de Pearson que nos indicó las relaciones entre variables ya sean positivas, negativas o neutras.
3. Se analizó la influencia de los factores cualitativos a través de un ANOVA de los mismos.

4. Se desarrolló modelos de regresión para predecir las variables respuestas en base a las mediciones realizadas.

Se validó el modelo de predicción a través de un análisis de comparación entre variable observable y las variables predichas por el modelo a través de una prueba de análisis unidimensional.

### 3.7 Diseño o esquema de campo

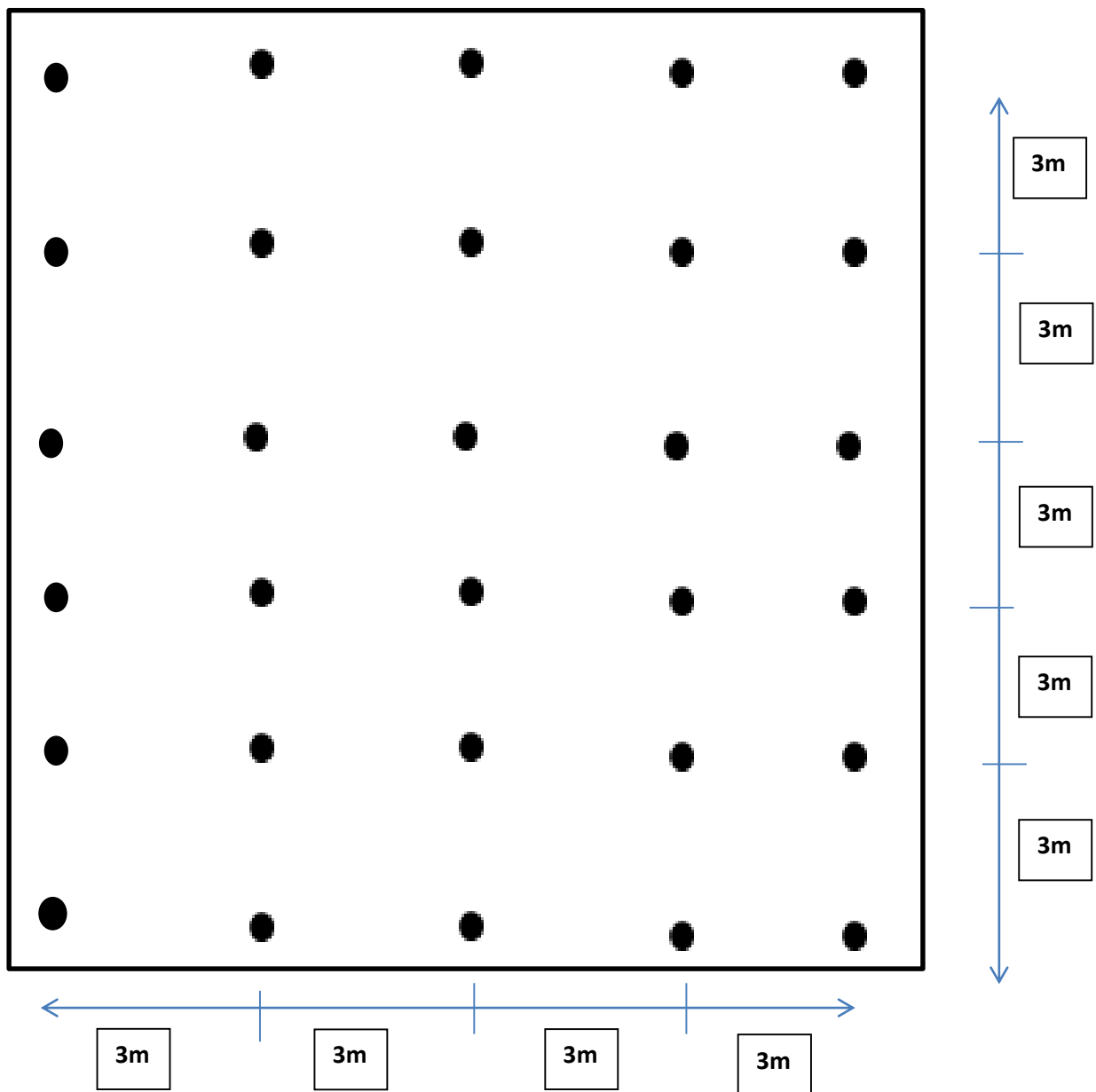


Figura 2. Esquema de campo

### **3.8 Datos tomados**

El objetivo del proceso de medida es determinar la biomasa que contiene un árbol entero tanto en el fuste como en la copa. La cubicación del fuste resulta sencilla, aplicando métodos plenamente desarrollados en mensura forestal, determinando diámetros a distintas alturas del fuste y longitud total. En cambio, la cuantificación de la biomasa contenida en la copa resulta más complicada, pues la estructura de los árboles frutales es de copa latifoliada, en la que no existen métodos plenamente desarrollados. Por ello, en este trabajo se realiza una propuesta metodológica, que parte de la concepción de la copa como un hipotético rodal forestal, en que cada rama se considera un individuo del mismo, es decir, un árbol. Atendiendo a este concepto el proceso de medida será el siguiente:

1. Se realizó la medición del fuste principal aplicando métodos dendrométricos tradicionales, con los que se obtiene el volumen del mismo
2. Medición de la biomasa de la copa, para lo cual se realiza un muestreo de un número de ramas en cada estrato de formación (ramas principales, ramas secundarias, etc.). Para la determinación de los volúmenes de ramas es necesario analizar los patrones de forma propios de cada especie y clase diamétrica, por lo que se hace necesario un estudio dendrométrico de las ramas. Una vez se tiene conocimiento de los patrones de forma de las ramas deben ser aplicados los métodos dasométricos para una valoración de la biomasa total en el conjunto.

#### **a) Cubicación de fuste y ramas**

Los análisis dendrométricos para la cubicación de ramas se realizó del siguiente modo:

El volumen de cada rama  $V_i$  de las especies analizadas se determinó a partir de un coeficiente mórfico  $f$ , cociente entre el volumen real y un volumen geométrico modelo tomado como referencia para una rama o tallo.



Ecuación 1.

$$f = \frac{\text{Volumen real de la estructura analizada}}{\text{Volumen del modelo}}$$

Para el cálculo del volumen real de una rama o fuste se dividió en partes iguales, tal como indica la Figura 3, midiendo el diámetro ecuatorial de la sección de forma que obtenemos un diámetro inicial y final para cada intervalo.

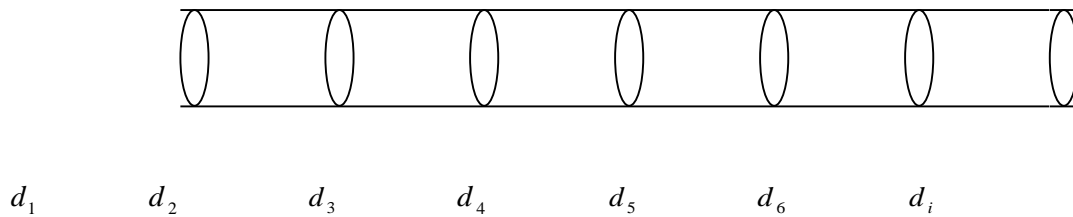


Figura 3. Mediciones de diámetros cada cierto intervalo

Cada sección puede ser considerada como un tronco de cono, cuyo volumen puede ser calculado por la ecuación 2 (volumen de cono truncado) o por la ecuación 3 (Ecuación de Smailan). La suma de todos los volúmenes de cada una de las porciones tomadas resultará el volumen real de la rama (Ecuación 4).

R= radio mayor  
r= radio menor  
h= altura

Ecuación 2

$$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + Rr + r^2)$$

Ecuación 3

$$V_i = \pi \cdot h \cdot R_a^2 \quad \text{Donde } R_a = \frac{R + r}{2}$$

Ecuación 4

$$V_{real} = \sum_1^i V_i$$

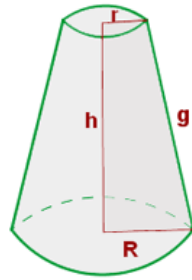


Figura 4. Sección de un tronco de cono, donde R = radio mayor; r = radio menor; h= longitud del intervalo

El cálculo del volumen modelo se realizará aplicando la fórmula del cilindro a partir del diámetro de la base (d) y la longitud (L) de la rama.

Ecuación 5

$$V_{cilindro} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L$$

En principio el coeficiente mórfoico debe ser un parámetro característico de la especie y clase diamétrica. No obstante, para cada una de las determinaciones realizadas existe una variabilidad estadística, donde se determinará la media y la dispersión para cada uno de los casos. Como puede observarse la obtención del coeficiente mórfoico f permite determinar el volumen de cualquier estructura midiendo su diámetro basal y longitud.

Junto con el volumen y los distintos coeficientes de forma se determinará la humedad de algunas ramas recién cortada, obteniendo la evolución de la misma secándose al aire y en estufa. Una vez secos los materiales, se determinará la densidad y biomasa seca. Por otra parte se analizarán modelos de regresión que definen funciones de volumen, considerando como variable dependiente el volumen total de la estructura (V) en cm<sup>3</sup> y como variables independientes el diámetro (D), en cm y longitud (H) en cm.

## **b) Análisis de la cantidad de biomasa en copas**

Se cubicaron todas las ramas del primer estrato. Éste estrato corresponderá a las ramas de la base de la copa, que por lo general son un número reducido (3 -5 ramas), las de mayor diámetro. El estrato siguiente será muestreado, seleccionando varias ramas representativas. Por otra parte se contarán las ramas existentes, para así, al conocer el número total en el estrato se puede determinar el volumen de biomasa existente en el mismo. Seguidamente se contabilizará el número de brotes o ramificaciones en estratos sucesivos, volviendo a muestrear varias ramas de cada uno de ellos, lo que permitirá determinar el volumen total de cada uno de éstos por separado multiplicando el valor medio de rama por el número de ocurrencias. El último estrato, por lo general, corresponde a ramas muy pequeñas, por lo que no es posible su medición con el método de campo descrito anteriormente, por lo que se extraerá de cada árbol muestreado una rama central externa y otra rama de la parte superior de la copa, que se llevarán a laboratorio para determinar directamente su volumen sumergiéndolas en agua, multiplicado por el número de ramas que corresponda a este estrato, obteniendo su volumen total. Por otra parte se deshojarán ramas tipo, determinando al mismo tiempo porcentaje de masa y superficie foliar. Los parámetros se correlacionarán también con la tasa fotosintética y por tanto con la capacidad de fijación de CO<sub>2</sub> y cosechas potenciales.

Habiendo determinado el coeficiente de forma de cada especie fue calculado el volumen real de todas las ramas existentes en cada copa y se estimó el volumen real que ocupa todo el árbol. Se determinará el volumen real del árbol entero y por estratos, analizando su evolución según la edad del árbol, diámetro y altura de la copa, representando cuadros y gráficas que muestran la distribución de biomasa por estrato en la copa. Se determinó si existe tendencia a la concentración de la biomasa en uno o más estratos. Se confeccionaron gráficos y tablas que ayuden a la visualización de esta supuesta concentración de biomasa.

Se determinó el volumen aparente de las copas, determinado por su diámetro y la altura media de las mismas que va desde la base al ápice. La finalidad será relacionar el volumen aparente (materiales y huecos) con el volumen real de material contenido en la copa (madera, hojas y frutos). El diámetro de la copa fue un promedio de dos segmentos

que se intersectan en el centro de la proyección de la copa formando un ángulo de 90°. El diámetro y la altura media de las copas darán diferentes modelos geométricos de volumen aparente (Figura 5) que se relacionará con el volumen real, y a través de la densidad con la biomasa.

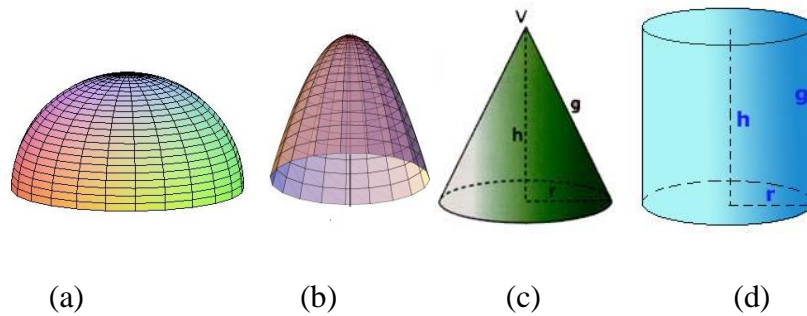


Figura 5. Modelos de crecimiento de copas arbóreas en una superficie determinada: (a) semielipse, (b) paraboloides, (c) crecimiento cónico, (d) crecimiento cilíndrico

La relación entre el volumen aparente de la copa y el volumen real de las ramas que habitan en ella lo denominamos factor de ocupación,  $FO$  que vendrá expresado por la ecuación 6:

Ecuación 6

$$FO = \frac{\text{Volumen real de copa}}{\text{Volumen aparente de copa}}$$

Conociendo el factor de ocupación, la altura del árbol junto con la superficie ocupada se determinó el volumen y la biomasa de todas las ramas que forman el árbol analizado.

Se estableció relaciones entre biomasa total y la residual obtenida en la poda, la cual será pesada con un dinamómetro, una vez atadas la ramas con eslingas formando paquetes.

c) **Logística**

- Tiempos de amontonamiento por hectárea.
- Obtener una cantidad de material amontonado y llevarla a la astilladora (determinar el tiempo del astillado y la potencia hp de la misma).
- En el laboratorio obtener una muestra de lo astillado y proceder al análisis de humedad hasta que el resultado obtenido sea constante.

### **3.9 Procesamiento de la información recolectada**

La información tomada en el campo se procesó mediante en el programa estadístico Statgraphics.

En Statgraphics se realizó los análisis unidimensionales, análisis de varianzas y modelos de regresión que relacionan el volumen total con el diámetro de copa, el diámetro de fuste y la altura.

### **3.10 Manejo de la investigación**

Encontramos una plantación de Cacao ya instalado, seleccionamos treinta arboles de al azar para de ellos comenzar a tomar los datos planteados. y cuantificamos y evaluamos la biomasa disponible en el cultivo,

Además al momento de la poda vamos haciendo montones de las ramas podadas y las vamos colocando en los caminos del huerto, de allí vamos a tomar tiempos de recolección de las ramas a muestrearse. Luego con la ayuda de unas eslingas y un dinamómetro formamos paquetes para poder tomar los datos de peso de las ramas.

Trasladamos las ramas muestreadas al laboratorio para proceder a realizar las prácticas de volumen de las ramas, contenido de agua, cenizas, etc.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1.- Análisis dendrométrico de las ramas

Primeramente se ha buscado realizar una caracterización de la forma y el volumen de las ramas de cacao, uno de los objetivos de la caracterización es la determinación del volumen a partir de datos fácilmente medibles como son el diámetro de la base y la longitud. En la tabla 4 se muestra un análisis estadístico de las variables medidas.

Tabla 4. Descripción estadística de los parámetros medidos en las ramas de cacao

	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Diámetro (cm)	Longitud (cm)
Frecuencia	30	30	30
Media	298.491	2.2236	122.667
Varianza	39207.0	0.29931	1296.09
Desviación típica	198.007	0.54766	36.0013
Mínimo	85.4982	1.264	50.0
Máximo	846.9	3.52	190.0
Rango	761.402	2.256	140.0
Asimetría tipi.	3.01627	1.21336	0.500533
Curtuosis tipificada	1.83208	0.194722	-0.64489

Como se puede observar en la tabla 1 los coeficientes de asimetría están dentro del intervalo entre -4 y +4 tanto en el diámetro, longitud y volumen de la rama, por ello consideramos que las mediciones tomadas en los respectivos parámetros se asemejan lo suficiente a una distribución normal. El coeficiente de asimetría es un indicador del grado de simetría o asimetría de una distribución de probabilidad de una variable aleatoria. Valores muy altos significarían un desplazamiento de la curva de distribución hacia la derecha y valores muy bajos (negativos) significarían un desplazamiento de la curva hacia la izquierda, de acuerdo a la figura 6.



Figura 6. Tipos de distribución según la asimetría

El coeficiente de Curtuosis en los datos tomados están dentro del intervalo -2 y +2 por lo que también se ajustan a una distribución normal. El coeficiente de Curtuosis informa sobre el grado de apuntamiento de la distribución. Valores muy altos significan una distribución Leptocúrtica donde la mayoría de los datos están muy próximos a la media, valores muy bajos (negativos) indicaría una distribución Platicúrtica en que los datos se distribuyen alejándose de la media según muestro la figura 7

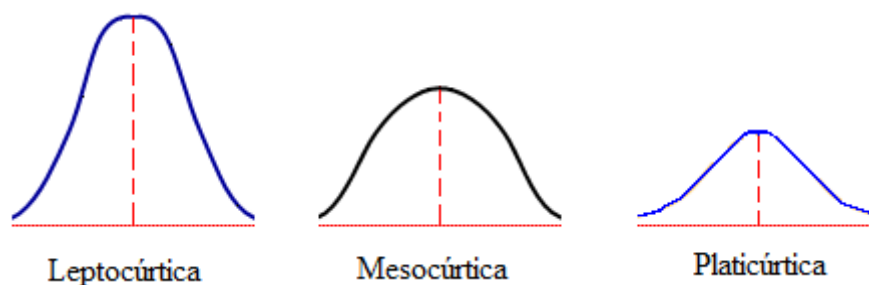


Figura 7. Clasificación de las distribuciones de acuerdo a su grado de apuntamiento

La relación entre el volumen con el diámetro y longitud de las ramas principales se muestran en la tabla 5. En ésta se observa que el coeficiente  $r^2$  es alto, de 95%, esto es el porcentaje de variabilidad que explica la función obtenida. Por otra parte el error medio obtenido es de  $34.21 \text{ cm}^3$  siendo su desviación típica de  $43.94 \text{ cm}^3$

Tabla 5. Modelo de regresión para las ramas principales.

Ecuación	EMA ( $\text{cm}^3$ )	DTE ( $\text{cm}^3$ )	$r^2$	p-Valor
$V = -110.204 + 31.625 * D^2 + 0.862712 * D * L$	34.2196	43.9423	95.4147	<0.05

- EMA: error medio absoluto
- DTE: desviación típica de los errores
- $R^2$ : coeficiente de determinación
- V: volumen ( $\text{cm}^3$ )
- L: longitud (cm)
- D: diámetro (cm)

Para el análisis de la forma de la rama se ha evaluado el factor de forma que es la relación entre el volumen real y diferentes volúmenes modelo tales como el cilindro, el paraboloides, el cono y el neiloide, obtenidos a partir del diámetro de la base y la longitud de la rama. El factor de forma más cercano a uno es el que mejor representa su forma como se puede observar en la tabla 6 el modelo que proporciona el volumen más próximo al real es el del paraboloides.

Tabla 6. Cálculo de factores de forma en cada uno de los, modelos geométricos estudiados

	F cilindro	F paraboloides	F cono	F neiloide
Media	0.58	1.16	1.74	2.32
Desviación tip.	0.10	0.20	0.31	0.41

#### 4.2. Biomasa y su distribución en la planta

Para el cálculo del volumen de la parte leñosa de la planta entera se estudió el volumen de las estructuras en cada uno de los estratos. En la Tabla 7 se muestran el diámetro medio, longitud media y volumen de las ramas que ocupan cada estrato. El volumen ocupado por cada una de las ramas en los diferentes estratos fue calculado a partir de la aplicación de las funciones de volumen anteriormente obtenidas. Se puede observar que lógicamente el volumen de las ramas de cada estrato disminuye. En la figura 6 se muestra la distribución de la biomasa dentro de la planta. Como se puede observar la mayor parte de biomasa se encuentra en las ramas primarias (más del 36%) ya que en las ramas secundarias y terciarias tienen un porcentaje más bajo.

Tabla 7. Diámetro, longitud, y volumen medios de las ramas en cada estrato.

	Diámetro (cm)		Longitud (cm)		Volumen de una rama (cm <sup>3</sup> )	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
<b>Fuste</b>	9.80	<b>2.69</b>	<b>22.32</b>	<b>13.96</b>	<b>1568.46</b>	<b>768.07</b>
<b>Estrato 1</b>	7.32	0.88	76.92	29.57	6191.32	1279.83
<b>Estrato 2</b>	4.08	0.93	147	49.50	5827.44	1814.11
<b>Estrato 3</b>	2.66	0.41	157.75	38.59	2823.63	831.79



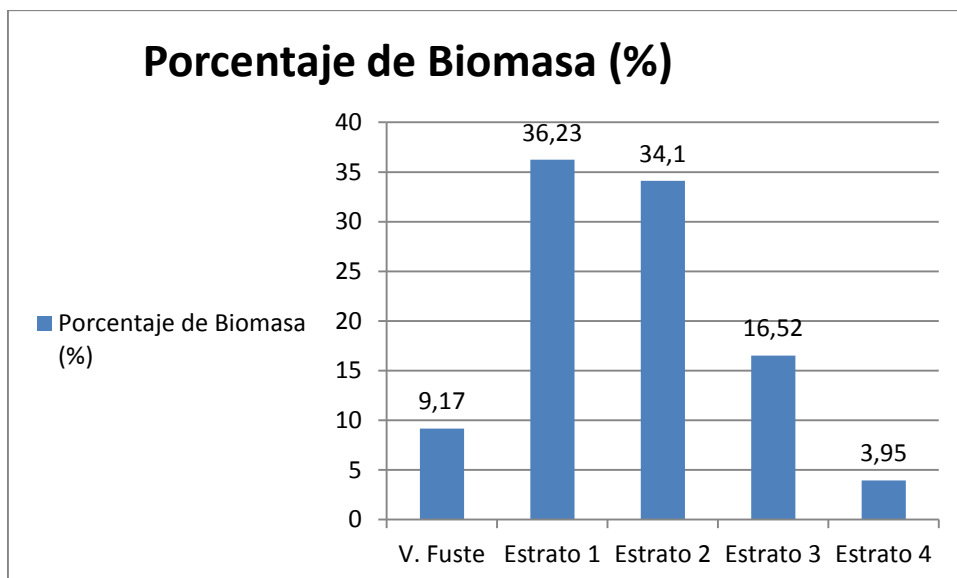


Figura 8. Distribución de la biomasa en los diferentes estratos de la planta.  
Elaborado por Daniel Ortega

En la Tabla 8 se demuestra mediante un análisis unidimensional del factor de ocupación habiendo obtenido una media de 0.9249 y una desviación típica de 0.2631.

Tabla 8. Calculo de la media y desviación típica del factor de ocupación

	$\bar{x}$	$\sigma$
Factor de ocupación	0.9249	0.2631

En la Tabla 9 se muestra la ecuación del factor de ocupación (FO) de la biomasa de la planta entera a partir del volumen aparente y volumen real. Esta función es de enorme utilidad práctica ya que mediante esta ecuación podemos conocer el factor de ocupación (FO) de esta especie.

Tabla 9. Modelo de regresión para el factor de ocupación (FO) de la especie

Ecuación	EMA (cm <sup>3</sup> )	DTE (cm <sup>3</sup> )	r <sup>2</sup>	p-Valor
$FO = 2.25936 - 0.144423 * DIAMETRO * ALTURA$	0.1732	0.2069	40.24	<0.05

EMA: error medio absoluto  
DTE: desviación típica de los errores  
r<sup>2</sup>: coeficiente de determinación  
FO: factor de ocupación

### 4.3.- Caracterización física de la biomasa

En este apartado se muestra los parámetros físicos de humedad, densidad, porcentaje de volátiles, porcentaje de cenizas, porcentaje de corteza. Los datos medios y desviaciones típicas se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Media y desviación típica de los parámetros físicos del material lignocelulósico del cacao.

	$\bar{x}$	$\sigma$
Humedad %	51.63	0.74
Cenizas %	14.41	2.05
Volátiles %	85.58	2.05
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	0.13	0.15
Densidad Seco g/cm <sup>3</sup>	1.030	0.284

$\bar{x}$ : Media

$\sigma$ : Desviación típica.

Como podemos observar el contenido de volátiles del material leñoso es alto del 85%. Esto significa que este material sería adecuado para un proceso de gasificación para la obtención de gas sintético, es decir un proceso de calentamiento en ausencia de oxígeno para la obtención de un gas volátil combustible. Los valores de densidad nos permiten determinar la cantidad de biomasa (kg) a partir de las funciones de volumen anteriormente calculadas.

Vemos que el contenido de humedad hace que exista una gran diferencia entre la densidad seca y la densidad húmeda. La humedad media de las muestras recién cortadas es del 51%. Esta humedad resulta elevada para los procesos de combustión directa en caldera lo que obliga a realizar un proceso de secado para el aprovechamiento energético de esta biomasa. Los requerimientos para la combustión directa exigen que ésta tenga una humedad máxima del 10%. En la Figura 8 se muestra la disminución de humedad durante los primeros días de secado de los materiales leñosos tras el corte de las ramas.

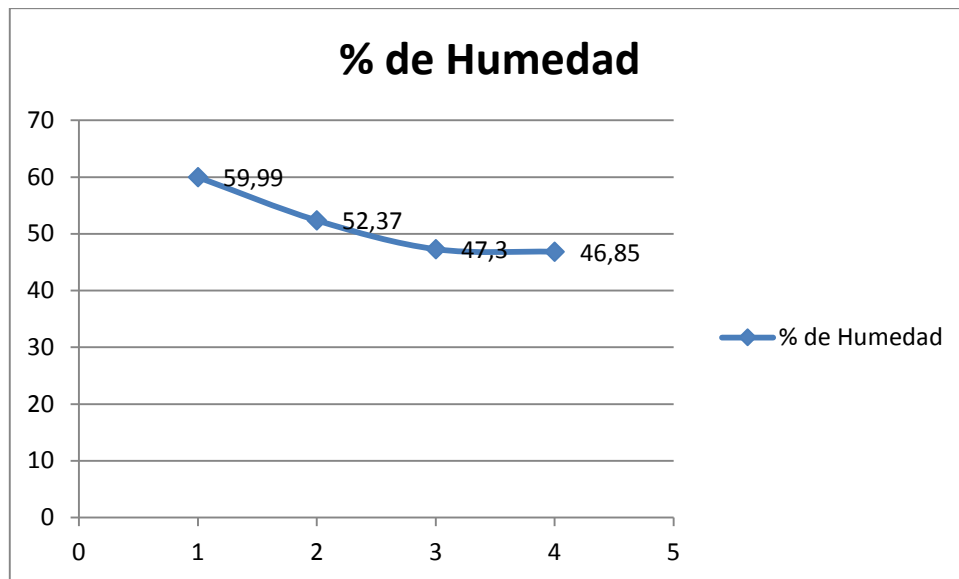


Figura 8. Variación de humedad tras los primeros días transcurridos después del corte de las ramas. Elaborado por Daniel Ortega

#### 4.4 Logística

En las tablas 11 y 12 se muestra el análisis unidimensional del tiempo de poda y recogida de residuos.

Tabla 11. Análisis de varianza en tiempos de poda del cacaotero

<b>Frecuencia</b>	<b>(Muestra)30</b>
<b>Media</b>	0,1329
<b>Varianza</b>	0,00006659
<b>Desviación típica</b>	0,00816045
<b>Mínimo</b>	0,1153
<b>Máximo</b>	0,1476
<b>Rango</b>	0,0323
<b>Coficiente de Asimetría</b>	-1,86302
<b>Coficiente de Curtosis</b>	0,0615839

En los resultados del análisis unidimensional de la tabla 11 a la media la transformamos en unidad de tiempo que nos da un resultado de 7 minutos 58 segundos, tiempo en el cual se termina de podar una planta de cacao de tres metros de altura. Es decir que en

una hectárea con un marco de plantación de 3x3, contiene 1111 plantas se van a demorar 147 horas 39 minutos 07 segundos.

Tabla 12. Análisis de varianza en tiempos de recolección

<b>Frecuencia</b>	<b>(Muestra) 30</b>
<b>Media</b>	0,0413
<b>Varianza</b>	2,69069E-05
<b>Desviación típica</b>	0,00518719
<b>Mínimo</b>	0,029
<b>Máximo</b>	0,049
<b>Rango</b>	0,02
<b>Coefficiente de Asimetría</b>	-1,71422
<b>Coefficiente de Curtosis</b>	0,297277

En los resultados del análisis unidimensional de la tabla 12 a la media la convertimos a unidad de tiempo, dando como resultado de la recolección 2 minutos 29 segundos por árbol. Dándonos como tiempo total de 45 horas 53 minutos 03 segundos en una hectárea de cultivo con un marco de plantación de 3x3, que contienen 1111 plantas.

#### 4.5 Verificación de la hipótesis

- a) El volumen de una estructura de las ramas de las especies vegetales guarda una proporcionalidad con volúmenes de figuras geométricas de revolución. La constante de proporcionalidad se denomina factor de forma, esta hipótesis al haber realizado el análisis se demostró que el paraboloide es la figura geométrica de revolución para el factor de forma.
- b) El volumen que ocupa las ramas o cualquier estructura guarda una relación matemática con su diámetro basal y su longitud. Esa relación se va a definir en este trabajo a través de una ecuación, luego de haber realizados los cálculos correspondientes se llegó a determinar la ecuación siguiente  $V = -110.204 + 31.625 * D^2 + 0.862712 * D * L$  en donde nos da constancia que guarda relación el volumen de las ramas con el diámetro basal y su longitud.
- c) La biomasa contenida en las plantas estudiadas es proporcional al espacio aparente que ocupa. La constante de proporcionalidad se denomina factor de

ocupación, se llegó a determinar que es proporcional el espacio aparente que ocupa las plantas estudiadas con su biomasa contenida, ya que nos da un resultado  $170.86 \text{ dm}^3$  y su desviación típica de  $36.08 \text{ dm}^3$ .

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En este estudio se ha caracterizado la forma y el volumen de las ramas del cacaotero en cada uno de los estratos. Las funciones de volumen calculadas poseen coeficientes de determinación bastante altos, por lo que se consideran adecuadas para su aplicación práctica.
- Se ha demostrado que la forma del fuste y las ramas más gruesas de las planta, las correspondientes al estrato 1 se ajusta bien a una forma parabolode.
- La biomasa lignocelulósica de la planta se distribuye de forma irregular, siendo el estrato 1 y estrato 2 donde se concentra la mayor parte de la biomasa de la planta, 36.23% y 34.1% respectivamente.
- Se han desarrollado métodos para predecir de forma aproximada la biomasa contenida en la planta entera. Bien se puede calcular aplicando una ecuación de volumen con un coeficiente de determinación del 95%.
- Se ha demostrado que el contenido de biomasa disponible promedio es de 15.37 kg por planta, llegando a la definición que en una hectárea de sembrío que contienen 1111 plantas con un marco de plantación de 3x3m. nos va a dar un resultado de 17076 toneladas de biomasa disponible.
- El contenido alto en materias volátiles hace pensar que este residuo podría tener buena aptitud para la combustión directa en caldera o para procesos de gasificación.

## CAPITULO VI

### PROPUESTA

#### 6.1 Título

Cuantificación y logística de la biomasa disponible en el cacao var. trinitario.

#### 6.2 Fundamentación

El primer paso de la investigación fue determinar la biomasa que contiene un árbol entero tanto en el tallo como en la copa. La cubicación del tallo se realizó a partir de la medición de los diámetros a distintas alturas y su longitud total, aplicando la ecuación del cilindro. La cuantificación de la biomasa contenida en la copa resulta más complicada, pues la estructura de los árboles frutales es de copa latifoliada, en la que no existen métodos plenamente desarrollados. Por ello, en este trabajo se realizó una propuesta metodológica. Para la determinación de los volúmenes de las ramas de la copa fue necesario desarrollar funciones de volumen mediante modelos de regresión a partir de mediciones sencillas como son el diámetro de la base y la longitud de la misma. También se analizaron factores de forma. Para estimar la biomasa leñosa contenida en toda la copa se efectuó un muestreo de las ramas en cada estrato de formación (ramas principales, ramas secundarias, etc.) calculando su volumen. El volumen medio obtenido se multiplicó por el número de ramas de cada estrato.

#### d) Cubicación de fuste y ramas

Los análisis dendrométricos para la cubicación de ramas se ha basado en la determinación de factores de forma y funciones de volumen. Se define factor de forma  $f$  como el cociente entre el volumen real y un volumen geométrico modelo tomado como referencia para una rama o tallo (ecuación 1). Generalmente el volumen de referencia utilizado es el cilindro. El conocimiento del factor de forma permite la obtención del

volumen real a partir del diámetro y longitud de la rama, a partir de los cuales se calcula el volumen de un cilindro. Multiplicando el volumen del cilindro por el factor de forma se obtiene el volumen de la rama.

$$f = \frac{\text{Volumen real de la estructura analizada}}{\text{Volumen del modelo}} \quad (1)$$

Para obtener el factor de forma de la especie, se seleccionaron 30 ramas. El volumen real de las mismas se obtuvo midiendo el diámetro de secciones separadas 10 cm a lo largo de su longitud, tal como indica la Figura 2. De esta forma tenemos un diámetro inicial y final para cada intervalo.

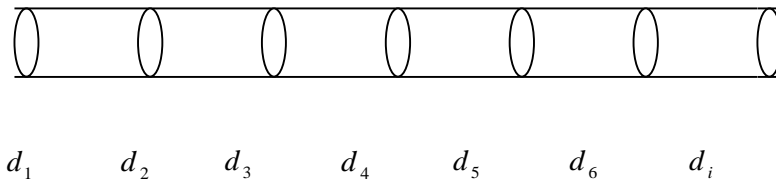
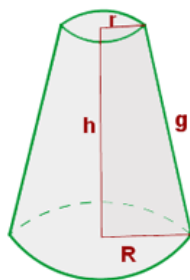


Figura 2. Mediciones de diámetros cada cierto intervalo

Cada sección puede ser considerada como un tronco de cono, cuyo volumen puede ser calculado por la ecuación 2 (volumen de cono truncado) o por la ecuación 3 (Ecuación de Smailan). La suma de todos los volúmenes de cada una de las porciones tomadas resultará el volumen real de la rama (Ecuación 4).



$$V_i = \frac{1}{3} \pi (R^2 + Rr + r^2) h \quad (2)$$

$$V_i = \pi \cdot h \cdot R_a^2 \quad \text{donde } R_a = \frac{R + r}{2} \quad (3)$$

$$V_{real} = \sum_{i=1}^i V_i \quad (4)$$

Figura 3. Sección de un tronco de cono, donde R = radio mayor; r = radio menor; h= longitud del intervalo



El cálculo del volumen modelo se realizó aplicando la fórmula del cilindro a partir del diámetro de la base ( $d$ ) y la longitud ( $L$ ) de la rama.

$$V_{cilindro} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L \quad (5)$$

En principio el coeficiente mórfico debe ser un parámetro característico de la especie y clase diamétrica. No obstante, para cada una de las determinaciones realizadas existe una variabilidad estadística, donde se determinará la media y la dispersión para cada uno de los casos. Como puede observarse la obtención del coeficiente mórfico  $f$  permite determinar el volumen de cualquier estructura midiendo su diámetro basal y longitud.

Junto con el volumen y los distintos coeficientes de forma se determinará la humedad de algunas ramas recién cortada, obteniendo la evolución de la misma secándose al aire y en estufa. Una vez secos los materiales, se determinará la densidad y biomasa seca. Por otra parte se analizarán modelos de regresión que definen funciones de volumen, considerando como variable dependiente el volumen total de la estructura ( $V$ ) en  $\text{cm}^3$  y como variables independientes el diámetro ( $D$ ), en cm y longitud ( $H$ ) en cm.

#### **b) Análisis de la cantidad de biomasa en copas**

Se cubicarán todas las ramas del primer estrato. Éste estrato corresponderá a las ramas de la base de la copa, que por lo general son un número reducido (3 -5 ramas), las de mayor diámetro. El estrato siguiente será muestreado, seleccionando varias ramas representativas. Por otra parte se contarán las ramas existentes, para así, al conocer el número total en el estrato se puede determinar el volumen de biomasa existente en el mismo. Seguidamente se contabilizará el número de brotes o ramificaciones en estratos sucesivos, volviendo a muestrear varias ramas de cada uno de ellos, lo que permitirá determinar el volumen total de cada uno de éstos por separado multiplicando el valor medio de rama por el número de ocurrencias. El último estrato, por lo general, corresponde a ramas muy pequeñas, por lo que no es posible su medición con el método de campo descrito anteriormente, por lo que se extraerá de cada árbol muestreado una rama central externa y otra rama de la parte superior de la copa, que se llevarán a laboratorio para determinar directamente su volumen sumergiéndolas en agua,

multiplicado por el número de ramas que corresponda a este estrato, obteniendo su volumen total. Por otra parte se deshojarán ramas tipo, determinando al mismo tiempo porcentaje de masa y superficie foliar. Los parámetros se correlacionarán también con la tasa fotosintética y por tanto con la capacidad de fijación de  $\text{CO}_2$  y cosechas potenciales.

Habiendo determinado el coeficiente de forma de cada especie será calculado el volumen real de todas las ramas existentes en cada copa y se estimará el volumen real que ocupa todo el árbol. Se determinará el volumen real del árbol entero y por estratos, analizando su evolución según la edad del árbol, diámetro y altura de la copa, representando cuadros y gráficas que muestran la distribución de biomasa por estrato en la copa. Se determinará si existe tendencia a la concentración de la biomasa en uno o más estratos. Se confeccionarán gráficos y tablas que ayuden a la visualización de esta supuesta concentración de biomasa.

Se determinará el volumen aparente de las copas, determinado por su diámetro y la altura media de las mismas que va desde la base al ápice. La finalidad será relacionar el volumen aparente (materiales y huecos) con el volumen real de material contenido en la copa (madera, hojas y frutos). El diámetro de la copa será un promedio de dos segmentos que se intersectan en el centro de la proyección de la copa formando un ángulo de  $90^\circ$ . El diámetro y la altura media de las copas darán diferentes modelos geométricos de volumen aparente (Figura 4) que se relacionará con el volumen real, y a través de la densidad con la biomasa.

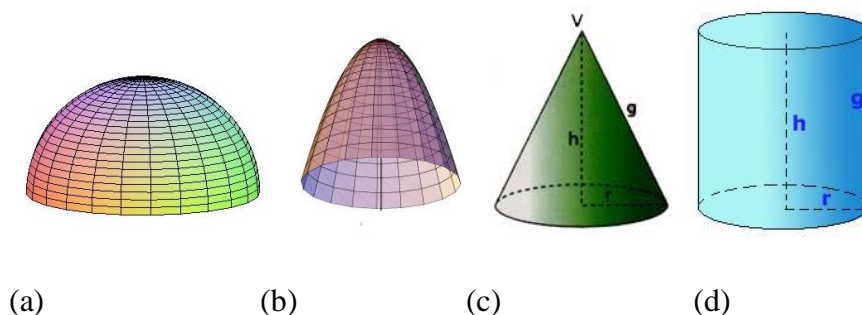


Figura 4. Modelos de crecimiento de copas arbóreas en una superficie determinada: (a) semielipse, (b) paraboloides, (c) crecimiento cónico, (d) crecimiento cilíndrico

La relación entre el volumen aparente de la copa y el volumen real de las ramas que habitan en ella lo denominamos factor de ocupación,  $FO$  que vendrá expresado por la ecuación 6:

$$FO = \frac{\text{Volumen real de copa}}{\text{Volumen aparente de copa}} \quad (6)$$

Conociendo el factor de ocupación, la altura del árbol junto con la superficie ocupada se puede determinar el volumen y la biomasa de todas las ramas que forman el árbol analizado.

Se establecerán relaciones entre biomasa total y la residual obtenida en la poda, la cual será pesada con un dinamómetro, una vez atadas la ramas con eslingas formando paquetes.

### c) **Logística**

- Tiempos de amontonamiento por hectárea.
- Obtener una cantidad de material amontonado y llevarla a la astilladora (determinar el tiempo del astillado y la potencia hp de la misma).

En el laboratorio obtener una muestra de lo astillado y proceder al análisis de humedad hasta que el resultado obtenido sea constante.

## **6.3 Objetivos**

- Comparar los mejores resultados en la cuantificación y logística de la biomasa disponible entre la variedad gramilla y trinitario.

## **6.4 Justificación e importancia**

Agenbur.com (2012), manifiesta que se considera biomasa a cualquier tipo de residuo obtenido de materia orgánica. Estos residuos pueden tener diversas procedencias:

agrícolas y forestales (como podas de frutales, viñedos ó paja de cereal); ganaderos (purines); industriales (huesos de aceituna, cáscaras de frutos secos ó serrín), ó cultivos energéticos. Mediante diversos procesos de transformación podemos obtener diversos tipos de energía (principalmente térmica y eléctrica).

La utilización de biomasa para generar energía térmica no es algo nuevo. Desde hace miles de años, con el descubrimiento del fuego, la biomasa ha sido una fuente energética esencial para el hombre y para el desarrollo de la sociedad, siendo la principal fuente de energía hasta finales del siglo XVIII.

En la actualidad sigue siendo una fuente de energía importante para gran parte de la humanidad, pero con la llegada de los combustibles fósiles este recurso energético ha perdido importancia en las sociedades industrializadas.

Naturalenergy.es, 2010, indica que la biomasa, sustancia orgánica renovable de origen animal o vegetal, era la fuente energética más importante para la humanidad y en ella se basaba la actividad manufacturera hasta el inicio de la revolución industrial. Con el uso masivo de combustibles fósiles el aprovechamiento energético de la biomasa fue disminuyendo progresivamente y en la actualidad presenta en el mundo un reparto muy desigual como fuente de energía primaria. Mientras que en los países desarrollados, es la energía renovable más extendida y que más se está potenciando, en multitud de países en vías de desarrollo es la principal fuente de energía primaria lo que provoca, en muchos casos, problemas medioambientales como la deforestación, desertización, reducción de la biodiversidad, etc.

No obstante, en los últimos años el panorama energético mundial ha variado notablemente. El elevado coste de los combustibles fósiles y los avances técnicos que han posibilitado la aparición de sistemas de aprovechamiento energético de la biomasa cada vez más eficientes, fiables y limpios, han causado que esta fuente de energía renovable se empiece a considerar por las industrias como una alternativa, total o parcial, a los combustibles fósiles.

## **6.5 Manejo Técnico**

- Buscar una plantación de cacao en Santo Domingo de los Tsáchilas.
- Seleccionar 30 árboles al azar.
- Tomar 30 ramas de cada árbol a estudiarse.
- Medir los diámetros de cada rama a una distancia de 10 centímetros hasta el final de la rama, con la ayuda de un pie de rey.
- Tomar los tiempos con la ayuda de un cronómetro para así determinar cuánto tiempo se demoran en podar y recolectar lo podado.
- De las 30 ramas, apartar 10 ramas para destinar a los análisis de laboratorio donde se determinará el contenido de humedad, cenizas, volátiles, densidad húmeda y densidad en seco.
- Registrar los datos en tablas de Excel para su posterior tabulación y determinación de ecuaciones para la predicción de la biomasa con la ayuda del programa Sthatgraphics.

## **6.6 Implementación / plan de acción**

- Transferencia de conocimientos hacía nuevos investigadores.
- Comparación de resultados entre variedades para llegar a conocer cual tiene mayor potencial de biomasa disponible.
- Presentar resultados a estudiantes, docentes, colaboradores relacionados con la investigación para fomentar el interés sobre estudios posteriores de biomasa y su utilidad.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Araujo, T.M., Higuchi, N., De Carvalho Junnior, J.A. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Parana, Brazil. *Forest Ecology and Management*. 117; 43-52

Biomasa en frutales, 2010. Consultado el 22 de Enero del 2014. Disponible en: [http://www.naturalenergy.es/joomla/index.php?option=com\\_content&view=article&id=54&Itemid=37](http://www.naturalenergy.es/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=54&Itemid=37).

Biomasa en frutales, 2012. Consultado el 22 de Enero del 2014. Disponible en: <http://www.agenbur.com/es/contenido/index.asp?idsec=70>.

Brown, S. (1996). "Mitigation Potential of Carbon Dioxide Emissions by Management of Forests in Asia." *Ambio* 25(4): 273-278

Brown, S. 1997. Los bosques y el cambio climatico: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbon. In Congreso Forestal Mundial (11, Antalya, Turquia). Actas. Antalya, Turquia, Ministry of Forestry.

Budowski, G. (1999). "Secuestro de carbono y gestión forestal en América tropical." *Bosques y Desarrollo*: 17-20p.

Callejón Ferre, A.J; Velázquez, Martí, B; Lopez, Martinez, J.A; Manzano, Agugliaro F; 2009. Greenhouse crop residues: Energy potential and models for prediction of their higher heating value. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(2): 948-955

Critical Comparisons. *For. Sci.* 573-593.

Diéguez U, et al. 2003. *DENDROMETRÍA*. Mundiprensa- Fundación Conde Valle de Salazar.

Dixon, R. K. (1995). "Sistemas agroforestales y gases de invernadero." *Agroforestería en las Américas* 2(7):

Dixon, R. K., Schroeder P.E., et al. (1991). "Assessment of promising forest management practices and technologies for enhancing the conservation

and sequestration of atmospheric carbon and their costs at the site level." Corvallis, Or., USA. USEPA: 100p.

Eamus D., McGuinness K., et al. (2000). Review of allometric relationships for estimating woody biomass for Queensland, the northern territory and western Australia. National Carbon Accounting System. 56p. Technical report N°5. National Carbon accounting system. D. o. C. Change, Australian Greenhouse Office. Technical report N°5: 56p.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. 2005. Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. J. Penman, M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe y F. Wagner (Eds)

Jordan C. F. & C. Uhl. 1978. Biomass of a terra firme forest of the Amazon Basin, near Márquez L. (1997). Validación de campo de los métodos del Instituto Winrock para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo para cuantificar carbono en sistemas agroforestales, Universidad del Valle Guatemala: 45p.

Parresol, B.R.; 1999. Assessing Tree and Stand Biomass: A Review with Examples and Sajdak, M; Velázquez, Martí, B; 2012. Estimation of pruned biomass through the adaptation of classic dendrometry on urban forests: case study of *Sophora japonica*. Renewable energy 47: 188-193.

Saldarriaga, J. G. Et al. 1988. Long Term Chrono Sequence of Forest Succession in the Upper Rio Negro of Colombia and Venezuela en , Journal Ecology Vo. 76 No. 4 Dic 1988. pp. 938-958.

San Carlos del Rio Negro. Venezuela. Oecol. Plantar. 13: 387 – 400.

Schlegel B., Gayoso J., et al. (2000). "Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial: Manual de procedimientos: Muestreos de biomasa forestal. Valdivia." Universidad Austral de Chile: 24p.

Snowdon P., Raison J., et al. (2002). "Protocol for Sampling Tree and Stand Biomass. National carbon accounting system technical report no . 31." Australian Greenhouse Office 76(31): 114p.

Vargas-Moreno J.M., Callejón-Ferre A.J., Pérez-Alonso J., Velázquez-Martí B. 2012. A review of the mathematical models for predicting the heating value of biomass materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 3065– 3083.+

Velázquez, Martí, B; Annevelink, E; 2009. GIS application to define biomass collection points as sources for linear programming of delivery networks. *Transactions of ASABE* 52(4): 1069-1078

Velázquez, Martí, B; Fernandez, Gonzalez, E; Estornell, J; Ruiz, L.A; 2010. Dendrometric and dasometric analysis of the bushy biomass in Mediterranean forests. *Forest Ecology and Management* 259: 875-882

Velázquez-Martí B., Fernández-González E., López-Cortes I., Salazar-Hernández DM. 2011. Quantification of the residual biomass obtained from pruning of vineyards in Mediterranean area. *Biomass and Bioenergy* 35(3): 3453-3464.



## **ANEXOS**

**ANEXO 1.- Diámetro de ramas (Una rama por árbol)**

LONGITUD (cm)	RAMA 1	RAMA 2	RAMA 3	RAMA 4	RAMA 5	RAMA 6	RAMA 7	RAMA 8	RAMA 9	RAMA 10	RAMA 11	RAMA 12	RAMA 13	RAMA 14	RAMA 15	RAMA 16	RAMA 17	RAMA 18	RAMA 19	RAMA 20	RAMA 21	RAMA 22	RAMA 23	RAMA 24	RAMA 25	RAMA 26	RAMA 27	RAMA 28	RAMA 29	RAMA 30	
0	1,84	2,29	2,43	2,38	3,52	2,48	1,85	2,14	1,72	1,97	1,90	2,17	1,48	3,12	2,45	1,47	1,82	2,39	3,32	2,21	2,14	2,26	2,79	2,42	1,52	2,38	3,06	1,68	2,28	1,26	
10	1,82	2,20	2,40	2,04	2,67	2,29	1,60	1,62	1,69	1,46	1,89	1,87	1,30	2,68	2,48	1,34	1,65	1,99	3,20	2,05	1,83	2,02	2,78	2,40	1,45	2,03	2,95	1,48	2,21	1,25	
20	1,92	2,04	2,35	2,04	2,82	2,06	1,52	1,45	1,53	1,36	1,80	1,72	1,26	2,64	2,20	1,42	1,64	1,97	2,94	1,99	1,74	1,95	2,61	2,10	1,17	1,40	2,71	1,47	2,12	1,42	
30	1,87	1,82	2,23	1,91	2,93	2,00	1,72	1,42	1,48	1,39	1,69	1,70	1,17	2,58	2,13	1,35	1,45	1,92	2,89	2,22	1,88	1,87	2,54	1,97	1,15	1,90	2,46	1,41	2,01	1,26	
40	1,83	1,93	2,04	1,70	2,60	1,91	1,74	1,47	1,46	1,24	1,57	1,80	1,14	2,66	2,09	1,30	1,41	1,82	2,74	1,93	1,71	2,04	2,44	2,12	1,13	2,05	2,64	1,14	2,05	1,18	
50	1,79	1,83	2,01	1,65	2,56	1,86	1,44	1,07	1,34	1,29	1,71	1,46	1,08	2,46	2,11	1,16	1,34	1,66	2,61	1,64	1,70	1,75	2,40	1,96	1,15	1,80	2,24	0,97	1,71	1,14	
60	1,77	1,79	1,97	1,86	2,52	1,87	1,30	1,12	1,36	1,18	1,59	1,37	1,02	2,42	2,26	1,11	1,35	1,71	2,55	1,36	1,59	1,79	2,39	1,88	1,04	1,74	2,12	0,81		1,02	
70	1,74	1,66	1,93	1,29	2,31	1,83	1,44	0,94	1,35	1,28	1,45	1,55	0,93	2,34	1,97	1,03	1,37	1,58	2,44	1,22	1,47	1,75	2,27	1,80	1,10	1,66	2,44	0,58		0,99	
80	1,56	1,41	1,94	1,21	2,19	1,82	1,34	0,91	1,24	1,14	1,41	1,28	0,90	2,19	1,78	0,71	1,00	1,62	2,51	1,21	1,45	1,63	2,13	1,71	0,83	1,72	1,95			0,81	
90	1,45	1,48	1,88	1,19	2,31	2,04	1,19	0,79	1,11	0,88	1,34	1,25	0,85	2,29	1,70		0,83	1,63	2,18	1,16	1,19	1,65	1,90	1,60	0,76	1,68	1,27			0,74	
100	1,45	1,64	1,78	1,18	2,28	1,61	1,35		1,01		1,32	1,23	0,79	2,10	1,63		0,89		2,06	1,14	1,27	1,49	1,86	1,80	0,64					0,59	
110	1,35	1,31	1,73	1,12	2,11	1,53	1,16				1,30	1,27		2,11	1,74		0,65		2,28	1,10	1,21	1,43	1,78	1,59						0,57	
120	1,29	1,37	1,75	1,02	2,20	1,34	1,00				1,05	1,19			1,50				2,01	1,07	1,07	1,33	1,94	1,43						0,39	
130	1,23	1,19	1,58	0,88	2,06	1,25					0,99				1,36				2,11	0,89		1,25	1,78	1,38							
140	1,12	1,06			1,96	1,36					0,91								1,94			1,25	1,66	1,47							
150	1,11	0,92			1,89	1,07					0,92								2,03			1,21	1,58	1,13							
160		0,81			1,75	1,03													1,80			1,08	1,51	1,06							
170					1,69														1,83				1,41	0,97							
180					1,69														1,81				1,18								
190					1,55														1,45												

## ANEXO2.- Volumen de ramas

LONGITUD (cm)	RAMA 1	RAMA 2	RAMA 3	RAMA 4	RAMA 5	RAMA 6	RAMA 7	RAMA 8	RAMA 9	RAMA 10	RAMA 11	RAMA 12	RAMA 13	RAMA 14	RAMA 15	RAMA 16	RAMA 17	RAMA 18	RAMA 19	RAMA 20	RAMA 21	RAMA 22	RAMA 23	RAMA 24	RAMA 25	RAMA 26	RAMA 27	RAMA 28	RAMA 29	RAMA 30
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	26,3	39,5	45,9	38,5	75,6	44,7	23,3	27,8	22,9	23,3	28,1	32,0	15,2	66,1	47,7	15,5	23,6	37,8	83,3	35,6	31,0	36,1	60,9	45,5	17,3	38,4	70,9	19,7	39,4	12,4
20	27,4	35,3	44,3	32,6	59,0	37,2	19,1	18,4	20,3	15,5	26,7	25,4	12,9	55,4	43,1	14,9	21,2	30,8	74,1	32,0	25,1	31,0	57,1	39,8	13,5	23,4	63,0	17,1	36,7	13,9
30	28,1	29,4	41,2	30,5	64,7	32,4	20,7	16,1	17,8	14,8	23,8	23,0	11,6	53,4	36,9	15,0	18,8	29,7	66,7	34,8	25,8	28,7	52,1	32,5	10,5	21,5	52,5	16,3	33,4	14,0
40	26,9	27,6	35,8	25,6	60,0	30,1	23,5	16,4	17,0	13,6	20,8	24,1	10,5	53,8	35,0	13,7	16,1	27,4	62,2	33,8	25,3	30,0	48,7	32,8	10,2	30,7	51,1	12,8	32,3	11,7
50	25,7	27,8	32,1	22,0	52,3	27,9	20,0	12,8	15,3	12,6	21,1	21,0	9,7	51,3	34,6	11,8	14,9	23,8	56,2	25,0	22,8	28,1	46,1	32,7	10,2	29,2	46,8	8,8	27,7	10,5
60	24,8	25,7	31,1	24,1	50,7	27,3	14,8	9,4	14,2	12,0	21,3	15,8	8,6	46,7	37,6	10,1	14,1	22,4	52,3	17,7	21,3	24,5	45,1	28,9	9,5	24,7	37,2	6,2	7,6	9,2
70	24,2	23,3	29,9	19,7	45,9	26,8	14,8	8,3	14,4	11,9	18,1	16,8	7,5	44,5	35,3	9,0	14,5	21,2	48,8	13,0	18,5	24,5	42,5	26,5	9,0	22,7	40,9	3,8	0,0	7,9
80	21,5	18,6	29,4	12,3	39,9	26,0	15,2	6,7	13,2	11,5	16,1	15,8	6,6	40,4	27,7	6,0	11,2	20,1	48,0	11,6	16,8	22,4	37,9	24,1	7,4	22,4	38,0	0,9	0,0	6,3
90	17,9	16,4	28,7	11,3	39,9	29,2	12,6	5,7	10,8	8,0	14,9	12,5	6,0	39,5	23,8	1,3	6,6	20,7	43,2	11,0	13,8	21,1	31,9	21,4	4,9	22,7	20,6	0,0	0,0	4,7
100	16,5	19,1	26,3	11,1	41,4	26,2	12,7	1,6	8,9	2,0	13,9	12,1	5,3	37,9	21,8	0,0	5,8	6,9	35,3	10,4	11,8	19,4	27,8	22,6	3,8	7,4	4,2	0,0	0,0	3,5
110	15,4	17,1	24,3	10,4	37,8	19,4	12,4	0,0	2,7	0,0	13,4	12,3	1,6	34,8	22,3	0,0	4,7	0,0	36,9	9,8	12,0	16,8	26,0	22,6	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7
120	13,6	14,1	23,9	9,1	36,3	16,2	9,2	0,0	0,0	0,0	10,9	11,9	0,0	11,7	20,6	0,0	1,1	0,0	36,1	9,2	10,2	14,9	27,2	17,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8
130	12,5	12,9	21,8	7,1	35,5	13,1	2,6	0,0	0,0	0,0	8,2	3,7	0,0	0,0	16,0	0,0	0,0	0,0	33,3	7,5	3,0	13,1	27,3	15,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
140	10,9	10,0	6,5	2,0	31,7	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	32,1	2,1	0,0	12,3	23,3	15,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
150	9,8	7,7	0,0	0,0	29,2	11,7	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,8	0,0	0,0	11,9	20,6	13,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
160	3,2	5,8	0,0	0,0	26,1	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,8	0,0	0,0	10,3	18,7	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
170	0,0	1,7	0,0	0,0	23,3	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,8	0,0	0,0	3,0	16,6	8,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

<b>VOLUMEN TOTAL</b>	<b>180</b>	<b>190</b>	<b>200</b>	<b>Longitud (cm)</b>
304,73	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 1</b>
331,95	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 2</b>
421,09	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 3</b>
256,31	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 4</b>
798,58	22,4	20,6	6,3	<b>RAMA 5</b>
393,08	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 6</b>
200,98	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 7</b>
123,35	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 8</b>
157,50	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 9</b>
125,26	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 10</b>
253,04	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 11</b>
226,43	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 12</b>
95,50	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 13</b>
535,63	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 14</b>
406,97	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 15</b>
97,32	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 16</b>
152,53	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 17</b>
240,75	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 18</b>
846,81	26,0	21,0	5,5	<b>RAMA 19</b>
253,52	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 20</b>
237,41	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 21</b>
348,07	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 22</b>
626,49	13,1	3,6	0,0	<b>RAMA 23</b>
412,00	2,5	0,0	0,0	<b>RAMA 24</b>
97,37	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 25</b>
243,09	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 26</b>
425,28	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 27</b>
85,50	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 28</b>
177,08	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 29</b>
99,13	0,0	0,0	0,0	<b>RAMA 30</b>

### ANEXO 3.- Función de volumen

Rama	Volumen	Diámetro	Longitud	D*L	D^2	L^2	L*D^2	V. Cilíndrico	V. Paraboloid	V. Cono	V. Neiloide	F. Cilíndrico	F. Paraboloid	F. Cono	F. Neiloide
1	304,73	1.841	150	276,15	3,38	22.500	507,00	398,20	199,10	132,73	99,55	0,77	1,53	2,30	3,06
2	331,95	2.289	160	366,24	5,23	25.600	836,80	657,22	328,61	219,07	164,31	0,51	1,01	1,52	2,02
3	421,09	2.432	130	316,16	5,91	16.900	768,30	603,42	301,71	201,14	150,86	0,70	1,40	2,09	2,79
4	256,31	2.383	130	309,79	5,67	16.900	737,10	578,92	289,46	192,97	144,73	0,44	0,89	1,33	1,77
5	798,58	3.520	190	668,8	12,39	36.100	2.354,10	1.848,91	924,46	616,30	462,23	0,43	0,86	1,30	1,73
6	393,09	2.478	160	396,48	6,14	25.600	982,40	771,58	385,79	257,19	192,89	0,51	1,02	1,53	2,04
7	200,98	1.850	120	222,00	3,42	14.400	410,40	322,33	161,16	107,44	80,58	0,62	1,25	1,87	2,49
8	123,35	2.136	90	192,24	4,56	8.100	410,40	322,33	161,16	107,44	80,58	0,38	0,77	1,15	1,53
9	157,50	1.722	100	172,2	2,96	10.000	296,00	232,48	116,24	77,49	58,12	0,68	1,35	2,03	2,71
10	125,26	1.972	90	177,48	3,88	8.100	349,20	274,26	137,13	91,42	68,57	0,46	0,91	1,37	1,83
11	253,04	1.895	150	284,25	3,59	22.500	538,50	422,94	211,47	140,98	105,73	0,60	1,20	1,79	2,39
12	226,43	2.166	120	259,92	4,69	14.400	562,80	442,02	221,01	147,34	110,51	0,51	1,02	1,54	2,05
13	95,50	1.478	100	147,8	2,18	10.000	218,00	171,22	85,61	57,07	42,80	0,56	1,12	1,67	2,23
14	535,63	3.120	110	343,2	9,73	12.100	1.070,30	840,61	420,31	280,20	210,15	0,64	1,27	1,91	2,55
15	406,70	2.447	130	318,11	5,98	16.900	777,40	610,57	305,28	203,52	152,64	0,67	1,33	2,00	2,66
16	97,33	1.468	80	117,44	2,15	6.400	172,00	135,09	67,54	45,03	33,77	0,72	1,44	2,16	2,88
17	152,53	1.817	110	199,87	3,30	12.100	363,00	285,10	142,55	95,03	71,28	0,54	1,07	1,61	2,14
18	240,75	2.388	90	214,92	5,70	8.100	513,00	402,91	201,46	134,30	100,73	0,60	1,20	1,79	2,39
19	846,81	3.315	190	629,85	10,98	36.100	2.086,20	1.638,50	819,25	546,17	409,63	0,52	1,03	1,55	2,07
20	253,52	2.206	130	286,78	4,86	16.900	631,80	496,22	248,11	165,41	124,05	0,51	1,02	1,53	2,04
21	237,41	2.143	120	257,16	4,59	14.400	550,80	432,60	216,30	144,20	108,15	0,55	1,10	1,65	2,20
22	348,07	2.264	160	362,24	5,12	25.600	819,20	643,40	321,70	214,47	160,85	0,54	1,08	1,62	2,16

Rama	Volumen	Diámetro	Longitud	D*L	D^2	L^2	L*D^2	V. Cilíndrico	V. Paraboloides	V. Cono	V. Neiloide	F. Cilíndrico	F. Paraboloides	F. Cono	F. Neiloide
23	626,49	2.787	180	501,66	7,76	32.400	1.396,80	1.097,05	548,52	365,68	274,26	0,57	1,14	1,71	2,28
24	412,00	2.415	170	410,55	5,83	28.900	991,10	778,41	389,20	259,47	194,60	0,53	1,06	1,59	2,12
25	97,38	1.515	100	151,5	2,29	10.000	229,00	179,86	89,93	59,95	44,96	0,54	1,08	1,62	2,17
26	243,09	2.383	90	214,47	5,67	8.100	510,30	400,79	200,39	133,60	100,20	0,61	1,21	1,82	2,43
27	425,28	3.055	90	274,95	9,33	8.100	839,70	659,50	329,75	219,83	164,88	0,64	1,29	1,93	2,58
28	85,50	1.684	70	117,88	2,83	4.900	198,10	155,59	77,79	51,86	38,90	0,55	1,10	1,65	2,20
29	177,08	2.275	50	113,75	5,17	2.500	258,50	203,03	101,51	67,68	50,76	0,87	1,74	2,62	3,49
30	99,13	1.264	120	151,68	1,59	14.400	190,80	149,85	74,93	49,95	37,46	0,66	1,32	1,98	2,65
											Media	0,58	1,16	1,74	2,32
											D.T	0,10	0,21	0,31	0,42

#### ANEXO 4.- Volumen aparente de la copa

Tallo	Diámetro base	Longitud del tallo (cm)	Altura total (m)	Altura de la copa (m)	Diámetro copa 1 (m)	Diámetro copa 2 (m)	Suma de copas	diámetro medio de la copa	Volumen del fuste	Volumen aparente de copa modelo cilíndrico	Volumen aparente de copa modelo cilíndrico (dem)	Volumen real	Factor de ocupación	Diametro^2	Altura total^2	Diámetro fuste^2	Diámetro*altura	Diámetro*diámetro de fuste	Altura*diámetro de fuste
1	8,88	18	3	2,82	2	2,82	4,82	2,41	1113,53	12,86	12863,94	12528,60	0,97	5,81	9,00	78,77	7,23	21,39	26,63
2	9,71	17,5	3,43	3,255	2,40	3,255	5,66	2,8275	1294,55	20,44	20438,41	14323,13	0,70	7,99	11,76	94,19	9,70	27,44	33,29
3	10,16	15	3,49	3,34	2,30	3,34	5,64	2,82	1214,90	20,86	20861,02	17696,22	0,85	7,95	12,18	103,12	9,84	28,64	35,44
4	9,05	30	3,34	3,04	2,40	3,04	5,44	2,72	1928,51	17,66	17664,54	16915,52	0,96	7,40	11,16	81,85	9,08	24,61	30,22
5	9,20	20	3,4	3,20	2,20	3,20	5,40	2,7	1328,66	18,32	18321,81	11149,09	0,61	7,29	11,56	84,58	9,18	24,83	31,27
6	11,92	10	3,27	3,17	2,70	3,17	5,87	2,935	1115,95	21,45	21446,99	15379,72	0,72	8,61	10,69	142,09	9,60	34,99	38,98
7	9,04	34	3,32	2,98	2,43	2,98	5,41	2,705	2179,85	17,13	17125,44	20688,15	1,21	7,32	11,02	81,63	8,98	24,44	30,00
8	12,53	20	3,54	3,34	2,57	3,34	5,91	2,955	2467,74	22,91	22906,16	23061,68	1,01	8,73	12,53	157,10	10,46	37,04	44,37
9	1,00	83	3,46	2,63	3,20	2,63	5,83	2,915	65,59	17,55	17551,88	15926,13	0,91	8,50	11,97	1,01	10,09	2,92	3,47
10	11,25	20	3,23	3,03	2,46	3,03	5,49	2,745	1986,98	17,93	17931,57	14595,98	0,81	7,54	10,43	126,50	8,87	30,87	36,33
11	8,24	33	3,37	3,04	2,00	3,04	5,04	2,52	1759,78	15,16	15162,32	19728,01	1,30	6,35	11,36	67,90	8,49	20,76	27,77
12	9,76	28	3,42	3,14	2,42	3,14	5,56	2,78	2095,69	19,06	19059,44	23451,47	1,23	7,73	11,70	95,30	9,51	27,14	33,39
13	8,31	15	3,60	3,45	2,70	3,45	6,15	3,075	813,75	25,62	25621,25	19223,69	0,75	9,46	12,96	69,07	11,07	25,56	29,92
14	6,82	13	3,43	3,30	3,10	3,30	6,40	3,2	475,46	26,54	26540,24	11506,93	0,43	10,24	11,76	46,57	10,98	21,84	23,41
15	10,57	20	3,33	3,13	2,33	3,13	5,46	2,73	1755,31	18,32	18321,48	15615,43	0,85	7,45	11,09	111,75	9,09	28,86	35,20
16	8,76	45	3,27	2,82	2,70	2,82	5,52	2,76	2712,14	16,87	16871,67	20015,78	1,19	7,62	10,69	76,74	9,03	24,18	28,65
17	10,51	20	3,07	2,87	2,90	2,87	5,77	2,885	1734,45	18,76	18761,36	14887,96	0,79	8,32	9,42	110,42	8,86	30,32	32,26
18	7,63	15	2,74	2,59	2,20	2,59	4,79	2,395	684,95	11,67	11668,14	19496,27	1,67	5,74	7,51	58,14	6,56	18,26	20,89
19	7,71	19	3,10	2,91	2,50	2,91	5,41	2,705	886,83	16,72	16723,16	17111,89	1,02	7,32	9,61	59,43	8,39	20,85	23,90
20	9,10	13	3,34	3,21	3,40	3,21	6,61	3,305	844,76	27,54	27538,41	24448,96	0,89	10,92	11,16	82,74	11,04	30,06	30,38

Tallo	Diámetro base	Longitud del tallo (cm)	Altura total (m)	Altura de la copa (m)	Diámetro copa 1 (m)	Diámetro copa 2 (m)	Suma de copas	diámetro medio de la copa	Volumen del fuste	Volumen aparente de copa modelo cilíndrico	Volumen aparente de copa modelo cilíndrico (dem)	Volumen real	Factor de ocupación	Diámetro <sup>2</sup>	Altura total <sup>2</sup>	Diámetro fuste <sup>2</sup>	Diámetro*altura	Diámetro*diámetro de fuste	Altura*diámetro de fuste	
21	14,10	13	3,10	2,97	3,20	2,97	6,17	3,085	2030,47	22,20	22200,24	14529,07	0,65	9,52	9,61	198,87	9,56	43,50	43,72	
22	9,02	17	3,24	3,07	2,30	3,07	5,37	2,685	1086,31	17,38	17382,72	11571,33	0,67	7,21	10,50	81,36	8,70	24,22	29,22	
23	11,04	35	3,04	2,69	2,70	2,69	5,39	2,695	3351,01	15,34	15344,78	19061,93	1,24	7,26	9,24	121,90	8,19	29,76	33,56	
24	13,48	20	3,10	2,90	2,70	2,90	5,60	2,8	2854,73	17,86	17856,85	17542,74	0,98	7,84	9,61	181,74	8,68	37,75	41,79	
25	15,45	12	3,18	3,06	2,50	3,06	5,56	2,78	2248,27	18,57	18573,85	20315,08	1,09	7,73	10,11	238,55	8,84	42,94	49,12	
26	10,38	18	3,45	3,27	2,80	3,27	6,07	3,035	1522,32	23,66	23656,80	13426,23	0,57	9,21	11,90	107,68	10,47	31,49	35,80	
27	7,13	17	3,37	3,20	2,55	3,20	5,75	2,875	678,00	20,77	20773,83	14885,61	0,72	8,27	11,36	50,78	9,69	20,49	24,01	
28	12,61	18	3,50	3,32	2,60	3,32	5,92	2,96	2246,92	22,85	22846,12	20692,34	0,91	8,76	12,25	158,94	10,36	37,32	44,12	
29	8,15	17	3,38	3,21	2,80	3,21	6,01	3,005	886,64	22,77	22765,90	18850,20	0,83	9,03	11,42	66,41	10,16	24,49	27,54	
30	12,397	14	2,76	2,62	2,10	2,62	4,72	2,36	1689,87	11,46	11460,83	13968,92	1,22	5,57	7,62	153,69	6,51	29,26	34,22	
<b>MEDIA</b>	9,80	22,32										<b>MEDIA</b>	0,92							
<b>D.T</b>	2,691897577	13,96453842										<b>D. T.</b>	0,26							



## ANEXO 5.- Estrato I

ESTRATO 1 RAMAS PRIMARIAS					
	RAMAS	LONGITUD	DIAMETRO	volumen rama	Volumen Estrato 1
ARBOL 1	1	72	8,57	2746,68	
	2	39	8,17	2277,86	5024,55
ARBOL 2	1	97	7,85	2493,82	
	2	40	7,83	2097,87	4591,70
ARBOL 3	1	58	6,58	1586,46	
	2	62	6,53	1587,62	
	3	133	6,33	1881,77	
	4	134	6,18	1813,61	6869,45
ARBOL 4	1	55	6,83	1686,78	
	2	70	8,15	2479,75	
	3	37	7,83	2078,67	6245,20
ARBOL 5	1	45	7,24	1826,13	
	2	130	5,84	1623,38	3449,51
ARBOL 6	1	90	7,47	2231,79	
	2	48	8,04	2267,62	
	3	68	7,24	1972,27	6471,68
ARBOL 7	1	44	8,25	2355,48	
	2	120	5,87	1587,69	
	3	100	5,28	1228,66	
	4	60	6,32	1480,14	6651,98
ARBOL 8	1	46	8,62	2582,39	
	2	55	6,15	1379,52	
	3	130	5,87	1635,44	
	4	90	7,32	2154,89	7752,24
ARBOL 9	1	78	8,62	2819,78	
	2	87	8,05	2541,67	
	3	120	6,69	1995,19	7356,64
ARBOL 10	1	60	6,14	1397,70	
	2	72	8,04	2434,68	
	3	58	7,03	1802,06	5634,43
ARBOL 11	1	125	6,59	1971,28	
	2	95	8,35	2776,12	
	3	48	8,66	2620,20	7367,59
ARBOL 12	1	53	6,19	1382,41	
	2	46	8,47	2493,06	
	3	62	7,02	1823,81	
	4	132	6,58	2005,74	7705,02
ARBOL 13	1	57	6,84	1703,37	
	2	73	8,42	2662,22	
	3	85	7,13	2020,40	
	4	100	6,95	2019,09	8405,07

	<b>RAMAS</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO</b>	<b>volumen rama</b>	<b>Volumen Estrato 1</b>
ARBOL 14	1	70	8,06	2433,34	
	2	45	7,84	2139,12	4572,46
ARBOL 15	1	61	6,52	1577,80	
	2	58	6,53	1563,70	
	3	125	6,68	2021,38	5162,87
ARBOL 16	1	76	8,44	2692,99	
	2	132	8,08	2876,53	
	3	90	7,94	2500,09	8069,61
ARBOL 17	1	43	7,83	2121,33	
	2	80	7,65	2265,83	4387,16
ARBOL 18	1	60	6,64	1625,51	
	2	59	6,49	1549,91	
	3	125	6,87	2125,45	
	4	129	6,72	2067,44	7368,31
ARBOL 19	1	73	8,42	2664,01	
	2	48	8,05	2269,82	
	3	60	8,16	2418,00	7351,82
ARBOL 20	1	58	6,64	1617,35	
	2	63	6,83	1737,29	
	3	134	6,58	2021,87	
	4	128	6,18	1781,10	7157,61
ARBOL 21	1	75	8,48	2709,69	
	2	46	8,16	2321,11	5030,80
ARBOL 22	1	78	8,66	2842,48	
	2	39	8,15	2261,92	5104,41
ARBOL 23	1	97	7,67	2389,31	
	2	46	7,73	2087,34	
	3	90	7,94	2501,25	6977,90
ARBOL 24	1	59	6,57	1588,40	
	2	61	6,58	1603,01	
	3	130	6,61	2013,98	5205,38
ARBOL 25	1	58	6,49	1544,31	
	2	63	6,58	1615,76	
	3	120	6,69	1997,82	
	4	133	6,15	1789,10	6947,00
ARBOL 26	1	70	8,60	2745,77	
	2	48	8,56	2563,93	5309,70
ARBOL 27	1	96	7,85	2491,11	
	2	48	7,86	2170,72	
	3	55	7,85	2208,95	6870,78
ARBOL 28	1	60	6,49	1555,50	
	2	63	6,50	1577,40	
	3	75	6,53	1662,77	
	4	77	6,57	1692,32	6487,99

	<b>RAMAS</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO</b>	<b>volumen rama</b>	<b>Volumen Estrato 1</b>
ARBOL 29	1	45	8,67	2606,00	
	2	75	8,55	2752,51	5358,51
ARBOL 30	1	98	7,95	2558,41	
	2	50	8,06	2294,20	4852,61
	<b>Media</b>	76,92	7,32		6191,33
	<b>D.T</b>	29,58	0,88		1279,83

## ANEXO 6.- Estrato II

ESTRATO 2 RAMAS SECUNDARIAS					
	RAMAS	LONGITUD	DIAMETRO	VOLUMEN DE RAMA	VOLUMEN ESTRATO 2
ARBOL 1	1	126	5,22	1318,53	
	2	132	5,36	1410,59	
	3	164	2,56	458,96	
	4	90	4,71	958,21	4146,29
ARBOL 2	1	80	5,85	1377,17	
	2	125	5,98	1667,08	
	3	170	3,96	964,53	
	4	80	5,24	1120,61	5129,39
ARBOL 3	1	206	4,15	1172,00	
	2	170	3,94	958,59	
	3	187	3,84	976,85	
	4	285	3,81	1287,11	
	5	258	2,89	796,38	
	6	140	4,03	890,17	
	7	210	3,26	816,90	
	8	210	3,40	870,57	7768,57
ARBOL 4	1	85	5,42	1215,46	
	2	120	4,42	963,32	
	3	150	3,56	752,00	
	4	95	2,91	397,17	
	5	100	5,01	1115,82	
	6	200	4,02	1093,65	5537,42
ARBOL 5	1	125	5,77	1562,58	
	2	160	3,89	906,85	
	3	140	2,83	483,69	
	4	86	5,05	1069,83	4022,94
ARBOL 6	1	210	3,15	775,05	
	2	90	4,86	1015,29	
	3	110	2,99	455,71	
	4	100	3,65	625,07	
	5	96	4,69	971,97	
	6	80	5,29	1137,90	4980,98
ARBOL 7	1	190	3,73	940,41	
	2	200	5,35	1717,08	
	3	125	5,94	1646,71	
	4	80	4,09	700,13	
	5	140	2,82	481,89	
	6	90	3,27	480,44	
	7	80	3,61	551,99	
	8	120	4,05	827,10	7345,75
ARBOL 8	1	100	5,95	1520,43	

	RAMAS	LONGITUD	DIAMETRO	volumen rama	Volumen Estrato 1
	2	160	2,69	489,65	
	3	86	4,76	960,27	
	4	204	5,42	1774,29	
	5	170	4,15	1043,11	
	6	210	3,82	1041,25	
	7	150	2,99	558,50	
	8	185	4,04	1048,69	8436,18
ARBOL 9	1	90	3,64	591,76	
	2	110	3,50	608,72	
	3	138	5,13	1331,06	
	4	93	5,36	1230,11	
	5	120	2,42	325,54	
	6	110	4,83	1086,35	5173,54
ARBOL 10	1	80	2,87	349,38	
	2	98	4,22	809,08	
	3	80	3,49	514,42	
	4	160	3,83	880,86	
	5	210	3,32	839,87	
	6	100	2,96	422,25	3815,86
ARBOL 11	1	200	2,55	533,76	
	2	180	2,95	622,44	
	3	184	3,37	782,06	
	4	260	5,84	2279,54	
	5	150	5,72	1662,78	
	6	164	4,20	1041,10	6921,66
ARBOL 12	1	95	4,82	1018,03	
	2	100	5,82	1463,13	
	3	110	3,95	756,36	
	4	125	5,25	1326,31	
	5	90	5,85	1428,12	
	6	140	4,77	1185,07	
	7	160	3,82	880,10	
	8	206	2,81	639,97	8697,09
ARBOL 13	1	125	2,89	465,01	
	2	180	4,13	1068,49	
	3	90	3,19	458,47	
	4	175	3,54	821,32	
	5	95	4,15	772,87	
	6	120	3,84	754,02	
	7	90	3,82	647,57	
	8	115	2,96	461,70	5449,45
ARBOL 14	1	120	5,15	1259,60	
	2	86	3,92	666,61	
	3	130	4,28	948,38	

	RAMAS	LONGITUD	DIAMETRO	volumen rama	Volumen Estrato 1
	4	150	3,84	853,43	3728,01
ARBOL 15	1	85	2,95	380,04	
	2	110	3,22	522,38	
	3	140	3,61	738,66	
	4	204	5,21	1667,19	
	5	210	4,87	1524,11	
	6	170	3,26	704,02	5536,41
ARBOL 16	1	96	4,07	749,05	
	2	112	3,81	718,03	
	3	124	3,22	561,55	
	4	135	5,74	1598,38	
	5	168	4,72	1278,46	
	6	90	3,92	679,81	5585,28
ARBOL 17	1	200	4,81	1452,37	
	2	180	5,52	1709,12	
	3	175	5,37	1610,55	
	4	240	5,21	1828,59	6600,64
ARBOL 18	1	150	3,85	855,29	
	2	190	3,95	1031,53	
	3	185	2,76	572,55	
	4	200	3,37	830,05	
	5	245	3,01	814,14	
	6	146	2,78	483,46	
	7	125	3,82	761,84	
	8	210	4,19	1201,89	6550,75
ARBOL 19	1	85	5,12	1094,30	
	2	120	5,35	1349,31	
	3	163	2,82	536,89	
	4	90	4,92	1038,52	
	5	110	4,02	781,67	
	6	90	3,32	494,73	5295,41
ARBOL 20	1	190	4,72	1367,12	
	2	250	4,62	1562,78	
	3	160	5,21	1468,81	
	4	215	5,99	2132,75	
	5	240	5,82	2164,35	
	6	170	4,52	1197,10	
	7	205	4,02	1110,98	
	8	180	2,53	485,74	11489,63
ARBOL 21	1	115	4,62	1022,40	
	2	124	5,22	1309,52	
	3	158	5,85	1771,03	
	4	105	4,93	1105,84	5208,80
ARBOL 22	1	90	4,13	748,21	

	RAMAS	LONGITUD	DIAMETRO	volumen rama	Volumen Estrato 1
	2	118	3,77	721,37	
	3	130	3,60	702,73	
	4	128	3,82	773,12	2945,44
ARBOL 23	1	80	2,95	369,64	
	2	90	3,29	486,14	
	3	100	5,22	1201,46	
	4	115	4,16	849,82	
	5	120	3,94	789,34	
	6	95	4,72	979,68	4676,08
ARBOL 24	1	120	4,52	1003,08	
	2	170	3,82	909,60	
	3	180	4,22	1107,47	
	4	210	3,36	855,57	
	5	140	3,25	615,40	
	6	240	3,94	1196,52	5687,63
ARBOL 25	1	150	2,73	479,99	
	2	185	3,55	853,79	
	3	164	3,67	833,14	
	4	250	2,89	776,45	
	5	275	3,22	979,43	
	6	175	4,09	1034,27	
	7	210	3,96	1102,31	
	8	190	3,24	753,24	6812,63
ARBOL 26	1	115	5,22	1267,71	
	2	128	2,64	402,30	
	3	90	4,81	995,72	
	4	158	5,33	1512,41	4178,14
ARBOL 27	1	86	4,15	742,37	
	2	120	3,76	727,19	
	3	86	3,84	641,36	
	4	146	2,80	488,90	
	5	90	3,13	441,28	
	6	110	3,50	608,72	3649,82
ARBOL 28	1	200	3,63	933,66	
	2	245	3,82	1156,44	
	3	190	3,85	988,01	
	4	184	3,20	720,16	
	5	182	4,05	1046,09	
	6	140	3,38	660,67	
	7	134	3,58	708,30	
	8	170	4,02	990,86	7204,20
ARBOL 29	1	90	2,89	377,81	
	2	120	3,51	644,10	
	3	115	3,18	523,90	

	<b>RAMAS</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO</b>	<b>volumen rama</b>	<b>Volumen Estrato 1</b>
	4	226	3,37	903,98	
	5	250	3,92	1219,84	
	6	196	3,84	1006,68	
	7	175	4,31	1128,83	
	8	210	4,74	1456,69	7261,83
ARBOL 30	1	124	5,60	1479,72	
	2	135	5,13	1321,32	
	3	95	2,94	405,18	
	4	160	5,85	1781,13	4987,36
	<b>Media</b>	147	4,09		5827,44
	<b>D.T</b>	49,51	0,93		1814,11



### ANEXO 7.- Estrato III

ESTRATO 3 RAMAS TERCIARIAS					
	RAMAS	LONGITUD	DIAMETRO	VOLUMEN RAMA	VOLUMEN ESTRATO 3
ARBOL 1	1	200	2,87	645,84	
	2	200	2,84	634,54	
	3	150	2,83	508,38	1788,77
ARBOL 2	1	70	3,89	603,28	
	2	180	3,75	915,29	
	3	200	2,76	607,97	
	4	230	2,89	725,48	2852,01
ARBOL 3	1	190	2,21	404,99	
	2	120	2,63	379,47	
	3	100	2,43	284,98	
	4	120	2,39	318,38	1387,83
ARBOL 4	1	110	2,55	336,41	
	2	150	2,88	523,25	
	3	200	2,15	405,41	
	4	175	2,97	615,46	
	5	160	2,18	340,46	
	6	120	2,32	300,20	2521,18
ARBOL 5	1	200	2,77	608,66	
	2	210	2,15	424,55	
	3	100	2,96	423,07	
	4	150	2,59	436,23	1892,51
ARBOL 6	1	95	3,25	488,77	
	2	115	2,79	411,40	
	3	130	2,16	278,60	
	4	114	2,79	410,09	
	5	120	2,41	323,49	
	6	98	2,14	215,56	2127,91
ARBOL 7	1	100	2,99	429,66	
	2	110	3,56	629,73	
	3	200	2,49	514,52	
	4	210	2,65	593,38	
	5	118	2,32	296,44	
	6	90	2,78	351,08	
	7	170	2,15	349,89	
	8	180	2,37	435,16	3599,86
ARBOL 8	1	170	2,79	543,54	
	2	110	2,16	241,87	
	3	200	2,26	440,64	
	4	230	2,22	487,52	
	5	120	2,70	399,32	
	6	170	3,12	655,24	

	RAMAS	LONGITUD	DIAMETRO	volumen rama	Volumen Estrato 1
	7	100	2,74	363,87	
	8	110	2,65	362,58	3494,57
ARBOL 9	1	200	2,11	394,66	
	2	175	2,79	556,87	
	3	140	3,24	613,44	
	4	135	2,16	288,66	
	5	119	2,90	453,78	
	6	100	2,65	339,74	2647,15
ARBOL 10	1	200	2,31	458,40	
	2	130	2,86	468,07	
	3	210	2,14	422,33	
	4	100	2,18	227,72	
	5	150	2,97	551,52	
	6	140	2,35	347,47	2475,51
ARBOL 11	1	180	3,15	691,70	
	2	190	2,58	523,21	
	3	117	2,95	463,93	
	4	220	2,31	498,33	
	5	120	2,66	388,94	
	6	100	2,99	429,66	2995,77
ARBOL 12	1	200	2,17	413,75	
	2	185	2,97	641,04	
	3	160	2,85	541,35	
	4	100	3,63	620,32	
	5	190	2,85	613,83	
	6	120	2,32	300,20	
	7	200	2,16	408,80	
	8	184	2,56	503,43	4042,73
ARBOL 13	1	132	2,84	468,29	
	2	138	2,97	523,58	
	3	200	2,12	398,64	
	4	190	2,87	622,11	
	5	80	2,16	185,60	
	6	100	2,44	289,55	
	7	114	3,12	505,39	
	8	165	3,15	651,31	3644,48
ARBOL 14	1	140	2,89	501,47	
	2	200	2,66	573,89	
	3	132	3,00	515,45	
	4	230	2,78	684,71	2275,53
ARBOL 15	1	100	2,31	257,84	
	2	190	2,16	391,41	
	3	175	2,18	370,37	
	4	160	2,55	448,03	

	RAMAS	LONGITUD	DIAMETRO	volumen rama	Volumen Estrato 1
	5	200	2,74	600,34	
	6	130	2,65	409,65	2477,64
ARBOL 16	1	210	2,89	675,70	
	2	232	2,76	683,49	
	3	120	2,21	271,83	
	4	145	2,42	377,73	
	5	190	2,39	463,46	
	6	170	2,63	493,33	2965,55
ARBOL 17	1	200	2,47	508,92	
	2	110	2,88	424,31	
	3	150	2,75	483,62	
	4	132	2,20	293,40	1710,25
ARBOL 18	1	185	2,11	368,53	
	2	143	2,36	357,63	
	3	205	2,43	506,30	
	4	150	2,65	455,71	
	5	186	3,73	928,73	
	6	198	2,97	675,37	
	7	120	2,12	251,88	
	8	138	2,68	437,16	3981,32
ARBOL 19	1	125	2,88	462,69	
	2	200	2,65	570,49	
	3	178	2,47	462,35	
	4	164	2,31	386,53	
	5	196	2,22	421,04	
	6	100	3,54	591,52	2894,62
ARBOL 20	1	130	3,89	804,63	
	2	146	2,16	308,36	
	3	180	2,79	568,90	
	4	175	2,11	349,15	
	5	110	2,67	367,84	
	6	100	2,88	401,65	
	7	198	2,63	558,13	
	8	200	2,99	687,35	4046,02
ARBOL 21	1	165	2,54	455,70	
	2	174	2,67	514,78	
	3	186	2,13	373,59	
	4	195	2,35	459,47	1803,54
ARBOL 22	1	95	3,62	600,92	
	2	110	3,45	593,62	
	3	114	2,15	246,73	
	4	186	2,65	538,43	1979,70
ARBOL 23	1	174	2,87	582,44	
	2	195	2,96	664,13	

	<b>RAMAS</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO</b>	<b>volumen rama</b>	<b>Volumen Estrato 1</b>
	3	200	2,70	585,53	
	4	210	2,78	639,29	
	5	190	2,31	437,82	
	6	178	2,48	464,52	3373,73
ARBOL 24	1	100	2,34	265,07	
	2	156	2,18	332,94	
	3	120	3,86	760,61	
	4	132	3,74	758,42	
	5	178	2,90	600,09	
	6	200	2,11	394,66	3111,80
ARBOL 25	1	165	2,96	589,56	
	2	120	2,85	442,29	
	3	147	2,48	398,25	
	4	189	2,12	378,50	
	5	136	2,35	341,24	
	6	152	2,99	563,02	
	7	158	2,31	373,43	
	8	148	2,15	309,97	3396,25
ARBOL 26	1	196	2,95	665,26	
	2	132	2,18	289,36	
	3	200	2,69	581,75	
	4	210	2,15	424,23	1960,60
ARBOL 27	1	174	3,45	784,48	
	2	196	2,98	675,97	
	3	185	2,15	380,31	
	4	120	2,72	404,26	
	5	110	2,67	368,63	
	6	100	2,84	390,15	3003,80
ARBOL 28	1	200	2,83	630,32	
	2	136	2,88	490,02	
	3	150	2,41	386,20	
	4	145	2,39	369,42	
	5	185	2,21	395,48	
	6	196	2,75	592,25	
	7	135	2,62	412,88	
	8	200	2,64	565,73	3842,30
ARBOL 29	1	210	2,78	639,29	
	2	135	3,75	769,87	
	3	180	2,69	535,39	
	4	145	2,42	378,01	
	5	196	2,30	446,32	
	6	200	2,99	686,63	
	7	165	2,37	403,92	
	8	174	2,85	572,84	4432,28

	<b>RAMAS</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO</b>	<b>volumen rama</b>	<b>Volumen Estrato 1</b>
ARBOL 30	1	186	2,90	621,46	
	2	154	2,11	311,99	
	3	124	2,87	455,87	
	4	189	2,80	594,29	1983,61
	<b>Media</b>	157,76	2,66		2823,63
	<b>D.T</b>	38,59	0,42		831,79

## ANEXO 8.- Volumen real

ÁRBOL	FUSTE	ESTRATO 1	ESTRATO 2	ESTRATO 3	ESTRATO 4	V. TOTAL
1	1113,53	5024,55	4146,29	1788,77	455,47	12528,60
2	1294,55	4591,70	5129,39	2852,01	455,47	14323,13
3	1214,90	6869,45	7768,57	1387,83	455,47	17696,22
4	1928,51	6245,20	5537,42	2521,18	683,20	16915,52
5	1328,66	3449,51	4022,94	1892,51	455,47	11149,09
6	1115,95	6471,68	4980,98	2127,91	683,20	15379,72
7	2179,85	6651,75	7345,75	3599,86	910,94	20688,15
8	2467,74	7752,24	8436,18	3494,57	910,94	23061,68
9	65,59	7356,64	5173,54	2647,15	683,20	15926,13
10	1986,98	5634,43	3815,86	2475,51	683,20	14595,98
11	1759,78	7367,59	6921,66	2995,77	683,20	19728,01
12	2095,69	7705,02	8697,09	4042,73	910,94	23451,47
13	813,75	8405,07	5449,45	3644,48	910,94	19223,69
14	475,46	4572,46	3728,01	2275,53	455,47	11506,93
15	1755,31	5162,87	5536,41	2477,64	683,20	15615,43
16	2712,14	8069,61	5585,28	2965,55	683,20	20015,78
17	1734,45	4387,16	6600,64	1710,25	455,47	14887,96
18	684,95	7368,31	6550,75	3981,32	910,94	19496,27
19	886,83	7351,82	5295,41	2894,62	683,20	17111,89
20	844,76	7157,61	11489,63	4046,02	910,94	24448,96
21	2030,47	5030,80	5208,80	1803,54	455,47	14529,07
22	1086,31	5104,41	2945,44	1979,70	455,47	11571,33
23	3351,01	6977,90	4676,08	3373,73	683,20	19061,93
24	2854,73	5205,38	5687,63	3111,80	683,20	17542,74
25	2248,27	6947,00	6812,63	3396,25	910,94	20315,08
26	1522,32	5309,70	4178,14	1960,60	455,47	13426,23
27	678,00	6870,78	3649,82	3003,80	683,20	14885,61
28	2246,92	6487,99	7204,20	3842,30	910,94	20692,34
29	886,64	5358,51	7261,83	4432,28	910,94	18850,20
30	1689,87	4852,61	4987,36	1983,61	455,47	13968,92
<b>SUMA</b>	47053,91	185739,74	174823,20	84708,83	20268,37	
<b>%</b>	9,18	36,24	34,11	16,53	3,95	
<b>Media</b>	1568,46	6191,32	5827,44	2823,63	675,61	17086,47
<b>D.T</b>	768,08	1279,83	1814,11	831,79	184,17	3608,17