

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**



**GUSTAVO FABIÁN FLORES MARTÍNEZ.**

**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 TOMATE DE ÁRBOL (*Cyphomandra betacea.*) var. Grande Mora”**

**AMBATO – ECUADOR**

**2014**

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.**

Yo **FLORES MARTÍNEZ GUSTAVO FABIÁN**, portador de la cédula de identidad número: 180466009-8, en honor a la verdad, declaro que el presente trabajo de investigación titulado “**CUANTIFICACIÓN Y LOGÍSTICA DE LA BIOMASA DISPONIBLE EN EL CULTIVO DE TOMATE DE ÁRBOL (*Cyphomandra betacea.*)**” var. **Grande Mora**”, es original, auténtica y personal. En tal virtud aclaro y sostengo que el contenido será de mi sola responsabilidad legal académica.

---

FLORES MARTÍNEZ GUSTAVO FABIÁN

## **DERECHO DE AUTOR**

Al presentar esta tesis como uno de los requisitos previos para la obtención del título de Tercer Nivel en la Universidad Técnica de Ambato, autorizo a la Biblioteca de la Facultad, para que haga de esta tesis un documento disponible para su lectura, según las normas de la Universidad.

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

Sin perjuicio de ejercer mi derecho de autor, autorizo a la Universidad Técnica de Ambato la publicación de esta tesis, o de parte de ella.

---

GUSTAVO FABIÁN FLORES MARTÍNEZ

Fecha:

**“CUANTIFICACIÓN Y LOGÍSTICA DE LA BIOMASA DISPONIBLE EN EL CULTIVO DE TOMATE DE ÁRBOL (*Cyphomandra betacea.*) var. Grande Mora”**

**APROBADO POR:**

---

Ing. Agr. Mg. Alberto Gutiérrez.  
**TUTOR**

---

Ing. Agr. Mg. Giovanni Velástegui.  
**ASESOR DE BIOMETRIA**

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

FECHA:

---

Ing. Agr. Mg. Giovanni Velástegui.  
**PRESIDENTE**

---

Ing. Agr. Mg. Eduardo Cruz.

---

Ing. Agr. Mg. Ángel Yáñez.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato, especialmente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por acogerme en sus aulas y darme los conocimientos para poder desempeñarme en el campo profesional.

A mi familia, por su apoyo incondicional durante mis años de formación universitaria.

A mis profesores que inculcaron en mí, sus conocimientos y sus más nobles valores; en especial al Ingeniero Alberto Gutiérrez, Tutor de Tesis y amigo incondicional que con su ayuda, consejos, conocimientos y tiempo he podido culminar el presente trabajo de investigación.

Mis más sinceros agradecimientos al Ingeniero Giovanni Velástegui, Ingeniero Luis Jiménez y Dr. Borja Velázquez.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....	3
1.2 ANÁLISIS CRÍTICO DEL PROBLEMA (ÁRBOL DEL PROBLEMA). ....	6
1.3 JUSTIFICACIÓN. ....	7
1.4 OBJETIVOS. ....	10
1.4.1 General .....	10
1.4.2 Específicos .....	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS .....	11
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....	11
2.2 MARCO CONCEPTUAL O CATEGORÍAS FUNDAMENTALES .....	16
2.2.1 BIOMASA.....	16
2.2.2 TOMATE DE ÁRBOL.....	20
2.3 HIPÓTESIS.....	26
2.4. VARIABLE DE LA HIPÓTESIS.....	26
2.4.1 Variables Independientes. ....	26
2.4.2 Variables Dependientes de Cuantificación de Biomasa.....	27
2.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES. ....	27
CAPÍTULO III .....	29
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	29
3.1 ENFOQUE.....	29
3.1.1 Enfoque cuali-cuantitativo .....	29
3.1.2 Modalidad.....	29
3.1.3 Tipo o nivel .....	29
3.2 UBICACIÓN DEL ENSAYO. ....	30

3.3 CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR.....	30
3.4 FACTORES DE ESTUDIO.....	30
3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	31
3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	32
3.7 DISEÑO O ESQUEMA DE CAMPO.....	33
3.7.1 Plano.....	33
3.8 DATOS TOMADOS.....	34
3.8.1 Análisis dendrométrico de ramas.....	34
3.8.2 Análisis de la cantidad de biomasa en copas.....	36
3.9 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA.....	39
3.10 MANEJO DE LA INVESTIGACIÓN.....	39
CAPÍTULO 4.....	40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
4.1 ANÁLISIS DENDROMÉTRICO DE LAS RAMAS.....	40
4.2 BIOMASA Y SU DISTRIBUCIÓN EN LA PLANTA.....	44
4.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA BIOMASA.....	47
4.4 LOGÍSTICA.....	49
4.5 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	51
CAPITULO V.....	52
5.1 CONCLUSIONES.....	52
CAPÍTULO VI.....	54
PROPUESTA.....	54
6.1 TÍTULO.....	54
6.2 FUNDAMENTACIÓN.....	54
6.2.1 Análisis dendrométrico de ramas.....	55



6.2.2 Análisis de la cantidad de biomasa en copas.....	57
6.2.3 Logística.....	59
6.3 OBJETIVO .....	59
6.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	60
6.5 MANEJO TÉCNICO .....	62
6.6 COSTOS.....	63
6.7 IMPLEMENTACIÓN / PLAN DE ACCIÓN .....	63
6.8 ADMINISTRACIÓN.....	63
7. BIBLIOGRAFÍA .....	64
Anexos.....	66

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO 1.</b> SUPERFICIES OCUPADAS POR EL CULTIVO DE TOMATE DE ÁRBOL EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA.....	8
<b>CUADRO 2.</b> VARIABLE INDEPENDIENTE: TOMATE DE ÁRBOL. ....	27
<b>CUADRO 3.</b> VARIABLES DEPENDIENTES: BIOMASA. ....	28
<b>CUADRO 4.</b> ESQUEMA DE MEDICIONES Y VARIABLES RESPUESTA PARA EL ANÁLISIS DENDROMÉTRICO DE LAS RAMAS DE TOMATE DE ÁRBOL .....	32
<b>CUADRO 5.</b> DESCRIPCIÓN ESTADÍSTICA DE LOS PARÁMETROS MEDIDOS EN LAS RAMAS DE TOMATE DE ÁRBOL.....	40
<b>CUADRO 6.</b> MODELO DE REGRESIÓN PARA LAS RAMAS DEL ESTRATO 1.....	41
<b>CUADRO 7.</b> CÁLCULO DE FACTORES DE FORMA EN CADA UNO DE LOS MODELOS GEOMÉTRICOS ESTUDIADOS. ....	42
<b>CUADRO 8.</b> MODELO DE REGRESIÓN PARA LAS RAMAS DEL ESTRATO 2.....	42
<b>CUADRO 9.</b> CÁLCULO DE FACTORES DE FORMA EN CADA UNO DE LOS MODELOS GEOMÉTRICOS ESTUDIADOS. ....	43
<b>CUADRO 10.</b> MODELO DE REGRESIÓN PARA LAS RAMAS DEL ESTRATO 3.....	43
<b>CUADRO 11.</b> FACTORES DE FORMA DE LAS RAMAS DEL ESTRATO 3.....	44
<b>CUADRO 12.</b> DIÁMETRO, LONGITUD, Y VOLUMEN MEDIOS DE LAS RAMAS EN CADA ESTRATO.....	45
<b>CUADRO 13.</b> MODELO DE REGRESIÓN PARA LA PREDICCIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL DEL TOMATE DE ÁRBOL .....	46
<b>CUADRO 14.</b> MEDIA Y DESVIACIÓN TÍPICA DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DEL MATERIAL LIGNOCELULOSICO DEL TOMATE DE ÁRBOL. ....	47
<b>CUADRO 15.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA EN TIEMPOS DE DESENTERRADA - SACADA DEL TOMATE DE ÁRBOL .....	49
<b>CUADRO 16.</b> ANÁLISIS DE VARIANZA EN TIEMPOS DE TRANSPORTE A LA VÍA MÁS CERCANA .....	50

<b>CUADRO 17.</b> SUPERFICIES OCUPADAS POR EL CULTIVO DE TOMATE DE ÁRBOL EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA.....	60
<b>CUADRO 18.</b> COSTOS PROPUESTA.....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema de la distribución de los árboles de tomate de árbol.....	33
<b>Figura 2.</b> Mediciones de diámetro cada cierto intervalo.....	35
<b>Figura 3.</b> Sección de un tronco de cono.....	35
<b>Figura 4.</b> Modelos de crecimiento de copas arbóreas en una superficie determinada.....	38
<b>Figura 5.</b> Distribución de la biomasa en los diferentes estratos de la planta.....	45
<b>Figura 6.</b> Variación de humedad tras los primeros días transcurridos después del corte de la planta.....	48
<b>Figura 7.</b> Cálculo de la línea de tendencia de variación de la humedad de la madera del tomate de árbol y extrapolación hasta el 10% de humedad .....	49
<b>Figura 8.</b> Mediciones de diámetro cada cierto intervalo.....	55
<b>Figura 9.</b> Sección de un tronco de cono .....	56
<b>Figura 10.</b> Modelos de crecimiento de copas arbóreas en una superficie determinada .....	58

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Relación de la biomasa con el diámetro normal del árbol.....	12
<b>Ecuación 2.</b> Biomasa potencial herbácea.....	13
<b>Ecuación 3.</b> Biomasa potencial leñosa.....	14
<b>Ecuación 4.</b> Coeficiente mórfico.....	35
<b>Ecuación 5.</b> Volumen de cono truncado.....	35
<b>Ecuación 6.</b> Ecuación de Smailan.....	36
<b>Ecuación 7.</b> Volumen real de la rama.....	36
<b>Ecuación 8.</b> Volumen del cilindro.....	36
<b>Ecuación 9.</b> Factor de ocupación.....	38
<b>Ecuación 10.</b> Volumen de la rama del estrato 1.....	41
<b>Ecuación 11.</b> Volumen de la rama del estrato 2.....	42
<b>Ecuación 12.</b> Volumen de la rama del estrato 3.....	43
<b>Ecuación 13.</b> Volumen de la biomasa residual.....	46
<b>Ecuación 14.</b> Coeficiente mórfico.....	55
<b>Ecuación 15.</b> Volumen de cono truncado.....	56
<b>Ecuación 16.</b> Ecuación de Smailan.....	56
<b>Ecuación 17.</b> Volumen real de la rama.....	56
<b>Ecuación 18.</b> Volumen del cilindro.....	56
<b>Ecuación 19.</b> Factor de ocupación.....	59

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación se llevó a efecto en la Provincia de Tungurahua, Cantón Pelileo, Parroquia Chiquicha, propiedad de la Sra. Rosario Morales. El terreno se encuentra ubicado a una altitud de 2580 msnm, el área de ensayo es de 500 m<sup>2</sup>. Sus coordenadas son 1° 16' 0" Latitud sur y 78° 31' 60" Longitud Oeste.

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 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 realizó 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 fue el siguiente:

1. 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 realizó un muestreo de un número de ramas en cada estrato de formación (ramas principales, ramas secundarias, otros). Para la determinación de los volúmenes de ramas fue necesario analizar los patrones de forma propios de cada especie y clase diamétrica, por lo que fue necesario un estudio dendrométrico de las ramas. Una vez que se tuvo conocimiento de los patrones de forma de las ramas se aplicaron los métodos dasométricos para una valoración de la biomasa total en el conjunto.

Se determinó el coeficiente de forma de cada especie, consecuentemente 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 determinó 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 estableció la tendencia a la concentración de la biomasa en uno o más estratos. Se

confeccionaron gráficos y tablas que ayudan a la visualización de esta supuesta concentración de biomasa.

Se comprobó 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 fue relacionar el volumen aparente con el volumen real de material contenido en la copa. El diámetro y la altura media de las copas dieron diferentes modelos geométricos de volumen aparente (semielipse, paraboloides, crecimiento cónico, crecimiento cilíndrico) que se relacionó con el volumen real, y a través de la densidad con la biomasa.

La biomasa lignocelulósica de la planta se distribuyó de forma irregular, siendo el fuste y la capa exterior de ramillas donde se concentró la mayor parte de la biomasa de la planta, 54.92% y 31.67% respectivamente

La biomasa media de las plantas de tomate de árbol fue de 9 kg de materia seca por planta. Teniendo en cuenta que el marco de plantación más común es de 2 x 2 m este valor supone una biomasa potencial disponible de 22500 kg (22.5 ton/ha) de materia seca por hectárea.

## **CAPÍTULO I.**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Una gran cantidad de biomasa residual con posible uso energético puede ser extraída de la gestión del cultivo de tomate de árbol, 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. El presente proyecto parte de una investigación que se desarrolla en varios cultivos de la provincia de Tungurahua. La biomasa del cultivo de tomate de árbol no ha sido utilizada técnicamente 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 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 tecnológicas aplicables para transformar esa biomasa en biocombustibles propician el desarrollo de proyectos de investigación, en el marco de un programa de investigación.

Cuestiones clave a responder en el proyecto 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 permita mejorar la calidad energética de estos residuos.

Este proyecto pertenece a un programa de investigación que consiste en cuantificar y analizar químicamente la biomasa proveniente tanto en frutales, forestales, hortalizas, otras especies vegetales, residuos de animales.

Esto permitirá orientar mejor las políticas de promoción del uso energético de la biomasa; evaluar cuales son los potenciales de biomasa residual procedente de los sistemas agrícolas de la provincia de Tungurahua; 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 un proyecto de 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.

Con respecto al tema Velázquez, B. (2012) destaca los trabajos realizados por organismos como los que se señala a continuación:

**“National Biomass Initiative”** Desarrollado por Estados Unidos.

**“Energy Wood Production Chains in Europe”** (ECHAINE): Desarrollado por las siguientes entidades:

Center for Renewable Energy Sources (CRES), Grecia.

Centre for Research and Technology Hellas (CERTH / ISFTA), Grecia

Escola Superior Agraria de Beja (ESAB), Portugal

Fraunhofer Institute for Factory Operation and Automation (Fhg-IFF), Alemania.

Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Suecia.

Technical University of Sofia (CERDECEN), Bulgaria

University of Oulu (THULE Institute), Finlandia.

**“European Biomass Association” (AEBIOM):** Grupo de asociaciones nacionales del estudio de la biomasa, fundado en 1990.

**“International association of bioenergy professionals and users” (ITEBE):** Fundada en 1997, es una asociación internacional de profesionales que actúa como herramienta de promoción y apoyo a proyectos del sector de la bioenergía, principalmente empresas y comunidades. Básicamente trabaja con madera energética

**“IEA Bioenergy”:** Es una organización fundada en 1978 por la International Energy Agency (IEA) con el propósito de mejorar la cooperación e información entre países que tienen programas nacionales de investigación, desarrollo y empleo de bioenergía

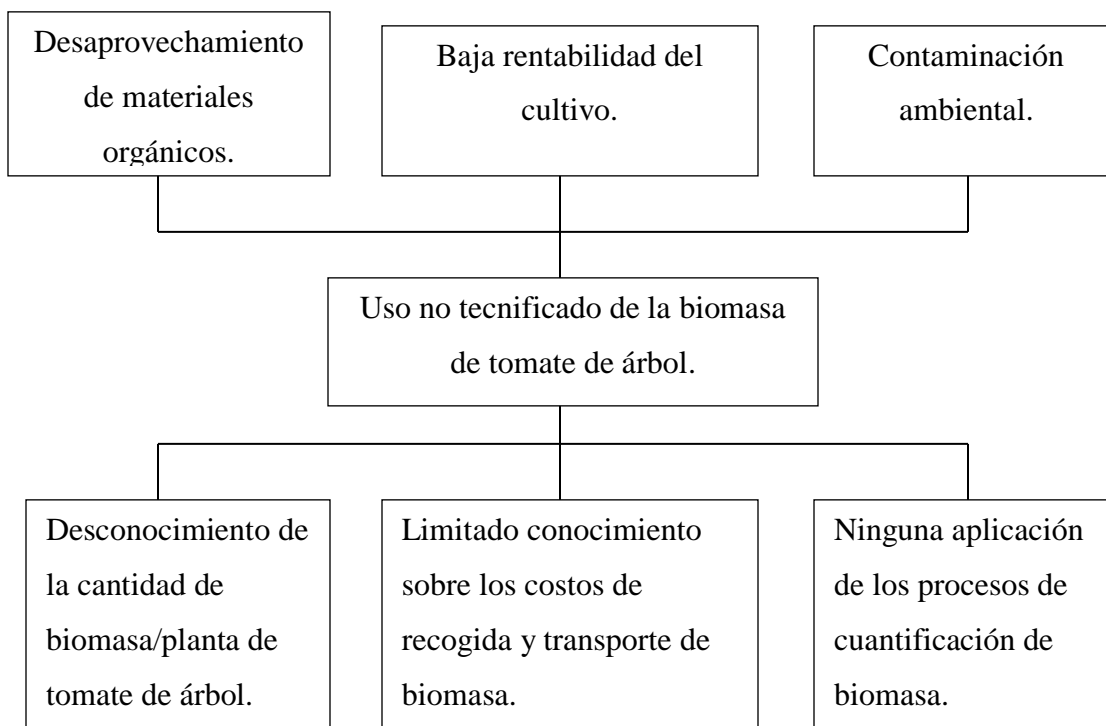
Históricamente como lo señala *Velázquez (2012)*, Ninguna de las iniciativas anteriores ha sido desarrollada en Latinoamérica, ni particularmente en Ecuador.

El interés de estos estudios se manifiesta en la aparición de amplia bibliografía sobre el aprovechamiento de la biomasa. Sobre valoración y gestión global; son referentes algunas revistas, catalogadas por Institute for Scientific Information (ISI) de Filadelfia (EE.UU), como:

- “BIOMASS & BIOENERGY” publicada por Pergamon- Elseiver Science LTD
- “BIORESOURCE TECHNOLOGY” publicada por Elseiver SCI LTD
- “FOREST SCIENCE” publicada por Soc. Amer. Foresters
- “INTERNATIONAL FORESTRY REVIEW” publicada por Commonwealth Forestry Assn
- “JOURNAL OF FOREST RESEARCH” publicada por Hongo, Bunkyo-Ku, Tokyo, Japan
- “RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS” publicada por Pergamon- Elseiver Science LTD
- “RENEWABLE ENERGY” publicada por Pergamon- Elseiver Science LTD. }

## **1.2 ANÁLISIS CRÍTICO DEL PROBLEMA (ÁRBOL DEL PROBLEMA).**

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 permitieron llegar a un proceso de planificación correcto y por ende al macro objetivo que consiste en el “aprovechamiento energético de la biomasa proveniente de las plantaciones de tomate de árbol”.



### 1.3 JUSTIFICACIÓN.

La provincia de Tungurahua tiene una superficie de 3369,4 km<sup>2</sup>, es eminentemente agrícola con el 34% de la PEA (Población Económicamente Activa); la dedicada a la producción de tomate de árbol se registra en el cuadro 1:

**CUADRO 1. SUPERFICIES OCUPADAS POR EL CULTIVO DE TOMATE DE ÁRBOL  
EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA**

<b>FRUTALES</b>	<b>SUPERFICIE TOTAL (ha)</b>	<b>PRODUCCIÓN (t/año)</b>	<b>RENDIMIENTO (t/ha)</b>
Asociado	174	463	8,65
Solo	1295	6008	15,59

Fuente: INEC; III Censo agropecuario, 2000

“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 persiguen la modernización y optimización de estas operaciones, junto a una valoración global de la cadena de producción y abastecimiento”, (*Velázquez, 2012*).

Descriptivamente como lo señala *Velázquez (2012)*, “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 es necesario realizar una valoración de los potenciales existentes en los diferentes cultivos y variedades, determinar la tecnología apropiada para extraer, transportar y obtener un producto energético de calidad. Ello permitirá orientar mejor las políticas de promoción del uso energético de la biomasa, por ser de interés general, este tipo de investigación debe ser promovida por las administraciones públicas”.

Este mismo autor además menciona que el desarrollo de esta tecnología revertirá beneficiosamente en dos sectores:

- a) Sector agrario, en el que se estudió sistemas de recogida de residuos molestos, analizando el costo, organización del trabajo, otros., lo cual permitirá identificar usos potenciales y generar ingresos adicionales a los campesinos.
  
- b) Sector energético y maderero. Se realizó un análisis de la logística para el abastecimiento; definición de la tecnología que permita mejorar la calidad energética o industrial de estos residuos. Esto permitirá 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 definir la tecnología apropiada para la extracción de biomasa potencial que todavía no ha sido utilizada.

Mediante esta investigación se obtuvieron parámetros de predicción de la biomasa potencial de tomate de árbol. 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 van a obtener 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 tendrá caracterizada la biomasa producida por el tomate de árbol en base a su potencial energético. Los estudios de logística permitirán 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 tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*.) en su etapa final de producción en la provincia de Tungurahua, sector Chiquicha.

### **1.4.2 Específicos**

- a) Analizar dendrométricamente la biomasa de las ramas de tomate de árbol.
- b) Analizar de distribución de la biomasa en la planta.
- c) Caracterizar físicamente la biomasa.
- d) Evaluar la logística de la biomasa disponible en el tomate de árbol.
- e) Obtener ecuaciones predictivas de la biomasa residual procedente de la poda, a partir de variables explicativas como: Diámetro de la copa ( $D_c$ ), Diámetro del tronco ( $D_t$ ), Altura de la planta ( $H_p$ ), Altura de la copa ( $H_c$ ) y Marco de plantación ( $M_p$ ).

## 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. Pero estos estudios deben realizarse de forma particularizada en cada ecosistema específico y además complementados con la valoración de sus propiedades energéticas. La determinación del poder calorífico de forma directa supone un tiempo de análisis aproximado de 20 minutos por muestra, (Velázquez, 2012).

Las investigaciones sobre biomasa actualmente son más dinámicas. En Argentina, Menéndez. J en el 2013 realizó la “Cuantificación y uso de la biomasa de residuos de cultivos para bioenergía”, reportando los siguientes resultados: en lo referente a cuantificación de la biomasa aprovechable en cultivos se pudo obtener que la utilidad fija es del 36.9%; dentro de los cuáles aproximadamente un 54.4% es tallo, 8.7% de marlo y 36.9% es hoja.

González, G. 2012 en España al realizar la “Cuantificación de la biomasa forestal, aérea y radical de distintas especies arbóreas”; mediante una muestra de 1.221 árboles correspondientes a las especies forestales del país: *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*, *Pinus*



*pinaster*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinea*, *Quercus ilex*, *Quercus suber*, *Quercus pyrenaica*, *Quercus canariensis*, *Olea europaea ssp. sylvestris* y *Eucalyptus globulus*, localizados en diferentes regiones españolas, de manera que cubrieran el mayor rango posible de edades y tamaños dentro de cada especie; determinó como resultados que de éstas 11 especies se puede extraer el 70% de la biomasa forestal aprovechable del país. Los resultados de dieron a cabo mediante el proceso que consistía en: pies apeados fueron desramados, troceados y separados en las siguientes fracciones:

- Fuste
- Ramas con diámetro mayor de 7 cm.
- Ramas con diámetro entre 2 y 7 cm.
- Ramillas menores de 2 cm. y hojas.

Cada una de las fracciones anteriores fue pesada en verde, y posteriormente, en laboratorio, se determinó el valor equivalente de biomasa en materia seca. El porcentaje de biomasa aprovechable se ha obtenido mediante la aplicación de la ecuación correspondiente que relaciona la biomasa con el diámetro normal del árbol. Aplicando la ecuación correspondiente a cada fracción de biomasa, con los correspondientes incrementos diametrales, se obtiene por diferencia el incremento de biomasa seca por clase diamétrica.

$$I_b = f(d + \Delta d) - f(d) \quad (\text{ecuación 1})$$

$I_b$ : Incremento anual de biomasa de la fracción correspondiente en Kg. de materia seca.

$d$ : diámetro normal (cm.).

$\Delta d$ : Incremento anual en diámetro (cm.).

Gayoso, J. 2005 en Chile al determinar el “Contenido de carbono en biomasa en bosques nativos de Chile”, expresó que el dióxido de carbono presente en la atmósfera es absorbido por las plantas, a través del proceso de fotosíntesis. Por este medio, las plantas convierten la

energía de la luz solar en energía química aprovechable para los organismos vivos. Así, los bosques almacenan grandes cantidades de carbono en la vegetación y el suelo, e intercambian carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración. En general se acepta que el contenido de carbono corresponde al 50% de la biomasa. Sin embargo, diferentes estudios denotan la variabilidad del contenido de carbono según especie y tejido del árbol. En Chile, mediante este estudio de contenido de carbono para especies latifoliadas nativas arroja valores entre 42% y 44,4% y para coníferas entre 45,8 y 46,7%

Nogués, S. 2010 en España al realizar investigaciones de la “Energía de la biomasa”, detalló estudios de la biomasa residual agrícola herbácea potencial, leñosa, leñosa potencial de poda, leñosa de poda disponible y residual forestal; las cuales se describen a continuación:

- Estudio de la biomasa residual agrícola herbácea potencial.

Para realizar el estudio de la biomasa residual agrícola herbácea potencial se utiliza la mínima unidad superficial sobre la que existe información estadística agrícola (superficies y rendimientos agrícolas). La cuantificación del residuo generado en la actividad agrícola se realiza por medio de relaciones que conciernen la producción de grano con la generación de biomasa, llamadas RRP. La utilización de la RRP es el método más extendido para la estimación de existencias de biomasa herbácea. Para cuantificar la biomasa herbácea se parte de la superficie y el rendimiento por cultivo y se halla la producción media de cultivo en un período de años. Las relaciones RRP son muy variables, según la fuente consultada, varían según la especie, la variedad, la temporada de cosecha y el tipo de maquinaria utilizada.

$$Biomasa\ potencial = [ PROMEDIO ( Superficie * Rendimiento ) ] * RRP$$

Donde:

Superficie  $\Rightarrow$  ha

Rendimiento  $\Rightarrow$  t/ha

(ecuación 2)

En los residuos herbáceos normalmente el grano o fruto es el producto principal que se recolecta anualmente mientras que el resto de la planta se suele considerar residuo o subproducto. La forma más usual de estimar el residuo es mediante el uso de índices superficiales o del tipo residuo/producto.

- Estimación de la biomasa residual agrícola leñosa.

Este tipo de biomasa mayormente se encuentra en el territorio euroasiático y sudamericano, en este tipo de biomasa se considera la obtenida en la poda de los cultivos leñosos. Éstos, por su similitud para algunos procesos son agrupados en los siguientes grupos: olivo, vid, frutal seco (almendro y avellano) y frutal dulce (manzano, peral, albaricoquero, ciruelo y cerezo).

- Estimación de la biomasa residual agrícola leñosa potencial de poda.

La cuantificación del residuo generado en las podas de cultivos plurianuales leñosos se realiza por medio de relaciones que conciernen la superficie agrícola con la generación de biomasa, llamadas RRS. Las relaciones RRS, son usualmente utilizadas en estudios de evaluación de biomasa para la estimación de la generación de residuos de poda. Para cuantificar la biomasa leñosa se parte de la superficie media cultivada por unidad de superficie y cultivo, multiplicando por la RRS correspondiente. Por lo que, para cada cultivo:

$$Biomasa\ potencial = ( PROMEDIO\ Superficie\ TM ) * RRS$$

Donde:

Relación residuo superficie (RRS)  $\Rightarrow$  t/ha año

Superficie TM (superficie término municipal)  $\Rightarrow$  ha

(ecuación 3)

- Biomasa residual agrícola leñosa de poda disponible.

Para la biomasa agrícola de cultivos leñosos actualmente el tratamiento más común de los restos de poda es el triturado. El segundo tratamiento más común es el apilado y quema en el campo. Después se encuentra la recogida y posterior retirada. Para el aprovechamiento de estos recursos los agricultores lo han señalado como una alternativa para el ahorro de tiempo de trabajo y costos asociados al uso o contratación de maquinaria (picadora) y además al consumo de combustible. Las normativas medioambientales van a terminar por prohibir la quema de residuos de operaciones agrícolas, promoviendo bien su uso como abono o acondicionador de suelos, o su retirada para valorización energética. Por ello la recogida de la poda con fines energéticos, si bien no se está realizando en la actualidad a gran escala, parece que puede ser una alternativa factible a corto plazo. La disponibilidad de biomasa residual agrícola leñosa de restos de poda, evaluada mediante contactos con cooperativas agrícolas, ha resultado ser muy alta (90%).

- Estimación de la biomasa residual forestal.

Se considera como masas potenciales para aprovechar la biomasa residual forestal aquellas cuya especie principal son del género Pinus, Quercus, Fagus o Populus, se contabiliza sólo la biomasa residual de los pies pertenecientes a alguno de esos géneros. Es decir, no se tiene en cuenta el tipo de tratamiento silvícola aplicado a las masas forestales (que determina si el residuo generado son ramas o si además se pueden tomar fustes de árboles de clases diametrales pequeñas o madera de árboles dañados o defectuosos). La biomasa corresponde, pues, con la biomasa acumulada en las ramas de los árboles.

## 2.2 MARCO CONCEPTUAL O CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

### 2.2.1 BIOMASA

Descriptivamente como lo señala *Universidad de Alicante (2006)*, “la biomasa es la energía solar convertida por la vegetación en materia orgánica; esa energía la podemos recuperar por combustión directa o transformando la materia orgánica en otros combustibles”.

En este mismo artículo además se menciona la utilización de la biomasa:

- Bosques. La única biomasa realmente explotada en la actualidad. Para fines energéticos es la de los bosques para cubrir parte de la demanda energética sólo puede constituir una opción razonable en países donde la densidad territorial de dicha demanda es muy baja, así como también la de la población (Tercer mundo). En España (por lo demás, país deficitario en madera) sólo es razonable contemplar el aprovechamiento energético de los desechos de la corta y saca y de la limpia de las explotaciones forestales (leña, ramaje, follaje, otros), así como de los residuos de la madera.
- Residuos agrícolas y deyecciones y camas del ganado. Estos constituyen otra fuente importante de bioenergía, aunque no siempre sea razonable darles este tipo de utilidad. En España sólo parece recomendable el uso a tal fin de la paja de los cereales en los casos en que el retirarla del campo no afecte apreciablemente a la fertilidad del suelo, y de las deyecciones y camas del ganado, cuando el no utilizarlas sistemáticamente como estiércol no perjudique las productividades agrícolas.
- Cultivos energéticos. Consiste en cultivar vegetales para la posibilidad del aprovechamiento de cultivos energéticos. Esta opción no es muy rentable. Es muy discutida la conveniencia de los cultivos o plantaciones con fines energéticos, no

sólo por su rentabilidad en si mismos, sino también por la competencia que ejercerían con la producción de alimentos y otros productos necesarios, (madera, otros) Las dudas aumentan en el caso de las regiones templadas, donde la asimilación fotosintética es inferior a la que se produce en zonas tropicales.

#### Métodos de Conversión de la Biomasa en Energía.

Métodos termoquímicos. Estos métodos se basan en la utilización del calor como fuente de transformación de la biomasa. Están bien adaptados al caso de la biomasa seca, y en particular, a los de la paja y de la madera.

- La combustión, oxidación de la biomasa por el oxígeno del aire, libera simplemente agua y gas carbónico, y puede servir para la calefacción doméstica y para la producción de calor industrial.
- La pirólisis, combustión incompleta de la biomasa en ausencia de oxígeno, a unos 500 grados centígrados, se utiliza desde hace mucho tiempo para producir carbón vegetal. Aparte de este, la pirólisis lleva a la liberación de un gas pobre, mezcla de monóxido y dióxido de carbono, de hidrógeno y de hidrocarburos ligeros. Este gas, de débil poder calórico, puede servir para accionar motores diesel, o para producir electricidad, o para mover vehículos, (*Universidad de Alicante, 2006*).

#### Métodos biológicos.

- La fermentación alcohólica es una técnica empleada desde la antigüedad con los azúcares, que puede utilizarse también con la celulosa y el almidón, a condición de realizar una hidrólisis previa (en medio ácido) de estas dos sustancias. Pero la destilación, que permite obtener alcohol etílico prácticamente anhidro, es una operación muy costosa en energía. En estas condiciones la transformación de la

biomasa en etanol y después la utilización de este alcohol en motores de explosión, tienen un balance energético global dudoso

- La fermentación metánica es la digestión anaerobia de la biomasa por bacteria. Es idónea para la transformación de la biomasa húmeda (mas del 75% de humedad relativa).En los fermentadores, o digestiones, la celulosa es esencialmente la sustancia que se degrada en un gas, que contiene alrededor de 60% de metano y 40% de gas carbónico. El problema principal consiste en la necesidad de calentar el equipo, para mantenerlo en la temperatura óptima de 30-35 grados centígrados. No obstante, el empleo de digestores es un camino prometedor hacia la autonomía energética de las explotaciones agrícolas, por recuperación de las deyecciones y camas del ganado. Además, es una técnica de gran interés para los países en vías de desarrollo. Así, millones de digestores ya son utilizados por familias campesinas chinas, (*Universidad de Alicante, 2006*).

#### Tipos de Biomasa.

“La biomasa para energía se obtiene de los restos de aprovechamientos forestales, de las industrias de la primera y segunda transformación de la madera, de los productos agrícolas y forestales, de los residuos de explotaciones ganaderas, de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, de cultivos implantados y explotados con el único objeto de la obtención de biomasa, los denominados cultivos energéticos, y, en general, de cualquier producto de origen orgánico susceptible de aprovechamiento energético”, (*Asturbiomasa,2013*).

En esta misma página, además se menciona la tipificación de la biomasa:

- Forestal: Explotación de bosques, trabajos de mantenimiento: clareos, limpieza de montes, cortas, jardinería, otros.
- Cultivos energéticos leñosos: álamos, etc.

- Agrícola: Residuos de cultivos agrícolas: paja de cereales, sarmientos, otros. Cultivos energéticos herbáceos: colza, remolacha, sorgo, etc.
- Ganadera: Purines; Residuos MER (material específico de riesgo).
- Industrial: Residuos de la industria agroalimentaria: almazaras, harineras, frutos secos, otros. Residuos de la industria de la transformación de la madera: cortezas, serrines, virutas, polvo lijado, otros. Residuos de la industria del papel. Residuos de otras industrias: construcción, textil.
- Urbana: Fracción orgánica de los RSU (residuos sólidos urbanos); Aceites de origen vegetal usados

Generalmente, el uso de la biomasa con fines energéticos implica una adecuación de la materia prima para su empleo como combustible en los sistemas convencionales. Según la naturaleza de la biomasa y el tipo de biocombustible deseado, se pueden utilizar procesos mecánicos (astillado, trituración, compactación), termoquímicos (combustión, pirolisis, gasificación), biotecnológicos (microbacterianos o enzimáticos) y extractivos, para obtener combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, (*Asturbiomasa, 2013*).

En esta misma página, además se menciona las aplicaciones de la biomasa:

La diversidad de biocombustibles permite hablar de una diversidad de aplicaciones. De este modo, la biomasa se puede utilizar para:

#### Aplicaciones térmicas

La biomasa, bien después de una gasificación, una transformación a biogás o bien mediante un uso directo, puede ser aprovechada en calderas y estufas para general calor. Este calor se puede aprovechar para cubrir las necesidades térmicas tanto de calefacción y



ACS en viviendas unifamiliares, edificios o calefacciones de distrito, como de procesos industriales.

#### Aplicaciones eléctricas

La biomasa también se puede utilizar como combustible para centrales eléctricas, existiendo diferentes posibilidades. Se puede utilizar sustituyendo en ciertos porcentajes a combustibles fósiles en centrales térmicas, en un proceso denominado co-combustión, se puede quemar como combustible único en centrales para la generación exclusiva de electricidad o se puede utilizar en centrales de cogeneración para la generación conjunta de calor y electricidad.

#### Aplicaciones mecánicas

Los biocarburantes, bioetanol y biodiesel, pueden utilizarse como combustibles en motores de vehículos, tanto mezclados con la gasolina y el diesel en diferentes proporciones como puros, sin necesidad de ser mezclados.

### **2.2.2 TOMATE DE ÁRBOL**

“El Ecuador se ha caracterizado por la producción de frutas exóticas, de ellas sobresale el tomate de árbol. En los últimos diez años el cultivo de esta especie ha ido en aumento, sea en estado natural o a través del procesamiento de la pulpa y es considerado a escala mundial como expectativa de consumo interno y externo”, (*Suasnavas, 2004*).

“Este frutal en forma natural, se encuentra en Bolivia, Argentina, Venezuela, Ecuador, Perú y Colombia. Comercialmente se lo cultiva en Colombia, Ecuador, Perú y en Nueva Zelanda. Los países donde este frutal ha sido introducido y es cultivado en menor escala

son: Estados Unidos, México, países de América Central, Europa, África, Asia, Oceanía y Australia”, (Revelo, 2008).

“En Ecuador el tomate de árbol se cultiva en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Bolívar, Cañar, Azuay y Loja”, (Revelo, 2008).

“El tomate de árbol es una fruta nativa, cuyo nombre científico es (*Cyphomandra betacea*), pertenece a la familia de las Solanáceas; correspondiente a las semiácidas tiene cualidades físicas, organolépticas y nutritivas (alto contenido de proteína y vitamina A, etc.) Pese a sus características sobresalientes no se le da la importancia que merece dentro de la alimentación humana. Esta fruta puede medir entre 5 y 10 cm de largo y 4 – 5 cm de ancho, el rango de peso ideal está entre 100 y 125 g. por fruta”, (Suasnavas, 2004).

Zonas de Producción:

Según el INIAP, 2008. las principales zonas de producción son las siguientes:

- Carchi: Mira, Bolívar.
- Imbabura: Antonio Ante, Cotacachi, Otavalo, Ibarra, Pimampiro, Urcuquí.
- Pichincha: Tumbaco, Yaruquí, Pifo, Puembo, Checa, Quinche, Guayllabamba, Puellaró, Perucho, San José de Minas, Tandapi.
- Cotopaxi: Latacunga, Pujilí, Salcedo.
- Tungurahua: Ambato, Samanga, Píllaro, San Miguelito, La Viña, Patate (San Andrés, Tunga), Pelileo (Valle Hermoso, Guadalupe, Artezón, Inapi, La Paz, Chiquicha, Yataquí), Baños (Runtún).
- Chimborazo: Riobamba, Guanalán, Chambo, Guano, Penipe, Chunchi, Alausí.

- Bolívar: Guaranda, Chimbo, San Miguel, Chillanes.
- Cañar: Biblián, Azogues.
- Azuay: Cuenca, Paute, Gualaceo, Sevilla de Oro, El Pan, Guachapala, Zig Zig.
- Loja: Valle de Loja, Parque Forestal.

#### Descripción Botánica.

La FAO en el 2006, describe al tomate de árbol en base a las siguientes características:

**Planta:** es una planta arbustiva de tallos semileñosos, de forma erecta y se ramifica a una altura que varía entre 1.5 m y 2m con la copa alcanza 3 m de altura. El tomate de árbol es propio de clima medio a frío, crece bien entre los 1600 y 2600 metros sobre el nivel de mar, con temperaturas promedio entre los 16 y 22°C y alta nubosidad o ambiente sombreado. Puede resistir temperaturas de 0°C sin sufrir daños graves, siempre que sea por corto tiempo.

**Raíces:** Las raíces son profundas y ramificadas cuando la reproducción se hace por semillas; cuando se hace por estaca son superficiales y bastante ramificadas. Los procedentes de semilla tardan de 12 a 14 meses, a partir del trasplante, para iniciar la producción, mientras que los de estaca entre 8 y 10 meses, pero son más pequeños y de menor duración.

**Flores:** Las flores se ubican en la terminación de las ramas y son de color blanco, con franjas de color rosado tenue.

**Semillas:** Las semillas son pequeñas, planas, circulares y lisas, de color amarillento o a veces pardo.

Fruto: El fruto es una baya de forma ovoide – apiculada que presenta una coloración verde cuando esta inmaduro. Tiene una piel fina lisa y resistente al transporte y una cutícula de sabor amargo, razón por la cual hay necesidad quitarla de la corteza para poder hacer uso del fruto. La pulpa es muy jugosa, de color anaranjado, de sabor agrídulce, agradable y muy particular. En el fruto se encuentran entre 300 y 500 semillas.

Composición Nutricional: el tomate de árbol es una fuente de Vitamina A, B6, C y E, rico en el hierro y el potasio. También bajo en calorías y alto en la fibra. Los datos de la composición nutricional se deben interpretar por 100 g de la porción comestible.

Factores ambientales y edáficos.

El INIAP en el 2008, determina que para el mejor desarrollo y producción del tomate de árbol se requieren los siguientes factores:

- Clima: Zonas con clima templado a templado frío del Callejón Interandino. El clima templado es el óptimo. En climas fríos, el inicio de la primera cosecha se retarda, pudiendo iniciarse alrededor de los 14 meses después del transplante. Además, en estas zonas es frecuente la presencia de heladas y granizo a los cuales es sensible.
- Altitud: es posible cultivarlo en un rango de 430 a 3000 m.s.n.m, sin embargo el óptimo se encuentra en 1500 a 2600 m.s.n.m.
- Temperatura: Depende de la altitud y cubre un rango de 13 a 24°C, pero el óptimo es un promedio anual de 15 a 19°C. Temperaturas inferiores a 12°C ocasionan la caída de las flores.
- Precipitación: La planta de tomate de árbol requiere alrededor de 1200 mm de precipitación, distribuidos regularmente durante el año, para proporcionar una producción óptima. En zonas con precipitaciones inferiores a 1000 mm anuales, es

necesario disponer de agua suplementaria, la misma que es facilitada al cultivo mediante riegos a intervalos de 8 días. En presencia de precipitaciones superiores a 2500 mm anuales, se deben realizar canales de drenaje, debido a que las raíces no resisten el exceso de agua y el encharcamiento. Cuando se presentan estas condiciones, las raíces se pudren, la planta se marchita, las hojas, flores y frutos se caen y la planta muere.

- Humedad Relativa: 75 a 87% media anual.
  
- La radiación (luz): Es la duración de la luminosidad del día. En Ecuador, por su ubicación astronómica en el subtrópico y las zonas productoras de este frutal en el subtrópico interandino y con clima temperado, la duración de la luminosidad del día durante todo el año es cercana a las 12 horas. Dependiendo de los meses del año y de la localización del lugar, la cantidad de horas luz varía poco. Incluso en meses lluviosos y en zonas con neblina frecuente, el número de horas de luz no llega a ser menor de 6 a 8 horas que es el mínimo requerido para su normal desarrollo y producción.
  
- Vientos: Es conveniente seleccionar zonas de calma, libres de vientos fuertes. Los vientos fuertes y frecuentes provocan la caída de las flores y destrozan hojas y ramas que se rompen fácilmente por el peso de los frutos, ocasionando importantes pérdidas.
  
- Granizo: Zonas libres de este factor para evitar la destrucción de la planta.
  
- Heladas: Zonas libres de este fenómeno para evitar la destrucción del cultivo. A altitudes sobre los 2600 m.s.n.m es usual la presencia de heladas.
  
- Suelo: Profundos, con buen drenaje y alto contenido de materia orgánica.

- Pendiente: Es aconsejable utilizar los suelos entre ligeramente inclinados e inclinados (no mayor a 40%).
- Textura: Varía desde la textura franca, franca – arenosa a franca – arcillo – arenosa.
- pH: Varía entre 5.4 a 7.0. El óptimo se considera de 6.5 a 7.0

#### Variedades Comerciales.

Además el INIAP, 2008. establece las siguientes variedades de tomate de árbol:

- Amarillo: Forma – Ovoide; Color cáscara – Amarillo; Color pulpa – Anaranjado claro.
- Negro: Forma – Ovoide; Color cáscara – Púrpura; Color pulpa – Anaranjado púrpura.
- Redondo: Forma – Elíptico; Color cáscara – Anaranjado claro; Color pulpa – Anaranjado claro.
- Puntón (común): Forma – Ovoide; Color cáscara – Anaranjado Oscuro; Color pulpa – Anaranjado claro.
- Rojo: Forma – Ovoide; Color cáscara – Rojo oscuro; Color pulpa – Anaranjado medio.
- Amarillo Gigante: Forma – Ovoide; Color cáscara – Anaranjado claro; Color pulpa – Anaranjado claro.
- Mora (Neozelandés): Forma – Ovoide; Color cáscara – morado; Color pulpa – Anaranjado púrpura.

- Mora ecuatoriano: Forma – Ovoide; Color cáscara – morado; Color pulpa – Anaranjado púrpura.

## **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.
- b) El volumen que ocupa el tallo o cualquier estructura guarda una relación matemática con su diámetro basal y su longitud.
- c) La biomasa contenida en las plantas estudiadas es proporcional al espacio aparente que ocupa.

## **2.4. VARIABLE DE LA HIPÓTESIS**

### **2.4.1 Variables Independientes.**

- Cultivo de tomate de árbol variedad “grande mora”.

## 2.4.2 Variables Dependientes de Cuantificación de Biomasa.

- BIOMASA
  - Diámetro de tallo y ramas
  - Longitudes de tallo y ramas
  - Peso de cada rama
  - Peso de la planta entera
  
- LOGÍSTICA
  - Tiempo de recolección.
  - Costo de recolección.
  - Costo de transporte.

## 2.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

### CUADRO 2. VARIABLE INDEPENDIENTE: TOMATE DE ÁRBOL

<b>DEFINICION</b>
Es una planta arbustiva de tallos semileñosos, de forma erecta y se ramifica a una altura que varía entre 1.5 m y 2m con la copa alcanza 3 m de altura. El tomate de árbol es propio de clima medio a frío, crece bien entre los 1600 y 2600 metros sobre el nivel de mar, con temperaturas promedio entre los 16 y 22°C y alta nubosidad o ambiente sombreado. Puede resistir temperaturas de 0°C sin sufrir daños graves, siempre que sea por corto tiempo.



**CUADRO 3. VARIABLES DEPENDIENTES: BIOMASA**

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>	<p>Cuantificación de biomasa</p>	- Diámetro de fuste y ramas.	kg.	kg/planta
			cm.	kg/superficie
		- Longitudes de fuste y ramas.	cm.	Se medirá el diámetro cada 10 centímetros.
		- Peso de cada rama.	kg.	kg/planta
		- Peso planta entera.	Kg.	kg/planta
<p><i>Procesos Logísticos.- es el proceso de planificación, implementación y control para la cuantificación correcta de biomasa aprovechable.</i></p>	<p>Procesos logísticos</p>	<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>

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 ENFOQUE

##### 3.1.1 Enfoque cuali-cuantitativo

En la presente investigación predomina el enfoque cuantitativo debido a que los datos obtenidos pudieron ser analizados estadísticamente para establecer patrones de comportamiento que a su vez estos podrán ser generalizados.

##### 3.1.2 Modalidad

La modalidad de la investigación es de campo y laboratorio ya que centra en buscar los procedimientos que permiten la obtención de la biomasa disponible en los huertos tomate de árbol.

##### 3.1.3 Tipo o nivel

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 tomate de árbol.

### **3.2 UBICACIÓN DEL ENSAYO.**

La presente investigación se realizó en la Provincia de Tungurahua, Cantón Pelileo, Parroquia Chiquicha, propiedad de la Sra. Rosario Morales. El terreno se encuentra ubicado a una altitud de 2580 msnm, el área de ensayo es de 500 m<sup>2</sup>. Sus coordenadas son 1° 16' 0" Latitud sur y 78° 31' 60" Longitud Oeste.

### **3.3 CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR.**

*GAD Municipio de Pelileo (2013)*, indica que la parroquia Chiquicha es eminentemente agrícola, en la parte media y baja de la parroquia. Los principales productos en el sector son: maíz, tomate de árbol, frutas y hortalizas para la comercialización y el consumo interno de las familias, además existe el cultivo de forraje que se utiliza en la alimentación del ganado existente en el sector. En la parroquia la principal actividad productiva es el cultivo de maíz en un 40% del total del área cultivada, otros de los cultivos importantes de la zona es el tomate de árbol que representa el 40% de la actividad agrícola, mientras que el 10% se debe al cultivo de hortalizas y frutas; además es importante destacar que la temperatura promedio es de 16 grados centígrados.

### **3.4 FACTORES DE ESTUDIO**

- Diámetro de la copa.
  
- Diámetro del fuste.
  
- Altura de árbol.
  
- Altura de la copa.

- Marco de plantación.

### **3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL**

En ésta investigación no se ha aplicado ningún diseño experimental específico, sin embargo se midieron estadísticamente un conjunto de variables de tipo continuo: Diámetro de la copa, Diámetro del tronco, Altura del árbol, Altura de la copa, Marco de plantación.

**Las variables respuesta fueron:**

- 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.

CUADRO 4. ESQUEMA DE MEDICIONES Y VARIABLES RESPUESTA PARA EL ANÁLISIS DENDROMÉTRICO DE LAS RAMAS DE TOMATE DE ÁRBOL.

Número de ramas muestreadas	Mediciones realizadas	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 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

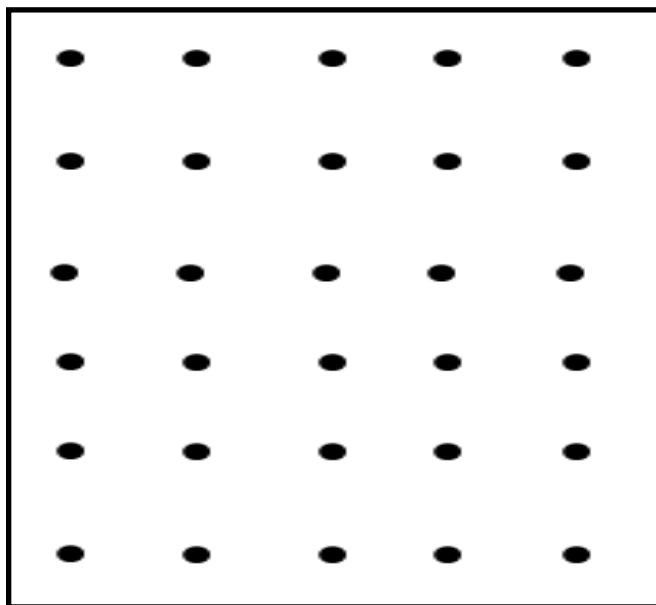
Se realizó un análisis estadístico fundamentado en cuatro bases:

1. Análisis unidimensional de las variables cuantitativas: medias, coeficientes de curtosis, a partir de los cuales se analizó la normalidad de los datos.

2. Se realizó un análisis multidimensional de las variables cuantitativas (factores) a partir de la comparación de cada par de variables a partir del coeficiente de correlación de Pearson que nos indicará 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.
5. Se validó el modelo de predicción a través de un análisis de comparación entre variable observable y las variables predichas.

### 3.7 DISEÑO O ESQUEMA DE CAMPO

#### 3.7.1 Plano



30 árboles dispuestos para estudio

Figura 1. Esquema de la distribución de los árboles de tomate de árbol.

### **3.8 DATOS TOMADOS**

El objetivo del proceso de medida fue determinar la biomasa que contiene un árbol entero tanto en el fuste como en la copa. La cubicación del fuste resultó 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 resultó 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, que parte de la concepción de la copa como un hipotético rodal forestal, en que cada rama se consideró un individuo del mismo, es decir, un árbol. Atendiendo a este concepto el proceso de medida fue el siguiente:

- 1 Medición del fuste principal aplicando métodos dendrométricos tradicionales, con los que se obtuvo el volumen del mismo
- 2 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 fue necesario analizar los patrones de forma propios de cada especie y clase diamétrica, por lo que se hizo necesario un estudio dendrométrico de las ramas. Una vez que se tuvo conocimiento de los patrones de forma de las ramas se aplicaron los métodos dasométricos para una valoración de la biomasa total en el conjunto.

#### **3.8.1 Análisis dendrométrico de 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 4).

$$f = \frac{\text{Volumen real de la estructura analizada}}{\text{Volumen del modelo}} \quad (4)$$

Para el cálculo del volumen real de una rama o fuste se dividió en partes iguales, tal como indica la Figura 2, midiendo el diámetro ecuatorial de la sección de forma que obtenemos un diámetro inicial y final para cada intervalo.

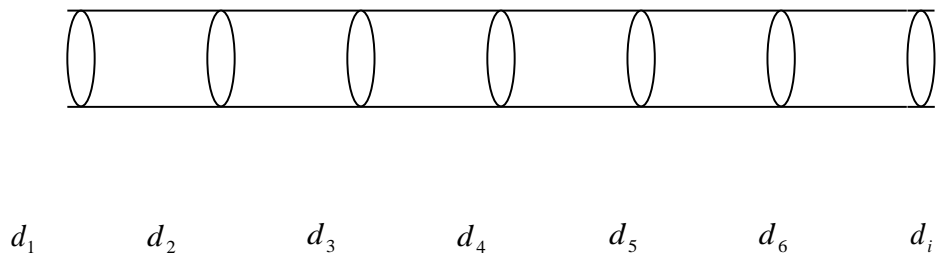
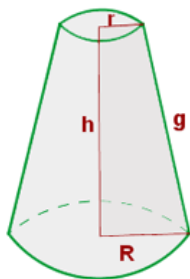


Figura 2. Mediciones de diámetros cada cierto intervalo

Cada sección pudo ser considerada como un tronco de cono, cuyo volumen se calculó por la ecuación 5 (volumen de cono truncado) o por la ecuación 6 (Ecuación de Smailan). La suma de todos los volúmenes de cada una de las porciones tomadas dio como resultado el volumen real de la rama (ecuación 7).



$$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + Rr + r^2) \quad (5)$$

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



$$V_i = \pi \cdot h \cdot R_a^2 \text{ donde } R_a = \frac{R+r}{2} \quad (6)$$

$$V_{real} = \sum_1^i V_i \quad (7)$$

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.

$$V_{cilindro} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L \quad (8)$$

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 determinó 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 determinó la humedad de algunas ramas recién cortadas, donde se obtuvo la evolución de la misma secándose al aire y en estufa. Una vez secos los materiales, se determinó la densidad y biomasa seca. Por otra parte se analizó los 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.

### **3.8.2 Análisis de la cantidad de biomasa en copas**

Se cubicó todas las ramas del primer estrato. Éste estrato correspondió 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 fue muestreado, seleccionando varias ramas representativas. Por otra parte se contaron las ramas existentes, para así, al conocer el número total en el estrato se pudo determinar el volumen de biomasa existente en el mismo. Seguidamente se contabilizó el número de brotes o ramificaciones en estratos sucesivos, volviendo a muestrear varias ramas de cada uno de ellos, lo que permitió 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, correspondió a ramas muy pequeñas, por lo que no fue posible su medición con el método de campo descrito anteriormente, por lo que se extrajo de cada árbol muestreado una rama central externa y otra rama de la parte superior de la copa, que se llevó a laboratorio para determinar directamente su volumen sumergiéndolas en agua, multiplicado por el número de ramas que correspondió a este estrato, obteniendo su volumen total. Por otra parte se deshojaron ramas tipo, determinando al mismo tiempo porcentaje de masa y superficie foliar. Los parámetros se correlacionaron 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 determinó 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 confeccionó gráficos y tablas que ayudaron 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 fue 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 dieron diferentes modelos geométricos de volumen aparente

(Figura 4) que se relacionaron con el volumen real, y a través de la densidad con la biomasa.

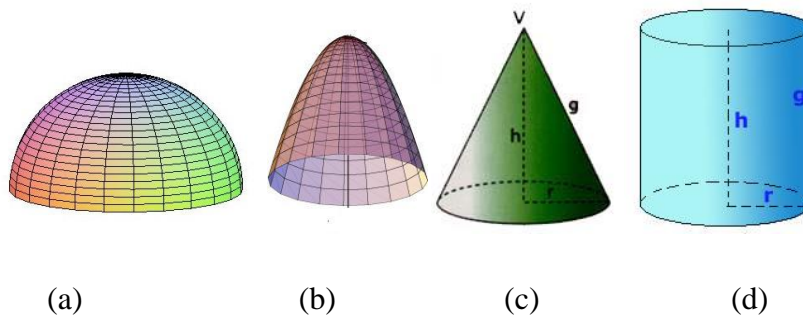


Figura 4. Modelos de crecimiento de copas arbóreas en una superficie determinada: (a) semielipse, (b) paraboloides, (c) crecimiento cónico, (d) crecimiento cilíndrico

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 9:

$$FO = \frac{\text{Volumen real de copa}}{\text{Volumen aparente de copa}} \quad (9)$$

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

### **3.9 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA**

Con la información recolectada en el campo la procesamos mediante el programa Statgraphics, pero para ello previamente las ordenamos en cuadros de Excel para poder llevarlo al programa y proceder a hacer los estudios correspondientes.

En Statgraphics vamos a realizar los análisis de varianza (ADEVA). Además de los resultados dados por el programa realizamos cuadros estadísticos con la ayuda del mismo programa y así poder complementar los resultados obtenidos y comenzar a conseguir las conclusiones del estudio propuesto.

### **3.10 MANEJO DE LA INVESTIGACIÓN**

Se seleccionó un huerto de tomate de árbol ya establecido, dentro de él se identificaron 30 plantas ubicadas en un solo bloque. El proceso de investigación se inició luego de la poda. Se realizaron montones con las plantas extraídas y se colocaron en los caminos más cercanos del huerto, con esto se pudo tomar tiempos de recolección de los árboles muestreados, así también con la ayuda de eslingas y un dinamómetro se formó paquetes con lo que se pudo tomar datos de peso de ramas. Se trasladó las ramas (árbol completo) seleccionados al laboratorio con lo cual se realizó las distintas prácticas de volumen de ramas, contenido de agua, cenizas, otros.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 ANÁLISIS DENDROMÉTRICO DE LAS RAMAS

Inicialmente se ha realizado una caracterización dendrométrica de las ramas de tomate de árbol con el objetivo de determinar de la forma y el volumen a partir de datos fácilmente medibles, como son el diámetro de su base y la longitud. Se pretende la obtención de funciones de volumen que nos permitirá hacer cálculos rápidos de biomasa en las distintas estructuras de la planta, para ser utilizadas en los apartados posteriores, calculando el volumen de la planta entera a partir de la adición del volumen de cada una de sus estructuras. En el Cuadro 5 se muestra un análisis estadístico de las variables medidas en las ramas.

CUADRO 5. DESCRIPCIÓN ESTADÍSTICA DE LOS PARÁMETROS MEDIDOS EN LAS RAMAS DE TOMATE DE ÁRBOL.

	<b>Volumen</b> <b>(cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Diámetro</b> <b>(cm)</b>	<b>Longitud</b> <b>(cm)</b>
Frecuencia	30	30	30
Media	860.23	4.70	99.33
Varianza	114987.0	0.79	454.71
Desviación típica	339.09	0.89	21.32
Mínimo	366.83	3.25	60.0
Máximo	1659.44	6.90	130.0
Rango	1292.61	3.64	70.0
Coficiente de asimetría	1.97	1.00	-0.71
Coficiente de curtosis	0.21	0.23	-1.28

Como se puede observar en el Cuadro 5 los coeficientes de asimetría y curtosis están dentro del intervalo entre -2 y +2 en cada uno de las variables, por ello consideramos que las mediciones tomadas en los respectivos parámetros se asemejan lo suficiente a una distribución normal.

Para una mayor precisión de las funciones de volumen se ha calculado una específica para cada estrato, donde las ramas pertenecen a una clase diamétrica distinta. La relación entre el volumen con el diámetro y longitud de las ramas en el estrato 1 se muestran en el Cuadro 6. En ésta se observa que el coeficiente de determinación  $r^2$  es alto, de 83%. Esto es el porcentaje de variabilidad que explica la función obtenida. Por otra parte el error medio obtenido es de  $104.33 \text{ cm}^3$  siendo su desviación típica de  $145.06 \text{ cm}^3$

CUADRO 6. MODELO DE REGRESIÓN PARA LAS RAMAS DEL ESTRATO 1.

Ecuación (10)	EMA ( $\text{cm}^3$ )	DTE ( $\text{cm}^3$ )	$r^2$	p-Valor
$VR1 = -649.272 + 256.517 * D + 0.0292666 * L^2$	104.33	145.06	82.96	<0.05

EMA: error medio absoluto  
DTE: desviación típica de los errores  
 $R^2$ : coeficiente de determinación  
VR1: Volumen de la rama del estrato 1( $\text{cm}^3$ )  
L: Longitud (cm)  
D: Diámetro

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 paraboloide, el cono y el neiloide, obtenidos a partir 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 el Cuadro 7, el modelo que proporciona el volumen más próximo al real es el del paraboloides.

CUADRO 7. CÁLCULO DE FACTORES DE FORMA EN CADA UNO DE LOS MODELOS GEOMÉTRICOS ESTUDIADOS.

	F cilindro	F paraboloides	F cono	F neiloide
Media	0.503	1.006	1.509	2.012
Desviación tip.	0.111	0.222	0.333	0.444

En el Cuadro 8 se muestra la función de volumen para las ramas del estrato 2. Se observa que el coeficiente de determinación es del 93%, y que el error medio y la desviación estándar de los errores son respectivamente 10.76 cm<sup>3</sup> y 15.4 cm<sup>3</sup>.

CUADRO 8. MODELO DE REGRESIÓN PARA LAS RAMAS DEL ESTRATO 2.

Ecuación (11)	EMA (cm <sup>3</sup> )	DTE (cm <sup>3</sup> )	r <sup>2</sup>	p-Valor
$VR2 = 757.104 - 681.782 * D - 38.5891 * L$ $+ 37.5571 * D * L + 142.985 * D^2$ $- 0.0828666 * L^2 - 7.36107 * L$ $* D^2$	10.76	15.4063	93.1538	<0.05

EMA: error medio absoluto

DTE: desviación típica de los errores

R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación

VR2: Volumen de las ramas del estrato 2 (cm<sup>3</sup>)

L: Longitud (cm)

D: Diámetro

El factor de forma más cercano a uno en las ramas del estrato 2 es el del cilindro. Por tanto, esta forma geométrica es la que mejor se aproxima a la forma real de las ramas en este estrato.

CUADRO 9. CÁLCULO DE FACTORES DE FORMA EN CADA UNO DE LOS MODELOS GEOMÉTRICOS ESTUDIADOS.

	F cilindro	F paraboloides	F cono	F neiloide
Media	1.01	2.02	3.03	4.04
Desviación tip.	0.31	0.63	0.94	1.25

En el Cuadro 10 se muestra la función de volumen obtenida para las ramas más pequeñas que son las del estrato 3. El coeficiente de determinación es el más bajo de las funciones de volumen obtenidas, de 73.14%. El error medio y la desviación estándar de los errores son respectivamente 10.76 cm<sup>3</sup> y 15.4 cm<sup>3</sup>.

CUADRO 10. MODELO DE REGRESIÓN PARA LAS RAMAS DEL ESTRATO 3.

Ecuación (12)	EMA (cm <sup>3</sup> )	DTE (cm <sup>3</sup> )	r <sup>2</sup>	p-Valor
$VR3 = -19.2616 + 2.47 * D * L - 0.032 * L^2$	5.25	2.79	73.14	<0.05

EMA: error medio absoluto  
DTE: desviación típica de los errores  
R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación  
VR3: Volumen de las ramas del estrato 3 (cm<sup>3</sup>)  
L: Longitud (cm)  
D: Diámetro



El factor de forma más cercano a uno en las ramas del estrato 3 es como en el estrato 2 el del cilindro. Este resultado demuestra que las ramas de tomate de árbol son grandes (elevado diámetro y longitud) adquieren una forma paraboloides, pero que las ramas más pequeñas adquieren forma cilíndrica.

CUADRO 11. FACTORES DE FORMA DE LAS RAMAS DEL ESTRATO 3.

	F cilindro	F paraboloides	F cono	F neiloide
Media	1.05	2.10	3.16	4.21
Desviación tip.	0.30	0.61	0.91	1.21

#### 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 el Cuadro 12 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 5 se muestra la distribución de la biomasa dentro de la planta. Como se puede observar la mayor parte de biomasa se encuentra en el fuste (más del 50%) y posteriormente en el último estrato de la planta donde las ramas son más pequeñas pero hay un gran número.

El volumen medio de la parte leñosa de las plantas de tomate de árbol analizadas fue de 12.98 dm<sup>3</sup> y su desviación típica de 3.4 dm<sup>3</sup>.

CUADRO 12. DIÁMETRO, LONGITUD, Y VOLUMEN MEDIOS DE LAS RAMAS EN CADA ESTRATO.

	Diámetro (cm)		Longitud (cm)		Volumen de una rama (cm <sup>3</sup> )	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
Fuste	4.709	0.893	99.333	21.324	860.233	339.097
Estrato 1	3.403	0.586	28.695	9.495	270.775	122.533
Estrato 2	2.391	0.608	31.670	12.568	122.131	46.161
Estrato 3	1.470	0.451	35.889	15.312	65.228	42.000

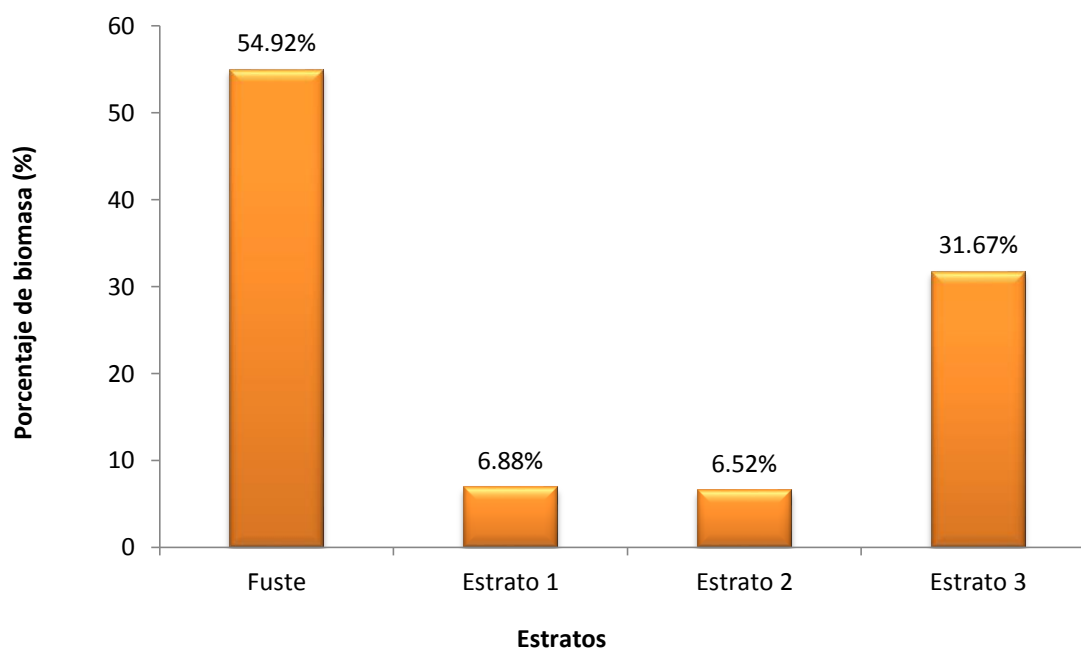


Figura 5. Distribución de la biomasa en los diferentes estratos de la planta.

En el Cuadro 13 se muestra la ecuación de predicción de volumen de biomasa de la planta entera a partir de su altura total y diámetro del fuste. Esta función es de enorme utilidad práctica dado a través de su aplicación los técnicos pueden predecir la biomasa

lignocelulósica residual obtenible del tomate de árbol al finalizar su ciclo productivo, que suele durar unos 3 años. Esta biomasa actualmente no es aprovechada y podría suponer un recurso energético. El coeficiente de determinación obtenido es relativamente bajo, del 65%. Pero estos bajos valores son habituales en la predicción agrícola donde existe una enorme influencia de factores microclimáticos, los suelos, disponibilidad de nutrientes, incluida el agua, y condiciones de manejo, lo que proporciona una gran variabilidad. En los modelos de regresión obtenidos en análisis de laboratorio, donde todas las condiciones están controladas, los coeficientes de determinación exigibles deben ser mayores, alrededor del 95%. El error medio obtenido en la ecuación es de 1.7 dm<sup>3</sup>, lo cual consideramos aceptable, puesto que como se había indicado el volumen medio de la planta es de 12.98 dm<sup>3</sup> lo que supone un error relativo del 13%.

CUADRO 13. MODELO DE REGRESIÓN PARA LA PREDICCIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL DEL TOMATE DE ÁRBOL

Ecuación (13)	EMA (cm <sup>3</sup> )	DTE (cm <sup>3</sup> )	r <sup>2</sup>	p-Valor
$VT = -18765.5 + 33.5349 * AT + 2682.03 * DF$	1778.98	2286.4	65.82	<0.05

EMA: error medio absoluto  
DTE: desviación típica de los errores  
R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación  
VT: Volumen de la biomasa residual (cm<sup>3</sup>)  
L: Longitud (cm)  
D: Diámetro

Por último se presenta el valor medio y desviación típica del factor de ocupación (FO) de la especie, siendo 2.45 cm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup> y 1.40 cm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup> respectivamente. Este factor es la relación entre el volumen real del material lignocelulósico de la planta (en cm<sup>3</sup>) y su volumen aparente (en dm<sup>3</sup>). El volumen aparente es el de un modelo geométrico calculado a partir de su diámetro de copa y su altura total, generalmente el cilindro. Este cilindro teórico está formado por las ramas y los huecos existentes entre ellas. Los valores de FO

suponen un factor de conversión para obtener el volumen real a partir del cálculo del volumen modelo del cilindro.

### 4.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA BIOMASA.

En este apartado se muestran los parámetros físicos de porcentaje de humedad, densidad, porcentaje de volátiles, porcentaje de ceniza del material lignocelulósico del tomate de árbol. Los datos medios y desviaciones típicas se muestran en el Cuadro 14.

CUADRO 14. MEDIA Y DESVIACIÓN TÍPICA DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DEL MATERIAL LIGNOCELULOSICO DEL TOMATE DE ÁRBOL.

	$\bar{x}$	$\sigma$
Humedad %	63.771	0.944
Cenizas %	11.26	0.652
Volátiles %	88.74	0.213
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	0.708	0.092
Densidad Seco g/cm <sup>3</sup>	0.763	0.273

$\bar{x}$  : Media

$\sigma$  : Desviación típica.

Como se puede observar el contenido de volátiles del material leñoso es alto del 89%. 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. Por ejemplo, si tal como se ha indicado el volumen medio de las plantas

analizadas fue de  $12.98 \text{ dm}^3$ , el contenido de materia seca por planta es de  $12980 \cdot 0.7 = 9086 \text{ g}$ , es decir aproximadamente  $9 \text{ kg}$ .

Vemos que el alto 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 63%. 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 6 se muestra la disminución de humedad durante los primeros días de secado de los materiales leñosos tras el corte de la planta. Sobre esta figura se ha calculado la línea de tendencia que sale perfectamente parabólica con un  $R^2$  del 99%. Realizando una extrapolación de la línea de tendencia se puede observar la Figura 7 que el tiempo necesario para una desecación hasta una humedad del 10% es de 7 días y para una desecación completa al aire ese necesario esperar 8 días.

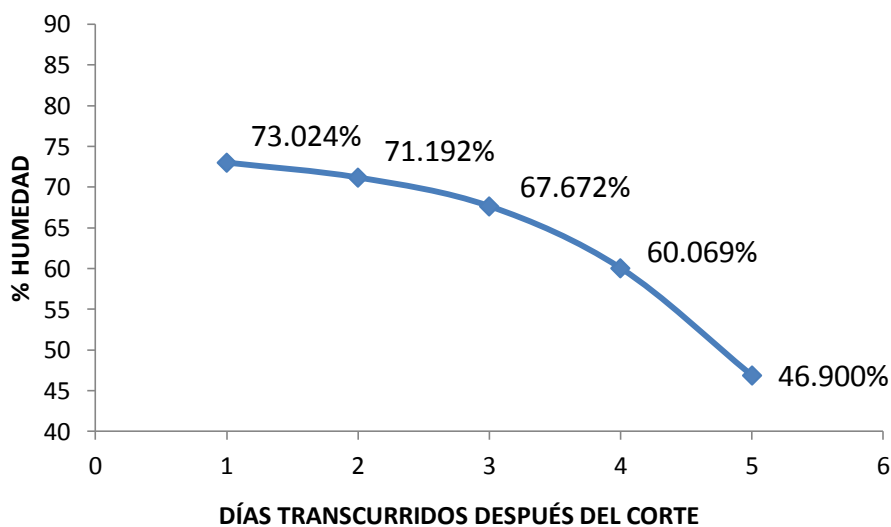


Figura 6. Variación de humedad tras los primeros días transcurridos después del corte de la planta

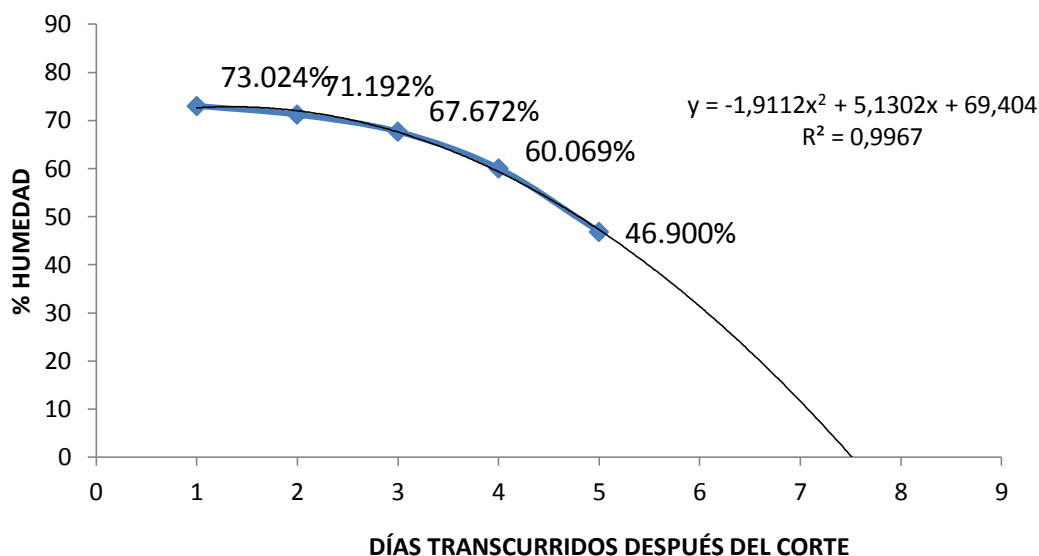


Figura 7. Cálculo de la línea de tendencia de la variación de la humedad de la madera del tomate de árbol y extrapolación hasta el 10% de humedad.

#### 4.4 LOGÍSTICA

CUADRO 15. ANÁLISIS DE VARIANZA EN TIEMPOS DE (DESENTERRADA) SACADA DEL TOMATE DE ÁRBOL

Estadísticas	Valor
Frecuencia	30
Media	0.0531157
Varianza	0.00000356247
Desviación típica	0.00188745
Mínimo	0.05
Máximo	0.0563
Rango	0.0063
Coefficiente de Asimetría	-0.251551
Coefficiente de Curtosis	-1.06089

En el Cuadro 16 nos da una media de 0 horas 3´ 11´´, tiempo en el cual se termina de desenterrar una planta de tomate de árbol. Es decir que en una hectárea con un marco de plantación de 2\*2, contiene 2500 plantas se van a tardar 132 horas 38´ 20´´ (una sola persona).

CUADRO 16. ANÁLISIS DE VARIANZA EN TIEMPOS DE TRANSPORTE A LA VÍA MÁS CERCANA.

Estadísticas	Valor
Frecuencia	30
Media	0.01507
Varianza	9.37345E-7
Desviación típica	0.000968166
Mínimo	0.0138
Máximo	0.0166
Rango	0.0028
Coefficiente de Asimetría	0.155875
Coefficiente de Curtosis	-1.55334

En el Cuadro 16 tenemos los resultados del análisis de varianza de los tiempos de transporte a la vía más cercana con un promedio de 0° 0´ 54´´ transporte de las plantas de tomate de árbol. Dándonos como tiempo total de 37 horas 30´ 30´´ (una sola persona a cargo de la actividad) en una hectárea de cultivo con un marco de plantación de 2\*2, que contienen 2500 plantas.

#### 4.5 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

- a) El volumen de una estructura como el tallo o 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 las ramas correspondientes al estrato 1 se ajustan bien a una forma paraboloides (F. paraboloides: Media: 1.006; Desviación Típica: 0.222), mientras que las ramas pequeñas (estrato 3) se ajustan mejor a un modelo cilíndrico (F. cilindro: Media: 1.05; Desviación típica: 0.30).
- 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, luego de haber realizados los análisis y cálculos correspondientes se llegó a determinar la siguiente ecuación  $VR1 = -649.272 + 256.517 * D + 0.0292666 * L^2$  en donde nos da constancia que guarda relación el volumen del tallo o rama 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 de  $12.98 \text{ dm}^3$ , el contenido de materia seca por planta es de  $12980 * 0.7 = 9086 \text{ g}$ , es decir aproximadamente 9 kg.



## CAPITULO V

### 5.1 CONCLUSIONES

Al término del trabajo de investigación “Cuantificación y logística de la biomasa disponible en el cultivo de tomate de árbol (*Cyphomandra Betacea.*) Var. Grande Mora”

- A. En este estudio se ha caracterizado la forma y el volumen de las ramas de tomate de árbol en cada uno de los estratos. Las funciones de volumen calculadas poseen coeficientes de determinación bastante altos ( $r^2$  estrato 1: 82.96;  $r^2$  estrato 2: 93.15;  $r^2$  estrato 3: 73.14), por lo que se consideran adecuadas para su aplicación práctica.
- B. 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 paraboloides (Factor de forma paraboloides: Media: 1.006; Desviación Típica: 0.222), mientras que las ramas pequeñas se ajustan mejor a un modelo cilíndrico (Factor de forma cilindro: Media: 1.05; Desviación típica: 0.30).
- C. La biomasa lignocelulósica de la planta se distribuye de forma irregular, siendo el fuste y la capa exterior de ramillas donde se concentra la mayor parte de la biomasa de la planta, 54.92% y 31.67% respectivamente.
- D. 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 ( $VT = -18765.5 + 33.5349 * AT + 2682.03 * DF$ ) con un coeficiente de determinación del 65.82%, o a través de la aplicación del factor de forma de la especie a un modelo cilíndrico.
- E. Se ha caracterizado el material lignocelulósico en base a los parámetros físicos de humedad (63.71%), densidad seca ( $0.763 \text{ g/cm}^3$ ), densidad humedad ( $0.708 \text{ g/cm}^3$ ), contenido en cenizas (11.26%) y de volátiles (88.74%). Se ha demostrado que el

tiempo medio de desecación de la biomasa residual es de 8 días, si ésta se almacena en recinto cerrado con las condiciones ambientales típicas de la provincia de Tungurahua.

- F. El contenido alto en materias volátiles (88.74%) hace pensar que este residuo podría tener buena aptitud para la combustión directa en caldera o para procesos de gasificación.
  
- G. La biomasa media de las plantas de tomate de árbol es de 9 kg de materia seca por planta. Teniendo en cuenta que el marco de plantación más común es de 2 x 2 m este valor supone una biomasa potencial disponible de 22500 kg (22.5 ton/ha) de materia seca por hectárea.

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA**

#### **6.1 TÍTULO**

Cuantificación y logística de la biomasa disponible en los huertos de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) en la parroquia de Chiquicha.

#### **6.2 FUNDAMENTACIÓN**

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. Medición del fuste principal aplicando métodos dendrométricos tradicionales, con los que se obtendrá 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.

### 6.2.1 Análisis dendrométrico de ramas

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

El volumen de cada rama  $V_i$  de las especies analizadas se determinará 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 14).

$$f = \frac{\text{Volumen real de la estructura analizada}}{\text{Volumen del modelo}} \quad (14)$$

Para el cálculo del volumen real de una rama o fuste se dividirá en partes iguales, tal como indica la Figura 8, midiendo el diámetro ecuatorial de la sección de forma que obtenemos un diámetro inicial y final para cada intervalo.

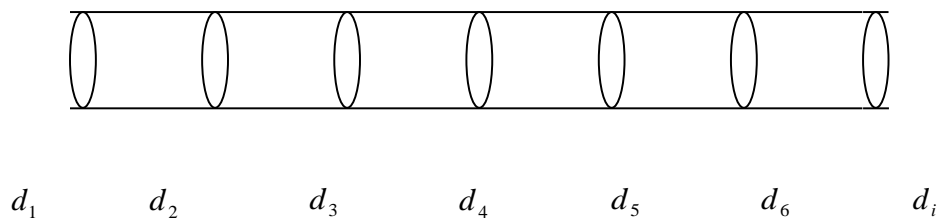
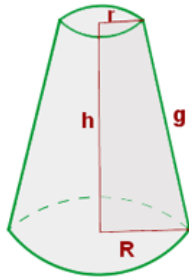


Figura 8. Mediciones de diámetros cada cierto intervalo

Cada sección puede ser considerada como un tronco de cono, cuyo volumen puede ser calculado por la ecuación 15 (volumen de cono truncado) o por la ecuación 16 (Ecuación

de Smailan). La suma de todos los volúmenes de cada una de las porciones tomadas resultará el volumen real de la rama (Ecuación 17).



$$V = \frac{1}{3} \pi (R^2 + Rr + r^2) h \quad (15)$$

Figura 9. Sección de un tronco de cono, donde R = radio mayor; r = radio menor; h = longitud del intervalo

$$V_i = \pi \cdot h \cdot R_a^2 \quad \text{donde} \quad R_a = \frac{R+r}{2} \quad (16)$$

$$V_{real} = \sum_1^i V_i \quad (17)$$

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.

$$V_{cilindro} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L \quad (18)$$

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.

### **6.2.2 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 10) que se relacionará con el volumen real, y a través de la densidad con la biomasa.

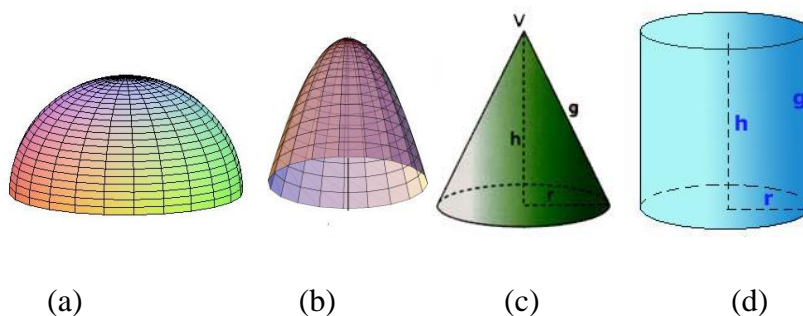


Figura 10. Modelos de crecimiento de copas arbóreas en una superficie determinada: (a) semielipse, (b) paraboloide, (c) crecimiento cónico, (d) crecimiento cilíndrico

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:

$$FO = \frac{\text{Volumen real de copa}}{\text{Volumen aparente de copa}} \quad (19)$$

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.

### **6.2.3 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 OBJETIVO**

- Cuantificar y evaluar la logística de la biomasa disponible en tomate de árbol en la parroquia de Chiquicha.



## 6.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La provincia de Tungurahua tiene una superficie de 3369,4 km<sup>2</sup>, es eminentemente agrícola con el 34% de la PEA (Población Económicamente Activa); la dedicada a la producción de tomate de árbol se registra en el cuadro 17:

CUADRO 17. SUPERFICIES OCUPADAS POR EL CULTIVO DE TOMATE DE ÁRBOL EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA

<b>FRUTALES</b>	<b>SUPERFICIE TOTAL (ha)</b>	<b>PRODUCCIÓN (t/año)</b>	<b>RENDIMIENTO (t/ha)</b>
Asociado	174	463	8,65
Solo	1295	6008	15,59

Fuente: INEC; III Censo agropecuario, 2000

Entrevistas realizadas a los técnicos del MAGAP, en el programa “hombro a hombro” determinan que en Chiquicha en el 2013 se cultivan aproximadamente 45 hectáreas de tomate de árbol.

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 a una valoración global de la cadena de producción y abastecimiento, (Velázquez, 2012).

Agénbur (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 o paja de cereal); ganaderos (purines); industriales (huesos de aceituna, cáscaras de frutos secos o serrín), o 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 (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

- Determinar la superficie de tomate de árbol cultivada en la parroquia Chiquicha del cantón Pelileo.
- Seleccionar huertos de tomate de árbol de la variedad “grande mora”.
- Identificar 30 árboles al azar en cada huerto y sacarlos del cultivo.
- Aplicar la metodología detallada en la fundamentación y consistirá en:
  - Medir los diámetros de cada rama (árbol) a una distancia de 10 centímetros (desde su base) hasta el final de la rama, con la ayuda de un pie de rey.
  - Tomar los tiempos de “sacada” de los árboles con la ayuda de un cronómetro para así determinar cuánto tiempo se ocupa en recolectar y transportar a la vía más cercana.
  - 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 Statgraphics.

## 6.6 COSTOS

CUADRO 18. COSTOS

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad en dólares</b>
Recursos Humanos	500
Infraestructura/Usos de laboratorio	500
Equipos y Materiales	300
Estudios Complementarios	200
Servicios Básicos	150
Otros	200
Total	1850

## 6.7 IMPLEMENTACIÓN / PLAN DE ACCIÓN

- Transferencia de conocimientos hacia nuevos beneficiarios.
- Socialización de resultados a estudiantes, docentes, colaboradores relacionados con la investigación y productores para fomentar el interés sobre estudios posteriores de biomasa y su aprovechamiento.

## 6.8 ADMINISTRACIÓN

La presente propuesta está sustentada en la interrelación que mantienen el asesoramiento que proporciona el MAGAP a la Junta Parroquial de Chiquicha y el apoyo técnico de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Agencia provincial de la energía de Burgos. 2012. Energía de la Biomasa. (en línea). ES. Consultado 22 mar. 2014. Disponible en: <http://www.agenbur.com/es/contenido/index.asp?idsec=70>

Fundación Asturiana de la Energía. 2013. Biomasa energías renovables for all. (en línea). ES. Consultado 22 mar. 2014. Disponible en: <http://www.asturbiomasa.es/index.php?id=15>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006. Ficha técnica tomate de árbol (Cyphomandra betacea). (en línea). COL. Consultado 22 mar. 2014. Disponible en: [http://www.fao.org/inpho\\_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/pfrescos/TOMATEDEARBOL.HTM](http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/pfrescos/TOMATEDEARBOL.HTM)

GAD M. Pelileo (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipalidad de Pelileo). 2013. Plan Estratégico de la Parroquia Chiquicha. (en línea). EC. Consultado 22 nov. 2013. Disponible en: [www.pelileo.gob.ec/index.../52-plan-de-desarrollo-local?...chiquicha](http://www.pelileo.gob.ec/index.../52-plan-de-desarrollo-local?...chiquicha)

Gayoso, J. 2005. Contenido de Carbono en Biomasa en Bosques Nativos de Chile. Cuantificación del Carbono. 1 ed. S.L. CHL. S.e. 38 p.

González, G. 2012. Cuantificación de la Biomasa Forestal, Aérea y Radical de Distintas Especies Arbóreas. 1 ed. S.L. ES. Editora INIA. 15 p.

INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo). 2000. Resultados Nacionales con resúmenes Provinciales Censo Nacional Agropecuario Ecuador. (en línea). EC. Consultado 22 nov. 2013.

Disponible en: [http://inec.gob.ec/estadisticas/index.php?option=com\\_remository&Itemid=&func=select&id=16&orderby=3&lang=es](http://inec.gob.ec/estadisticas/index.php?option=com_remository&Itemid=&func=select&id=16&orderby=3&lang=es)

INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias). 2008. El Cultivo de tomate de árbol. (en línea). EC. Consultado 22 mar. 2014. Disponible en: [http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Cultivo%20tomate\\_ecologico.pdf](http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Cultivo%20tomate_ecologico.pdf)

Menéndez, J. 2013. Cuantificación Y Uso de Biomasa de Residuos de Cultivos en Argentina Para Bioenergía. Informes Técnicos de Bioenergía. 2 ed. Buenos Aires. ARG. Editora INTA. 49 p.

Naturalenergy. 2010. Biomasa. (en línea). ES. Consultado 22 mar. 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)

Nogués, S. 2010. Energía de la Biomasa. 1 ed. Zaragoza. ES. Editora Pressas Universitarias de Zaragoza. 41 p.

Revelo, J. 2008. Cultivo Ecológico Tomate de Árbol. Texto de consulta del estudiante. 1 ed. S.L. EC. S.e. 93 p.

Suasnavas, A. 2004. Proyecto de Producción y Exportación de Pulpa de Tomate de Árbol al Mercado Peruano. 1 ed. S.L. EC. S.e. 198 p.

UA (Universidad de Alicante). 2006. Biomasa. 1 ed. Alicante. ES. Editora Universitaria Alicante. 12 p.

Velázquez, B. 2012. Proyectos Biomasa Frutales. Justificación de la investigación. 1 ed. Ambato. EC. S.e. 31 p.

## **ANEXOS**

## **Glosario de Términos.**

- **Dendrometría:** trata de la medición de las dimensiones del árbol, del estudio de su forma y, en último término, de la determinación de su volumen.
- **Dasometría:** se ocupa de las cuestiones relacionadas con la estimación métrica y cubicación de la masa forestal, entendida como conjunto de árboles que conviven en un espacio común.
- **Estrato:** partes en las que se divide una especie arbórea.
- **Volumen aparente:** es el volumen de cualquier objeto sin basarse en su forma.
- **Semi-elipse:** Figuras planas consistentes en la mitad de una elipse dividida en dos por uno de sus diámetros.
- **Paraboloide:** Superficie tridimensional curva, o sólido formado por una parábola alrededor de su eje.
- **Cono:** es un sólido de revolución generado por el giro de un triángulo rectángulo alrededor de uno de sus catetos.
- **Cilindro:** es un sólido con dos extremos planos circulares o elípticos idénticos y un lado curvo. Tiene la misma sección cruzada de un lado al otro.
- **FO:** Factor de Ocupación.



**ANEXO 1.- Árboles tomate de árbol (mediciones)**

	DF	AT	DC	AC	AF	VF	VT	DF^2	DC^2	AT^2	DF*AT	DF*DC	AT*DC
ARBOL 1	8,205	178	70	63	115	6080,593	7790,893	67,322025	4900	31684	1460,49	574,35	12460
ARBOL 2	7,706	188	101	85	103	4803,813	6880,701	59,382436	10201	35344	1448,728	778,306	18988
ARBOL 3	9,107	223	162	96	127	8272,662	10389,398	82,937449	26244	49729	2030,861	1475,334	36126
ARBOL 4	8,436	243	124,5	112	131	7322,095	10615,542	71,166096	15500,25	59049	2049,948	1050,282	30253,5
ARBOL 5	8,805	250	172	110	140	8524,672	10663,070	77,528025	29584	62500	2201,25	1514,46	43000
ARBOL 6	10,253	240	198,5	155	85	7017,974	12965,454	105,124009	39402,25	57600	2460,72	2035,2205	47640
ARBOL 7	8,892	209	203,5	120	89	5526,877	9594,640	79,067664	41412,25	43681	1858,428	1809,522	42531,5
ARBOL 8	8,968	234	215	130	104	6569,245	13629,697	80,425024	46225	54756	2098,512	1928,12	50310
ARBOL 9	7,76	216	228,5	116	100	4729,490	11972,769	60,2176	52212,25	46656	1676,16	1773,16	49356
ARBOL 10	8,562	190	158,5	90	100	5757,598	13974,662	73,307844	25122,25	36100	1626,78	1357,077	30115
ARBOL 11	8,766	230	181,5	130	100	6035,230	13102,428	76,842756	32942,25	52900	2016,18	1591,029	41745
ARBOL 12	7,936	202	130,5	84	118	5836,819	7884,310	62,980096	17030,25	40804	1603,072	1035,648	26361
ARBOL 13	9,47	250	359	130	120	8452,245	15555,967	89,6809	128881	62500	2367,5	3399,73	89750
ARBOL 14	8,677	220	184,5	110	110	6504,633	9880,790	75,290329	34040,25	48400	1908,94	1600,9065	40590
ARBOL 15	10,11	246	220	146	100	8027,738	16699,261	102,2121	48400	60516	2487,06	2224,2	54120
ARBOL 16	10,122	260	168,5	130	130	10460,849	17666,629	102,454884	28392,25	67600	2631,72	1705,557	43810
ARBOL 17	10,267	235	232	105	130	10762,703	20384,259	105,411289	53824	55225	2412,745	2381,944	54520
ARBOL 18	6,729	255	224,5	130	125	4445,309	7778,872	45,279441	50400,25	65025	1715,895	1510,6605	57247,5
ARBOL 19	10,15	235	237,5	117	118	9547,837	14871,239	103,0225	56406,25	55225	2385,25	2410,625	55812,5
ARBOL 20	9,027	243	240,5	130	113	7231,963	15338,492	81,486729	57840,25	59049	2193,561	2170,9935	58441,5

ARBOL 21	8,824	222	199	115	107	6543,433	11202,931	77,862976	39601	49284	1958,928	1755,976	44178
ARBOL 22	9,31	230	228,5	110	120	8169,049	12667,785	86,6761	52212,25	52900	2141,3	2127,335	52555
ARBOL 23	10,05	240	213	130	110	8726,010	18573,014	101,0025	45369	57600	2412	2140,65	51120
ARBOL 24	8,65	251	167	132	119	6993,105	12661,250	74,8225	27889	63001	2171,15	1444,55	41917
ARBOL 25	9,6	200	156,5	107	93	6731,569	11612,714	92,16	24492,25	40000	1920	1502,4	31300
ARBOL 26	9,344	217	165	111	106	7268,795	13295,922	87,310336	27225	47089	2027,648	1541,76	35805
ARBOL 27	10,01	223	185,5	119	104	8184,504	15402,579	100,2001	34410,25	49729	2232,23	1856,855	41366,5
ARBOL 28	9,112	190	118,5	93	97	6325,430	16720,047	83,028544	14042,25	36100	1731,28	1079,772	22515
ARBOL 29	8,312	220	81	118	102	5534,803	12886,681	69,089344	6561	48400	1828,64	673,272	17820
ARBOL 30	8,872	253	169,5	130	123	7603,947	16946,309	78,712384	28730,25	64009	2244,616	1503,804	42883,5

**ANEXO 2.- Estrato 1.**

	ESTRATO 1				
	RAMAS	LONGITUD	DIAMETRO	volumen rama	Volumen Estrato 1
ARBOL 1	1	16	3,44	240,6387296	
	2	39	2,639	72,1908616	
	3	25	3,61	295,045995	607,8755862
ARBOL 2	1	25	3,103	164,991876	
	2	18	3,078	149,7697044	
	3	21	3,387	232,4576496	547,21923
ARBOL 3	1	38	3,377	259,2468794	
	2	28	3,668	314,5773704	
	3	41	4,398	528,0869206	1101,91117
ARBOL 4	1	35	3,255	221,54242	
	2	18	3,895	359,3440934	
	3	33	3,47	272,7133174	
	4	23	4,026	398,9474734	1252,547304
ARBOL 5	1	25	3,006	140,109727	
	2	15	2,631	32,209212	
	3	24	3,563	281,5556326	

	4	20	2,478		
	5	28	3,322	225,8224884	679,69706
ARBOL 6	1	18	3,626	290,3410204	
	2	16	3,975	377,8753246	
	3	19	3,93	369,4050526	1037,621398
ARBOL 7	1	26	3,764	336,0422096	
	2	27	3,731	329,1282784	
	3	19	3,565	275,7763476	
	4	30	3,674	319,511398	1260,458234
ARBOL 8	1	24	3,42	244,8737016	
	2	27	3,711	323,9979384	
	3	50	2,377	33,635409	
	4	36	3,055	172,3169486	774,8239976
ARBOL 9	1	31	4,043	415,9514336	
	2	25	3,394	239,638323	
	3	20	3,615	289,743595	945,3333516
ARBOL 10	1	61	2,535	109,8996136	
	2	20	3,763	327,708111	
	3	39	3,334	250,4701766	
	4	20	3,271	201,501747	
	5	25	3,554	280,681043	1170,260691

ARBOL 11	1	45	3,582	328,836759	
	2	22	3,822	345,3010084	
	3	37	3,059	175,4794784	849,6172458
ARBOL 12	1	20	3,372	227,409964	
	2	32	3,361	242,8506354	
	3	38	2,686	81,9936324	
	4	40	3,263	234,569531	786,8237628
ARBOL 13	1	27	4,335	484,0645464	
	2	38	3,222	219,4867444	
	3	27	3,546	281,6726334	
	4	23	3,102	161,9257654	1147,14969
ARBOL 14	1	34	2,501	26,1092066	
	2	12	3,659	293,5380934	
	3	17	3,308	207,7442834	
	4	20	3,399	234,335923	761,7275064
ARBOL 15	1	24	4,252	458,2958456	
	2	28	3,36	235,5701344	
	3	19	3,617	289,1152316	982,9812116
ARBOL 16	1	61	2,925	209,9412436	
	2	44	3,465	296,2195426	
	3	20	3,076	151,480932	

	4	25	4,394	496,155323	1153,797041
ARBOL 17	1	27	3,317	222,9302404	
	2	25	4,327	478,968684	
	3	29	3,355	235,9557456	937,85467
ARBOL 18	1	26	1,39		
	2	24	1,865		
	3	37	2,368		
	4	19	3,537	268,5938716	268,5938716
ARBOL 19	1	19	3,279	202,4124856	
	2	18	3,454	246,2200964	
	3	23	3,711	318,1446184	766,7772004
ARBOL 20	1	32	2,93	132,2918084	
	2	24	4,05	406,4794116	
	3	19	3,507	260,8983616	
	4	24	4,07	411,6097516	1211,279333
ARBOL 21	1	27	3,71	323,7414214	
	2	41	2,74	102,7817346	
	3	18	3,544	269,3066264	695,8297824
ARBOL 22	1	23	2,678	53,1625574	
	2	20	3,789	334,377553	
	3	25	2,659	51,098328	438,6384384

ARBOL 23	1	30	2,345		
	2	35	3,987	409,312864	
	3	24	3,671	309,2594686	718,5723326
ARBOL 24	1	42	2,121		
	2	34	2,451	13,2833566	
	3	41	3,523	303,6345456	316,9179022
ARBOL 25	1	20	4,103	414,923891	
	2	34	3,541	292,8868866	
	3	27	3,231	200,8697784	
	4	24	4,781	593,9933386	1502,673895
ARBOL 26	1	29	3,12	175,6742506	
	2	48	3,489	313,1460594	
	3	33	3,752	345,0511114	833,8714214
ARBOL 27	1	33	3,876	376,8592194	
	2	45	2,763	118,749336	
	3	25	3,81	346,349395	841,9579504
ARBOL 28	1	47	3,019	189,8027424	
	2	42	4,871	651,8485894	
	3	37	3,732	348,1154194	
	4	31	3,72	333,0964426	1522,863194
ARBOL 29	1	25	2,546	22,111907	

	2	29	3,256	210,5605626	
	3	32	3,76	345,2009184	577,873388
ARBOL 30	1	23	3,908	368,6784674	
	2	37	4,004	417,8880434	
	3	28	3,715	326,6336694	1113,20018
	MEDIA	28,6952381	3,40346667	270,775	
	D.T	9,4950633	0,58583241	122,534	



**ANEXO 3.- Estrato 2.**

	ESTRATO 2				
	RAMAS	LONGITUD	DIAMETRO	VOLUMEN EN RAMA	VOLUMEN ESTRATO 2
ARBOL 1	1	23	2,85	130,7264414	
	2	42	1,628	7,807637103	
	3	23	2,768	127,9246874	
	4	30	1,74	63,34112004	
	5	31,2	2,619	161,2124504	
	6	15,8	2,318	65,20043261	556,2127689
ARBOL 2	1	19	2,932	114,1039733	
	2	33	2,701	170,4741014	
	3	22	2,76	122,3665833	
	4	23	2,225	100,4393918	
	5	19	2,494	92,74824989	
	6	11	3,02	76,84772629	676,980026
ARBOL 3	1	31	2,271	137,481463	
	2	39	2,759	189,3579999	
	3	26	2,73	141,5662992	
	4	21	2,63	111,1621622	
	5	20	1,945	71,05415289	

	6	33	1,57	22,53936248	
	7	18	1,766	58,19196894	731,3534086
ARBOL 4	1	26	3,09	146,2456468	
	2	18	2,166	72,38226081	
	3	22	2,71	120,328034	
	4	25	2,723	136,4786176	
	5	19	2,63	99,25091432	
	6	45	2,55	199,7416271	
	7	66	2,333	175,5555744	
	8	60	2,996	171,1343859	1121,117061
ARBOL 5	1	39	3,464	109,1508191	
	2	21	2,444	102,2208562	
	3	24	2,547	124,0324828	
	4	32	2,315	145,2026544	
	5	13	2,052	43,42656203	
	6	20	2,21	84,76995876	
	7	35	2,235	146,3805079	
	8	23	1,944	80,12173014	
	9	66	2,19	140,3352663	
	10	18	1,702	56,23290677	1031,873744
ARBOL 6	1	48	3,69		

	2	19	2,591	97,37435904	
	3	39	2,616	188,1532283	
	4	24	3,256	141,1473273	
	5	26	3,582	132,3510674	
	6	35	2,92	174,9334453	733,9594273
ARBOL 7	1	34	2,461	164,1555977	
	2	24	3,09	140,1760937	
	3	37	2,492	176,3525451	
	4	23	3,107	137,2145049	
	5	42	1,135		
	6	44	2,77	199,6335008	
	7	81	1,99		817,5322422
ARBOL 8	1	44	1,878	83,76490208	
	2	53	0,886		
	3	22	1,374	30,75254374	
	4	19	2,147	76,68059065	
	5	24	2,392	115,7803569	
	6	42	1,343		
	7	17	2,511	80,91247481	
	8	21	3,269	135,7659782	
	9	9	2,314	18,49742726	

	10	27	3,144	148,2017144	
	11	23	2,791	128,746261	
	12	35	2,21	143,303349	962,405598
ARBOL 9	1	43	3,271	140,1704233	
	2	22	2,708	120,2445203	
	3	43	2,574	196,748634	
	4	29	2,664	153,3413346	
	5	23	2,492	115,8938056	
	6	31	2,907	163,7356675	
	7	16	2,853	92,92929212	983,0636776
ARBOL 10	1	35	2,937	174,273796	
	2	56	2,268	175,1182801	
	3	43	2,429	187,3312281	
	4	43	1,702	30,09902127	
	5	25	1,751	65,01259896	
	6	22	3,305	138,4389902	
	7	30	2,084	113,9929493	
	8	32	2,106	122,0461671	
	9	49	2,3	180,1896587	1186,50269
ARBOL 11	1	12	2,24	38,66785562	
	2	24	2,508	122,1085128	

	3	38	2,83	185,4040762	
	4	27	2,335	126,5776729	
	5	18	2,7	96,5561262	
	6	21	2,71	114,761091	684,0753348
ARBOL 12	1	22	2,842	125,5045969	
	2	31	3,33	143,0275941	
	3	61	3,175	118,9585771	
	4	21	2,861	121,1495378	
	5	27	2,237	119,0015678	
	6	19	1,612	53,38212468	
	7	29	1,47	14,85566017	
	8	32	2,435	154,8436116	
	9	53	1,471		850,7232702
ARBOL 13	1	30	1,122		
	2	45	3,112	167,3375752	
	3	29	2,148	118,1526508	
	4	30	2,04	108,5418086	
	5	29	1,762	67,28807108	
	6	17	2,124	65,66132171	
	7	25	1,625	50,07044141	
	8	22	2,879	126,8370555	

	9	27	3,422	138,7814059	
	10	17	2,199	68,19935618	910,8696865
ARBOL 14	1	30	2,347	140,2904507	
	2	62	2,151	138,1718445	
	3	58	3,101	150,3237031	
	4	60	2,833	198,7395862	
	5	26	2,358	123,5506919	
	6	27	0,195		
	7	16	2,706	84,217748	
	8	19	1,703	57,21879216	892,5128166
ARBOL 15	1	26	3,486	136,9022864	
	2	21	3,251	135,2025495	
	3	15	2,901	90,16394148	
	4	51	2,607	209,9018255	
	5	36	3,226	152,9999443	
	6	51	4,067		
	7	80	1,627		725,1705472
ARBOL 16	1	44	2,601	199,7847003	
	2	23	2,278	103,8056389	
	3	21	3,009	126,8978505	
	4	23	2,564	119,418879	

	5	49	2,875	198,5206298	
	6	30	1,447	5,669258396	
	7	41	0,991		754,0969569
ARBOL 17	1	33	2,981	167,6176194	
	2	34	1,715	54,41109226	
	3	20	3,505	143,2378801	
	4	37	2,36	165,7786601	
	5	16	2,72	85,00048179	
	6	23	2,789	128,6759252	
	7	22	2,514	111,4228157	856,1444746
ARBOL 18	1	35	2,319	155,6700043	
	2	33	2,743	171,0445325	
	3	27	3,029	149,5783556	
	4	25	1,871	78,03167274	
	5	38	2,825	185,543338	
	6	40	2,492	185,0817927	
	7	27	1,504	28,368326	
	8	20	2,992	121,7759561	
	9	24	2,373	114,6574577	1189,751436
ARBOL 19	1	21	2,675	113,2048256	
	2	23	2,074	90,03801406	

	3	21	1,695	58,09339265	
	4	49	2,907	195,3120391	
	5	17	2,974	106,1822985	
	6	47	1,992	113,0415452	
	7	16	3,175	115,8185657	791,6906808
ARBOL 20	1	26	2,698	140,5431922	
	2	51	1,038		
	3	21	3,11	130,5290208	
	4	17	3,071	112,4458471	
	5	30	2,866	160,5906519	
	6	47	3,042	177,6939829	
	7	16	2,944	98,86810503	
	8	19	2,704	102,8376862	
	9	84	1,972		
	10	27	2,338	126,7926981	1050,301184
ARBOL 21	1	43	2,877	192,8706141	
	2	41	1,908	94,65452944	
	3	23	1,786	66,8719837	
	4	34	2,761	174,6207418	
	5	24	2,761	132,7661118	
	6	42	1,781	58,16128114	719,945262



ARBOL 22	1	33	1,238		
	2	28	1,732	62,80071319	
	3	25	1,239		
	4	46	1,872	78,93837902	
	5	45	2,701	202,7189997	
	6	23	2,104	92,20005314	436,6581451
ARBOL 23	1	27	2,982	149,7163966	
	2	26	2,751	142,1838408	
	3	29	2,562	149,3619161	
	4	39	2,003	116,2102585	
	5	37	2,153	140,1182828	
	6	28	2,701	149,9950661	
	7	23	2,605	121,3042736	968,8900346
ARBOL 24	1	48	2,981	186,2670464	
	2	38	2,761	186,7220642	
	3	27	2,002	96,47057382	
	4	23	2,004	84,80901893	
	5	19	2,897	112,3533923	
	6	27	2,781	147,5270238	
	7	33	2,134	128,267046	
	8	28	2,7	149,9661872	1092,382353

ARBOL 25	1	33	2,762	171,1867654	
	2	40	2,002	116,5549758	
	3	41	2,189	152,9278007	
	4	45	2,871	195,7974885	
	5	38	2,172	144,9791694	
	6	28	2,901	153,2332209	
	7	29	0,978		934,6794207
ARBOL 26	1	27	2,782	147,549069	
	2	26	2,189	110,9407607	
	3	43	1,872	83,29843541	
	4	47	2,716	205,5303404	
	5	48	1,871	74,86937638	
	6	27	1,009		
	7	36	1,713	50,64727253	
	8	33	1,13		
	9	22	1,427	35,5952242	708,4304787
ARBOL 27	1	40	2,871	188,20241	
	2	47	1,871	76,82993273	
	3	32	2,761	167,5756814	
	4	37	2,009	115,7284763	
	5	31	2,761	163,8045514	

	6	29	1,764	67,60575139	779,7468032
ARBOL 28	1	40	1,98	111,7722409	
	2	20	1,761	61,180731	
	3	22	1,645	54,3941414	
	4	36	2,762	180,9992623	
	5	43	1,762	50,02065575	
	6	30	2,651	157,2692138	
	7	29	1,762	67,28807108	682,9243162
ARBOL 29	1	20	1,872	67,17130762	
	2	28	2,729	150,7524176	
	3	32	2,761	167,5756814	
	4	47	2,762	204,2169614	
	5	42	2,41	183,4304501	
	6	37	1,871	87,32017019	
	7	33	1,003		860,4669882
ARBOL 30	1	28	2,348	131,9571625	
	2	25	2,901	141,1647698	
	3	28	1,902	86,6722314	
	4	43	1,87	82,73086973	
	5	32	2,761	167,5756814	
	6	29	2,013	102,7516444	712,8523593

	MEDIA	31,6696035	2,39110573	122,1313134	
	D.T	12,5680977	0,60811379	46,16196026	

**ANEXO 4.- Estrato 3.**

	RAMAS	LONGITUD	DIAMETRO	# DE RAMAS	VOLUMEN EN RAMA		VOLUMEN ESTRATO 3
ARBOL 1	1	19	1,962	12	61,48379972		
	2	16	1,82		44,6420608		
	3	16	1,461		30,42715424	45,51767159	546,212059
ARBOL 2	1	26	1,587	21	61,30159388		
	2	17	1,15		19,906825		
	3	10	0,738			40,60420944	852,6883982
ARBOL 3	1	19	1,092	14	20,57634752		
	2	48	0,946		19,66448192		
	3	33	0,912		20,50303304	20,24795416	283,4713582
ARBOL 4	1	16	2,109	36	56,08525856		
	2	14	1,122		13,36352792		
	3	9	1,304		7,19983064	25,54953904	919,7834054
ARBOL 5	1	36	0,89	44	18,7151816		
	2	26	0,734		6,41681016		
	3	20	0,727		3,9699196	9,70063712	426,8280333
ARBOL 6	1	40	2,02	55	129,692592		
	2	45	1,306		61,6259198		
	3	45	1,08		36,457814	75,92544193	4175,899306
ARBOL 7	1	35	0,863	75	16,4373717		

	2	39	1,091		37,54967426		
	3	48	0,996		25,60385792	26,53030129	1989,772597
ARBOL 8	1	43	1,906	69	124,6207189		
	2	37	1,44		68,9515652		
	3	30	1,156		37,8721832	77,14815577	5323,222748
ARBOL 9	1	42	1,289	89	58,48308212		
	2	54	1,408		75,94158368		
	3	48	1,157		44,72864864	59,71777148	5314,881662
ARBOL 10	1	13	0,445	77			
	2	14	1,949		42,01606764		
	3	28	2,229		110,1995209	76,10779426	5860,300158
ARBOL 11	1	65	1,245	74	46,3221845		
	2	30	2,015		101,646233		
	3	33	1,596		76,36286432	74,77709394	5533,504952
ARBOL 12	1	23	1,192	30	31,72240984		
	2	11	1,14		7,9144016		
	3	10	0,962		1,3575988	13,66480341	409,9441024
ARBOL 13	1	40	1,049	86	33,5736904		

	2	42	1,254		54,84521432		
	3	27	1,947		87,59394506	58,67094993	5045,701694
ARBOL 14	1	70	1,27	52	44,540586		
	2	50	0,975		21,686975		
	3	76	1,078			33,1137805	1721,916586
ARBOL 15	1	50	1,41	64	75,51257		
	2	53	1,891		139,218965		
	3	40	1,838		111,6764848	108,8026733	6963,371089
ARBOL 16	1	60	0,813	88			
	2	55	1,537		93,5095959		
	3	10	1,994		26,8969156	60,20325575	5297,886506
ARBOL 17	1	45	1,8	77	116,63939		
	2	34	2,076		118,5644802		
	3	79	1,473		69,76587158	101,6565806	7827,556705
ARBOL 18	1	30	1,204	53	41,4358088		
	2	46	1,044		32,13146576		
	3	60	1,122		32,5770968	35,38145712	1875,217227

ARBOL 19	1	25	2,077	48	89,3155245		
	2	27	1,821		79,17487958		
	3	53	1,339		66,81797158	78,43612522	3764,934011
ARBOL 20	1	63	0,95	63	2,327807		
	2	42	2,476		181,8587701		
	3	48	1,573		94,14425696	92,77694468	5844,947515
ARBOL 21	1	33	1,782	45	91,55281844		
	2	27	1,001		24,38413598		
	3	38	1,761		100,3112193	72,08272458	3243,722606
ARBOL 22	1	22	1,871	67	67,17469588		
	2	23	1,09		25,9166698		
	3	27	1,671		69,15218258	54,08118275	3623,439244
ARBOL 23	1	31	1,011	77	27,66446834		
	2	43	1,989		133,453066		
	3	47	2,119		156,7866788	105,968071	8159,541471
ARBOL 24	1	34	2,009	40	112,9270224		



	2	23	2,101		83,46179902		
	3	43	1,891		123,0245116	106,4711111	4258,844441
ARBOL 25	1	38	1,801	31	104,0728241		
	2	20	1,289		31,7859972		
	3	28	2,091		100,6371255	78,83198228	2443,791451
ARBOL 26	1	45	1,762	73	112,4075846		
	2	39	1,113		39,67300118		
	3	29	1,091		32,22730086	61,43596221	4484,825242
ARBOL 27	1	46	1,09	68	37,3680156		
	2	34	1,812		96,35121392		
	3	34	2,012		113,1794459	82,29955848	5596,369977
ARBOL 28	1	41	1,526	79	81,98606484		
	2	32	1,627		76,94019136		
	3	52	2,001		152,0419345	103,6560636	8188,829021
ARBOL 29	1	33	1,892	82	100,5361246		
	2	29	1,981		96,10034026		
	3	23	0,981		19,71249662	72,11632051	5913,538282

ARBOL 30	1	55	1,809	85	130,5317063		
	2	49	1,091		36,49644766		
	3	29	2,011		98,25336406	88,42717267	7516,309677
	MEDIA	35,8888889	1,47028889		65,22884685		
	D.T	15,312068	0,4509764		42,00084871		

**ANEXO 5.- Humedad.**

DÍA1: 24/06/2013				
	m1	m2	m3	%Humedad
Muestra 1	7,67	11,48	8,67	73,753
Muestra 2	10,13	14,01	11,15	73,711
Muestra 3	22,5	31,05	24,80	73,099
Muestra 4	94,98	112,73	100,12	71,042
Muestra 5	85,43	100,32	89,24	74,412
		Media		73,204
		D.T.		1,295

DÍA 2: 25/06/2013				
	m1	m2	m3	%Humedad
Muestra 1	7,67	12,01	8,92	71,198
Muestra 2	10,13	13,2	11,01	71,336
Muestra 3	22,5	32,26	25,33	71,004
Muestra 4	94,98	107,98	98,73	71,154
Muestra 5	85,43	97,89	89,01	71,268
		Media		71,192
		D.T.		0,126

DÍA 3: 26/06/2013				
	m1	m2	m3	%Humedad
Muestra 1	7,67	11,33	8,85	67,760
Muestra 2	10,13	13,32	11,13	68,652
Muestra 3	22,5	33,79	26,15	67,671
Muestra 4	94,98	108,23	99,45	66,264
Muestra 5	85,43	98,03	89,46	68,016
		Media		67,672
		D.T.		0,876

DÍA 4: 27/06/2013				
	m1	m2	m3	%Humedad
Muestra 1	7,67	11,72	9,25	60,988
Muestra 2	10,13	12,79	11,18	60,526
Muestra 3	22,5	30,87	25,92	59,140
Muestra 4	94,98	115,26	103,13	59,813
Muestra 5	85,43	104,82	93,21	59,876
		Media		60,069
		D.T.		0,711

DÍA 5: 01/07/2013				
	m1	m2	m3	%Humedad
Muestra 1	7,67	11,03	9,51	45,238
Muestra 2	10,13	12,55	11,43	46,281
Muestra 3	22,5	31,31	27,05	48,354
Muestra 4	94,98	115,7	106,26	45,560
Muestra 5	85,43	104,22	95	49,069
		Media		46,900
		D.T.		1,715

**ANEXO 6.- Densidad.**

ESTUDIO DE DENSIDAD HUMEDO			
	Peso muestra gr	V. Humedo	m3
Muestra 1	6,93	8	0,86625
Muestra 2	4,56	7	0,65142857
Muestra 3	5,64	9	0,62666667
Muestra 4	5,84	9	0,64888889
Muestra 5	5,47	8	0,68375
Muestra 6	6,95	9	0,77222222
		Media	0,70820106
		D.T.	0,09280618

ESTUDIO DE DENSIDAD SECO			
	Peso muestra gr	V. Humedo	m3
Muestra 1	7,23	6	1,205
Muestra 2	4,86	7	0,694
Muestra 3	6,04	6	1,007
Muestra 4	6,33	7	0,904
Muestra 5	5,97	7	0,853
Muestra 6	7,28	5	1,456
		Media	1,020
		D.T.	0,273

**ANEXO 7.- Cenizas.**

24/06/2013				
	m1	m2	m3	%cenizas
Muestra 1	105,89	111,15	106,04	2,85171103
Muestra 2	94,81	101,85	95	2,69886364
Muestra 3	111,620	119,06	111,82	2,68817204
Muestra 4	85,28	94,62	85,52	2,56959315
Muestra 5	93,6	105,13	93,87	2,34171726
			Media	2,63001142
			D.T.	0,18976162

**ANEXO 8.- Diámetros fuste de la planta.**

longitud	árbol	árbol	árbol	árbol	árbol	árbol	árbol	árbol	árbol	árbol	árbol	árbol	árbol	árbol	árbol
d	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	5,53	4,408	3,632	4,62	3,389	6,159	6,903	4,979	4,775	4,663	4,468	5,634	4,862	4,18	4,431
10	4,59	3,636	3,494	3,463	2,989	4,258	5,14	3,86	3,452	3,651	3,791	4,879	3,072	3,732	3,44
20	5,67	3,493	3,136	3,076	2,725	4,229	4,654	3,714	3,4	3,302	3,512	4,366	3,013	3,38	3,164
30	3,367	3,113	2,975	3,042	2,589	3,845	4,389	3,185	3,119	3,101	3,664	3,141	3,093	3,259	3,002
40	3,101	3,039	3,134	2,738	2,531	3,398	4,066	3,106	2,902	3,239	3,596	4,195	2,967	3,066	2,847
50	3,119	3,007	2,543	2,994	2,604	3,021	4,151	3,103	2,806	3,24	3,883	4,055	2,908	3,024	2,659
60	2,994	3,27	3,256	2,989	2,126	3,037	3,834	3,142	3,098	2,961	3,316	3,824	2,55	2,898	2,58
70	2,698	2,964	1,52	2,52	2,374	3,046	3,618	3,095	2,664	2,84	3,374	3,866	2,659	2,745	3,119
80	2,964	2,769	1,316	2,533		2,53	3,749	3,245	2,566	2,774	3,156	3,968	2,566	2,894	
90	2,403	2,83	0,752	2,911		1,91	3,595	3,272	3,114	2,73	3,515	3,396	2,812	2,875	
100	1,965	2,345	0,687	1,399		1,581	3,343		2,688	2,797	2,996	3,214	2,555		
110	1,817	1,942	0,64	1,07		1,235	3,306		3,183		2,724	3,261			
120	1,739	1,976		1,121			3,484				3,078	3,433			
130	0,957										2,844				
140															
150															
160															



árbol 16	árbol 17	árbol 18	árbol 19	árbol 20	árbol 21	árbol 22	árbol 23	árbol 24	árbol 25	árbol 26	árbol 27	árbol 28	árbol 29	árbol 30
4,24	3,441	5,559	4,542	3,374	5,175	5,303	4,96	6,4	4,676	5,056	4,647	3,255	4,167	3,833
3,487	3,226	4,478	3,758	3,013	4,309	4,696	3,95	4,703	4,124	3,828	3,444	3,038	3,601	3,139
3,195	2,9	4,395	3,356	2,895	3,794	3,957	3,822	4,428	3,915	3,566	2,993	2,791	4,213	2,923
3,089	2,882	3,9	3,128	2,422	3,685	3,326	3,876	4,203	3,492	3,436	2,814	2,644	3,173	2,767
2,976	2,677	3,71	2,995	2,356	3,381	3,285	3,714	3,768	3,116	3,456	2,752	2,762	2,937	2,797
2,571	2,605	3,624	3,107	2,558	3,355	2,909	3,296	3,64	3,042	3,5	2,62	2,592	2,676	2,619
2,754	2,683	3,3	3,522	2,607	3,304	3,156	3,316	3,767	2,884	3,522	2,336	2,226	2,729	2,434
2,675	2,618	3,443	3,879		3,905	2,923	3,205	3,643	2,837	3,27	2,211	2,286	2,432	2,511
3,81		3,683				3,165	2,873	3,937		3,605	2,097	2,431	2,167	2,279
		3,371				2,937	2,699	3,874		3,891	2,232	3,05	2,279	2,612
		3,248					2,681	3,826		3,498	2,033		2,186	2,005
		4,872					2,443	2,718		3,191			1,734	2,306
							1,842	2,444						
								3,256						

**ANEXO 9.- Volúmenes del fuste.**

longitud	árbol 1	árbol 2	árbol 3	árbol 4	árbol 5	árbol 6	árbol 7	árbol 8	árbol 9	árbol 10	árbol 11	árbol 12	árbol 13	árbol 14	árbol 15
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	201,67	127,44	99,72	129,16	79,98	215,43	286,81	154,22	134,04	136,39	134,23	217,39	125,70	123,05	122,29
20	207,46	99,80	86,39	84,05	64,15	141,43	188,50	112,65	92,19	95,00	104,77	167,99	72,71	99,40	85,68
30	163,83	85,78	73,34	73,49	55,46	128,10	160,61	93,64	83,50	80,53	101,13	111,64	73,21	86,55	74,67
40	82,19	74,32	73,29	65,66	51,47	103,14	140,43	77,71	71,21	78,94	103,49	106,40	72,12	78,58	67,19
50	75,96	71,77	63,51	64,56	51,78	81,00	132,58	75,70	63,98	82,42	109,88	133,65	67,77	72,82	59,55
60	73,38	77,41	66,36	70,29	44,08	72,06	125,26	76,58	68,50	75,55	101,97	121,93	58,58	68,87	53,90
70	63,67	76,37	46,76	59,73	39,80	72,66	109,07	76,38	65,31	66,08	87,88	116,11	53,28	62,54	63,96
80	62,99	64,56	15,82	50,13	14,75	61,22	106,58	78,94	53,71	61,89	83,76	120,51	53,61	62,45	25,47
90	56,76	61,56	8,61	58,29	0,00	38,96	105,92	83,39	63,54	59,48	87,46	106,69	56,83	65,35	
100	37,59	52,74	4,07	37,97	0,00	24,00	94,56	28,03	66,22	59,98	83,42	85,81	56,60	21,64	
110	28,10	36,19	3,46	12,04	0,00	15,65	86,81		67,84	20,48	64,29	82,32	17,09		
120	24,83	30,14	1,07	9,43	0,00	3,99	90,55		26,52		66,18	88,00			
130	14,67	10,22	0,00	3,29	0,00	0,00	31,78				68,90	30,85			
140	2,40										21,18				
150															
160															
volumen total	1095,5	868,30	542,40	718,09	401,48	957,63	1659,44	857,24	856,57	816,75	1218,54	1489,30	707,49	741,24	552,70

árbol 16	árbol 17	árbol 18	árbol 19	árbol 20	árbol 21	árbol 22	árbol 23	árbol 24	árbol 25	árbol 26	árbol 27	árbol 28	árbol 29	árbol 30
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
117,60	87,31	198,57	135,67	80,18	177,10	196,55	156,55	243,94	152,25	155,96	129,49	77,79	118,69	95,76
87,72	73,76	154,59	99,48	68,54	129,09	147,37	118,61	163,76	126,92	107,39	81,49	66,75	120,13	72,18
77,54	65,64	135,26	82,58	55,66	109,84	104,41	116,36	146,30	107,84	96,28	66,23	58,01	107,82	63,59
72,23	60,70	113,73	73,63	44,83	98,09	85,82	113,13	124,88	85,83	93,27	60,83	57,39	73,34	60,79
60,52	54,78	105,62	73,12	47,44	89,09	75,42	96,60	107,76	74,46	95,01	56,67	56,30	61,91	57,62
55,70	54,91	94,20	86,40	52,38	87,07	72,27	85,84	107,74	68,97	96,82	48,28	45,67	57,36	50,16
57,88	55,18	89,29	107,63	17,79	102,28	72,60	83,50	107,82	64,27	90,62	40,61	39,98	52,36	48,02
83,42	17,94	99,74	39,39		39,92	72,81	72,61	112,87	21,07	92,88	36,45	43,70	41,58	45,09
38,00		97,77				73,14	60,98	119,80		110,38	36,81	59,24	38,82	47,04
		86,03				22,58	56,83	116,42		107,30	35,74	24,35	39,15	42,10
		131,19					51,59	84,89		87,91	10,82		30,31	36,55
		62,14					36,29	52,37		26,66	0,00		7,87	13,92
		0,00					8,88	64,23						
		0,00						27,75						
650,63	470,22	1368,14	697,89	366,83	832,49	922,97	1057,78	1580,52	701,61	1160,47	603,42	529,19	749,34	632,80

**ANEXO 10.- Resumen de datos sobre biomasa de la copa.**

Árbol	volumen	diámetro	longitud	D*L	D^2	L^2	L*D^2	Cilindro	Paraboloide	Cono
1	1095,51	5,53	130	718,90	30,58	16900	3975,52	3122,371	1561,186	1040,790
2	868,30	4,408	120	528,96	19,43	14400	2331,66	1831,282	915,641	610,427
3	542,40	3,632	110	399,52	13,19	12100	1451,06	1139,660	569,830	379,887
4	718,09	4,62	120	554,40	21,34	14400	2561,33	2011,667	1005,834	670,556
5	401,48	3,389	70	237,23	11,49	4900	803,97	631,440	315,720	210,480
6	957,63	6,159	110	677,49	37,93	12100	4172,66	3277,208	1638,604	1092,403
7	1659,44	6,903	120	828,36	47,65	14400	5718,17	4491,050	2245,525	1497,017
8	857,24	4,979	90	448,11	24,79	8100	2231,14	1752,337	876,169	584,112
9	856,57	4,775	110	525,25	22,80	12100	2508,07	1969,837	984,919	656,612
10	816,75	4,663	100	466,30	21,74	10000	2174,36	1707,740	853,870	569,247
11	1218,54	4,468	130	580,84	19,96	16900	2595,19	2038,265	1019,132	679,422
12	1489,30	5,634	120	676,08	31,74	14400	3809,03	2991,616	1495,808	997,205
13	707,49	4,862	100	486,20	23,64	10000	2363,90	1856,611	928,305	618,870
14	741,24	4,18	90	376,20	17,47	8100	1572,52	1235,054	617,527	411,685
15	552,70	4,431	70	310,17	19,63	4900	1374,36	1079,425	539,712	359,808
16	650,63	4,24	80	339,20	17,98	6400	1438,21	1129,569	564,784	376,523
17	470,22	3,441	70	240,87	11,84	4900	828,83	650,966	325,483	216,989
18	1368,14	5,559	110	611,49	30,90	12100	3399,27	2669,789	1334,894	889,930
19	697,89	4,542	70	317,94	20,63	4900	1444,08	1134,183	567,092	378,061
20	366,83	3,374	60	202,44	11,38	3600	683,03	536,454	268,227	178,818

21	832,49	5,175	70	362,25	26,78	4900	1874,64	1472,345	736,173	490,782
22	922,97	5,303	90	477,27	28,12	8100	2530,96	1987,818	993,909	662,606
23	1057,78	4,96	120	595,20	24,60	14400	2952,19	2318,652	1159,326	772,884
24	1580,52	6,4	130	832,00	40,96	16900	5324,80	4182,098	2091,049	1394,033
25	701,61	4,676	70	327,32	21,86	4900	1530,55	1202,093	601,046	400,698
26	1160,47	5,056	110	556,16	25,56	12100	2811,94	2208,502	1104,251	736,167
27	603,42	4,647	100	464,70	21,59	10000	2159,46	1696,041	848,020	565,347
28	529,19	3,255	90	292,95	10,60	8100	953,55	748,920	374,460	249,640
29	749,34	4,167	110	458,37	17,36	12100	1910,03	1500,136	750,068	500,045
30	632,80	3,833	110	421,63	14,69	12100	1616,11	1269,291	634,646	423,097
MEDIA	860,23	4,7087	99,33333333							
D.T	339,097126	0,89284721	21,3239922							

<b>Neiloide</b>	<b>f cilindro</b>	<b>f paraboloido</b>	<b>f cono</b>	<b>f neiloide</b>
780,593	0,351	0,702	1,053	1,403
457,821	0,474	0,948	1,422	1,897
284,915	0,476	0,952	1,428	1,904
502,917	0,357	0,714	1,071	1,428
157,860	0,636	1,272	1,907	2,543
819,302	0,292	0,584	0,877	1,169
1122,762	0,369	0,739	1,108	1,478
438,084	0,489	0,978	1,468	1,957
492,459	0,435	0,870	1,305	1,739
426,935	0,478	0,957	1,435	1,913
509,566	0,598	1,196	1,793	2,391
747,904	0,498	0,996	1,493	1,991
464,153	0,381	0,762	1,143	1,524
308,764	0,600	1,200	1,801	2,401
269,856	0,512	1,024	1,536	2,048
282,392	0,576	1,152	1,728	2,304
162,741	0,722	1,445	2,167	2,889
667,447	0,512	1,025	1,537	2,050
283,546	0,615	1,231	1,846	2,461
134,113	0,684	1,368	2,051	2,735
368,086	0,565	1,131	1,696	2,262

496,955	0,464	0,929	1,393	1,857
579,663	0,456	0,912	1,369	1,825
1045,524	0,378	0,756	1,134	1,512
300,523	0,584	1,167	1,751	2,335
552,125	0,525	1,051	1,576	2,102
424,010	0,356	0,712	1,067	1,423
187,230	0,707	1,413	2,120	2,826
375,034	0,500	0,999	1,499	1,998
317,323	0,499	0,997	1,496	1,994
<b>Media</b>	0,503	1,006	1,509	2,012
<b>D.T</b>	0,111	0,222	0,333	0,444

**ANEXO 11.- Diámetros del estrato 2/árbol.**

longitud	árbol 1	árbol 2	árbol 3	árbol 4	árbol 5	árbol 6	árbol 7	árbol 8	árbol 9	árbol 10	árbol 11	árbol 12	árbol 13	árbol 14	árbol 15
0	2,85	1,729	1,921	2,932	1,762	1,355	2,09	2,903	1,712	2,591	1,878	2,24	2,842	1,37	2,71
10	1,657	1,718	1,741	2,603	1,348	2,166	1,981	2,534	1,661	2,516	1,824	1,971	2,47	1,325	2,701
20		1,618		2,123	1,023	2,071	1,723	2,182	1,391	2,256	1,671		2,237	1,291	1,76
30		1,312					1,701	1,971		2,182	1,325		2,135		
40								1,908		2,02	1,106				
50										1,79					

árbol 16	árbol 17	árbol 18	árbol 19	árbol 20	árbol 21	árbol 22	árbol 23	árbol 24	árbol 25	árbol 26	árbol 27	árbol 28	árbol 29	árbol 30
1,672	2,261	2,781	2,842	1,912	2,42	2,354	1,245	1,935	1,124	2,601	1,944	2,401	2,612	1,725
1,621	2,256	2,73	2,307	1,871	2,42	2,298	1,208	1,929	1,122	2,54	1,791	2,359	2,519	1,673
1,504	2,144	2,677	2,306	1,862	2,411	2,274	1,191	1,878	1,101	2,534	1,777	2,35	2,51	1,591
1,498	2,033	2,513			2,308	2,271		1,874		2,522			2,491	1,231
	1,981				2,225	2,681							1,978	



**ANEXO 12.- Volumen del estrato 2/árbol.**

longitud	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
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	40,81 6	23,33 0	26,35 2	60,22 5	19,10 3	24,77 3	32,54 9	58,13 2	22,34 1	51,21 5	26,91 1	34,86 5	55,49 5	14,26 2	57,48 9
20	7,188	21,85 8	7,935	44,00 6	11,10 7	35,25 5	26,98 2	43,75 1	18,33 7	44,75 7	24,00 0	10,17 1	43,53 9	13,43 8	39,65 4
30	0,000	16,91 8	0,000	11,80 0	2,740	11,22 9	23,02 0	33,89 4	5,066	38,67 6	17,70 3	0,000	37,53 8	4,363	8,110
40	0,000	4,506	0,000	0,000	0,000	0,000	7,575	29,54 7	0,000	34,68 6	11,63 5	0,000	11,93 3	0,000	0,000
50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	9,531	0,000	28,53 7	3,202	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	8,388	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>VOLUMEN</b>	48,00	66,61	34,28	116,0	32,95	71,25	90,12	174,8	45,74	197,8	83,45	45,03	148,5	32,06	105,2
<b>TOTAL</b>	4	2	8	30	0	7	6	55	3	71	1	6	05	4	53

árbol 16	árbol 17	árbol 18	árbol 19	árbol 20	árbol 21	árbol 22	árbol 23	árbol 24	árbol 25	árbol 26	árbol 27	árbol 28	árbol 29	árbol 30
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21,294	40,062	59,635	52,244	28,101	45,996	42,494	11,816	29,316	9,905	51,898	27,407	44,489	51,699	22,673
19,184	38,022	57,406	41,783	27,362	45,825	41,044	11,301	28,459	9,703	50,551	24,997	43,540	49,659	20,923
17,695	34,266	52,907	13,922	9,077	43,732	40,560	3,714	27,641	3,174	50,193	8,267	14,458	49,107	15,722
5,875	31,638	16,533	0,000	0,000	40,351	48,260	0,000	9,194	0,000	16,652	0,000	0,000	39,387	3,967
0,000	10,274	0,000	0,000	0,000	12,961	18,818	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10,243	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
64,047	154,26 1	186,481	107,948	64,540	188,865	191,175	26,830	94,611	22,782	169,294	60,670	102,48 7	200,095	63,285

**ANEXO 13.- Resumen de datos sobre biomasa del estrato 2 por árbol.**

Árbol	volumen	diametro	longitud	D*L	D^2	L^2	L*D^2
1	48,004	2,85	10	28,50	8,12	100	81,23
2	66,61	1,729	30	51,87	2,99	900	89,68
3	34,29	1,921	10	19,21	3,69	100	36,90
4	116,03	2,932	20	58,64	8,60	400	171,93
5	32,95	1,762	20	35,24	3,10	400	62,09
6	71,26	1,355	20	27,10	1,84	400	36,72
7	90,13	2,09	30	62,70	4,37	900	131,04
8	174,86	2,903	40	116,12	8,43	1600	337,10
9	45,74	1,712	20	34,24	2,93	400	58,62
10	197,87	2,591	50	129,55	6,71	2500	335,66
11	83,45	1,878	40	75,12	3,53	1600	141,08
12	45,04	2,24	10	22,40	5,02	100	50,18
13	148,51	2,842	30	85,26	8,08	900	242,31
14	32,06	1,37	20	27,40	1,88	400	37,54
15	105,25	2,71	20	54,20	7,34	400	146,88
16	64,05	1,672	30	50,16	2,80	900	83,87
17	154,26	2,261	40	90,44	5,11	1600	204,48
18	186,48	2,781	30	83,43	7,73	900	232,02
19	107,95	2,842	20	56,84	8,08	400	161,54
20	64,54	1,912	20	38,24	3,66	400	73,11

21	188,87	2,42	40	96,80	5,86	1600	234,26
22	191,18	2,354	40	94,16	5,54	1600	221,65
23	26,83	1,245	20	24,90	1,55	400	31,00
24	94,61	1,935	30	58,05	3,74	900	112,33
25	22,78	1,124	20	22,48	1,26	400	25,27
26	169,29	2,601	30	78,03	6,77	900	202,96
27	60,67	1,944	20	38,88	3,78	400	75,58
28	102,49	2,401	20	48,02	5,76	400	115,30
29	200,10	2,612	40	104,48	6,82	1600	272,90
30	63,29	1,725	30	51,75	2,98	900	89,27

CILINDRO	PARABOLOIDE	CONO	NEILOIDE	F CILINDRO	F PARABOLOIDE	F CONO	F NEILOIDE
63,794	31,897	21,265	15,949	0,752	1,505	2,257	3,010
70,437	35,219	23,479	17,609	0,946	1,891	2,837	3,783
28,983	14,492	9,661	7,246	1,183	2,366	3,549	4,732
135,036	67,518	45,012	33,759	0,859	1,719	2,578	3,437
48,768	24,384	16,256	12,192	0,676	1,351	2,027	2,703
28,840	14,420	9,613	7,210	2,471	4,941	7,412	9,883
102,921	51,461	34,307	25,730	0,876	1,751	2,627	3,503
264,755	132,378	88,252	66,189	0,660	1,321	1,981	2,642
46,039	23,020	15,346	11,510	0,994	1,987	2,981	3,974
263,631	131,815	87,877	65,908	0,751	1,501	2,252	3,002
110,801	55,400	36,934	27,700	0,753	1,506	2,259	3,013
39,408	19,704	13,136	9,852	1,143	2,286	3,428	4,571
190,309	95,155	63,436	47,577	0,780	1,561	2,341	3,121
29,482	14,741	9,827	7,371	1,088	2,175	3,263	4,350
115,361	57,681	38,454	28,840	0,912	1,825	2,737	3,650
65,870	32,935	21,957	16,467	0,972	1,945	2,917	3,889
160,602	80,301	53,534	40,151	0,961	1,921	2,882	3,842
182,228	91,114	60,743	45,557	1,023	2,047	3,070	4,093
126,873	63,436	42,291	31,718	0,851	1,702	2,553	3,403
57,424	28,712	19,141	14,356	1,124	2,248	3,372	4,496
183,985	91,992	61,328	45,996	1,027	2,053	3,080	4,106

174,086	87,043	58,029	43,521	1,098	2,196	3,294	4,393
24,348	12,174	8,116	6,087	1,102	2,204	3,306	4,408
88,221	44,111	29,407	22,055	1,072	2,145	3,217	4,290
19,845	9,923	6,615	4,961	1,148	2,296	3,444	4,592
159,402	79,701	53,134	39,850	1,062	2,124	3,186	4,248
59,363	29,681	19,788	14,841	1,022	2,044	3,066	4,088
90,553	45,277	30,184	22,638	1,132	2,264	3,395	4,527
214,337	107,169	71,446	53,584	0,934	1,867	2,801	3,734
70,112	35,056	23,371	17,528	0,903	1,805	2,708	3,611
			MEDIA	1,009	2,018	3,027	4,036
			D.T	0,313	0,626	0,940	1,253

**ANEXO 14.- Datos estrato 3.**

longitud	árbol 1	árbol 2	árbol 3	árbol 4	árbol 5	árbol 6	árbol 7	árbol 8	árbol 9	árbol 10	árbol 11	árbol 12	árbol 13	árbol 14	árbol 15
0	1,09	0,944	1,122	1,304	1,109	1,487	1,02	1,061	1,096	1,101	1,189	1,091	1,111	1,11	1,234
10	1,02	0,942	1,112	1,302	1,009	1,474	1,006	1,009	1,068	1,009	1,177	1,087	1,107	1,032	1,219
20	0,932	0,912	1,1	1,291	1,009	1,367	1,002	1,002	1,024	0,981	1,058	1,007	1,006	1,015	1,118
30			0,873	1,284	1,01			0,863	0,913	0,978		0,991	1,001		1,008
40			0,833	1,271	0,981				0,883	0,914			0,861		0,969
50				1,256					0,88						0,96
60															
70															

árbol 16	árbol 17	árbol 18	árbol 19	árbol 20	árbol 21	árbol 22	árbol 23	árbol 24	árbol 25	árbol 26	árbol 27	árbol 28	árbol 29	árbol 30
1,104	1,01	0,988	1,176	1,154	1,234	1,139	1,349	1,134	1,371	1,192	1,1	1,208	1,071	1,114
1,101	1,007	0,976	1,161	1,133	1,91	1,132	1,287	1,124	1,291	1,19	1,099	1,191	1,054	1,111
1,09	0,979	0,873	1,155	1,112	1,908	1,127	1,253	1,114	1,271	1,187	1,067	1,78	1,052	1,052
1,086	0,944			1,009	1,86		1,238	1,111	1,263	1,161	0,959	1,656	1,038	1,034
1,071				1,003			1,123	1,001		1,158	0,941		1,027	1,022
				0,931				0,965			0,906			1,01

**ANEXO 15.- Volumen estrato 3.**

longitud	árbol 1	árbol 2	árbol 3	árbol 4	árbol 5	árbol 6	árbol 7	árbol 8	árbol 9	árbol 10	árbol 11	árbol 12	árbol 13	árbol 14	árbol 15
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	8,745	6,984	9,799	13,33 5	8,81 5	17,21 5	8,060	8,415	9,19 5	8,747	10,992	9,314	9,659	9,013	11,815
20	7,487	6,750	9,607	13,20 2	7,99 6	15,85 5	7,917	7,941	8,59 4	7,776	9,817	8,614	8,773	8,228	10,730
30	2,274	2,178	7,677	13,01 9	8,00 4	4,892	2,628	6,842	7,37 5	7,535	2,930	7,838	7,909	2,697	8,883
40	0,000	0,000	5,716	12,81 8	7,78 4	0,000	0,000	1,950	6,33 4	7,031	0,000	2,571	6,820	0,000	7,675
50	0,000	0,000	1,817	12,53 9	2,51 9	0,000	0,000	0,000	6,10 3	2,187	0,000	0,000	1,941	0,000	7,306
	0,000	0,000	0,000	4,130	0,00 0	0,000	0,000	0,000	2,02 7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,413
<b>VOLUMEN TOTAL</b>	18,50 6	15,91 1	34,61 6	64,91 2	35,1 18	37,96 3	18,60 5	25,14 8	37,6 02	33,277	23,740	28,338	35,103	19,938	46,410



árbol 16	árbol 17	árbol 18	árbol 19	árbol 20	árbol 21	árbol 22	árbol 23	árbol 24	árbol 25	árbol 26	árbol 27	árbol 28	árbol 29	árbol 30
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,547	7,988	7,574	10,724	10,270	19,708	10,127	13,646	10,011	13,918	11,141	9,495	11,301	8,867	9,721
9,426	7,745	6,720	10,532	9,896	28,622	10,020	12,668	9,835	12,888	11,094	9,213	17,559	8,709	9,189
9,297	7,262	1,995	3,492	8,840	27,879	3,325	12,184	9,721	12,608	10,825	8,067	23,191	8,577	8,544
9,136	2,333	0,000	0,000	7,949	9,057	0,000	10,954	8,766	4,176	10,559	7,088	7,179	8,373	8,300
3,003	0,000	0,000	0,000	7,348	0,000	0,000	3,302	7,590	0,000	3,511	6,699	0,000	2,761	8,107
0,000	0,000	0,000	0,000	2,269	0,000	0,000	0,000	2,438	0,000	0,000	2,149	0,000	0,000	2,671
40,408	25,328	16,289	24,748	44,303	85,266	23,472	52,754	45,922	43,591	47,130	40,562	59,230	37,286	43,861

**ANEXO 16.- Ramas estrato 3.**

Árbol	Volumen	diámetro	longitud	D*L	D^2	L^2	L*D^2
1	18,5055634	1,09	20	21,80	1,19	400	23,76
2	15,9114291	0,944	20	18,88	0,89	400	17,82
3	34,6161935	1,122	40	44,88	1,26	1600	50,36
4	64,9122366	1,304	50	65,20	1,70	2500	85,02
5	35,118085	1,109	40	44,36	1,23	1600	49,20
6	37,9628195	1,487	20	29,74	2,21	400	44,22
7	18,6051102	1,02	20	20,40	1,04	400	20,81
8	25,1477802	1,061	30	31,83	1,13	900	33,77
9	37,6018706	1,096	50	54,80	1,20	2500	60,06
10	33,2771179	1,101	40	44,04	1,21	1600	48,49
11	23,7395685	1,189	20	23,78	1,41	400	28,27
12	28,3376038	1,091	30	32,73	1,19	900	35,71
13	35,1029844	1,111	40	44,44	1,23	1600	49,37
14	19,9376356	1,11	20	22,20	1,23	400	24,64
15	46,4098096	1,234	50	61,70	1,52	2500	76,14
16	40,4081284	1,104	40	44,16	1,22	1600	48,75
17	25,3277127	1,01	30	30,30	1,02	900	30,60
18	16,288908	0,988	20	19,76	0,98	400	19,52
19	24,7483703	1,176	20	23,52	1,38	400	27,66
20	44,3026573	1,154	50	57,70	1,33	2500	66,59

21	85,2661237	1,234	30	37,02	1,52	900	45,68
22	23,4717811	1,139	20	22,78	1,30	400	25,95
23	52,7536556	1,349	40	53,96	1,82	1600	72,79
24	45,9224715	1,134	50	56,70	1,29	2500	64,30
25	43,5905325	1,371	30	41,13	1,88	900	56,39
26	47,1300921	1,192	40	47,68	1,42	1600	56,83
27	40,5619594	1,1	50	55,00	1,21	2500	60,50
28	59,2298571	1,208	30	36,24	1,46	900	43,78
29	37,2862655	1,071	40	42,84	1,15	1600	45,88
30	43,8608934	1,114	50	55,70	1,24	2500	62,05

<b>CILINDRO</b>	<b>PARABOLOIDE</b>	<b>CONO</b>	<b>NEILOIDE</b>	<b>F CILINDRO</b>	<b>F PARABOLOIDE</b>	<b>F CONO</b>	<b>F NEILOIDE</b>
18,663	9,331	6,221	4,666	0,992	1,983	2,975	3,966
13,998	6,999	4,666	3,499	1,137	2,273	3,410	4,547
39,549	19,775	13,183	9,887	0,875	1,751	2,626	3,501
66,775	33,388	22,258	16,694	0,972	1,944	2,916	3,888
38,638	19,319	12,879	9,659	0,909	1,818	2,727	3,636
34,733	17,367	11,578	8,683	1,093	2,186	3,279	4,372
16,343	8,171	5,448	4,086	1,138	2,277	3,415	4,554
26,524	13,262	8,841	6,631	0,948	1,896	2,844	3,792
47,172	23,586	15,724	11,793	0,797	1,594	2,391	3,189
38,083	19,041	12,694	9,521	0,874	1,748	2,621	3,495
22,207	11,103	7,402	5,552	1,069	2,138	3,207	4,276
28,045	14,023	9,348	7,011	1,010	2,021	3,031	4,042
38,777	19,389	12,926	9,694	0,905	1,810	2,716	3,621
19,354	9,677	6,451	4,838	1,030	2,060	3,090	4,121
59,799	29,899	19,933	14,950	0,776	1,552	2,328	3,104
38,290	19,145	12,763	9,573	1,055	2,111	3,166	4,221
24,036	12,018	8,012	6,009	1,054	2,108	3,161	4,215
15,333	7,667	5,111	3,833	1,062	2,125	3,187	4,249
21,724	10,862	7,241	5,431	1,139	2,278	3,418	4,557
52,296	26,148	17,432	13,074	0,847	1,694	2,541	3,389
35,879	17,940	11,960	8,970	2,376	4,753	7,129	9,506

20,378	10,189	6,793	5,095	1,152	2,304	3,455	4,607
57,171	28,585	19,057	14,293	0,923	1,845	2,768	3,691
50,499	25,250	16,833	12,625	0,909	1,819	2,728	3,637
44,288	22,144	14,763	11,072	0,984	1,968	2,953	3,937
44,638	22,319	14,879	11,159	1,056	2,112	3,167	4,223
47,517	23,758	15,839	11,879	0,854	1,707	2,561	3,415
34,383	17,192	11,461	8,596	1,723	3,445	5,168	6,891
36,035	18,018	12,012	9,009	1,035	2,069	3,104	4,139
48,734	24,367	16,245	12,183	0,900	1,800	2,700	3,600
			MEDIA	1,053	2,106	3,160	4,213
			D.T	0,303	0,605	0,908	1,210

**ANEXO 17.- Biomasa total disponible/árbol.**

<b>Volumen</b>					
	<b>Fuste</b>	<b>Estrato 1</b>	<b>Estrato 2</b>	<b>Estrato 3</b>	<b>total</b>
<b>Arbol 1</b>	6080,593	607,876	556,21	546,212059	7790,893
<b>Arbol 2</b>	4803,813	547,21923	676,980026	852,688398	6880,70107
<b>Arbol 3</b>	8272,662	1101,91117	731,353409	283,471358	10389,3981
<b>Arbol 4</b>	7322,095	1252,547304	1121,11706	919,783405	10615,5424
<b>Arbol 5</b>	8524,672	679,69706	1031,87374	426,828033	10663,0704
<b>Arbol 6</b>	7017,974	1037,621398	733,959427	4175,89931	12965,4538
<b>Arbol 7</b>	5526,877	1260,458234	817,532242	1989,7726	9594,64023
<b>Arbol 8</b>	6569,245	774,8239976	962,405598	5323,22275	13629,697
<b>Arbol 9</b>	4729,490	945,3333516	983,063678	5314,88166	11972,769
<b>Arbol 10</b>	5757,598	1170,260691	1186,50269	5860,30016	13974,6616
<b>Arbol 11</b>	6035,230	849,6172458	684,075335	5533,50495	13102,4276
<b>Arbol 12</b>	5836,819	786,8237628	850,72327	409,944102	7884,31009
<b>Arbol 13</b>	8452,245	1147,14969	910,869686	5045,70169	15555,9665
<b>Arbol 14</b>	6504,633	761,7275064	892,512817	1721,91659	9880,78959
<b>Arbol 15</b>	8027,738	982,9812116	725,170547	6963,37109	16699,2612
<b>Arbol 16</b>	10460,849	1153,797041	754,096957	5297,88651	17666,6291
<b>Arbol 17</b>	10762,703	937,85467	856,144475	7827,5567	20384,2593
<b>Arbol 18</b>	4445,309	268,5938716	1189,75144	1875,21723	7778,87165
<b>Arbol 19</b>	9547,837	766,7772004	791,690681	3764,93401	14871,2387

<b>Arbol 20</b>	7231,963	1211,279333	1050,30118	5844,94751	15338,4915
<b>Arbol 21</b>	6543,433	695,8297824	719,945262	3243,72261	11202,9309
<b>Arbol 22</b>	8169,049	438,6384384	436,658145	3623,43924	12667,7849
<b>Arbol 23</b>	8726,010	718,5723326	968,890035	8159,54147	18573,0138
<b>Arbol 24</b>	6993,105	316,9179022	1092,38235	4258,84444	12661,2501
<b>Arbol 25</b>	6731,569	1502,673895	934,679421	2443,79145	11612,7139
<b>Arbol 26</b>	7268,795	833,8714214	708,430479	4484,82524	13295,9222
<b>Arbol 27</b>	8184,504	841,9579504	779,746803	5596,36998	15402,5792
<b>Arbol 28</b>	6325,430	1522,863194	682,924316	8188,82902	16720,0465
<b>Arbol 29</b>	5534,803	577,873388	860,466988	5913,53828	12886,6813
<b>Arbol 30</b>	7603,947	1113,20018	712,852359	7516,30968	16946,309
<b>Suma</b>	213990,991	26806,748	25403,3132	123407,252	389608,304
<b>porcentaje</b>	54,92	6,88	6,52	31,67	100,00

**ANEXO 18.- Cenizas en seco.**

CENIZAS EN SECO				
	m1	m2	m3	%cenizas
Muestra 1	94,79	108,75	96,28	10,6733524
Muestra 2	105,89	119,48	107,42	11,2582781
Muestra 3	85,28	97,83	86,83	12,3505976
Muestra 4	93,6	107,38	95,14	11,1756168
Muestra 5	111,2	125,57	112,76	10,8559499
			Media	11,262759
			D.T	0,65266768



**ANEXO 19.- Peso/árbol (kg).**

	Peso (kg)
Arbol 1	8,49
Arbol 2	7,56
Arbol 3	9,22
Arbol 4	9,47
Arbol 5	8,12
Arbol 6	8,76
Arbol 7	7,89
Arbol 8	9,25
Arbol 9	7,9
Arbol 10	8,72
Arbol 11	7,95
Arbol 12	9,22
Arbol 13	8,64
Arbol 14	9,73
Arbol 15	7,84
Arbol 16	8,16
Arbol 17	9,22
Arbol 18	9,72

Arbol 19	8,72
Arbol 20	9,1
Arbol 21	8,59
Arbol 22	9,54
Arbol 23	8,12
Arbol 24	9,1
Arbol 25	8,11
Arbol 26	9,23
Arbol 27	9,19
Arbol 28	9,28
Arbol 29	8,74
Arbol 30	9,39
<b>MEDIA</b>	<b>8,766</b>
<b>D.T</b>	<b>0,625</b>

**ANEXO 20.- Ilustraciones.**



Fotografía 1. Medición de estratos



Fotografía 2. Medición diámetro fuste.