

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



**JORGE JAVIER PACHECO PACHECO**

**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  
DURAZNERO (*Prunus persica*) var. Conservero amarillo”**

**AMBATO - ECUADOR**

**2014**

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Yo, **JORGE JAVIER PACHECO PACHECO**, portador de cédula de identidad número: 1803846862, en honor a la verdad, declaro que el trabajo de investigación titulado “**CUANTIFICACIÓN Y LOGÍSTICA DE LA BIOMASA DISPONIBLE EN EL DURAZNERO (*Prunus persica*) var. Conservero amarillo**” es original, auténtica y personal. En tal virtud, declaro que el contenido será de mi sola responsabilidad legal y académica.

---

Jorge Javier Pacheco Pacheco

**“CUANTIFICACIÓN Y LOGÍSTICA DE LA BIOMASA DISPONIBLE EN EL DURAZNERO (*Prunus persica*) Var. Conservero amarillo”**

**APROBADO POR:**

---

Ing. Mg. Alberto Gutiérrez A.

**TUTOR**

---

Ing. Mg. Jorge Dobronski

**ASESOR DE BIOMETRÍA**

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

FECHA:

.....  
Ing. Mg. Hernán Zurita

PRESIDENTE

.....  
Ing. Mg. Eduardo Cruz T.

.....  
Ing. Mg. Giovanni Velástegui

## **DEDICATORIA**

Mi tesis la dedico con todo cariño y amor:

A Dios por darme las fuerzas necesarias para poder seguir adelante en un proceso largo y lleno de esfuerzos como ha sido la vida universitaria.

A mi abuelita Aida, por haber sido nuestra madre para mis hermanos y para mí, a mi hermano Wagner quien es un padre, ya que gracias a sus enseñanzas he podido seguir adelante con mis estudios y siempre han velado por mi bienestar y me han dado aliento en los momentos más difíciles de mi vida.

Una dedicatoria muy especial a Jorge Heracleo Pacheco, mi tío querido que hoy no puede ver la felicidad que me embriaga el haber culminado mi formación como ingeniero, él fue y será el padre para mí y todos mis hermanos.

A mis hermanos Mónica, Eduardo y Cinthya quienes me apoyaron y me supieron dar su apoyo incondicional, y saber darme ánimos para seguir una lucha constante entre el estudio y el trabajo.

A mi querida novia Celia quien me supo entender el cansancio y darme fuerza con sus palabras y aconsejarme cuando algo hacia mal en el estudio y darme su cariño, comprensión en todo momento.

## **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 mis amigos y compañeros de aula, por haber compartido conmigo cinco años de su vida junto a mí en las aulas, ya que ellos siempre estuvieron en las buenas y malas.

Un agradecimiento a todos los ingenieros que me dieron clases ya que a ellos debo todas las enseñanzas emprendidas hacia mí, un agradecimiento muy especial al ingeniero Alberto Gutiérrez por guiarme en todo el transcurso de mi vida universitaria y más aún al culminarla en calidad de tutor de mi tesis de grado.

Al Dr. Borja Velázquez por habernos guiado en la tabulación, redacción y comprensión de los datos y metodología propuesta en el trabajo de graduación.

## Índice de Contenido

CAPÍTULO I .....	- 1 -
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	- 1 -
1.1 Planteamiento del problema .....	- 1 -
1.2 Análisis crítico del problema .....	- 2 -
1.3 Justificación.....	- 3 -
1.3.1 Efectos Multiplicadores .....	- 4 -
1.4 Objetivos .....	- 6 -
1.4.1 General: .....	- 6 -
1.4.2 Específicos: .....	- 6 -
CAPÍTULO II .....	- 7 -
MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS .....	- 7 -
2.1 Antecedentes investigativos .....	- 7 -
2.2 Marco conceptual o categorías fundamentales .....	- 8 -
2.2.1 Biomasa.....	- 8 -
2.2.2 Durazno .....	- 10 -
2.2.2.1 Descripción.....	- 10 -
2.2.2.2 Fruto .....	- 10 -
2.2.2.3 Fases del crecimiento del fruto .....	- 11 -
2.2.2.4 Cultivo.....	- 12 -
2.2.2.5 Plagas y enfermedades.....	- 12 -
2.2.2.6 Plantación .....	- 13 -
2.2.2.7 Riego .....	- 13 -
2.2.2.8 Fertilización.....	- 13 -
2.3 Hipótesis.....	- 13 -
2.4 Variables de la hipótesis .....	- 14 -
2.4.1 VARIABLE DEPENDIENTE .....	- 14 -
2.4.2 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	- 14 -
2.5 Operacionalización de variables .....	- 15 -
2.5.1 VARIABLE DEPENDIENTE .....	- 15 -
2.5.2 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	- 16 -

CAPÍTULO III.....	- 17 -
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	- 17 -
3.1 ENFOQUE, MODALIDAD Y TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	- 17 -
3.1.1 Enfoque .....	- 17 -
3.1.2 Modalidad .....	- 17 -
3.1.3 Tipo.....	- 17 -
3.2 Ubicación del ensayo.....	- 17 -
3.3 Caracterización del lugar .....	- 17 -
3.3.1 Suelo .....	- 18 -
3.3.2 Agua.....	- 18 -
3.3.3 Zona de vida.....	- 18 -
3.4 Factores de estudio .....	- 19 -
3.5 Diseño experimental.....	- 19 -
3.6 Análisis estadístico .....	- 20 -
3.7 Diseño o esquema de campo.....	- 20 -
3.8 Datos tomados .....	- 21 -
a) Cubicación de fuste y ramas .....	- 21 -
b) Análisis de la cantidad de biomasa en copas .....	- 24 -
c) Logística.....	- 25 -
3.9 Procesamiento de la información recolectada.....	- 26 -
3.10 Manejo de la investigación .....	- 26 -
CAPÍTULO IV.....	- 27 -
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	- 27 -
4.1 Análisis dendrométrico de las ramas .....	- 27 -
4.2 Biomasa y su distribución en la planta .....	- 31 -
4.3 Caracterización física de la biomasa.....	- 32 -
4.4 Logística.....	- 34 -
4.5 Verificación de la hipótesis .....	- 35 -
CAPÍTULO V .....	- 36 -
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	- 36 -
CAPÍTULO VI.....	- 37 -
PROPUESTA.....	- 37 -
6.1 Título.....	- 37 -
6.2 Fundamentación .....	- 37 -

6.3 Objetivo.....	- 41 -
6.4 Justificación e importancia .....	- 42 -
6.5 Manejo Técnico.....	- 43 -
6.6 Implementación / plan de acción .....	- 43 -
BIBLIOGRAFÍA .....	- 44 -
ANEXOS .....	- 46 -



## Índice de Tablas

Tabla 1. Superficie ocupada por huertos de durazno en la provincia del Tungurahua .....	- 3 -
Tabla 2: Variable dependiente, biomasa y logística .....	- 15 -
Tabla 3. Variable independiente, durazno var. conservero amarillo .....	- 16 -
Tabla 4. Descripción estadística de los parámetros medidos en las ramas grandes de duraznero .....	- 27 -
Tabla 5. Descripción estadística de los parámetros medidos en las ramas pequeñas de duraznero .....	- 28 -
Tabla 6. Modelo de regresión para las ramas del estrato 1 y estrato 2. ....	- 29 -
Tabla 7. Modelo de regresión para las ramas del estrato 3. ....	- 30 -
Tabla 8. Cálculo de factores de forma en cada uno de los modelos geométricos estudiados para las ramas pequeñas. ....	- 30 -
Tabla 9. Cálculo de factores de forma en cada uno de los modelos geométricos estudiados para las ramas grandes. ....	- 30 -
Tabla 10. Diámetro, longitud, y volumen medios de las ramas en cada estrato. ....	- 31 -
Tabla 11. Modelo de regresión para la predicción de la biomasa lignocelulósica del duraznero .....	- 32 -
Tabla 12. Media y desviación típica de los parámetros físicos del material lignocelulosico del duraznero. ....	- 33 -
Tabla 13. Análisis unidimensional en tiempos de poda del duraznero .....	- 34 -
Tabla 14. Análisis unidimensional en tiempos de recolección .....	- 35 -

## Índice de figuras

Figura 1. Árbol de problemas .....	- 2 -
Figura 2. Esquema de campo.....	- 20 -
Figura 3. Mediciones de diámetros cada cierto intervalo.....	- 22 -
Figura 4. Sección de un tronco de cono, donde $R$ = radio mayor; $r$ = radio menor; $h$ =longitud del intervalo.....	- 23 -
Figura 5. Modelos de crecimiento de copas arbóreas en una superficie determinada: (a) semielipse, (b) paraboloides, (c) crecimiento cónico, (d) crecimiento cilíndrico.....	- 25 -
Figura 6. Tipos de distribución según la asimetría .....	- 28 -
Figura 7. Clasificación de las distribuciones de acuerdo a su grado de apuntamiento .....	- 29 -
Figura 8. Distribución de la biomasa en los diferentes estratos de la planta. ....	- 31 -
Figura 9. Variación de humedad tras los primeros días transcurridos después del corte de la planta.....	- 34 -

## Índice de Ecuaciones

Ecuación 1.....	- 21 -
Ecuación 2.....	- 22 -
Ecuación 3.....	- 22 -
Ecuación 4.....	- 22 -
Ecuación 5.....	- 23 -
Ecuación 6.....	- 25 -

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación se llevó a efecto en la Granja Experimental Querochaca de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato, cantón Cevallos provincia de Tungurahua a una distancia 20 km. al sur de Ambato con una altitud de 2850 m.s.n.m., cuyas coordenadas geográficas son:  $01^{\circ} 22' 0.2''$  de latitud Sur y  $78^{\circ} 36' 22''$  de longitud Oeste según el sistema de posicionamiento global (GPS). El objetivo de este trabajo fue desarrollar modelos matemáticos para determinar la biomasa que contiene un árbol de duraznero (*Prunus persica*) var. Conservero amarillo entero tanto en el fuste como en la copa.

Inicialmente se realizó un estudio dendrométrico de las ramas en la que se obtuvieron por un lado coeficientes de forma que relacionan el volumen real de la rama con un modelo geométrico tal como el cilindro, paraboloide, cono o neiloide, por otra parte se desarrollaran funciones de volumen a partir del diámetro de la base y la longitud de la rama, este estudio fue para facilitar la cuantificación de la biomasa contenida en la copa.

Posteriormente se seleccionaron treinta arboles al azar, para la medición de la biomasa contenida en la copa. Se realizó a través de un muestreo de un número de ramas en cada estrato de formación (ramas primarias, ramas secundarias, etc.)

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.) la suma del volumen de cada estrato nos proporcionara el volumen total.

Tras la medición del volumen total contenido en la copa se desarrollaran ecuaciones de regresión para poder predecir la biomasa total del árbol a partir de la medición de su diámetro de copa, diámetro del fuste y altura de planta.

Además se realizó una caracterización proximal de los materiales, análisis como: cenizas, contenido de humedad, densidad húmeda, densidad en seco.

El estudio nos da como resultado que en el estrato II tenemos la mayor cantidad de biomasa disponible para usos energéticos posteriores, con el 65,63% de biomasa

contenida. A diferencia que en los forestales la menor cantidad de biomasa disponible la encontramos en el fuste con el 5,53%, esto debido que en explotaciones intensivas la longitud no sobrepasa los sesenta centímetros ya que no es deseable un árbol muy grande por su difícil manejo al momento de realizar las podas de cada año. El volumen medio de la planta fue 2139,38 cm<sup>3</sup>, la biomasa media por árbol fue de 54,74 kg y por hectárea 45.59 toneladas de biomasa disponible.

# CAPÍTULO I

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Planteamiento del problema

Desconocimiento de la cantidad de la biomasa en duraznero resultante de las podas para estudios energéticos posteriores.

Una gran cantidad de biomasa residual con posible uso energético puede ser extraída de la gestión de las parcelas de árboles frutales, especialmente en operaciones de poda, renovación de plantaciones y restos de cosecha. La biomasa residual en cultivos frutícolas es muy variable según las especies, variedades, densidad de plantación o sistemas de cultivo. Actualmente estos residuos son amontonados o eliminados por quema en campo no consiguiendo ningún beneficio directo. El proyecto de investigación propuesto fue encaminado al estudio de la posible utilización de esta biomasa adicional de la fruticultura de la provincia de Tungurahua como fuente de energía, al tiempo de rentabilizar las operaciones de mantenimiento dentro de una gestión sostenible. Esta fuente de biomasa no ha sido utilizada hasta ahora, debido a que presenta diferentes dificultades técnicas en su extracción, manipulación y transporte, así como por la carencia de suficiente información sobre la cantidad y calidad de estos residuos. Ello imposibilita el desarrollo del sector bioenergético, el cual podría suponer una oportunidad para los agricultores, los cuales podrían conseguir diversificar sus ingresos. Por un lado, el agricultor tendría un ingreso económico al comercializar sus productos alimentarios tradicionales, y por otra, existiría la posibilidad de recibir un ingreso por gestionar sus residuos orgánicos si el mercado bioenergético tuviera éxito. La elevada diversidad de los sistemas naturales de Ecuador, al igual que las distintas variantes tecnológicas aplicables para transformar esa biomasa en biocombustibles propicia el desarrollo del presente tema de investigación, considerando cada ecosistema o tecnología. (Velázquez, B. 2010)

## 1.2 Análisis crítico del problema

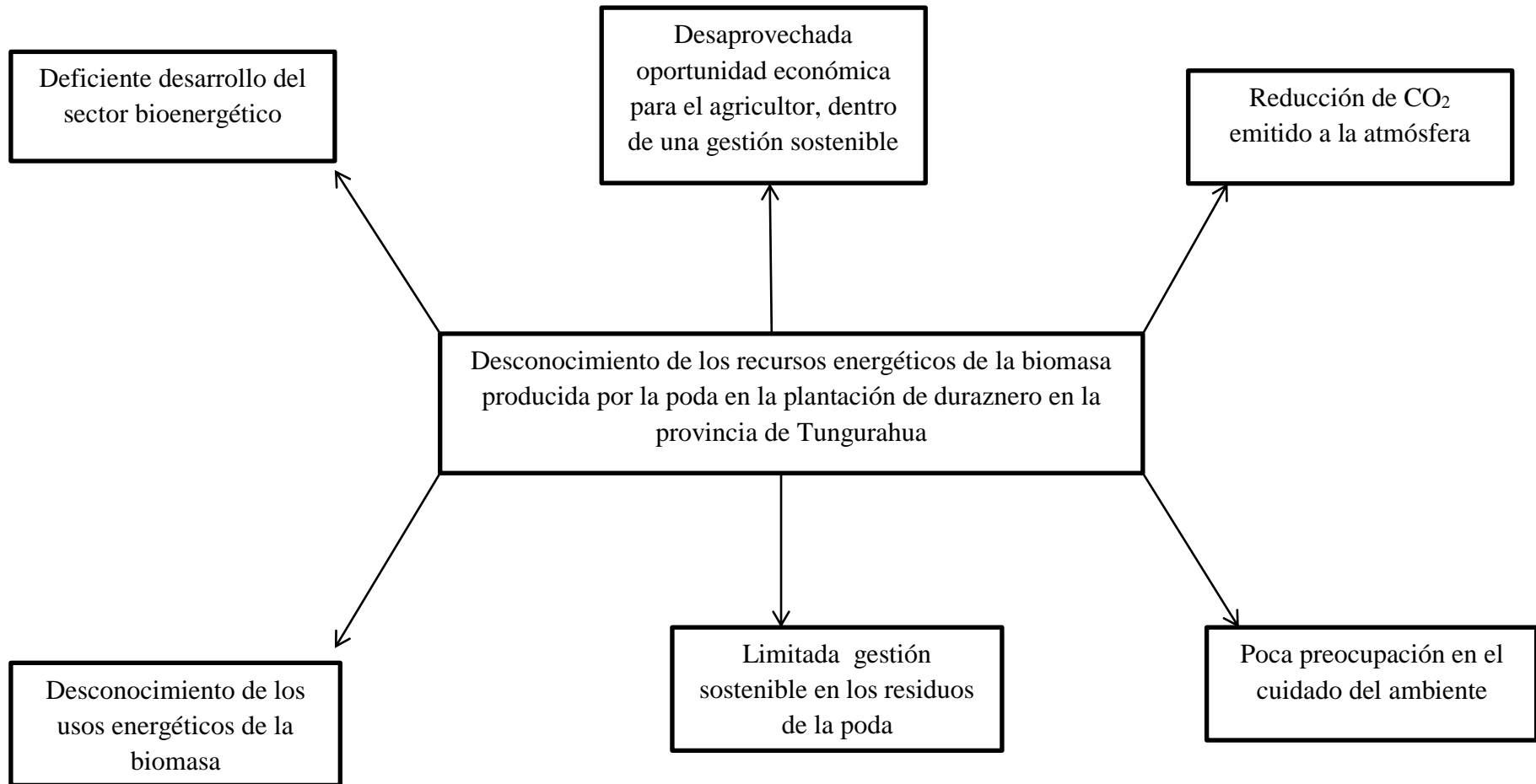


Figura 1. Árbol de problemas

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 y demás combustibles fósiles. Además la utilización de biomasa supone una reducción de las emisiones de CO2 a la atmósfera evitando el agravamiento del efecto invernadero, responsable del cambio climático. La oportunidad que supone este programa de investigación, 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. Esto significa que se tiene la oportunidad de ser pioneros en el análisis de estos ecosistemas para la obtención de bioenergía, y ser referenciados en trabajos posteriores. (Velázquez, B. 2013)

### 1.3 Justificación

Según INEC, la provincia de Tungurahua tiene una superficie de 3369,4 km<sup>2</sup>, es eminentemente agrícola con el 34% de la PEA dedicada a la producción de frutales como se registra en la tabla 1:

Tabla 1. Superficie ocupada por huertos de durazno en la provincia del Tungurahua

<b>DURAZNERO</b>	<b>SUPERFICIE TOTAL (ha)</b>	<b>PRODUCCIÓN (t/año)</b>	<b>RENDIMIENTO (t/ha)</b>
Asociado	928,16	327,41	2,6
Solo	384	432	5,72

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



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 el cultivo de durazno, 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. Diversas empresas presentan interés en estos estudios de cuantificación. No obstante, por ser de interés general, con un conjunto de actuaciones muy diverso y una amplia zona de trabajo, este tipo de investigación debe ser promovida por las administraciones públicas. El desarrollo de esta tecnología revertirá beneficiosamente en dos sectores:

- a) Sector agrario, en el que se estudiaron sistemas de recogida de residuos molestos, analizando el costo, organización del trabajo, etc.
- b) Sector energético y maderero. Se realizó un análisis de la logística para el abastecimiento; definición de la tecnología que permite mejorar la calidad energética o industrial de estos residuos. Esto 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.

### **1.3.1 Efectos Multiplicadores**

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

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

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

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

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

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 General:**

- Desarrollar modelos matemáticos para cuantificar, caracterizar y evaluar la logística de la capacidad energética de la biomasa disponible en el duraznero (*Prunus persica*) var. conservero amarillo.

### **1.4.2 Específicos:**

- Realizar el análisis dendrométrico de las ramas de durazno.
- Analizar la distribución de la biomasa en el cultivo de durazno.
- Caracterizar físicamente de la biomasa.
- Evaluar la logística de la biomasa disponible en el duraznero.
- Obtener ecuaciones predictivas de la biomasa residual procedente de la poda, a partir de variables explicativas de fácil medición: diámetro de copa (Dc), diámetro de tronco (Dt), altura de planta (Hp), altura de copa (Hc), marco de plantación (Mp).

## 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 están encaminados a la cuantificación de este recurso en sistemas mediterráneos (Velázquez et al., 2010a; Velázquez et al., 2010b) o Schneider, (2001) en Brasil. Pero estos estudios deben realizarse de forma particularizada en cada ecosistema específico y además complementados con la valoración de sus propiedades energéticas (Vargas et al., 2012). El presente trabajo se centra en el desarrollo de modelos indirectos de predicción de la biomasa disponible de Duraznero (*Prunus persica L.*). De cada una de estas especies se realizarán tipos de análisis:

- Un análisis dendromérico de las ramas cuyo objetivo es determinar el volumen de la misma a partir de su diámetro en la base y su longitud., ya sea a través de un factor de forma o una función de volumen.
- Un análisis de la biomasa en la copa mediante muestreo de ramas, factores de ocupación o mediante funciones de regresión.
- Evaluación de la biomasa residual obtenida en los residuos de poda.
- desarrollar modelos predictivos a partir de mediciones sencillas como diámetro de fuste, diámetro de copa, altura.

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

### **2.2.1 Biomasa**

Los proyectos de cuantificación de biomasa agrícola están basados en la hipótesis de proporcionalidad entre los distintos elementos de los sistemas naturales. Los sistemas naturales manifiestan una proporcionalidad, establecida por el equilibrio si consideramos éstos sistemas en estado estacionario. Las especies vegetales están formadas por estructuras materiales que las podemos clasificar de forma simplificada en biomasa leñosa, hojas, flores y frutos. Estos materiales constituyen la biomasa del vegetal, pues se denomina, de forma genérica, como biomasa a toda materia orgánica no fosilizada originada en un proceso biológico espontáneo o provocado (Callejón-Ferre y López-Martínez, 2011). Los distintos tipos de biomasa del árbol frutal desempeñan distintas funciones y es razonable pensar que la cantidad de materia en cada una de las estructuras está relacionada, conservando una proporcionalidad equilibrada característica de la especie y de las prácticas de cultivo (Diéguez., et al., 2003; Velázquez et al., 2010).

La ciencia que se ocupa de la medición de las estructuras vegetales se denomina dendrometría. La dendrometría se ha aplicado tradicionalmente a la ciencia forestal, donde se han desarrollado técnicas de medición o estimación de la biomasa leñosa en diferentes estructuras de los árboles forestales, principalmente del fuste del árbol, por ser la fuente principal de madera para las industrias. La dendrometría para la medición de las estructuras leñosas de los árboles frutales ha sido poco estudiada, sin embargo supone una oportunidad para la obtención de variables de podrían ser aplicadas a la gestión integral de la plantación (Velázquez et al., 2011). La dendrometría ofrece herramientas para la medición de la fracción leñosa de los árboles frutales, tanto en el tallo como en la copa y ésta se podría correlacionar estadísticamente con la biomasa foliar, producción de frutos, necesidades nutricionales, necesidades de riego, residuos biomásicos generados en la poda, entre otros parámetros, basándonos en el principio de proporcionalidad (Velázquez et al. 2010).

La línea de investigación en la que se enmarca este subprograma se centra en la adaptación de las herramientas dendrométricas a las plantaciones de árboles frutales con

la finalidad de medir la parte leñosa, tanto en el fuste como en la copa. Esto supone determinar factores de forma, funciones de ahusamiento y funciones de volumen de las ramas, factores de ocupación y funciones de volumen de biomasa en la copa. A partir de estas determinaciones puede estimarse el volumen de biomasa en cada una de las estructuras y de la planta entera a partir de mediciones sencillas tal como el diámetro de la base del tallo, altura de la planta y diámetro de la copa. Ello permite la medición de la biomasa y de las dimensiones del árbol individual, junto el estudio de su crecimiento.

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

El objetivo del presente trabajo es el desarrollo de técnicas de dendrometría adaptada, que permitirán la cuantificación rápida de la biomasa total que existe en especies vegetales a partir de variables de fácil medición: diámetro de copa, altura de la planta, diámetro del fuste. Así también analizar su distribución de biomasa leñosa en la planta. La determinación de la biomasa de la planta nos permitirá calcular el CO<sub>2</sub> capturado por la planta en su crecimiento, determinar la biomasa residual generada cuando se arranca la plantación (al final de su ciclo productivo, por cambio varietal o cambio del uso del suelo), así como relacionar ésta con los residuos generados en la poda. La estimación de la biomasa de las parcelas de árboles frutales a partir de métodos dendrométricos y dasométricos nos permite establecer relaciones entre sus características con variables obtenidas de la aplicación de técnicas de teledetección tales como la utilización de imágenes multiespectrales o escaneos con tecnología LiDAR (Estornell et al, 2011).

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

## **2.2.2 Durazno**

### **2.2.2.1 Descripción**

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Rosales
Familia:	Rosaceae
Subfamilia:	Amygdaloideae
Tribu:	Amygdaleae
Género:	Prunus
Especie:	P. persica

Árbol de hasta 6-8 m de altura, caducifolio e inerme. Las hojas son oblongas-lanceoladas o elípticas, acuminadas, cuneadas en la base, aserradas con dientes glandulíferos, glabrescentes, con estípulas cáducas denticuladas. Las flores son solitarias o geminadas y con numerosas brácteas. Los sépalos son erectos enteros y los pétalos denticulados en el ápice, de color rosado fuerte. El ovario puede ser pubescente o glabro y el fruto derivado, de 4-8 cm de diámetro, es una drupa comestible subglobosa con mesocarpo muy carnoso y endocarpo (hueso) profundamente surcado y alveolado con una sola semilla almendroide no comestible. (Wikipedia, 2014)

### **2.2.2.2 Fruto**

Su fruto es el melocotón, o durazno. También conocido como pisco, contiene una única semilla encerrada en una cáscara dura, el hueso. Esta fruta, normalmente de piel aterciopelada, posee una carne amarilla o blanquecina de sabor dulce y aroma delicado. A la variedad que no tiene la piel aterciopelada se le llama nectarina o pelón.

Los melocotones, junto con las cerezas, ciruelas y albaricoques, son frutas de hueso botánicamente llamadas drupas. Se dividen en variedades cuya carne se separa fácilmente del hueso (prescos/piescos) y en otras que se adhieren firmemente a él, como la variedad llamada pavía. Las variedades de carne blanca son típicamente muy dulces, con escaso gusto ácido y las más populares de países como China, Japón y sus vecinos asiáticos, mientras que las de carne amarilla, predilectas de los países europeos y norteamericanos, poseen un fondo ácido, que se paladea junto al dulzor. La piel de ambas variedades tiene tonos rojizos.

Las variedades cuyos frutos tienen forma achatada se suelen denominar en España paraguayos, paraguayas o chatos (son vellosas; recientemente han entrado en el mercado variedades sin pelo denominadas platerinas). Son una variedad de melocotonero de nombre científico *Prunus persica* var. *platycarpa*, considerada hoy día como un mero sinónimo del taxón específico.

El mejoramiento genético de las especies del género *Prunus* incluye el logro de un fruto de alta calidad con una larga vida de almacenamiento. (Wikipedia, 2014)

### **2.2.2.3 Fases del crecimiento del fruto**

Al igual que otros frutos de hueso o de carozo, los melocotones poseen un patrón de crecimiento que se describe como dos curvas sigmoideas sucesivas. Este tipo de patrón se caracteriza por dos etapas de rápido crecimiento separadas por una fase intermedia en la cual el crecimiento del fruto es muy escaso. Durante la primera etapa de rápido crecimiento (fase I o etapa de crecimiento exponencial), el ovario y su contenido crecen de forma exponencial, salvo el embrión y el endosperma, principalmente como resultado de la división celular. Este período, inmediatamente posterior a la floración, es crítico para el tamaño final del fruto. Cualquier estrés ambiental (calor, frío, deficiencias hídricas o de nutrientes) tiende a acortar esta fase y a afectar el tamaño final del fruto. La segunda etapa (fase II), que semeja una meseta, se caracteriza por el crecimiento del embrión y el endosperma, la esclerificación (“endurecimiento”) del endocarpo, y un escaso crecimiento de la pared del ovario. En esta etapa, el fruto incrementa su tamaño lentamente, pero el embrión crece rápidamente dentro del carozo en vías de esclerificación. En la tercera etapa (fase III) tiene lugar un



crecimiento rápido del mesocarpo, que produce un rápido incremento del tamaño y el peso del fruto. Le sigue una cuarta etapa (fase IV) en que se produce la maduración del fruto. (Wikipedia, 2014)

#### **2.2.2.4 Cultivo**

El duraznero prospera en áreas geográficas acotadas, ya que requiere condiciones de frío invernal. Los requerimientos de frío varían entre cultivares y en general no son satisfechos en condiciones de clima subtropical. Sin embargo, existen en la actualidad variedades de muy bajo requerimiento de frío. El duraznero es resistente a las heladas invernales, pero no es tolerante a las heladas primaverales tardías. En verano, el duraznero requiere temperaturas que faciliten el crecimiento de los brotes como así también el crecimiento y la maduración de los frutos (ambos con rango óptimo de 20-25 °C).

Las regiones productoras de duraznos más importantes son: en el hemisferio Norte: Estados Unidos (California, Carolina del Sur, Colorado, Georgia) y regiones limítrofes de Canadá; norte de México, Venezuela, Puerto Rico, los países de la cuenca mediterránea, como por ejemplo España, donde destacan por su calidad los originarios de Murcia y Teruel, concretamente el melocotón de Cieza y el melocotón con denominación de origen, "Melocotón de Calanda"; y algunas zonas de China; y en el hemisferio sur: Argentina, Chile, Colombia, Uruguay, Perú, Sudáfrica y Nueva Zelanda.

La mayoría de los melocotoneros que se venden son variedades injertadas sobre un portainjerto. (Wikipedia, 2014)

#### **2.2.2.5 Plagas y enfermedades**

Son propensos a distintas enfermedades fúngicas tal como *Taphrina deformans*, denominada vulgarmente como enrollamiento, lepra, abolladura o de otros modos. Normalmente no afecta directamente a la fruta, aunque reduce la cosecha, ya que provoca una defoliación parcial del árbol.

También es susceptible a la enfermedad fúngica causada por el Ascomycetes, *Monilinia fructicola*. Dentro de los insectos una de las principales plagas de este cultivo en España es la mosca de la fruta *Ceratitis capitata*, cuyas larvas producen grandes daños a los frutos próximos a madurar. (Wikipedia, 2014)

#### **2.2.2.6 Plantación**

La exposición de esta especie debe ser a pleno sol y con buena ventilación. Esto permite que el aire frío circule durante las noches frías y mantenga la zona fresca en verano. La mejor época para plantarlos es a comienzos de invierno; de esta forma las raíces tienen tiempo de asentarse para poder alimentar la brotación primaveral. (Wikipedia, 2014)

#### **2.2.2.7 Riego**

Se les debe proporcionar un aporte constante de agua, que se incrementará un poco antes del momento de la cosecha. Las frutas con el mejor sabor se consiguen cuando los árboles son regados durante toda la estación. El riego por goteo es la forma ideal. (Wikipedia, 2014)

#### **2.2.2.8 Fertilización**

El duraznero tiene grandes necesidades de nutrientes, y requiere más nitrógeno que la mayoría de los frutales. Se puede aplicar un abono alto en nitrógeno, fósforo y potasio con regularidad y un aporte extra de estiércol de corral en otoño, tras la cosecha. (Wikipedia, 2014)

### **2.3 Hipótesis**

El volumen de una estructura como el tallo o las ramas de las especies vegetales guardan una proporcionalidad con volúmenes de figuras geométricas de revolución. La constante de proporcionalidad se denomina factor de forma.

## **2.4 Variables de la hipótesis**

### **2.4.1 VARIABLE DEPENDIENTE**

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

### **2.4.2 VARIABLE INDEPENDIENTE**

Cultivo de duraznero var. Conservero amarillo

## 2.5 Operacionalización de variables

### 2.5.1 VARIABLE DEPENDIENTE

**Tabla 2: Variable dependiente, biomasa y logística**

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

## 2.5.2 VARIABLE INDEPENDIENTE

**Tabla 3. Variable independiente, durazno var. Conservero amarillo**

<b>DEFINICIÓN</b>
Árbol de hasta 6-8 m de altura, caducifolio e inerme. Las hojas son oblongas-lanceoladas o elípticas, acuminadas, cuneadas en la base, aserradas con dientes glandulíferos, glabrescentes, con estípulas caducas denticuladas. Las flores son solitarias o geminadas y con numerosas brácteas. Los sépalos son erectos enteros y los pétalos denticulados en el ápice, de color rosado fuerte. El ovario puede ser pubescente o glabro y el fruto derivado, de 4-8 cm de diámetro, es una drupa comestible subglobosa con mesocarpio muy carnosos y endocarpio (hueso) profundamente surcado y alveolado con una sola semilla almendroide no comestible.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 ENFOQUE, MODALIDAD Y TIPO DE INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1 Enfoque**

La investigación tuvo un enfoque cuali-cuantitativo.

Ya que se determina las características físicas y se cuantifica la cantidad de la biomasa del duraznero.

##### **3.1.2 Modalidad**

La modalidad (correlacional) es de campo y laboratorio.

Debido a que en las primeras instancias del trabajo lo realizamos en el campo con las mediciones de las variables, luego lo llevamos al laboratorio para complementar la caracterización física de la biomasa.

##### **3.1.3 Tipo**

Esta investigación fue adaptación metodológica propuesta por el Dr. Borja Velázquez Prometeo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias 2013.

#### **3.2 Ubicación del ensayo**

Granja Experimental Docente Querochaca

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

**Altitud:** 2855 msnm

**Latitud:** 1° 25' 0" S.

**Longitud:** 78° 35' 22" O.

**Temperatura máxima:** 18° C.

**Temperatura mínima:** 12° C.

**Temperatura media anual:** 12.85° C.

**Precipitación anual:** 250 a 500 mm.

**Precipitación media anual:** 442.4 mm.

### **3.3.1 Suelo**

El instituto Ecuatoriano de Recursos Hídricos (1976), indica que el tipo de suelo que predomina en esta zona está clasificado como Typic Vitradepts que se caracteriza por la presencia de materiales amorfos y ceniza volcánica. Suelos con un pendiente del 2 al 8% con un relieve plano, ondulado, profundo (1,5m), textura franco arenoso con contenidos de materia orgánica media, nitrógeno bajo, fósforo medio y muy alto en potasio, la capacidad de intercambio catiónico es baja y la saturación de bases es alta. En conclusión el nivel de fertilidad es moderado en la capa superficial y bajo en la parte profunda del suelo.

### **3.3.2 Agua**

El agua utilizada en la Granja Experimental Docente Querochaca proviene del canal Ambato- Huachi- Pelileo, con un pH de 7,78, una alcalinidad total de 100 mg/l, dureza de 88 mg/l, conductividad eléctrica de 321,5 umhos/cm.

### **3.3.3 Zona de vida**

De acuerdo con la clasificación de las zonas de vida realizada por Holdridge (1979) el sector donde se asienta la Granja Experimental Docente Querochaca, se encuentra en la

región estepa. Espinoso Montano Bajo (ee-MB) en transición con el bosque- seco Montano bajo (bs-MB)

### 3.4 Factores de estudio

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

### 3.5 Diseño experimental

La presente es una adaptación metodológicamente propuesta por Velázquez para el Ecuador, como Prometeo de la facultad de Ciencias Agropecuarias.

Diseño experimental para la determinación de la biomasa total y residual de la poda.

Número de ramas muestreadas	Mediciones a realizar	Variable respuesta
30	<ul style="list-style-type: none"> <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>- Biomasa total por árbol</li> <li>- Biomasa residual por árbol</li> <li>- Factor de ocupación</li> <li>- Tiempo de recogida de la biomasa residual</li> </ul>
<b>Ramas muestreados por árbol 1</b>		



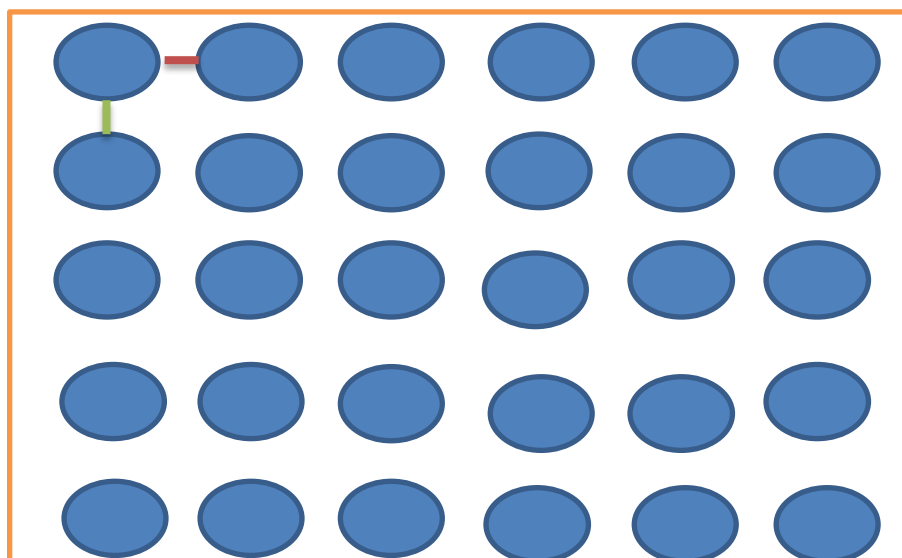
### 3.6 Análisis estadístico

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 indicó las relaciones entre variables ya sean positivas, negativas o neutras.
3. Se analizó la influencia de los factores cualitativos a través de un análisis unidimensional.
4. Se desarrolló modelos de regresión para predecir las variables respuestas en base a las mediciones realizadas.

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

### 3.7 Diseño o esquema de campo



**Figura 2. Esquema de campo**

— Distancia entre planta 3m

— Distancia entre hileras 4m

### 3.8 Datos tomados

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

1. Se realizó la 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 obtenido el conocimiento de los patrones de forma de las ramas se aplicó los métodos dasométricos para una valoración de la biomasa total en el conjunto.

#### a) Cubicación de fuste y ramas

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

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

#### **Ecuación 1.**

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

El volumen real de cada rama o fuste se dividió en partes iguales, tal como indica la Figura 1, midiendo el diámetro ecuatorial de la sección de forma que obtenemos un diámetro inicial y final para cada intervalo.

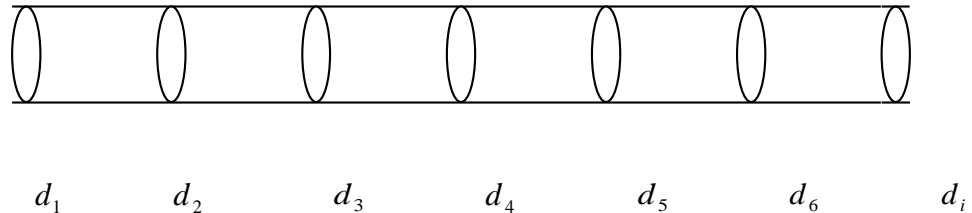


Figura 3. Mediciones de diámetros cada cierto intervalo.

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

<p>R= radio mayor r= radio menor h= altura</p>
--

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

Ecuación 2

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

Ecuación 3

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

Ecuación 4

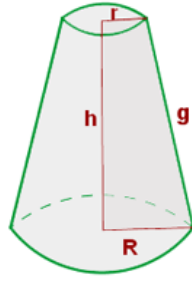


Figura 4. Sección de un tronco de cono, donde R = radio mayor; r = radio menor; h=longitud del intervalo.

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

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

En principio el coeficiente mórfico debe ser un parámetro característico de la especie y clase diamétrica. No obstante, para cada una de las determinaciones realizadas existe una variabilidad estadística, donde se 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 cortada, obteniendo 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 modelos de regresión que definen funciones de volumen, considerando como variable dependiente el volumen total de la estructura (V) en cm<sup>3</sup> y como variables independientes el diámetro (D), en cm y longitud (H) en cm.

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

Se cubicaron todas las ramas del primer estrato. Éste estrato correspondió a las ramas de la base de la copa, que por lo general fueron un número reducido de ramas (3 - 5), 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 de ramas 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, corresponde a ramas muy pequeñas, por lo que no es 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 corresponda a este estrato, obteniendo su volumen total.

Se determinó si existe tendencia a la concentración de la biomasa en uno o más estratos. Se confeccionó gráficos y tablas que ayuden a la visualización de esta supuesta concentración de biomasa.

Se determinó el volumen aparente de las copas, determinado por su diámetro y la altura media de las mismas que va desde la base al ápice. La finalidad 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 darán diferentes modelos geométricos de volumen aparente (Figura 5) que se relacionó con el volumen real, y a través de la densidad con la biomasa. Todos los resultados a obtenerse dependerá de la variedad o fase fenológica en la que se encuentra el cultivo al momento de realizar el estudio.

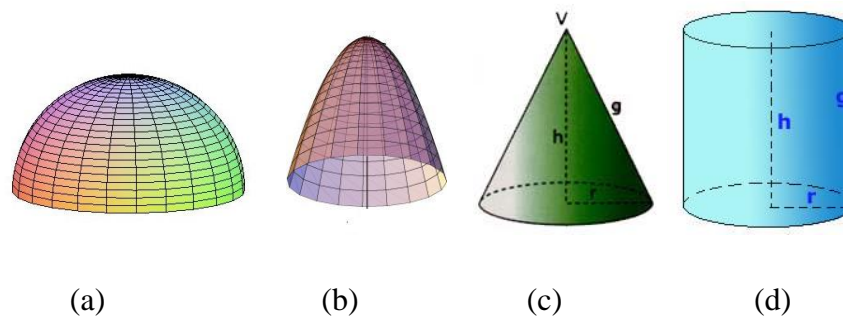


Figura 5. Modelos de crecimiento de copas arbóreas en una superficie determinada: (a) semielipse, (b) paraboloides, (c) crecimiento cónico, (d) crecimiento cilíndrico

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

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

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

Se 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.

### c) Logística

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

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

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

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

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

Se seleccionó un huerto de duraznero en producción, de ahí esperó a la fecha de poda, que es la época de agostamiento. Luego de llegar la fecha estimada de la poda se seleccionó treinta arboles de durazno al azar, para de ellos comenzar a tomar los datos planteados.

Luego se realizó montones de las ramas podadas y se las fue colocando en los caminos del huerto, de ahí se tomó tiempos de recolección de las ramas a muestrearse. Después con la ayuda de unas eslingas y un dinamómetro se formó paquetes para poder tomar los datos de peso de las ramas podadas.

Trasladamos las ramas muestreadas al laboratorio para proceder a realizar las prácticas de volumen de las ramas, contenido de agua, cenizas, etc., con la aplicación de los procedimientos ya establecidos.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Análisis dendrométrico de las ramas

Inicialmente se realizó una caracterización dendrométrica de las ramas del duraznero cuyo objetivo fue determinar la forma y el volumen a partir de datos medibles, como son el diámetro de su base y la longitud. Se buscó la obtención de funciones de volumen que nos permitieron hacer cálculos rápidos de biomasa en las distintas estructuras de las plantas, 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 las Tablas 4 y 5 se muestra un análisis estadístico unidimensional de las variables medidas en las ramas.

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

<b>Estadísticos</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Longitud (cm)</b>
<b>Frecuencia</b>	30	30	30
<b>Media</b>	2139,38	58,07	122,00
<b>Varianza</b>	1,22	385,04	437,241
<b>Desviación típica</b>	11047,68	19,62	20,9103
<b>Mínimo</b>	673,98	27,44	80,0
<b>Máximo</b>	4368,82	96,16	160,0
<b>Rango</b>	3964,84	68,72	80,0
<b>Coefficiente de asimetría</b>	0,96	0,43	-0,30
<b>Coefficiente de curtosis</b>	-0,95	-1,24	-0,68



Tabla 5. Descripción estadística de los parámetros medidos en las ramas pequeñas de duraznero

Estadísticos	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Diámetro (cm)	Longitud (cm)
<b>Frecuencia</b>	30	30	30
<b>Media</b>	11,004	4,77933	38,8333
<b>Varianza</b>	92,3832	8,35881	202,902
<b>Desviación típica</b>	9,61162	2,89116	14,2444
<b>Mínimo</b>	0,7	0,83	10,0
<b>Máximo</b>	34,02	10,99	65,0
<b>Rango</b>	33,32	10,13	55,0
<b>Coefficiente de asimetría</b>	1,59	0,77	-0,50
<b>Coefficiente de curtosis</b>	-0,70	-1,17	-0,91

Como se puede observar en las Tabla 4 y 5, el volumen medio de las ramas grandes es 2139,38 cm<sup>3</sup> y de las pequeñas es de 11,004 cm<sup>3</sup>. Los coeficientes de asimetría y curtosis están dentro del intervalo entre -2 y +2 en cada una de las variables, por ello consideramos que las mediciones tomadas en los respectivos parámetros se asemejan lo suficiente a una distribución normal. El coeficiente de asimetría es un indicador del grado de simetría o asimetría de una distribución de probabilidad de una variable aleatoria. Valores muy altos significarían un desplazamiento de la curva de distribución hacia la derecha, y valores muy bajos (negativos) significarían un desplazamiento de la curva hacia la izquierda, de acuerdo a la figura 6.

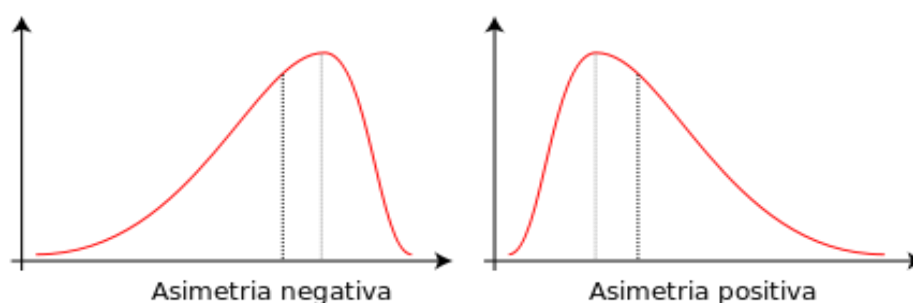


Figura 6. Tipo de distribución según la asimetría

El coeficiente de Curtosis informa sobre el grado de apuntamiento de la distribución. Valores muy altos significan una distribución Leptocúrtica donde la mayoría de los datos están muy próximos a la media; valores muy bajos (negativos) indicaría una

distribución Platicúrtica en que los datos se distribuyen alejándose de la media. La distribución del coeficiente de Curtosis es la mesocúrtica debido a que los resultados obtenidos los encontramos en unos valores intermedios de +2 y -2, como se lo demuestra en la figura 7.

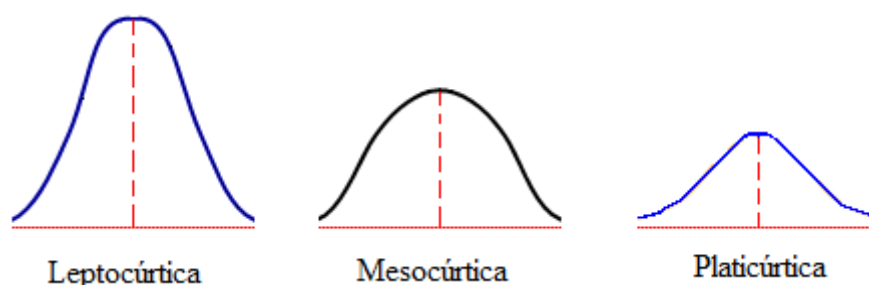


Figura 7. Clasificación de las distribuciones de acuerdo a su grado de apuntamiento

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 y estrato 2 se muestran en la Tabla 6. En ésta se observa que el coeficiente de determinación  $r^2$  es alto, de 96%. Esto es el porcentaje de variabilidad que explica la función obtenida. Por otra parte el error medio obtenido es de  $175.05 \text{ cm}^3$ , menor al 10% respecto a la media (tabla 9) siendo su desviación típica de  $228.38 \text{ cm}^3$

Tabla 6. Modelo de regresión para las ramas del estrato 1 y estrato 2.

Ecuación	EMA ( $\text{cm}^3$ )	DTE ( $\text{cm}^3$ )	$r^2$	p-Valor
$VR = -17,5132 + 0,627549 * L * D^2$	175.046	228.383	95.89	<0.05

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

En la Tabla 7 se muestra la función de volumen para las ramas del estrato 3. Se observa que el coeficiente de determinación  $r^2$  es del 96%, y que el error medio  $1.39 \text{ cm}^3$  y la desviación estándar de los errores  $1.88 \text{ cm}^3$ .

Tabla 7. Modelo de regresión para las ramas del estrato 3.

Ecuación	EMA ( $\text{cm}^3$ )	DTE ( $\text{cm}^3$ )	$r^2$	p-Valor
$VR3 = -2,53637 + 0,437085 * L * D$	1.39	1.88	96.31	<0.05

EMA: error medio absoluto  
DTE: desviación típica de los errores  
 $r^2$ : coeficiente de determinación  
VR3: Volumen de la rama del estrato 3( $\text{cm}^3$ )  
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 paraboloides, el cono y el neiloide, obtenidos a partir del diámetro de la base y la longitud de la rama. El factor de forma más cercano a uno es el que mejor representa su forma. Como se puede observar en las Tablas 8 y 9 el modelo que proporciona el volumen más próximo al real es el del paraboloides en las ramas pequeñas y en las ramas grandes es el del cilindro.

Tabla 8. Cálculo de factores de forma en cada uno de los modelos geométricos estudiados para las ramas pequeñas.

	F cilindro	F paraboloides	F cono	F neiloide
Media	0,58	1,15	1,73	2,31
Desviación tip.	0,12	0,24	0,36	0,48

Tabla 9. Cálculo de factores de forma en cada uno de los modelos geométricos estudiados para las ramas grandes.

	F cilindro	F paraboloides	F cono	F neiloide
Media	0,79	1,57	2,36	3,15
Desviación tip.	0,09	0,18	0,27	0,35

## 4.2 Biomasa y su distribución en la planta

Para el cálculo del volumen de la parte leñosa de la planta entera se estudió el volumen de las estructuras en cada uno de los estratos. En la Tabla 10 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 8 se muestra la distribución de la biomasa dentro de la planta. Como se puede observar la mayor parte de biomasa se encuentra en el estrato 2 (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 del duraznero analizadas fue de  $60.82 \text{ dm}^3$  y su desviación típica de  $120.78 \text{ dm}^3$ .

Tabla 10. Diámetro, longitud, y volumen medios de las ramas en cada estrato.

Estratos	Diámetro (cm)		Longitud (cm)		Volumen de una rama ( $\text{cm}^3$ )	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
<b>Fuste</b>	10,32	0,64	40,07	6,20	3364,05	673,8
<b>Ramas primarias</b>	6,89	1,26	62,49	14,86	6098,01	2297,85
<b>Ramas secundarias</b>	4,32	2,77	117,75	18,96	39921,04	67152,90
<b>Ramas terciarias</b>	2,71	0,41	21,77	7,22	11443,10	6010,51

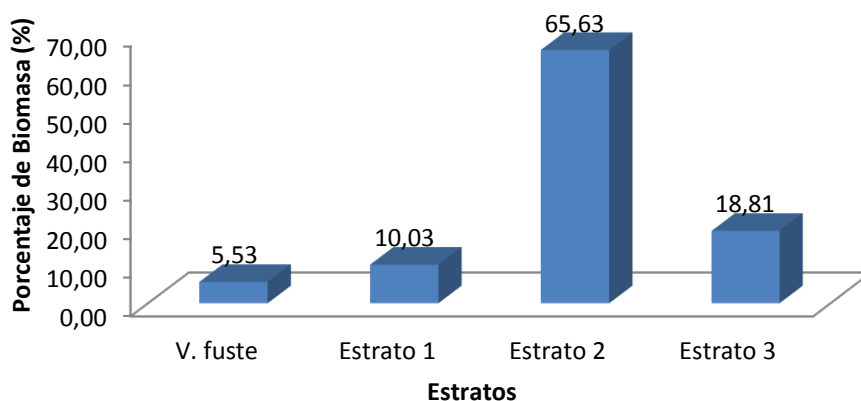


Figura 8. Distribución de la biomasa en los diferentes estratos de la planta.

En la Tabla 11 se muestra la ecuación de predicción de volumen de biomasa de la planta entera a partir de su altura total y diámetro de copa. Esta función es de gran utilidad ya que a través de su aplicación los técnicos pueden predecir la biomasa lignocelulósica obtenible del duraznero al finalizar las podas. Esta biomasa actualmente no es aprovechada y podría suponer un recurso energético. El coeficiente de determinación obtenido es del 82%. Estos 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 del 95%. El error medio obtenido en la ecuación es de 23.1 dm<sup>3</sup>, lo cual consideramos aceptable, puesto que como se había indicado el volumen medio de la planta es de 60,82 dm<sup>3</sup>.

Tabla 11. Modelo de regresión para la predicción de la biomasa lignocelulósica del duraznero

Ecuación	EMA (cm <sup>3</sup> )	DTE (cm <sup>3</sup> )	r <sup>2</sup>	p-Valor
$VT = 3,6929E6 - 2,41186E6*AT + 359523,0*AT^2 + 340566,0*DC*AT - 785863,0*DC$	23111.0	30690.9	82.1	<0.05
			1	

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>)  
AT: Altura Total  
AT<sup>2</sup>: Altura total al cuadrado  
DC: Diámetro de copa (cm)

### 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 duraznero. Los datos medios y desviaciones típicas se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Media y desviación típica de los parámetros físicos del material lignocelulósico del duraznero.

<b>Estadísticos</b>	$\bar{x}$	$\sigma$
Humedad %	51,96	8,56
Cenizas %	15,01	1,37
Volátiles %	84,99	1,37
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.020	0,119
Densidad Seco g/cm <sup>3</sup>	0.918	0.273

$\bar{x}$  : Media

$\sigma$  : Desviación típica.

Como se puede observar el contenido de volátiles del material leñoso es alto del 85%. Esto significa que este material sería adecuado para un proceso de gasificación para la obtención de gas sintético, es decir un proceso de calentamiento en ausencia de oxígeno para la obtención de un gas volátil combustible, como lo señala Velásquez. 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 60.82 dm<sup>3</sup>, el contenido de materia seca por planta es de  $60820 * 0.9 = 54738$  g, es decir aproximadamente 54.74 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 52%. 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 9 se muestra la disminución de humedad durante los primeros días de secado de los materiales leñosos tras la poda de la planta.

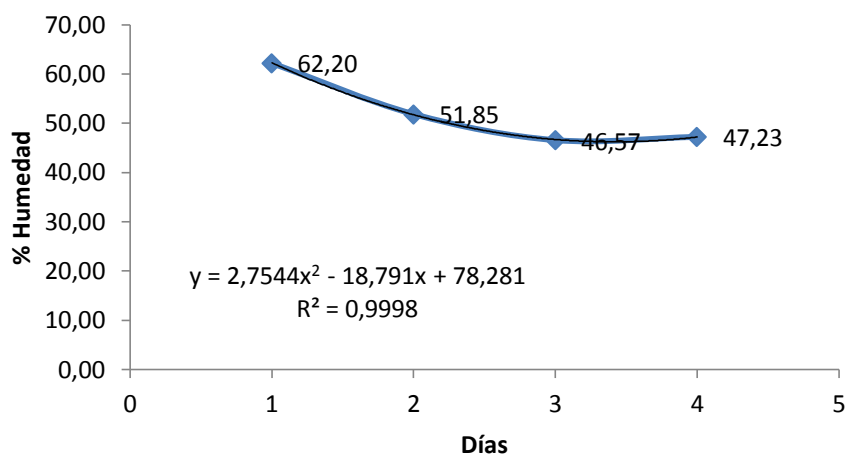


Figura 9. Variación de humedad tras los primeros días transcurridos después del corte de la planta.

#### 4.4 Logística

En las tablas 13 y 14 se muestra el análisis unidimensional del tiempo de poda y recogida de residuos.

Tabla 13. Análisis unidimensional en tiempos de poda del duraznero

<b>Estadísticos</b>	<b>Tiempo (hora)</b>
<b>Frecuencia</b>	30
<b>Media</b>	0,0474333
<b>Varianza</b>	0,00017936
<b>Desviación típica</b>	0,0133924
<b>Mínimo</b>	0,025
<b>Máximo</b>	0,073
<b>Rango</b>	0,048
<b>Coefficiente de Asimetría</b>	0,51895
<b>Coefficiente de Curtosis</b>	-0,825027

En los resultados del análisis unidimensional de la tabla 13 a la media la transformamos en unidad de tiempo que nos da un resultado de 2 minutos 51 segundos, tiempo en el

cual se termina de podar una planta de durazno. Es decir que en una hectárea con un marco de plantación de 4x3, contiene 833 plantas se van a demorar 39 horas 34 minutos 53 segundos.

Tabla 14. Análisis unidimensional en tiempos de recolección

<b>Estadísticos</b>	<b>Tiempo (hora)</b>
<b>Frecuencia</b>	30
<b>Media</b>	0,0303
<b>Varianza</b>	0,000085327
<b>Desviación típica</b>	0,00923692
<b>Mínimo</b>	0,016
<b>Máximo</b>	0,051
<b>Rango</b>	0,035
<b>Coefficiente de Asimetría</b>	1,16622
<b>Coefficiente de Curtosis</b>	-0,328352

En los resultados del análisis unidimensional de la tabla 14 a la media la convertimos a unidad de tiempo, dando como resultado de la recolección 1 minuto 49 segundos por planta. Dándonos como tiempo total de 25 horas 13 minutos 17 segundos en una hectárea de cultivo con un marco de plantación de 4x3, que contienen 833 plantas.

#### **4.5 Verificación de la hipótesis**

El volumen de una estructura como el tallo o las ramas del duraznero tiene proporcionalidad con volúmenes de figuras geométricas de revolución. La constante de proporcionalidad se denomina factor de forma, los altos coeficientes de determinación entre el volumen, el diámetro de copa y altura de planta demuestran que es posible su determinación de forma indirecta a partir de estas variables.



## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En este estudio se ha caracterizado la forma y el volumen de las ramas del duraznero en cada uno de los estratos. Las funciones de volumen calculadas poseen coeficientes de determinación bastante altos, por lo que se consideran adecuadas para su aplicación práctica. La forma de las ramas considerada para los estratos 1 y 2 es el cilindro con un valor de 0.79 y para los estratos 3 y 4 es el paraboloides con un valor de 1.15.
- Se ha demostrado que la forma del fuste y las ramas más gruesas de las plantas, correspondientes al estrato 1 se ajusta bien a una forma cilindro, mientras que las ramas pequeñas se ajustan mejor a un modelo paraboloides.
- La biomasa lignocelulósica de la planta se distribuye de forma irregular, siendo los estratos 2 y 3 donde se concentra la mayor parte de la biomasa de la planta, 65.63% y 18.81% respectivamente.
- Se han desarrollado métodos para predecir de forma aproximada la biomasa contenida en la planta entera. Bien se puede calcular aplicando una ecuación de volumen con un coeficiente de determinación del 82%.
- Se ha demostrado que el contenido de biomasa disponible promedio es de 54.74 kg por planta, llegando a la definición que en una hectárea de sembrío que contienen 833 plantas con un marco de plantación de 4x3m. nos va a dar un resultado de 45.59 tn de biomasa disponible.
- El contenido alto en materias volátiles hace pensar que este residuo podría tener buena aptitud para la combustión directa en caldera o para procesos de gasificación.

## CAPÍTULO VI

### PROPUESTA

#### 6.1 Título

Cuantificación y logística de la biomasa disponible en el duraznero var. Nectarino con un sistema de producción semi-tecnificado.

#### 6.2 Fundamentación

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

#### Cubicación de fuste y ramas

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

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

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

Para obtener el factor de forma de la especie, se seleccionaron 30 ramas. El volumen real de las mismas se obtuvo midiendo el diámetro de secciones separadas 10 cm a lo largo de su longitud, tal como indica la Figura 1. De esta forma tenemos un diámetro inicial y final para cada intervalo.

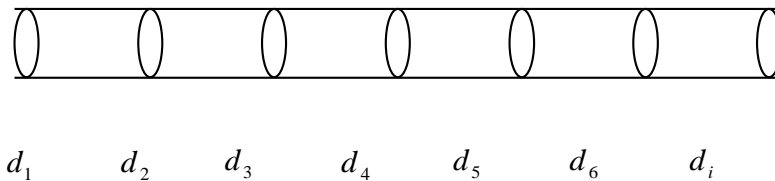
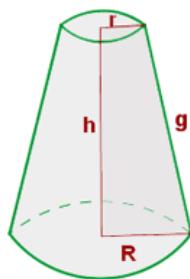


Figura 1. Mediciones de diámetros cada cierto intervalo

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



$$V_i = \frac{1}{3} \pi R_a^2 h \quad (2)$$

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

$$V_{real} = \sum_1^i V_i \quad (4)$$

Figura 2. Sección de un tronco de cono, donde \$R\$ = radio mayor; \$r\$ = radio menor; \$h\$ = longitud del intervalo

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

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

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

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

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

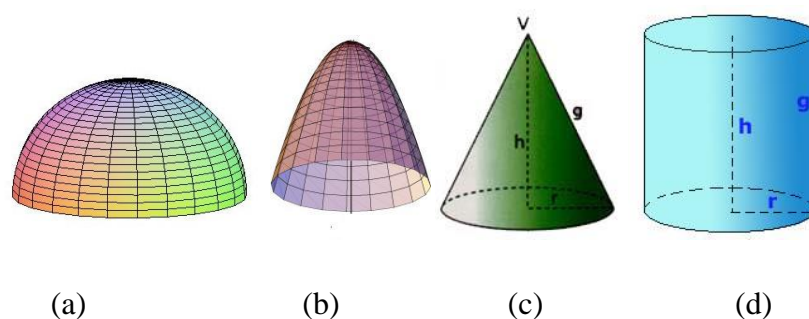


Figura 3. Modelos de crecimiento de copas arbóreas en una superficie determinada: (a) semielipse, (b) paraboloides, (c) crecimiento cónico, (d) crecimiento cilíndrico

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

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

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

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

### **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**

- Aplicar la metodología desarrollada en el duraznero var. conservero amarillo para cuantificar y determinar la logística de la biomasa disponible en nectarino.

## 6.4 Justificación e importancia

Agenbur.com (2012), manifiesta que se considera biomasa a cualquier tipo de residuo obtenido de materia orgánica. Estos residuos pueden tener diversas procedencias: agrícolas y forestales (como podas de frutales, viñedos ó paja de cereal); ganaderos (purines); industriales (huesos de aceituna, cáscaras de frutos secos ó serrín), ó cultivos energéticos. Mediante diversos procesos de transformación podemos obtener diversos tipos de energía (principalmente térmica y eléctrica).

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

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

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

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

## **6.5 Manejo Técnico**

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

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

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



## BIBLIOGRAFÍA

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

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

Callejón Ferre A.J., Velázquez-Martí B., Lopez-Martinez J.A., Manzano-Agugliaro F. 2011. Greenhouse crop residues: Energy potential and models for prediction of their higher heating value. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(2): 948-955.

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

Estornell J., Ruiz L.A., Velázquez-Martí B., Fernandez-Sarria A. 2011. Estimation of shrub biomass by airborne LiDAR data in small forest stands. *Forest Ecology and Management* 262: 1697-1703.

Holdridge, L. 1979. *Ecología basada en zonas de vida*. Primera Edición. Editorial Agris. Costa Rica.

INEC; III Censo agropecuario, 2000.

Schneider LC, Kinzig AP, Larson ED. 2001. Method for spatially explicit calculations of potential biomass yields and assessment of land availability for biomass energy production in Northeastern Brazil. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 84(3): 207-226.

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

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

Velázquez-Martí B., Fernandez-Gonzalez E. 2010. Mathematical algorithms to locate factories to transform biomass in bioenergy focused on logistic network construction. *Renewable Energy* 35(9): 2136-2142.

Velázquez-Martí B., Fernandez-Gonzalez E. 2010. The influence of mechanical pruning in cost reduction, production of fruit and biomass waste in citrus orchards. *Applied Engineering in Agriculture* 26(4) 531-540.

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

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

Wikipedia, 2014. *Prunus persica*. Consultado el 23 de Marzo 2014. Disponible: [http://es.wikipedia.org/wiki/Prunus\\_persica](http://es.wikipedia.org/wiki/Prunus_persica)

## **ANEXOS**

## ANEXO 1.- Diámetro de ramas grandes

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	RAMA 16	RAMA 17	RAMA 18	RAMA 19	RAMA 20	RAMA 21	RAMA 22	RAMA 23	RAMA 24	RAMA 25	RAMA 26	RAMA 27	RAMA 28	RAMA 29	RAMA 30	
0	5,74	4,00	6,27	4,33	4,00	5,74	6,06	3,84	5,56	4,03	5,96	6,00	5,65	4,65	6,53	5,12	6,53	4,53	6,96	4,51	6,86	5,03	3,94	4,86	6,03	4,90	3,63	5,79	7,03	5,83	
10	6,17	3,03	6,04	4,04	3,88	5,03	5,83	3,83	5,52	4,01	5,81	5,90	5,53	4,53	6,51	5,12	6,27	4,43	6,83	4,42	6,75	5,00	3,73	4,79	5,83	4,88	3,60	5,70	6,94	5,77	
20	4,81	3,00	5,94	3,93	3,65	4,90	5,81	3,73	5,43	4,00	5,83	5,74	5,42	4,51	6,33	5,03	6,03	4,39	6,73	4,33	6,53	4,88	3,69	4,60	5,80	4,63	3,52	5,55	6,79	5,62	
30	4,82	3,51	5,95	3,92	3,33	4,78	5,70	3,63	5,41	3,63	5,75	5,76	5,41	4,50	6,04	4,93	5,96	4,33	6,81	4,22	6,50	4,76	3,52	4,66	5,69	4,53	3,36	5,44	6,65	5,23	
40	4,54	2,89	5,84	3,72	3,02	4,54	5,66	3,55	5,31	3,62	5,73	5,63	5,40	4,42	5,93	4,86	5,82	4,10	6,63	4,36	6,44	4,66	3,35	4,45	5,59	4,50	3,30	5,33	6,55	5,03	
50	4,17	2,72	5,75	3,62	2,83	4,03	5,61	3,52	5,30	3,43	5,63	5,61	5,35	4,32	5,88	4,77	5,75	4,03	6,52	4,29	6,39	4,43	3,29	4,36	5,60	4,33	3,29	5,23	6,33	4,83	
60	4,91	2,83	5,54	3,42	3,03	3,84	5,43	3,33	5,24	3,33	5,53	5,53	5,23	4,28	5,83	4,51	5,66	3,93	6,50	4,18	6,28	4,40	3,02	4,30	5,50	4,23	3,03	5,12	6,22	4,76	
70	4,55	2,78	5,33	3,03	2,84	3,63	5,23	3,30	5,18	3,22	5,43	5,43	5,20	4,27	5,80	4,42	5,51	3,88	6,39	4,03	6,08	4,32	2,93	4,16	5,46	4,06	2,95	5,10	6,02	4,70	
80	4,60	2,85	4,03	2,84	2,76		5,05	3,26	5,03	3,02	5,40	5,40	5,03	4,23	5,69	4,39	5,03	3,68	6,28	3,99	5,99	4,22		4,03	5,32	4,00	2,85	4,99	5,98	4,57	
90	4,35	2,86	3,85	2,74	2,43		4,96	3,12	4,93	2,93	5,33	5,33	5,01	4,19	5,53	4,26	4,96	3,54	6,02	3,85	5,68	4,09		3,96	5,31	3,84	2,81	4,93	5,84	4,43	
100	4,13	2,25	3,53		2,32		4,86	3,03	4,84		5,25	5,22	5,00	4,18	5,43	4,03	4,80	3,43	5,93	3,80	5,55			3,86	5,23		2,80	4,79	5,80	4,39	
110	4,00		3,33				4,84		4,81		5,73	5,03	4,86		5,40	4,02	4,79		5,83	3,66	5,55			3,63	5,03			4,66	5,65		
120	3,43		3,03						4,74		5,70	5,01	4,83		5,89		4,70		5,79		5,39			3,42	4,93			4,55	5,52		
130	3,57											4,96	4,84		5,53				5,63		5,28			3,33	4,91				5,03		
140	3,55											4,83			5,32									3,13					4,96		
150																													4,90		
160																															
SUMA	67,3	32,7	64,4	35,6	34,1	36,5	65,0	38,1	67,3	35,2	73,0	81,3	72,7	48,0	87,6	55,4	71,8	44,2	88,8	49,6	85,2	45,8	27,4	61,5	76,2	43,9	35,1	67,1	96,2	55,1	

## ANEXO 2.- Volumen ramas grandes

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	RAMA 16	RAMA 17	RAMA 18	RAMA 19	RAMA 20	RAMA 21	RAMA 22	RAMA 23	RAMA 24	RAMA 25	RAMA 26	RAMA 27	RAMA 28	RAMA 29	RAMA 30	
10	278,7	97,7	297,4	137,4	121,7	227,7	277,2	115,4	241,0	126,7	272,0	277,7	245,0	165,2	333,5	205,7	321,7	157,4	373,0	156,8	363,8	197,3	115,3	182,8	275,8	187,4	102,5	259,0	382,9	263,8	
20	237,8	71,3	281,6	124,5	111,1	193,3	265,7	112,0	235,4	125,7	266,0	265,6	235,4	160,4	323,3	202,1	297,1	152,4	360,6	150,3	346,3	191,5	107,8	173,0	265,3	177,2	99,7	248,2	369,8	254,7	
30	182,2	83,4	277,6	120,8	95,5	183,8	259,8	106,1	230,6	114,2	263,1	259,4	230,3	159,4	300,1	194,6	282,2	149,0	359,7	143,2	333,1	182,4	102,1	168,2	258,9	164,4	93,0	236,8	354,2	231,2	
40	172,4	80,8	272,8	114,4	79,2	170,4	253,0	101,1	225,8	103,0	258,5	254,4	229,1	156,0	281,0	187,8	272,7	139,5	354,5	144,3	328,5	174,1	92,7	163,0	249,5	159,9	87,1	227,4	341,6	206,4	
50	149,0	61,9	263,3	105,6	67,2	144,1	248,9	98,0	221,0	97,4	253,0	247,7	226,7	149,7	273,6	181,9	262,9	129,8	339,5	146,6	322,8	162,1	86,4	152,4	245,9	152,9	85,3	218,6	325,3	190,6	
60	162,2	60,6	249,9	97,1	67,3	121,5	239,1	92,0	217,8	89,5	244,2	243,3	219,5	145,0	269,0	169,1	255,5	124,2	332,9	140,6	314,9	152,9	78,0	147,1	242,2	143,6	78,3	210,0	308,8	180,3	
70	175,8	61,8	231,7	81,6	67,5	109,4	223,0	86,1	212,9	84,0	235,5	235,5	213,5	143,3	265,2	156,4	245,0	119,6	325,9	132,2	299,8	149,1	69,3	140,4	235,8	134,7	70,2	204,8	293,9	175,6	
80	164,1	62,2	172,8	67,5	61,4	34,4	207,4	84,3	204,4	76,5	230,0	229,9	205,5	141,6	258,9	152,1	218,2	112,0	314,9	126,0	285,7	143,0	22,4	131,5	228,1	127,4	66,2	199,6	282,8	168,5	
90	157,3	64,0	121,8	60,9	52,9		196,8	79,7	194,5	69,5	225,8	225,7	197,8	138,9	246,8	146,7	195,8	102,1	296,8	120,5	267,0	135,5		125,2	221,9	120,6	62,9	192,8	274,3	158,7	
100	141,2	51,3	106,9	19,6	44,3		189,3	74,1	187,1	22,4	219,5	218,2	196,5	137,3	235,5	134,8	187,1	95,2	280,0	114,7	247,2	43,8		119,9	217,8	38,6	61,7	185,2	265,8	152,4	
110	129,6	13,2	92,3		14,1		184,4	24,0	182,6		236,6	206,0	190,7	45,6	230,0	127,0	180,5	30,7	271,2	109,1	241,6			110,0	206,4		20,5	175,2	257,3	50,3	
120	108,4		79,3				61,2		179,0		256,1	197,7	184,1		250,2	42,2	176,7		264,7	35,0	234,9			97,5	194,5			166,3	244,7		
130	96,0		24,0						58,8		84,9	194,9	183,3		255,8		57,8		255,7		223,5			89,4	189,8			54,1	218,3		
140	99,5											187,9	61,2		231,0				82,9		73,0			81,8	63,0				195,7		
150	33,0											61,0			74,1									25,6					190,7		
160																													62,8		
Volumen total	2287,21	708,19	2471,42	929,42	782,34	1184,74	2605,85	972,70	2590,82	908,86	3045,30	3305,02	2818,63	1542,34	3828,06	1900,40	2953,20	1311,76	4212,25	1519,35	3882,02	1531,52	673,98	1907,76	3094,88	1406,58	827,39	2578,06	4368,82	2032,52	

### ANEXO 3.- Diámetro de ramas pequeñas

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	RAMA 16	RAMA 17	RAMA 18	RAMA 19	RAMA 20	RAMA 21	RAMA 22	RAMA 23	RAMA 24	RAMA 25	RAMA 26	RAMA 27	RAMA 28	RAMA 29	RAMA 30
0	1,22	0,37	0,61	0,50	1,02	0,36	0,87	0,34	0,64	1,02	0,51	1,23	0,34	0,85	0,55	0,79	0,37	0,87	0,36	0,51	0,37	0,88	1,03	0,57	1,03	0,89	0,97	0,37	0,53	1,22
5	1,10	0,37	0,63	0,48	1,00	0,25	0,80	0,32	0,62	1,03	0,50	1,03	0,30	0,84	0,43	0,77	0,30	0,85	0,34	0,49	0,33	0,75	0,93	0,45	0,99	0,87	0,94	0,30	0,49	1,03
10	1,03	0,34	0,57	0,48	0,89	0,25	0,74	0,26	0,70	0,99	0,46	0,92	0,29	0,77	0,40	0,68	0,24	0,79	0,30	0,43	0,30	0,75	0,94	0,47	0,95	0,75	0,90	0,25	0,44	0,96
15	0,96	0,32	0,52	0,44	0,91		0,67	0,20	0,60	0,88	0,40	0,83	0,29	0,63	0,39	0,63	0,24	0,73	0,29	0,33	0,29	0,65	0,85	0,36	0,88	0,80	0,91	0,24	0,34	0,85
20	0,89	0,28	0,44	0,46	0,85		0,63	0,15	0,54	0,85	0,26	0,81	0,28	0,55	0,37	0,55		0,63	0,25	0,31	0,25	0,61	0,84	0,30	0,85	0,65	0,75	0,23	0,32	0,90
25	0,83	0,28	0,41	0,40	0,80		0,59		0,44	0,80	0,26	0,76		0,50	0,26	0,52		0,60		0,30	0,25	0,55	0,75	0,30	0,77	0,54	0,65	0,20	0,30	0,80
30	0,94		0,41	0,40	0,61		0,45		0,43	0,76	0,25	0,73		0,50	0,27	0,46		0,53		0,29	0,22	0,51	0,66	0,28	0,80	0,43	0,58		0,28	0,70
35	0,81		0,39	0,38	0,55		0,41		0,40	0,65		0,62		0,48		0,41		0,42			0,21	0,42	0,55	0,24	0,67	0,37	0,50			0,59
40	0,66		0,34	0,33	0,53		0,40		0,40	0,55		0,55		0,33		0,40		0,40				0,40	0,48		0,55	0,32	0,45			0,43
45	0,59		0,33	0,31	0,50					0,53		0,42		0,31				0,39					0,35	0,43		0,42	0,30	0,43		0,40
50	0,56		0,38		0,42					0,52		0,40						0,35					0,32			0,32		0,39		0,39
55	0,54				0,41							0,35														0,30				0,34
60	0,42																									0,25				
65	0,44																													
70																														
Suma	10,99	1,97	5,03	4,17	8,46	0,86	5,54	1,26	4,76	8,55	2,61	8,62	1,50	5,72	2,65	5,19	1,15	6,53	1,52	2,63	2,20	6,19	7,42	2,95	8,74	5,90	7,43	1,58	2,67	8,59

**ANEXO 4.- Volumen de ramas pequeñas**

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	RAMA 16	RAMA 17	RAMA 18	RAMA 19	RAMA 20	RAMA 21	RAMA 22	RAMA 23	RAMA 24	RAMA 25	RAMA 26	RAMA 27	RAMA 28	RAMA 29	RAMA 30	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	5,31	0,54	1,52	0,94	3,98	0,37	2,72	0,42	1,55	4,09	0,99	4,99	0,40	2,77	0,93	2,36	0,44	2,90	0,47	0,96	0,47	2,61	3,74	1,02	3,97	3,02	3,54	0,45	1,00	4,95	
10	4,44	0,50	1,42	0,89	3,49	0,25	2,31	0,33	1,73	3,97	0,89	3,73	0,34	2,51	0,67	2,05	0,29	2,65	0,39	0,81	0,38	2,21	3,40	0,83	3,66	2,56	3,29	0,29	0,83	3,86	
15	3,89	0,44	1,16	0,83	3,15	0,08	1,93	0,21	1,67	3,41	0,71	3,00	0,33	1,90	0,61	1,67	0,22	2,25	0,33	0,56	0,34	1,93	3,12	0,67	3,25	2,34	3,18	0,23	0,59	3,23	
20	3,37	0,36	0,91	0,79	3,01		1,65	0,12	1,26	2,91	0,43	2,63	0,32	1,35	0,55	1,35	0,07	1,80	0,28	0,39	0,29	1,56	2,77	0,43	2,90	2,05	2,68	0,21	0,41	3,01	
25	2,89	0,31	0,71	0,71	2,67		1,46	0,03	0,93	2,67	0,26	2,41	0,10	1,07	0,38	1,12		1,48	0,08	0,36	0,24	1,34	2,46	0,36	2,56	1,39	1,90	0,18	0,37	2,83	
30	3,08	0,10	0,66	0,62	1,96		1,05		0,73	2,39	0,25	2,16		0,98	0,27	0,94		1,25		0,34	0,21	1,12	1,93	0,32	2,42	0,93	1,47	0,05	0,33	2,20	
35	3,01		0,63	0,59	1,30		0,72		0,67	1,94	0,08	1,79		0,93	0,09	0,74		0,87		0,11	0,17	0,86	1,43	0,26	2,12	0,62	1,14		0,10	1,63	
40	2,10		0,53	0,49	1,12		0,65		0,63	1,41		1,35		0,64		0,64		0,65			0,06	0,66	1,04	0,07	1,44	0,46	0,87			1,01	
45	1,53		0,45	0,40	1,04		0,21		0,21	1,14		0,92		0,39		0,21		0,61				0,54	0,80		0,93	0,38	0,76			0,67	
50	1,31		0,49	0,12	0,84					1,06		0,65		0,12				0,52				0,43	0,24		0,55	0,12	0,66			0,61	
55	1,20		0,18		0,67					0,35		0,54						0,16				0,13			0,38		0,19			0,52	
60	0,91				0,22							0,16													0,29					0,15	
65	0,73																								0,08						
70	0,26																														
75																															
Volumen total	34,02	2,25	8,65	6,40	23,45	0,70	12,70	1,11	9,38	25,34	3,60	24,33	1,50	12,67	3,51	11,07	1,02	15,14	1,55	3,52	2,16	13,38	20,92	3,96	24,54	13,87	19,68	1,40	3,63	24,68	

### ANEXO 5.- Función de volumen de ramas grandes

Rama	Volumen	Diámetro	Longitud	D*L	D^2	L^2	L*D^2	V. cilíndrico	V. paraboloid	V. cono	V. neiloide	F. cilindro	F. paraboloid	F. cono	F. neiloide
1	2287,21	5,742	140	803,88	32,97	19600	4615,88	3625,31	1812,66	1208,44	906,33	0,63	1,26	1,89	2,52
2	708,19	4,004	100	400,4	16,03	10000	1603,20	1259,15	629,58	419,72	314,79	0,56	1,12	1,69	2,25
3	2471,42	6,27	120	752,4	39,31	14400	4717,55	3705,16	1852,58	1235,05	926,29	0,67	1,33	2,00	2,67
4	929,42	4,327	90	389,43	18,72	8100	1685,06	1323,45	661,72	441,15	330,86	0,70	1,40	2,11	2,81
5	782,34	3,996	100	399,6	15,97	10000	1596,80	1254,13	627,06	418,04	313,53	0,62	1,25	1,87	2,50
6	1184,74	5,736	70	401,52	32,90	4900	2303,12	1808,87	904,43	602,96	452,22	0,65	1,31	1,96	2,62
7	2605,85	6,056	110	666,16	36,68	12100	4034,26	3168,51	1584,26	1056,17	792,13	0,82	1,64	2,47	3,29
8	972,70	3,839	100	383,9	14,74	10000	1473,79	1157,52	578,76	385,84	289,38	0,84	1,68	2,52	3,36
9	2590,82	5,556	120	666,72	30,87	14400	3704,30	2909,35	1454,68	969,78	727,34	0,89	1,78	2,67	3,56
10	908,86	4,026	90	362,34	16,21	8100	1458,78	1145,73	572,86	381,91	286,43	0,79	1,59	2,38	3,17
11	3045,30	5,956	120	714,72	35,47	14400	4256,87	3343,35	1671,67	1114,45	835,84	0,91	1,82	2,73	3,64
12	3305,02	5,998	140	839,72	35,98	19600	5036,64	3955,78	1977,89	1318,59	988,94	0,84	1,67	2,51	3,34
13	2818,63	5,645	130	733,85	31,87	16900	4142,58	3253,58	1626,79	1084,53	813,40	0,87	1,73	2,60	3,47
14	1542,34	4,645	100	464,5	21,58	10000	2157,60	1694,58	847,29	564,86	423,65	0,91	1,82	2,73	3,64
15	3828,06	6,526	140	913,64	42,59	19600	5962,41	4682,88	2341,44	1560,96	1170,72	0,82	1,63	2,45	3,27
16	1900,40	5,121	110	563,31	26,22	12100	2884,71	2265,65	1132,83	755,22	566,41	0,84	1,68	2,52	3,36
17	2953,20	6,526	120	783,12	42,59	14400	5110,64	4013,90	2006,95	1337,97	1003,47	0,74	1,47	2,21	2,94
18	1311,76	4,526	100	452,6	20,48	10000	2048,47	1608,87	804,43	536,29	402,22	0,82	1,63	2,45	3,26
19	4212,25	6,956	130	904,28	48,39	16900	6290,17	4940,30	2470,15	1646,77	1235,08	0,85	1,71	2,56	3,41
20	1519,35	4,512	110	496,32	20,36	12100	2239,40	1758,82	879,41	586,27	439,71	0,86	1,73	2,59	3,46
21	3882,02	6,859	130	891,67	47,05	16900	6115,96	4803,48	2401,74	1601,16	1200,87	0,81	1,62	2,42	3,23
22	1531,52	5,026	90	452,34	25,26	8100	2273,46	1785,58	892,79	595,19	446,39	0,86	1,72	2,57	3,43
23	673,98	3,936	70	275,52	15,49	4900	1084,45	851,72	425,86	283,91	212,93	0,79	1,58	2,37	3,17
24	1907,76	4,859	140	680,26	23,61	19600	3305,38	2596,05	1298,02	865,35	649,01	0,73	1,47	2,20	2,94



25	3094,88	6,026	130	783,38	36,31	16900	4720,65	3707,60	1853,80	1235,87	926,90	0,83	1,67	2,50	3,34
26	1406,58	4,895	90	440,55	23,96	8100	2156,49	1693,71	846,85	564,57	423,43	0,83	1,66	2,49	3,32
27	827,39	3,625	100	362,5	13,14	10000	1314,06	1032,06	516,03	344,02	258,02	0,80	1,60	2,41	3,21
28	2578,06	5,787	120	694,44	33,49	14400	4018,72	3156,31	1578,15	1052,10	789,08	0,82	1,63	2,45	3,27
29	4368,82	7,026	150	1053,9	49,36	22500	7404,70	5815,65	2907,83	1938,55	1453,91	0,75	1,50	2,25	3,00
30	2032,52	5,826	100	582,6	33,94	10000	3394,23	2665,83	1332,91	888,61	666,46	0,76	1,52	2,29	3,05
											Media	0,79	1,57	2,36	3,15
											D.T	0,09	0,18	0,27	0,35

## ANEXO 6.- Función de volumen de ramas pequeñas

Rama	Volumen	Diámetro	Longitud	D*L	D^2	L^2	L*D^2	V. cilíndrico	V. paraboloides	V. cono	V. neiloide	F. cilindro	F. paraboloides	F. cono	F. neiloide
1	34,02	1,223	65	79,495	1,50	4225	97,22	76,36	38,18	25,45	19,09	0,45	0,89	1,34	1,78
2	2,25	0,368	25	9,2	0,14	625	3,39	2,66	1,33	0,89	0,66	0,85	1,69	2,54	3,38
3	8,65	0,612	50	30,6	0,37	2500	18,73	14,71	7,35	4,90	3,68	0,59	1,18	1,76	2,35
4	6,40	0,504	45	22,68	0,25	2025	11,43	8,98	4,49	2,99	2,24	0,71	1,43	2,14	2,85
5	23,45	1,015	55	55,825	1,03	3025	56,66	44,50	22,25	14,83	11,13	0,53	1,05	1,58	2,11
6	0,70	0,358	10	3,58	0,13	100	1,28	1,01	0,50	0,34	0,25	0,70	1,39	2,09	2,78
7	12,70	0,865	40	34,6	0,75	1600	29,93	23,51	11,75	7,84	5,88	0,54	1,08	1,62	2,16
8	1,11	0,338	20	6,76	0,11	400	2,28	1,79	0,90	0,60	0,45	0,62	1,24	1,86	2,47
9	9,38	0,635	40	25,4	0,40	1600	16,13	12,67	6,33	4,22	3,17	0,74	1,48	2,22	2,96
10	25,34	1,015	50	50,75	1,03	2500	51,51	40,46	20,23	13,49	10,11	0,63	1,25	1,88	2,51
11	3,60	0,506	30	15,18	0,26	900	7,68	6,03	3,02	2,01	1,51	0,60	1,19	1,79	2,39
12	24,33	1,225	55	67,375	1,50	3025	82,53	64,82	32,41	21,61	16,21	0,38	0,75	1,13	1,50
13	1,50	0,335	20	6,7	0,11	400	2,24	1,76	0,88	0,59	0,44	0,85	1,70	2,55	3,40
14	12,67	0,845	45	38,025	0,71	2025	32,13	25,24	12,62	8,41	6,31	0,50	1,00	1,51	2,01
15	3,61	0,545	30	16,35	0,30	900	8,91	7,00	3,50	2,33	1,75	0,52	1,03	1,55	2,06
16	11,07	0,785	40	31,4	0,62	1600	24,65	19,36	9,68	6,45	4,84	0,57	1,14	1,72	2,29
17	1,02	0,371	15	5,565	0,14	225	2,06	1,62	0,81	0,54	0,41	0,63	1,26	1,89	2,52
18	15,14	0,865	50	43,25	0,75	2500	37,41	29,38	14,69	9,79	7,35	0,52	1,03	1,55	2,06
19	1,55	0,355	20	7,1	0,13	400	2,52	1,98	0,99	0,66	0,49	0,78	1,57	2,35	3,13
20	3,52	0,505	30	15,15	0,26	900	7,65	6,01	3,00	2,00	1,50	0,59	1,17	1,76	2,34
21	2,16	0,365	35	12,775	0,13	1225	4,66	3,66	1,83	1,22	0,92	0,59	1,18	1,77	2,36
22	13,38	0,884	50	44,2	0,78	2500	39,07	30,69	15,34	10,23	7,67	0,44	0,87	1,31	1,74
23	20,92	1,025	45	46,125	1,05	2025	47,28	37,13	18,57	12,38	9,28	0,56	1,13	1,69	2,25
24	3,96	0,565	35	19,775	0,32	1225	11,17	8,78	4,39	2,93	2,19	0,45	0,90	1,35	1,81

25	24,54	1,025	60	61,5	1,05	3600	63,04	49,51	24,75	16,50	12,38	0,50	0,99	1,49	1,98
26	13,87	0,887	45	39,915	0,79	2025	35,40	27,81	13,90	9,27	6,95	0,50	1,00	1,50	2,00
27	19,68	0,965	50	48,25	0,93	2500	46,56	36,57	18,28	12,19	9,14	0,54	1,08	1,61	2,15
28	1,40	0,374	25	9,35	0,14	625	3,50	2,75	1,37	0,92	0,69	0,51	1,02	1,53	2,04
29	3,63	0,525	30	15,75	0,28	900	8,27	6,49	3,25	2,16	1,62	0,56	1,12	1,68	2,24
30	24,68	1,218	55	66,99	1,48	3025	81,59	64,08	32,04	21,36	16,02	0,39	0,77	1,16	1,54
											Media	0,58	1,15	1,73	2,31
											D.T	0,12	0,24	0,36	0,48

## ANEXO 7.- Volumen aparente de copa

Tallo	Diámetro fuste	Longitud tallo cm	Longitud tallo m	Altura total	Altura copa	Diámetro copa 1	Diámetro copa 2	Suma copas	Diámetro medio copa	Volumen Fuste	Volumen aparente de copa modelo cilíndrico (m <sup>3</sup> )	Volumen aparente de copa modelo cilíndrico dm <sup>3</sup>	Volumen Real	Factor Ocupación	Diámetro fuste <sup>2</sup>	Diámetro copa <sup>2</sup>	Altura total <sup>2</sup>	D. fuste*D. copa	D. copa*Altura total	D. fuste*altura total	V. total
1	9,225	42	0,42	2,5	2,08	1,9	1,3	3,2	1,6	2807,20	4,18	4182,10	26064,90	6,23	85,10	2,56	6,25	1,6	4,00	23,06	26064,90
2	10,735	44	0,44	2,12	1,68	2,7	2,2	4,9	2,45	3982,43	7,92	7920,13	31852,76	4,02	115,24	6,00	4,49	2,45	5,19	22,76	31852,76
3	10,59	43	0,43	2,18	1,75	2,7	2	4,7	2,35	3787,49	7,59	7590,40	59381,75	7,82	112,15	5,52	4,75	2,35	5,12	23,09	59381,75
4	10,716	26	0,26	2,8	2,54	1,8	1,5	3,3	1,65	2344,93	5,43	5431,16	26785,38	4,93	114,83	2,72	7,84	1,65	4,62	30,00	26785,38
5	9,552	40	0,4	3	2,6	3,7	2	5,7	2,85	2866,42	16,59	16586,47	403102,74	24,30	91,24	8,12	9,00	2,85	8,55	28,66	403102,74
6	10,335	45	0,45	2,2	1,75	2	1,4	3,4	1,7	3775,06	3,97	3972,16	29186,46	7,35	106,81	2,89	4,84	1,7	3,74	22,74	29186,46
7	10,852	30	0,3	2,15	1,85	1,9	1,6	3,5	1,75	2774,80	4,45	4449,78	61833,92	13,90	117,77	3,06	4,62	1,75	3,76	23,33	61833,92
8	9,45	26	0,26	2,3	2,04	2,1	1,9	4	2	1823,59	6,41	6408,86	69079,14	10,78	89,30	4,00	5,29	2	4,60	21,74	69079,14
9	10,635	40	0,4	2,2	1,8	3,5	1,8	5,3	2,65	3553,25	9,93	9927,85	72955,95	7,35	113,10	7,02	4,84	2,65	5,83	23,40	72955,95
10	9,55	44	0,44	2,1	1,66	2,25	1,6	3,85	1,925	3151,74	4,83	4831,26	45604,70	9,44	91,20	3,71	4,41	1,93	4,04	20,06	45604,70
11	9,955	45	0,45	2,12	1,67	2,5	1,5	4	2	3502,56	5,25	5246,47	53681,58	10,23	99,10	4,00	4,49	2	4,24	21,10	53681,58
12	10,61	50	0,5	2,55	2,05	3,2	2	5,2	2,6	4420,71	10,88	10884,07	63345,65	5,82	112,57	6,76	6,50	2,6	6,63	27,06	63345,65
13	10,81	43	0,43	2,25	1,82	2,1	1,8	3,9	1,95	3946,49	5,44	5435,40	92924,41	17,10	116,86	3,80	5,06	1,95	4,39	24,32	92924,41
14	9,632	42	0,42	2,3	1,88	1,9	1,4	3,3	1,65	3060,36	4,02	4019,91	24215,05	6,02	92,78	2,72	5,29	1,65	3,80	22,15	24215,05
15	10,72	40	0,4	2,45	2,05	2,7	1,35	4,05	2,025	3610,28	6,60	6602,29	47563,86	7,20	114,92	4,10	6,00	2,03	4,96	26,26	47563,86
16	10,485	30	0,3	2,6	2,3	2,6	2	4,6	2,3	2590,29	9,56	9555,96	41577,48	4,35	109,94	5,29	6,76	2,3	5,98	27,26	41577,48
17	9,226	45	0,45	2,7	2,25	2,3	1,8	4,1	2,05	3008,36	7,43	7426,45	25718,33	3,46	85,12	4,20	7,29	2,05	5,54	24,91	25718,33
18	10,723	43	0,43	2,36	1,93	1,9	1,9	3,8	1,9	3883,22	5,47	5472,12	52676,02	9,63	114,98	3,61	5,57	1,9	4,48	25,31	52676,02
19	10,65	43	0,43	2,6	2,17	1,8	1,95	3,75	1,875	3830,53	5,99	5991,74	40435,80	6,75	113,42	3,52	6,76	1,88	4,88	27,69	40435,80
20	10,987	42	0,42	2,26	1,84	1,7	1,3	3	1,5	3981,97	3,25	3251,56	73343,83	22,56	120,71	2,25	5,11	1,5	3,39	24,83	73343,83
21	9,651	40	0,4	2,4	2	1,65	2,1	3,75	1,875	2926,14	5,52	5522,34	35505,02	6,43	93,14	3,52	5,76	1,88	4,50	23,16	35505,02

22	11,015	44	0,44	2,12	1,68	2,2	2,2	4,4	2,2	4192,88	6,39	6386,24	30703,96	4,81	121,33	4,84	4,49	2,2	4,66	23,35	30703,96
23	10,885	38	0,38	2,25	1,87	2,55	1,6	4,15	2,075	3536,16	6,32	6323,66	42370,48	6,70	118,48	4,31	5,06	2,08	4,67	24,49	42370,48
24	10,224	26	0,26	2,3	2,04	2	1,5	3,5	1,75	2134,55	4,91	4906,79	52985,73	10,80	104,53	3,06	5,29	1,75	4,03	23,52	52985,73
25	10,632	45	0,45	2,39	1,94	1,95	1,8	3,75	1,875	3995,15	5,36	5356,67	79986,20	14,93	113,04	3,52	5,71	1,88	4,48	25,41	79986,20
26	10,945	43	0,43	2,15	1,72	3,6	2	5,6	2,8	4045,67	10,59	10590,96	26170,54	2,47	119,79	7,84	4,62	2,8	6,02	23,53	26170,54
27	11,064	40	0,4	2,45	2,05	3,7	2,1	5,8	2,9	3845,70	13,54	13540,69	42103,74	3,11	122,41	8,41	6,00	2,9	7,11	27,11	42103,74
28	9,648	38	0,38	2,35	1,97	2	1,6	3,6	1,8	2778,11	5,01	5013,05	84851,85	16,93	93,08	3,24	5,52	1,8	4,23	22,67	84851,85
29	10,984	43	0,43	2,2	1,77	3,2	1,9	5,1	2,55	4074,56	9,04	9039,50	40247,53	4,45	120,65	6,50	4,84	2,55	5,61	24,16	40247,53
30	9,032	42	0,42	2,12	1,7	1,8	1,7	3,5	1,75	2690,96	4,09	4088,99	48531,55	11,87	81,58	3,06	4,49	1,75	3,71	19,15	48531,55
Media	10,32	40,07									Media	6865,17		9,06							
DT	0,64	6,20									Desviación Típica	3042,06		5,52							

## ANEXO 8.- Estrato I

ESTRATO 1 RAMAS PRIMARIAS					
	Ramas	Longitud	Diámetro	Volumen rama	Volumen Estrato 1
ARBOL 1	1	55	6,015	1231,25	
	2	65	8,621	3014,12	4245,37
ARBOL 2	1	70	6,901	2074,53	
	2	65	7,284	2146,70	
	3	30	9,552	1700,23	5921,46
ARBOL 3	1	48	1,671	66,60	
	2	65	5,295	1126,14	
	3	58	6,024	1303,31	
	4	60	6,372	1511,29	
	5	45	5,913	969,85	4977,18
ARBOL 4	1	67	7,817	2551,71	
	2	45	7,93	1758,34	4310,05
ARBOL 5	1	55	7,145	1744,52	
	2	68	6,245	1646,75	
	3	60	8,789	2891,05	6282,32
ARBOL 6	1	50	7,846	1914,07	
	2	48	6,231	1152,00	
	3	32	7,24	1035,11	4101,19
ARBOL 7	1	65	8,12	2672,00	
	2	45	7,54	1587,96	
	3	74	5,284	1279,08	
	4	30	6,32	734,46	6273,50
ARBOL 8	1	52	6,175	1226,79	
	2	78	7,64	2839,61	
	3	65	8,457	2899,87	6966,27
ARBOL 9	1	78	8,62	3619,60	
	2	70	7,648	2551,94	
	3	56	7,841	2143,11	
	4	65	8,621	3014,12	11328,77
ARBOL 10	1	55	6,234	1323,84	
	2	48	7,264	1571,91	
	3	78	8,145	3229,80	6125,56
ARBOL 11	1	64	6,585	1724,05	
	2	80	7,654	2923,62	
	3	48	6,24	1155,38	5803,05
ARBOL 12	1	53	6,185	1254,83	
	2	46	5,264	782,39	
	3	62	6,145	1451,69	
	4	42	5,214	699,02	4187,93
ARBOL 13	1	57	6,835	1653,58	
	2	73	8,12	3003,01	

	3	85	7,684	3131,98	
	4	100	8,654	4682,31	12470,88
ARBOL 14	1	70	6,214	1678,73	
	2	45	5,145	730,02	2408,75
ARBOL 15	1	61	6,984	1849,67	
	2	58	5,645	1142,34	
	3	85	7,984	3382,71	6374,72
ARBOL 16	1	76	8,435	3375,86	
	2	67	5,784	1389,11	
	3	90	8,945	4501,58	9266,55
ARBOL 17	1	43	5,624	835,99	
	2	80	7,645	2916,71	3752,70
ARBOL 18	1	60	6,635	1640,09	
	2	59	5,987	1309,63	
	3	65	7,145	2064,89	
	4	72	8,12	2961,64	7976,25
ARBOL 19	1	73	6,547	1946,10	
	2	48	5,142	778,93	
	3	60	6,254	1455,19	4180,21
ARBOL 20	1	58	5,321	1013,02	
	2	63	6,832	1827,86	
	3	67	7,122	2115,17	
	4	64	6,182	1517,41	6473,46
ARBOL 21	1	75	8,475	3363,04	
	2	46	5,248	777,53	4140,58
ARBOL 22	1	78	8,657	3650,89	
	2	39	5,246	656,04	4306,93
ARBOL 23	1	97	8,547	4429,28	
	2	46	5,214	767,27	
	3	90	7,942	3544,95	8741,49
ARBOL 24	1	59	6,568	1579,71	
	2	61	6,575	1637,38	
	3	65	6,214	1557,57	4774,66
ARBOL 25	1	58	5,987	1287,14	
	2	63	6,578	1693,19	
	3	60	7,214	1942,01	
	4	58	6,325	1438,61	6360,95
ARBOL 26	1	70	8,596	3228,41	
	2	48	4,987	731,63	3960,05
ARBOL 27	1	96	8,547	4383,44	
	2	48	6,245	1157,26	
	3	55	6,248	1329,87	6870,57
ARBOL 28	1	60	6,485	1565,99	
	2	63	6,147	1476,36	
	3	75	7,214	2431,90	

	4	77	7,698	2845,97	8320,21
ARBOL 29	1	45	6,245	1083,84	
	2	75	8,245	3182,05	4265,88
ARBOL 30	1	98	8,254	4172,38	
	2	75	7,689	2765,07	
	3	50	5,214	835,51	7772,96
	Media	62,49	6,89		6098,01
	D.T	14,86	1,26		2297,85



**ANEXO 9.- Estrato II**

ESTRATO 2 RAMAS SECUNDARIAS						
	Ramas	Longitud	Diámetro	Volumen de rama	Suma	Volumen estrato 2
ARBOL 1	1	130	4,004	1290,40		
	2	120	3,028	672,95		
	3	140	2,998	772,14		
	4	125	3,511	949,47		
	5	130	2,894	665,75		
	6	90	2,721	400,65		
	7	100	2,834	486,51	5237,87	10475,75
ARBOL 2	1	120	2,776	562,81		
	2	124	2,852	615,44		
	3	150	2,855	749,76		
	4	130	2,246	394,03		
	5	120	4,327	1392,43		
	6	80	4,036	800,27	4514,74	13544,21
ARBOL 3	1	160	3,927	1530,91		
	2	120	3,917	1137,90		
	3	140	3,716	1195,67		
	4	124	3,617	1000,53		
	5	130	3,415	933,91		
	6	140	3,026	786,96		
	7	100	2,836	487,22	7073,10	35365,48
ARBOL 4	1	90	2,735	404,97		
	2	80	3,552	615,89		
	3	120	3,568	941,18		
	4	100	3,425	718,64		
	5	120	3,997	1185,57		
	6	125	4,127	1318,55	5184,80	10369,60
ARBOL 5	1	110	4,351	1289,31		
	2	150	4,165	1615,42		
	3	140	4,597	1839,11		
	4	120	40,25	121982,72		
	5	100	3,849	912,19		
	6	90	5,326	1584,60	129223,36	387670,07
ARBOL 6	1	100	3,326	676,70		
	2	86	3,996	844,27		
	3	90	3,876	831,00		
	4	120	3,646	983,55		
	5	110	3,326	746,12		
	6	90	3,026	499,65	4581,29	13743,86

ARBOL 7	1	86	2,827	413,80		
	2	120	3,027	672,49		
	3	140	2,836	689,11		
	4	136	2,756	630,74		
	5	145	5,026	2281,07		
	6	120	4,78	1703,11		
	7	139	4,048	1411,85	7802,18	31208,72
ARBOL 8	1	140	5,945	3087,61		
	2	132	5,736	2707,95		
	3	120	5,214	2029,74		
	4	145	4,78	2061,57		
	5	150	4,15	1603,68		
	6	120	3,815	1078,51		
	7	100	2,987	542,40		
	8	140	6,27	3436,39	16547,84	49643,53
ARBOL 9	1	90	3,641	731,23		
	2	110	3,498	827,14		
	3	120	5,126	1961,21		
	4	130	5,612	2551,85		
	5	140	6,036	3183,40		
	6	100	4,831	1447,10	10701,94	42807,75
ARBOL 10	1	80	2,874	397,16		
	2	98	4,218	1076,66		
	3	80	3,485	592,22		
	4	120	5,536	2290,41		
	5	140	6,17	3327,10		
	6	100	2,96	532,32	8215,88	24647,64
ARBOL 11	1	90	2,545	348,31		
	2	120	4,544	1537,40		
	3	140	5,921	3062,59		
	4	130	5,842	2766,77		
	5	150	6,031	3406,36		
	6	120	4,198	1309,62	12431,05	37293,14
ARBOL 12	1	95	3,214	598,32		
	2	100	3,945	959,14		
	3	110	5,021	1722,77		
	4	130	4,352	1527,63		
	5	120	4,769	1695,20		
	6	140	3,824	1267,22		
	7	130	4,987	2011,43	9781,71	39126,83
ARBOL 13	1	100	2,888	505,90		
	2	140	5,244	2398,51		
	3	90	4,254	1004,57		
	4	145	6,124	3395,09		
	5	100	3,245	643,30		

	6	120	3,841	1093,50		
	7	130	3,984	1277,37		
	8	120	3,245	775,46	11093,69	44374,74
ARBOL 14	1	100	3,214	630,73		
	2	86	3,012	472,10		
	3	90	3,42	643,09		
	4	130	4,278	1475,53		
	5	110	4,014	1094,72		
	6	120	3,841	1093,50	5409,67	10819,34
ARBOL 15	1	90	3,214	565,91		
	2	110	3,984	1078,15		
	3	120	4,032	1206,74		
	4	130	4,354	1529,05		
	5	140	5,012	2189,46		
	6	150	6,124	3512,77	10082,08	30246,24
ARBOL 16	1	96	3,102	562,19		
	2	112	3,813	1004,37		
	3	130	4,16	1394,30		
	4	140	5,736	2873,13		
	5	120	4,23	1329,93		
	6	90	3,12	532,28	7696,19	23088,56
ARBOL 17	1	100	3,13	597,29		
	2	120	3,984	1177,76		
	3	130	4,031	1308,10		
	4	140	5,366	2512,23		
	5	100	3,015	552,94		
	6	90	3,12	532,28	6680,61	13361,21
ARBOL 18	1	130	4,012	1295,63		
	2	120	3,952	1158,64		
	3	100	3,012	551,81		
	4	120	3,501	905,51		
	5	130	3,984	1277,37		
	6	125	3,816	1124,77		
	7	140	4,185	1521,23	7834,96	31339,84
ARBOL 19	1	85	3,064	483,26		
	2	120	4,214	1319,75		
	3	130	4,65	1746,48		
	4	90	3,034	502,39		
	5	110	4,01	1092,50		
	6	90	3,315	603,15	5747,54	17242,62
ARBOL 20	1	120	4,718	1658,76		
	2	140	5,045	2218,62		
	3	130	4,864	1912,58		
	4	100	4,01	991,59		
	5	90	3,264	584,20		

	6	100	4,018	995,62		
	7	140	5,18	2339,90	10701,27	42805,09
ARBOL 21	1	115	4,026	1152,24		
	2	120	5,219	2033,67		
	3	140	6,178	3335,78		
	4	130	5,853	2777,27		
	5	100	3,698	840,67		
	6	90	3,784	791,20	10930,82	21861,64
ARBOL 22	1	105	3,458	770,42		
	2	118	3,765	1032,17		
	3	110	3,645	899,63		
	4	130	4,156	1391,59		
	5	120	4,032	1206,74		
	6	128	3,82	1154,64	6455,18	12910,36
ARBOL 23	1	80	2,954	420,57		
	2	90	3,285	591,97		
	3	100	4,012	992,60		
	4	115	4,325	1332,44		
	5	120	4,689	1638,22		
	6	95	3,145	572,16	5547,95	16643,86
ARBOL 24	1	120	4,518	1519,65		
	2	130	5,145	2142,03		
	3	140	4,218	1545,59		
	4	150	5,688	3027,98		
	5	140	6,034	3181,28		
	6	130	5,124	2124,44	13540,98	40622,94
ARBOL 25	1	140	6,245	3408,91		
	2	120	4,689	1638,22		
	3	145	6,034	3295,52		
	4	134	5,24	2291,44		
	5	120	4,085	1239,13		
	6	100	3,958	965,59		
	7	120	4,013	1195,23	14034,03	56136,14
ARBOL 26	1	115	3,658	948,17		
	2	130	4,125	1370,64		
	3	140	5,198	2356,31		
	4	90	3,069	514,45		
	5	120	4,126	1264,48		
	6	100	3,26	649,42	7103,48	14206,96
ARBOL 27	1	86	3,024	476,01		
	2	120	4,456	1477,76		
	3	86	3,023	475,69		
	4	130	4,206	1425,70		
	5	90	3,125	534,04		
	6	110	4,158	1175,95	5565,15	16695,44

ARBOL 28	1	110	4,654	1477,67		
	2	120	4,987	1855,36		
	3	130	5,325	2295,78		
	4	140	6,013	3159,05		
	5	130	5,965	2885,25		
	6	120	4,684	1634,69		
	7	110	3,265	718,37	14026,16	56104,64
ARBOL 29	1	90	3,455	656,68		
	2	120	4,326	1391,78		
	3	115	4,023	1150,49		
	4	130	4,896	1938,06		
	5	140	5,236	2391,14		
	6	130	4,987	2011,43		
	7	120	3,625	972,05	10511,64	21023,29
ARBOL 30	1	110	3,235	704,91		
	2	120	3,847	1096,97		
	3	130	4,26	1462,99		
	4	140	5,134	2298,21		
	5	135	4,985	2087,78		
	6	145	5,853	3099,74	10750,60	32251,81
	MEDIA	117,75	4,32			39921,04
	D.T	18,96	2,77			67152,90

**ANEXO 10.- Estrato III**

ESTRATO 3 RAMAS TERCIARIAS MUESTRADAS								
	Ramas	Longitud	Diámetro	Volumen rama	Promedio	# Ramas estrato3	Ramas estrato2 ramas estrato3*	Volumen estrato 3
ARBOL 1	1	20	2,871	22,5610507				
	2	15	2,839	16,07689473				
	3	30	2,827	34,53280885	24,39025143	609,76	4268,29	8536,59
ARBOL 2	1	20	3,89	31,468843				
	2	10	3,746	13,8368341				
	3	5	2,763	3,501959275				
	4	20	2,885	22,6834345	13,34074263	466,93	2801,56	8404,67
ARBOL 3	1	35	2,205	31,19566488				
	2	20	2,625	20,4105925				
	3	25	2,425	23,96190813				
	4	10	2,392	7,9187032	17,43040128	435,76	3050,32	15251,60
ARBOL 4	1	15	2,546	14,15590615				
	2	30	2,875	35,16221125				
	3	15	2,178	11,74319695				
	4	25	2,32	22,81456	23,2399894	813,40	4880,40	9760,80
ARBOL 5	1	30	2,765	33,71983075				
	2	20	2,147	16,2320599				
	3	15	2,963	16,88987283				
	4	10	2,587	8,77101895	13,96431723	349,11	2094,65	6283,94
ARBOL 6	1	30	3,245	40,01385475				
	2	15	2,785	15,72285588				
	3	20	2,412	18,5486104				
	4	20	2,14	16,170868	16,81411143	420,35	2522,12	7566,35
ARBOL 7	1	25	2,987	30,10295238				
	2	30	3,564	44,1967582				
	3	20	2,369	18,1727173	30,82414263	770,60	5394,22	21576,90
ARBOL 8	1	25	2,785	27,89567313				
	2	15	2,158	11,61207145				
	3	10	2,741	9,44412985				
	4	30	2,647	32,17254985	17,74291705	443,57	3548,58	10645,75
ARBOL 9	1	20	2,11	15,908617				
	2	30	2,789	34,03453195				
	3	25	2,647	26,38772988	25,44362628	636,09	3816,54	15266,18
ARBOL 10	1	20	2,314	17,6919238				
	2	25	2,856	28,671499				

	3	30	2,965	36,34234075					
	4	15	2,347	12,85120743	25,95501573	648,88	3893,25	11679,76	
ARBOL 11	1	30	3,147	38,72882485					
	2	10	2,58	8,740423					
	3	15	2,66	14,9033215					
	4	20	2,987	23,5750879	15,7396108	393,49	2360,94	7082,82	
ARBOL 12	1	15	2,172	11,7038593					
	2	30	2,965	36,34234075					
	3	20	2,156	16,3107352					
	4	15	2,56	14,247694	22,30025665	557,51	3902,54	15610,18	
ARBOL 13	1	20	2,84	22,290058					
	2	30	2,974	36,4603537					
	3	30	3,123	38,41412365					
	4	35	3,148	45,6216553	40,16537755	1004,13	8033,08	32132,30	
ARBOL 14	1	25	2,885	28,98838563					
	2	20	2,664	20,7515188					
	3	30	2,998	36,7750549					
	4	20	2,777	21,7393309	26,4219682	660,55	3963,30	7926,59	
ARBOL 15	1	15	2,31	12,60862525					
	2	20	2,741	21,4246297					
	3	15	2,652	14,8508713	16,29470875	407,37	2444,21	7332,62	
ARBOL 16	1	20	2,885	22,6834345					
	2	20	2,761	21,5994637					
	3	10	2,394	7,9274449					
	4	15	2,627	14,68696443	14,73795768	368,45	2210,69	6632,08	
ARBOL 17	1	15	2,47	13,65762925					
	2	20	2,876	22,6047592					
	3	20	2,746	21,4683382					
	4	15	2,2	11,887435	18,6535108	466,34	2798,03	5596,05	
ARBOL 18	1	10	2,114	6,7036069					
	2	15	2,362	12,94955155					
	3	10	2,122	6,7385737					
	4	20	2,684	20,9263528	13,53815935	338,45	2369,18	9476,71	
ARBOL 19	1	25	2,88	28,93375					
	2	20	2,654	20,6641018					
	3	35	3,54	51,6184615	33,7387711	843,47	5060,82	15182,45	
ARBOL 20	1	40	3,89	65,474056					
	2	25	2,884	28,9774585					
	3	20	2,631	20,4630427					
	4	30	2,987	36,63081685	28,69043935	717,26	5020,83	20083,31	
ARBOL 21	1	25	2,541	25,22945463					
	2	25	2,666	26,59534525					
	3	20	2,125	16,0397425					
	4	25	2,349	23,13144663	21,92217813	548,05	3288,33	6576,65	

ARBOL 22	1	30	3,62	44,931061				
	2	35	3,45	50,24164375				
	3	20	2,147	16,2320599				
	4	25	2,654	26,46421975	30,9793078	774,48	4646,90	9293,79
ARBOL 23	1	25	2,874	28,86818725				
	2	30	2,958	36,2505529				
	3	25	2,478	24,54104575	29,8865953	747,16	4482,99	13448,97
ARBOL 24	1	20	2,341	17,9279497				
	2	15	2,178	11,74319695				
	3	10	2,11	6,6861235	12,11909005	302,98	1817,86	5453,59
ARBOL 25	1	30	2,964	36,3292282				
	2	25	2,852	28,6277905				
	3	20	2,31	17,656957				
	4	15	2,148	11,5465087	19,2770854	481,93	3373,49	13493,96
ARBOL 26	1	30	2,954	36,1981027				
	2	15	2,184	11,7825346				
	3	20	2,687	20,9525779				
	4	10	2,146	6,8434741	13,1928622	329,82	1978,93	3957,86
ARBOL 27	1	35	3,451	50,25694173				
	2	30	2,984	36,5914792				
	3	25	2,67	26,63905375				
	4	30	2,841	34,71638455	32,6489725	816,22	4897,35	14692,04
ARBOL 28	1	30	2,827	34,53280885				
	2	25	2,88	28,93375				
	3	20	2,623	20,3931091				
	4	25	2,64	26,31124	25,2126997	630,32	4412,22	17648,89
ARBOL 29	1	25	2,784	27,884746				
	2	30	3,746	46,5832423				
	3	20	2,367	18,1552339				
	4	25	2,845	28,55130063	31,09659228	777,41	5441,90	10883,81
ARBOL 30	1	30	2,901	35,50313755				
	2	10	2,114	6,7036069				
	3	15	2,865	16,24735788				
	4	15	2,8	15,8212	12,92405493	323,10	1938,61	5815,82
	MEDIA	21,77	2,71					11443,10
D.T	7,22	0,41					6010,51	



## ANEXO 11.- Volumen real

Árbol	V. fuste	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	V. total
1	2807,20	4245,37	10475,75	8536,59	26064,90
2	3982,43	5921,46	13544,21	8404,67	31852,76
3	3787,49	4977,18	35365,48	15251,60	59381,75
4	2344,93	4310,05	10369,60	9760,80	26785,38
5	2866,42	6282,32	387670,07	6283,94	403102,74
6	3775,06	4101,19	13743,86	7566,35	29186,46
7	2774,80	6273,50	31208,72	21576,90	61833,92
8	1823,59	6966,27	49643,53	10645,75	69079,14
9	3553,25	11328,77	42807,75	15266,18	72955,95
10	3151,74	6125,56	24647,64	11679,76	45604,70
11	3502,56	5803,05	37293,14	7082,82	53681,58
12	4420,71	4187,93	39126,83	15610,18	63345,65
13	3946,49	12470,88	44374,74	32132,30	92924,41
14	3060,36	2408,75	10819,34	7926,59	24215,05
15	3610,28	6374,72	30246,24	7332,62	47563,86
16	2590,29	9266,55	23088,56	6632,08	41577,48
17	3008,36	3752,70	13361,21	5596,05	25718,33
18	3883,22	7976,25	31339,84	9476,71	52676,02
19	3830,53	4180,21	17242,62	15182,45	40435,80
20	3981,97	6473,46	42805,09	20083,31	73343,83
21	2926,14	4140,58	21861,64	6576,65	35505,02
22	4192,88	4306,93	12910,36	9293,79	30703,96
23	3536,16	8741,49	16643,86	13448,97	42370,48
24	2134,55	4774,66	40622,94	5453,59	52985,73
25	3995,15	6360,95	56136,14	13493,96	79986,20
26	4045,67	3960,05	14206,96	3957,86	26170,54
27	3845,70	6870,57	16695,44	14692,04	42103,74
28	2778,11	8320,21	56104,64	17648,89	84851,85
29	4074,56	4265,88	21023,29	10883,81	40247,53
30	2690,96	7772,96	32251,81	5815,82	48531,55
<b>SUMA</b>	100921,56	182940,43	1197631,30	343293,03	1824786,31
<b>Media</b>	3364,05	6098,01	39921,04	11443,10	60826,21
<b>D.T</b>	673,80	2297,85	67152,90	6010,51	120783,59
<b>%</b>	5,53059628	10,0253069	65,6313173	18,8127796	