



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

ESCUELA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

DETERMINACIÓN DE LA BIOMASA A PARTIR DE MEDIDAS
DENDROMÉTRICAS EN EL CULTIVO DE MANDARINA (*Citrus reticulata*
L.) PARROQUIA CHALTURA CANTÓN ANTONIO ANTE PROVINCIA
IMBABURA.

Tesis previa a la obtención del Título de:
Ingeniero Agropecuario

AUTOR: Sánchez Hinojosa Roberto Carlos

DIRECTOR: Ing. Carlos Cazco L. MSc.

Ibarra – Ecuador

2016

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
ESCUELA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

DETERMINACIÓN DE LA BIOMASA A PARTIR DE
MEDIDAS DENDROMETRÍAS EN EL CULTIVO DE
MANDARINA (*Citrus reticulata* L.) PARROQUIA CHALTURA
CANTÓN ANTONIO ANTE PROVINCIA IMBABURA.

Tesis revisada por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como
requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

APROBADA:

Ing. Carlos Caezo L. MSc.

Director de Tesis

Ing. Fernando Basantes. MSc.

Asesor

Ing. Sania Ortega.

Asesor

Ing. Magali Cañarejo. MSc.

Asesor

Ibarra - Ecuador

2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y
PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL
NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
Cédula de identidad:	172008200-5		
Apellidos y nombres:	Sánchez Hinojosa Roberto Carlos		
Dirección:	Tobías Mena y Calixto Miranda #4-49. Ibarra		
Email:	sanchezrc89@yahoo.com		
Teléfono fijo:	065002890	TELEFONO MÓVIL:	0995240310
DATOS DE LA OBRA			
Título:	"Determinación de la biomasa a partir de medidas dendrométricas en el cultivo de mandarina (<i>Citrus reticulata</i> L.) Parroquia <u>Chaltura</u> cantón Antonio Ante provincia Imbabura."		
Autor:	Sánchez Hinojosa Roberto Carlos		
Fecha:	2016		
Solo para trabajos de grado			
Programa:	Pregrado		
Título por el que opta:	Ingeniero Agropecuario		
Director:	Ing. Carlos <u>Cazco</u> L. <u>MSc.</u>		

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

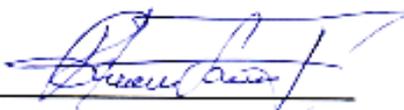
Yo, Sánchez Hinojosa Roberto Carlos, con cédula de ciudadanía Nro.172008200-5, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, febrero del 2016.

AUTOR:



Roberto Sánchez

C.I.: 1720082005

ACEPTACIÓN:



Ing. **Betty Chávez**

JEFE DE BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **Sánchez Hinojosa Roberto Carlos**, con cédula de ciudadanía Nro. 172008200-5 ; manifiesta la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de propiedad intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominada **“DETERMINACIÓN DE LA BIOMASA A PARTIR DE MEDIDAS DENDROMETRÍAS EN EL CULTIVO DE MANDARINA (*Citrus reticulata* L.) PARROQUIA CHALTURA CANTÓN ANTONIO ANTE PROVINCIA IMBABURA.**”, que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Agropecuario en la Universidad Técnica del Norte, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Sánchez Hinojosa Roberto Carlos

C.I.: 172008200-5

Ibarra, febrero de 2016

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

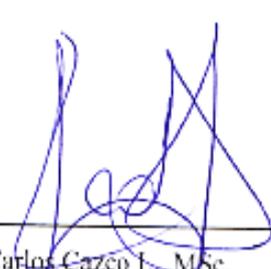
Guía: FICAYA-UTN
Fecha:

SÁNCHEZ HINOJOSA ROBERTO CARLOS "Determinación de la biomasa a partir de medidas dendrométricas en el cultivo de mandarina (*Citrus reticulata* L.) Parroquia Chaltura cantón Antonio Ante provincia Imbabura" / TRABAJO DE GRADO. Ingeniero Agropecuario, Universidad Técnica del Norte, Ibarra.....2015. 99 pp. 6 anexos.

DIRECTOR: Ing. Carlos Cazco L. MSc.

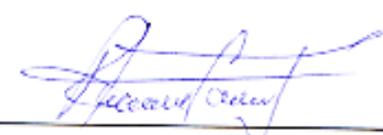
El principal objetivo de la presente investigación fue, generar información técnica científica sobre la cantidad de biomasa obtenible del cultivo de mandarina (*Citrus reticulata* L.) a partir del análisis dendrométrico. Entre los objetivos específicos se encuentran: analizar y determinar el factor de forma en las ramas de la planta de mandarina. Además, se determinó las funciones de volumen de las ramas y se analizó la distribución de la biomasa en las ramas de la copa del árbol.

Ibarra, febrero de 2016



Ing. Carlos Cazco L. MSc.

+ Director de Tesis



Roberto Sánchez

Autor

PRESENTACIÓN

La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, corresponde exclusivamente al autor; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica del Norte, exclusivamente a la Carrera de Ingeniería Agropecuaria, el presente trabajo de investigación contiene información sobre “Determinación de la biomasa a partir de medidas dendrométricas en el cultivo de mandarina (*Citrus reticulata* L.)”

Encontraremos textos, cuadros, comentarios, figuras, resultados y demás información que se encuentra detallada.

Roberto Sánchez

DEDICATORIA

A Dios por las bendiciones, la vida, la salud, la inteligencia y la perseverancia.

A la memoria de quien en vida fue y será mi amada madre por sus consejos su apoyo y su infinito amor. A mi padre y hermanos que con su apoyo incondicional fueron pilares fundamentales para la culminación e inicio de mi vida profesional.

ROBERTO SÁNCHEZ

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo va dirigido a todos aquellos docentes quienes con su conocimiento, trabajo y dedicación aportaron con su grano de arena y en especial al Ing. Carlos Cazco, Director de Tesis, quien con nobleza y entusiasmo me brindó su apoyo para poder alcanzar tan anhelada meta.

A la Universidad Técnica del Norte y a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, quien me impartió las mejores enseñanzas

Y mi infinita gratitud a los señores asesores, amigos, compañeros quienes con su constancia y apoyo estuvieron en los aciertos y desaciertos.

ROBERTO SÁNCHEZ

ÍNDICE

PRESENTACIÓN.....	vi
DEDICATORIA	viii
AGRADECIMIENTO	ix
ÍNDICE	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
1. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	1
CAPÍTULO II	4
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA	4
2.1. DENDROMETRÍA- DASOMETRÍA	4
2.1.2. Tipos de funciones de volumen.....	6
2.1.3. Sensores remotos.....	11
2.2. CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LA BIOMASA.....	11
2.3. LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE.....	13
2.4.1. Factor Intensidad de la poda	15
2.4.2. Modelos de regresión para la predicción de la biomasa producida.	16
2.5. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS	18
2.5.1. Caracterización de los residuos.....	18
2.6. CULTIVO DE MANDARINA	19
2.6.1. Origen y distribución.....	19
2.6.2. Taxonomía.....	20
2.6.3. Descripción botánica.....	20
2.6.4. Variedades.....	21
2.7. AGROECOLOGÍA DEL CULTIVO.....	22

2.7.1. Clima.....	22
2.7.2. Altitud	22
2.7.3. Precipitación.....	22
2.7.4. Temperatura	22
2.7.5. Luz	22
2.7.6. Suelo.....	23
2.7.8. Riegos.....	23
2.8. PREPARACIÓN DEL SUELO	23
2.8.1. Arada.....	23
2.8.2. Rastrada y nivelada	23
2.8.3. Plantación.....	24
2.8.4. Trazado y hoyado	24
2.8.5. Fertilización.....	24
2.9. PODAS.....	24
2.9.1. Poda de formación.....	24
2.9.2. Poda de fructificación	25
2.10. PLAGAS, ENFERMEDADES Y VIRUS	25
CAPÍTULO III.....	26
3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	26
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS.....	28
3.2.1. Materiales.....	28
3.2.2. Equipos.....	28
3.3. MÉTODOS	29
3.3.1. Factor en estudio	29
3.3.2. Análisis Estadístico	29
3.3.3. Variables Evaluadas	30
3.3.4. Características del Experimento.....	30
3.3.5. Características de la unidad experimental.....	30
3.4. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO	30
3.4.1. Selección e identificación.	30
3.4.2. Análisis de predicción de la biomasa residual procedente de la poda en el árbol entero.....	31

3.4.3. Poda del cultivo.....	31
3.4.4. Peso de los residuos de poda.....	32
3.4.5. Análisis dendrométrico de las ramas.	32
3.4.6. Análisis dendrométrico de la planta entera.	34
3.4.7. Análisis del material vegetal seleccionado en laboratorio.	36
CAPÍTULO IV	41
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1 PREDICCIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL DE PODA.....	41
4.2. ESTUDIO DENDROMÉTRICO DE RAMAS	44
4.3 ANÁLISIS DE LA BIOMASA LIGNOCELULÓSICA DE LA PLANTA ENTERA.....	47
4.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA BIOMASA.	51
CAPÍTULO V	54
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
5.1. CONCLUSIONES	54
5.2. RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRAFÍA	57
ANEXOS	65
FOTOGRAFÍAS	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1	Estados típicos de la biomasa.	12
Tabla No. 2	Fuentes de origen de la biomasa con destino energético.	13
Tabla No. 3	Estimaciones de biomasa residual de distintos cultivos según autores.	15
Tabla No. 4	Clasificación de las intensidades de poda.	16
Tabla No. 5.	Ecuaciones de predicción de la biomasa obtenida por hectárea en la poda de frutales.	17
Tabla No. 6.	Cuantificaciones medias de materia seca por árbol.	18
Tabla No. 7.	Propiedades de los residuos estudiados.	18
Tabla No. 8.	Resumen estadístico de los parámetros estudiados en la predicción de la biomasa residual de poda.	41
Tabla No. 9.	Análisis de la relación lineal entre las variables a través del coeficiente de Pearson.	42
Tabla No. 10.	Modelo de regresión para la biomasa residual de la poda de mandarina.	43
Tabla No. 11.	Resumen estadístico de los parámetros estudiados en las ramas... 44	
Tabla No. 12.	Cálculo de factores de forma en cada uno de los modelos geométricos estudiados.	45
Tabla No. 13	Análisis de la relación lineal entre variables a través del coeficiente de Pearson.	45
Tabla No. 14.	Modelo de regresión para las ramas.	46
Tabla No. 15 .	Parámetros característicos de las ramas de mandarina por estratos. 47	
Tabla No. 16.	Resumen estadístico de los parámetros estudiados de la planta entera.	48
Tabla No. 17.	Modelo de regresión para la predicción de la biomasa residual de mandarina.	49
Tabla No. 18 .	Resultados del factor de ocupación de los árbol de mandarina.	50
Tabla No. 19	Media de los parámetros físicos del material ligno-celulósico de mandarina.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°. 1. Mediciones de diámetros cada cierto intervalo.	32
Figura N°. 2. Sección de un tronco de cono, donde R = radio mayor; r = radio menor; h = longitud del intervalo.	33
Figura N°. 3. Distribución del árbol por estratos.	34
Figura N°. 4. Modelos de crecimiento de copas arbóreas en una superficie determinada: (a) semi-elipse, (b) paraboloides, (c) crecimiento cónico, (d) crecimiento cilíndrico.....	35
Figura N°. 5. Diagrama de distribución de la biomasa por estratos en mandarina. ..	48
Figura N°. 6. Curva de desecación del material leñoso de mandarina.....	53

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1. Hoja de campo, ensayo determinación de biomasa procedente de restos	66
Anexo N° 2. Hoja de campo, estudio factor de forma y funciones de volumen.....	67
Anexo N° 3. Hoja de campo, determinación volumen total.	68
Anexo N° 4. Datos dendrometría de la planta y del cultivo.	69
Anexo N° 5. Función de volumen de las ramas.	70
Anexo N° 6. Datos biomasa por estratos	71

RESUMEN

La presente investigación generó información científico-técnica sobre la cantidad de biomasa obtenible en residuos de poda de mandarina (*Citrus reticulata* L) a partir del análisis dendrométrico, en una plantación ubicada en la granja experimental La Pradera de la Universidad Técnica del Norte, parroquia Chaltura, cantón Antonio Ante, Imbabura, cuyos objetivos fueron: analizar y determinar el factor de forma y las funciones de volumen en las ramas; analizar la distribución de la biomasa en las ramas de la copa; definir un factor de ocupación y calcular modelos de regresión. La predicción de la biomasa residual de la poda, el análisis dendrométrico de ramas, análisis dendrométrico de la planta entera y análisis de la caracterización de la planta fueron las variables en estudio, por lo cual se seleccionaron treinta árboles en los que se midieron el diámetro de tronco, diámetro de copa, altura del suelo a la copa y la altura del árbol. Se realizaron las podas de las ramas y el material cortado fue pesado. Para el análisis dendrométrico de ramas se seleccionaron 30 ramas, a las que se realizaron mediciones del diámetro de la base, longitud de la rama, diámetros a cada 10 cm, para obtener el volumen real de la rama. La biomasa residual media disponible fue de 4,23 toneladas por hectárea de materia seca en un marco de plantación de 4 x 4m con una desviación típica de 1,92 t/ha. La forma real de las ramas se ajustó al modelo geométrico paraboloidal con un coeficiente de 1,28. El muestreo de la distribución de la biomasa determinó que la mayor cantidad se encontró en los estratos dos (24,50%), tres (23,58%) y cuatro (21,45%) seguido de los estratos uno (5,39%) y cinco (12,26%) de la planta. Finalmente, la caracterización energética de la biomasa leñosa señaló el contenido del 38,96% de humedad, 0,63 g/cm³ de densidad en seco, 1,05 g/cm³ densidad en húmedo, 9,12% de cenizas y 90,88% de volátiles, parámetros que indicaron la aptitud del material leñoso para la combustión directa en caldera o para procesos de gasificación.

ABSTRACT

This research led to scientific and technical information on the amount of available biomass residues pruning mandarin (*Citrus reticulata* L) from dendrométrico analysis, whose objectives were to analyze and determine the form factor and the volume functions on branches ; analyze the distribution of biomass in branches of the cup; define a factor and calculate regression models. The prediction of residual biomass pruning, branches dendrométrico analysis, dendrométrico analysis of the whole plant analysis and characterization of the plant were the variables under study, so in thirty trees were measured the diameter selected trunk, crown diameter, height from ground to glass and tree height. Pruning branches and cuttings made was heavy. For analysis dendrométrico branches 30 branches were selected, which diameter measurements base, branch length, each 10 cm diameter were performed to obtain the real volume of the branch. The average residual biomass available was 4.23 tonnes per hectare of dry matter in a planting of 4 x 4m with a standard deviation of 1.92 t / ha. The actual shape of the branches to the paraboloid geometric model with a coefficient of 1.28 was adjusted. Sampling the biomass distribution determined that as many strata encountered in two (24.50%), three (23.58%) and four (21.45%) followed by the layers one (5.39 %) and five (12.26%) of the plant. Finally, energy woody biomass characterization of said content 38.96% moisture, 0.63 g / cm³ dry density, 1.05 g / cm³ density wet, 9.12% ash and 90, 88% volatiles, parameters indicated fitness woody material for direct combustion in boiler or gasification processes.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la contaminación y el incremento de la concentración de CO₂ en la atmósfera provoca un progresivo cambio en el clima generando un aumento en la temperatura. Ya que hoy en día el mundo depende de los combustibles de origen fósiles, los cuales cubren más del 80% de sus necesidades energéticas. (Kleinberg, 2012). La limitación de estos recursos por ser agotables, provocan un incremento en los precios de los mismos que influyen en todos los sectores productivos, entre ellos el agroalimentario, los cuales están asociados con la dependencia de nuestras economías en estas fuentes de energía.

JUSTIFICACIÓN

Esta investigación pretende desarrollar métodos de determinación de biomasa residual obtenible a través de prácticas de poda en mandarina, con un posible uso energético. Por otra parte, debido al posible agotamiento de los combustibles fósiles en un plazo no muy lejano, el ser humano busca fuentes de energía alternativa para cumplir sus necesidades básicas, también conocidas como Energías Renovables, dentro de las cuales se encuentra la biomasa. (Castilla, 2010). En Ecuador toda especie frutal y forestal es manejada adecuadamente para su fin, generando residuos y restos que son aglomerados o agrupados y la mayoría de veces eliminados mediante su quema lo consecuente no consiguiendo ningún beneficio directo y perdiendo así una segura fuente de materia prima denominada biomasa.

La biomasa supone un recurso renovable, que podría minorar la dependencia del petróleo, y mitigar el cambio climático, dado que el carbono contenido en su estructura proviene de una fijación previa del CO₂ en el proceso de la fotosíntesis. La biomasa es inagotable dado que si proviene tanto de especies vegetales como de animales, al tiempo que se consume el recurso, éste es repuesto por los sistemas productivos a través de una nueva plantación o reproducción (Velazquez, 2006).

El uso de biomasa para la obtención de energía a partir de cultivos agrícolas o forestales es un tema de interés general, dado que es una fuente renovable considerada neutral desde el punto de vista ambiental en la emisión de CO₂ a la atmósfera (kyoto, 1997). Se denomina biomasa a la materia orgánica no fosilizada originada en un proceso biológico, espontaneo o provocado, utilizable como fuente de energía aunque puede tener usos industriales (Velazquez, 2006). Debido al hecho de que el petróleo es un recurso finito y delante del contexto de su próximo agotamiento, cabe pensar que el desarrollo de la agricultura con fines energéticos adquiera notable relevancia para la producción de biocombustibles (Camps & Marcos, 2002). Se denomina biocombustibles a productos combustibles originados de la transformación de biomasa a través de procesos físicos o químicos (Velazquez, 2006).

Ecuador es un potencial productor de especies frutales y forestales lo que indica que el agricultor además de comercializar sus productos tendrá la posibilidad de obtener ingresos económicos complementarios, gracias al buen manejo de los residuos generados en campo. Existen varias zonas dedicadas al cultivo de mandarina con el único objetivo de obtener productos alimentarios, dejando sin aprovechar la biomasa adquirida durante el manejo del cultivo, por desconocimiento. La biomasa procedente de las podas de los árboles de mandarina podría ser usada como un recurso renovable y ser aprovechada de manera continua sin dar un efecto negativo al medio ambiente. Ello proporcionaría un ingreso adicional a los productores, favoreciendo desarrollo rural e industrial (Velazquez, 2006).

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo general

- Determinar biomasa a partir del análisis dendrométrico en el cultivo de mandarina (*Citrus reticulata* L.) en la parroquia de Chaltura Cantón Antonio Ante provincia de Imbabura.

Objetivos Específicos

- Determinar el factor de forma en las ramas de la planta de mandarina (*Citrus reticulata* L.).
- Evaluar el volumen de las ramas del cultivo de mandarina.
- Analizar la distribución de la biomasa en las ramas de la copa del árbol.
- Definir un factor de ocupación que relacionara la biomasa contenida en la copa con un modelo geométrico que describe el volumen aparente de la copa.
- Calcular modelos de regresión para la determinación de la biomasa en la copa a partir de variables como el diámetro de copa, diámetro del tronco, altura de planta, altura de la copa o el marco de plantación.
- Calcular el coeficiente de proporcionalidad entre la biomasa obtenida en la poda y las dimensiones de la planta.

La Hipótesis fue:

Ha:La cantidad de biomasa disponible en los residuos de poda del cultivo de mandarina (*Citrus reticulata* L.) es proporcional a las variables dendrométricas de las plantas.

Ho: La cantidad de biomasa disponible en los residuos de poda del cultivo de mandarina (*Citrus reticulata* L.) no es proporcional a las variables dendrométricas de las plantas.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. DENDROMETRÍA- DASOMETRÍA

La dendrometría es la disciplina que trata de la medición de las dimensiones de los árboles individuales, el estudio de su forma y, en último término, de la determinación de su volumen. Esta disciplina se ha aplicado históricamente a árboles forestales para determinar el volumen y masa de madera obtenible de cada individuo (Zimble, 2003). Sin embargo ha sido poco estudiado en árboles frutales u ornamentales (Sajdak & Velazquez, 2012).

Por otro lado, la Dasometría es la ciencia que se ocupa de la estimación de la biomasa global de un conjunto de árboles asociados formando un sistema, tal como ocurre en los montes o en una parcela agrícola, así como del estudio de su crecimiento.

El proceso de la medición de la cantidad de biomasa existente en un determinado sistema productivo posee las siguientes fases: (1) Selección de la muestra, (2) Medición de individuos mediante métodos dendrométricos, (3) Inferencia a la población.

La expresión básica de cuantía de biomasa más empleada es el volumen. Las mediciones necesarias para cubicar directamente un árbol pueden ser costosas y lentas debido a la altura de las distintas estructuras y porque presentan formas irregulares (Prodan & Peters, 1997). Una posibilidad es el volteo o derribo de los árboles para poder medir diámetros a diferentes alturas (Salas, Reyes, & Bassaber,

2005). Pero esto supone un método destructivo. Por ello se han desarrollado métodos para estimar el volumen indirectamente a través de variables fáciles de medir como el diámetro a la altura de 1,3 m (DAP), la altura total (H_T) y altura comienzo de copa (HCC) (García, 1995).

Debido a la dificultad en la determinación del volumen de cada una de las estructuras de los árboles (ramas o fustes) son empleadas normalmente en la práctica forestal las siguientes fórmulas de aproximación (Yavuz, 1999).

$$\text{Huber, (1928): } V = g_m * L \quad (1)$$

$$\text{Smalian, (1837): } V = \frac{1}{2}(g_s + g_i) * L \quad (2)$$

$$\text{Newton: } V = \frac{1}{6}(g_s + 4g_m + g_i) * L \quad (3)$$

Dónde:

V = volumen (m³)

g_m = área basal (m²) en el punto medio de la sección

g_s = área basal (m²) en el punto superior de la sección

g_i = área basal (m²) en el punto inferior de la sección

L = largo de la sección (m)

Para la determinación de volúmenes se utilizó las fórmulas de los tres autores para lo cual se explica que V= viene a ser el volumen resultante de la aplicación de la formula, g_m= viene dado por el área basal en el punto medio, g_s= viene dado por el área basal en el punto superior, g_i= viene dado por el área basal en el punto inferior, y L= determina el largo de la sección.

Por otra parte, funciones de ajuste de volumen, han sido utilizadas por ser fáciles de aplicación, al entregar volúmenes sin necesidad de complejos cálculos matemáticos (Lencinas, Martinez, Celini, Vukasovic, Peri, & Fernandez, 2002).

La mayoría de las funciones de volumen han sido ajustadas para especies de fustes excurrentes (coníferas), utilizando combinaciones de variables simples de medir, tales como el DAP, altura total (HT) y en algunos casos un factor de forma (f). La forma ecuacional de estos modelos es en general del tipo (Prodan & Peters, 1997).

$$V = f(Dap, H_T, f) \quad (4)$$

D = DAP (cm)

HT = Altura total del árbol (m)

F = Factor de forma

Para el caso de especies de fuste latifoliado, en las cuales dos árboles de igual DAP y altura total pueden tener distintas alturas comerciales, estas funciones pueden considerar la altura comercial o la altura comienzo de copa, como variable de predicción (Higuera, 1994).

2.1.2. Tipos de funciones de volumen

En la literatura se mencionan distintos tipos de funciones de volumen, pero las principales son: Los modelos locales de volumen relacionan el volumen del árbol con sólo una variable independiente, generalmente el diámetro normal o de referencia o transformaciones y potencias de esta misma variable.

Estas funciones suelen tener carácter local de aplicación limitada al área de estudio donde se ha obtenido la ecuación, para lo cual es aplicable la relación diámetro/altura implícita en el modelo de volumen; generalmente una cierta edad y un mismo sitio. Esto nos incita a investigar ecuaciones aplicadas a los sistemas de cultivo y clima específico de Ecuador. (Según Lencinas et al. 2002)

Las funciones generales de volumen son modelos que estiman el volumen con dos o más dimensiones del árbol, por lo general el diámetro y la altura total, pero también la edad, la densidad de plantación y la calidad de sitio expresada a través del índice de sitio o la altura dominante a una edad determinada (Costas, Mac, Weber, Figueredo, Gomez, & Irschick, 2006).

Son de aplicación más amplia que las locales, debido a que la relación de las dimensiones está explícita en el modelo, lo que facilita su uso para diferentes rodales en lugares diferentes (Prodan & Peters, 1997).

Dentro de estos métodos se cuentan:

- Las funciones de razón, que estiman el volumen hasta un determinado índice como un porcentaje del volumen total del árbol (Cao, Burkhart, & Max, 1980). Por medio de dos pasos, el primero corresponde a la obtención de una ecuación de volumen para predecir el volumen total del árbol; y el segundo obtener una de transformación para estimar una proporción determinada (Prodan & Barrio, 1997; 2007).
- Las funciones de ahusamiento que son funciones matemáticas que describen el perfil fustal de un árbol o rama, permitiendo estimar tres características básicas de los árboles: diámetro a cualquier altura del fuste, altura hasta cualquier diámetro predeterminado y volumen entre dos alturas (Newham, 1992).
- Dadas las especificaciones (diámetros y largos mínimos y máximos, posición en el árbol) de la industria maderera para productos tales como trozos pulpa de celulosa, aserrables o chapas de varias calidades, utilizando las funciones de ahusamiento es posible simular el trozado de la pieza del árbol, o determinar la mejor forma de hacerlo (Garcia, 1995). En la literatura se mencionan tres tipos de funciones de ahusamiento. Las más simples corresponden a:

- I. Funciones polinómicas simples de diferentes grados, entre las cuales se hace diferencia entre las de árbol individual (Cofré, 1983). Y las de una muestra de árboles(Higuera, 1994).

- II. El segundo tipo de funciones corresponde a funciones segmentadas, que se forman de dos o tres expresiones que se activan o desactivan con respecto a la altura en que se quiera prever el diámetro (Prodan & Peters, 1997). La primera predice en la parte basal del fuste que se asemeja a un neiloide, la segunda predice para la parte media asemejándose a un paraboloides y la tercera predice en la zona cercana al ápice la cual se asemeja a un cono. Estas funciones están ligadas, en los puntos de inflexión o cambio de forma de la curva que describe el árbol(Higuera, 1994).

- III. El tercer tipo de funciones son las de exponente variable, que son ecuaciones basadas en modelos trigonométricos, en las que se asume que la forma varía constantemente dentro del fuste y representan esta variación a través de una función exponencial en la cual el exponente cambia con la altura del fuste (Higuera, 1994).

El siguiente modelo alométrico simple establece un buen ajuste para la estimación de biomasa como ecuación general para diferentes especies arbóreas en España (Moret, Jerez, & Mora, 1998).

$$V_i = \beta_0(d_i^2 h_i)^{\beta_1} \quad (5)$$

Dónde: V_i = volumen de un árbol; d_i = diámetro a la altura del pecho; h_i = altura total.

Este modelo representa un modelo intrínsecamente lineal y los residuos obtenidos a partir de él deben ser independientes y provenir de una distribución normal (Mora & Moret, 2001).

Tanto los métodos de funciones de razón como las funciones de ahusamiento han sido desarrollados principalmente para especies que presentan un tipo de fuste excurrente (conífera). Una metodología para la utilización de funciones de razón y ahusamiento en especies latifoliadas, comprobando que ambos métodos entregan resultados aplicables (Trincado, Gadow, & Sandoval, 1997). Una amplia variedad de modelos han sido desarrollados para predecir el crecimiento y la producción de rodales de distintas edades, tanto en árboles individuales como en rodales a distintas etapas de desarrollo (Peng & Apps, 1999).

Con el tiempo, el nivel general de sofisticación de los modelos de predicción ha crecido debido a la aparición de técnicas de estimación estadísticas más refinadas, la ampliación de las bases de datos, y el poder floreciente y disponibilidad de ordenadores (Peng, 2000). Así mismo estos estudios han permitido en análisis del crecimiento y modelos de producción describen la dinámica forestal con el tiempo (ej., el crecimiento, la mortalidad, la reproducción, y cambios asociados al rodal), y han sido extensamente utilizados en el manejo, debido a su capacidad de poner al día inventarios, prediciendo la futura producción, y la exploración de alternativas de manejo y opciones silvo-culturales, y así proporcionar la información necesaria para la toma de decisiones (Vanclay, 1994).

Un método de estimación no paramétrico del modelo de regresión simple, consistente en estimar β_1 de una línea de regresión para la predicción de biomasa (ecuación 6) por medio del cómputo de la mediana de las pendientes provenientes de todos los pares (x_i, y_i) , (x_j, y_j) de conjuntos de puntos con diferentes valores, donde x es el diámetro y y la biomasa (Theil, 1950).

$$y = \beta_1 \cdot x + \beta_0 \quad (6)$$

$$\beta_{ij} = \frac{y_j - y_i}{x_j - x_i} \quad \text{Para } j > i, j = 1, 2, \dots,$$

$$\beta_1 = \text{mediana}(\beta_{ij}) \quad (7)$$

Mora et al.(2001) afirman: “Las ecuaciones para estimar el volumen de árboles individuales suelen obtenerse a partir de modelos alométricos simples donde se relacionan el volumen de un árbol con el DAP y altura total.” Los datos que se utilizaron en el análisis de regresión deben cumplir los supuestos de normalidad, independencia y homogeneidad de varianzas(Segura & Andrade, 2008). En caso de no cumplirse algunos de ellos, entonces se transforman las variables usando logaritmos (naturales y en base 10), potencias y raíces. Una gráfica de valores observados en función de la variable independiente (x) puede indicar la necesidad de transformar los datos. Cuando no sea posible linealizar mediante transformaciones, se utilizaron modelos de regresión no lineal, para la estimación de los parámetros de un modelo por regresión no lineal (Walpole & Myers, 1992). Se utilizó el criterio de minimizar la diferencia entre la función estimada y la observada a través del criterio definido como: “Loss-Function” (Schorfheide, 2000). Mora et al.(2001) afirman Cuanto menor sea esta función, mejor será el ajuste.

$$\text{Loss-Function} = \sum_{i=1}^n (V_i - \hat{V}_i)^2 \quad (8)$$

Dónde: V_i = volumen de un árbol; \hat{V}_i = volumen estimado de un árbol.

Costas et al. (2006) afirman que: “Los modelos estimativos de la biomasa de un rodal forestal o una parcela agrícola deberían incluir la variable poda, siendo estos métodos de estimación modernos más sensibles, biológicamente más razonables, y más eficientes que los disponibles actualmente, que predicen la producción en función únicamente de la edad, la densidad y la calidad de sitio.”

Costas et al. (2006) afirman que: “Los resultados del efecto de la proporción de longitud de copa sobre el diámetro medio, coinciden por las funciones predictivas del diámetro a la altura de pecho de cada árbol obtenidas, construidas con datos de plantaciones de edades entre 8 y 25 años.”

2.1.3. Sensores remotos

El acelerado desarrollo de sensores satelitales modernos permitió ya desde el año 1972 la utilización efectiva de datos satelitales para la clasificación indirecta de los sistemas vegetales (Hyypä, 2008). Y para la estimación cuantitativa de parámetros de rodales o parcelas (Estornell, Ruiz, Velázquez, & Fernandez, 2011).

Lencinas et al. (2002) afirman que: “Los datos multi-espectrales provenientes de la teledetección espacial son utilizados para estimar un amplio número de variables biofísicas, tales como volumen y biomasa de las superficies vegetales, índice de área foliar, humedad y temperatura.” En este sentido, se puede hablar de dos tipos de sensores: pasivos, cuando se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior a ellos, y activos, cuando son capaces de emitir su propio haz de energía (Estornell, 2011).

El desarrollo de las técnicas de medición de biomasa a partir de las señales percibidas por los sensores remotos implica el desarrollo de métodos de medición de biomasa en campo para poder relacionar ambos parámetros (Estornell, Ruiz, Velázquez, & Hermosilla, 2012). Es por ello que investigaciones orientadas al cálculo de biomasa en las parcelas agrícolas supone una oportunidad científica de enorme interés.

2.2. CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LA BIOMASA.

Cada tipo de biomasa tiene características específicas que determinan su funcionamiento como combustible en la gasificación, combustión o ambas. Las características más importantes referentes a la conversión térmica de la biomasa son las siguientes: Contenido de humedad, contenido de ceniza, contenido de materia volátil, composición elemental, densidad aparente.

En la literatura disponible, diversos indicadores son frecuentemente usados para cuantificar las características anteriormente mencionadas, causando confusión. Por lo tanto la definición de estos indicadores y las relaciones entre ellos se acentúan aquí,

en la definición de las características de la biomasa, es importante observar que consiste en el agua, la ceniza y la materia libre de ceniza que la proporción de cada una es crítica en la evaluación de la convivencia de la biomasa como combustible.

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

Los estados típicos de la biomasa se pueden encontrar en diferentes recursos en la naturaleza y el medio. (Tabla No 1).

Tabla No. 1 Estados típicos de la biomasa.

Recursos de biomasa	Tipo de residuo	Características físicas
Residuos forestales	Restos de aserrío: corteza, aserrín, astillas	Polvo, Sólido, $HR^2 > 50\%$
	Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas	Polvo Sólido HR 30-45%
	Restos de plantaciones: ramas, cortezas, raíces.	Sólido, HR > 55%
Residuos agropecuarios	Cascara y pulpa de frutas y vegetales	Sólido alto contenido de humedad
	Cascara y polvo de granos secos (arroz, café)	Polvo, HR < 25%
	Estiércol Residuos de cosechas: tallos y hojas, cascaras, malezas y pasturas	Sólido alto contenido de humedad Sólido, HR > 55%
Residuos industriales	Residuos de procesamiento de cranes Grasas y aceites vegetales	Sólido alto contenido de humedad Líquido, grasoso
Residuos urbanos	Aguas negras	Líquido
	Desechos domésticos orgánicos	Sólido alto contenido de humedad
	Basura orgánica (madera)	Sólido alto contenido de humedad

Fuente:(FOCER, 2002).

2.3. LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE

Según (Velazquez, 2006) menciona que: “Se denomina biomasa a la materia orgánica no fosilizada originada de un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía aunque puede tener otros usos”.

Las fuentes de biomasa son los sistemas de producción agrícola, los sistemas forestales y los sistemas marinos. Ya que en todo proceso se obtiene residuos los cuales sometidos a transformación también se los considera como fuente de biomasa.

Los numerosos orígenes de las fuentes de biomasa con destino energético. (Tabla No 2).

Tabla No. 2 Fuentes de origen de la biomasa con destino energético.

		Especie o procedencia
Cultivos energéticos: Son plantas especialmente cultivadas para su posterior transformación a biocombustibles.	Agrícolas	Cardo, sorgo, mistancho, girasol, soja, maíz, trigo, cebada, remolacha, especies C4 agrícolas.
	Forestales	Chopos, sauces, eucaliptos, robinas, acacias y especies C4 forestales.
Restos de cultivos agrícolas	Cultivos herbáceos	Paja, restos de cereales, restos de cultivos hortícolas.
	Cultivos leñosos	Poda o eliminaciones de plantaciones de olivo, vid, frutales de hueso o pepita, cítricos, etc.
Restos de operaciones silvícolas		Cortas finales, podas, claras, clareos, apertura de vías y pistas forestales, limpieza de bosques para prevención de incendios, catástrofes forestales (incendios)
Restos de las industrias agroalimentarias		Piel de frutos (cítricos), cascaras (almendra, cacahuete...), huesos (aceituna), pulpa en industrias de zumo, etc...
Restos de industrias forestales		Serrines y virutas, polvo de lijado, corteza, tacos y recortes
Restos de las explotaciones ganaderas		Purines, cama animal, animales fallecidos
Productos o restos marinos		Algas, conchas, etc...
Actividades humanas		Residuos alimenticios, papel otros residuos industriales

Fuente: (Camps & Marcos, 2002).

2.4. BIOMASA PROCEDENTE DE PODAS

Las fuentes de biomasa de las plantaciones de árboles frutales son principalmente las podas y la renovación de árboles. Este tipo de operaciones produce materiales leñosos susceptibles de ser transformados en biocombustibles mediante tratamientos físicos o químicos, o en materia prima para la industria maderera. Esta sección tiene por objeto determinar los parámetros más importantes que influyen en la cantidad de residuos generados, y poner de manifiesto los estudios e investigaciones más relevantes acerca de la cuantificación, recogida de los mismos y su transformación (Velázquez & Annevelink, 2009). Los brotes de los árboles se realizan a partir de unos órganos llamados yemas. Cuando los árboles son jóvenes prácticamente todas las yemas son de madera, es decir, que se desarrollan dando chupones que se convertirán en ramas (Gil, 1989). A medida que el árbol va madurando cada año sufre un proceso morfológico, fisiológico y químico por el que se transforman algunas yemas de madera en yemas de flor o yemas mixtas. A este proceso se le denomina Diferenciación Floral. La diferenciación de yemas se produce generalmente en un periodo vegetativo anterior a la floración producto de la misma. Es decir, lo normal es que un árbol se diferencie en el periodo vegetativo X y florezca en el periodo vegetativo X+1. El periodo vegetativo suele durar un año.

En el sector agrícola la producción de frutos, independientemente del destino final de los mismos (consumo directo, elaboración de vino, extracción de aceites etc.) implica que es preciso una poda anual en los correspondientes árboles, en unos casos esta poda puede tener diferente intensidad de unos años a otros y dependiendo de qué tipo de frutal se trata (Morales, 2008).

Tabla No. 3 Estimaciones de biomasa residual de distintos cultivos según autores.

Cultivo	Di Blasi t/ha	Bioval (2005) t/ha	IIE (2008) t/ha
Olivo	1,70	2,27	2,50
Viña	2,90	2,66	2,50
Melocotonero	2,90	3,24	3,00
Albaricoquero	2,00	2,25	1,24
Almendro	1,70	2,05	1,74
Naranja	1,80	4,57	4,00
Mandarino	-	4,53	4,00

Fuente: Perpiñá et al. (2008).

A pesar de que todos los estudios están realizados en la zona de influencia mediterránea, existen diferencias significativas en las cuantificaciones que se han obtenido. Esto puede ser debido a la gran variabilidad de formas de manejo de los cultivos y a las múltiples técnicas de poda que se llevan a cabo. El olivo puede ser podado anual o bianualmente, e incluso en la misma zona geográfica se encuentran razones bien argumentadas que defienden una u otra opción (Ortega, 1969). Evidentemente, la masa que se obtiene de la poda bianual, es mayor que la que procede de la poda anual. (Mientras que la vid se poda anualmente de manera contundente, los olivos, los naranjos y los mandarinos sufren una poda anual suave y cada dos o tres años se realiza la poda severa). Por lo tanto el residuo de la poda de frutales es un recurso asegurada cada año (Morales, 2008)

2.4.1. Factor Intensidad de la poda

Nos referimos a la intensidad de poda cuando pensamos en la cantidad de vegetación que se deberá quita al árbol (Velázquez & fernandez, 2009).

Una rama que consideremos centrada puede quitarse o no, depende del punto de vista del podador, pero nunca pasarnos en la intensidad de la poda, ya que si lo hacemos romperemos el equilibrio entre la copa y las raíces y la planta tratara de restablecer este equilibrio lo más rápidamente posible, esto quiere decir que emitirá lo más probable chupones en zonal no deseadas (Rodriguez & Villalba, 2005).

La intensidad de la poda con el objetivo previsto a obtener se detalla en la siguiente tabla:

Tabla No. 4 Clasificación de las intensidades de poda

Intensidad de la Poda	% eliminado	Objetivo previsto
MUY FUERTE	50	<ul style="list-style-type: none"> •Renovación copa con o sin cambio de variedad •Facilitar la iluminación del árbol
FUERTE	30	<ul style="list-style-type: none"> •Renovación de parte de la copa •Regulación floración
NORMAL	20	<ul style="list-style-type: none"> •Regulación de la producción •Equilibrio vegetación fructificación
LIGERA	10	<ul style="list-style-type: none"> •Limpieza de ramas

Fuente: (Rodríguez & Villalba, 2005).

2.4.2. Modelos de regresión para la predicción de la biomasa producida.

Se procede a formular un modelo de regresión que permita analizar la relación entre la biomasa obtenida por árbol (BFA) y por hectárea (BFH) en operaciones de “poda” y otras variables de las que ésta depende o puede depender. Las variables cuantitativas son: Altura del árbol (**h**), indica la altura del individuo, expresada en metros, altura de la copa (**hc**), indica la altura desde la cruz del árbol hasta el suelo, expresada en metros, edad (**e**), indica la edad del individuo en años, diámetro de tronco (**dt**), indica la amplitud del diámetro del tronco expresado en cm, marco plantación (**m**), representa la superficie que tiene cada individuo en la parcela, expresada en m², producción (**p**), expresa la cantidad de toneladas por hectárea de frutos que se obtienen en cada cultivo.

Velázquez & fernandez, (2009) Afirman: “Inicialmente probaron un modelo lineal. Posteriormente, para mejorar el coeficiente de determinación r², probaron relaciones no lineales formadas por los cuadrados de las variables independientes o por el producto de éstas. Dado que el p-valor en la tabla ADEVA es menor que 0,01, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables del modelo, con un

nivel de confianza del 99%. El r^2 de los modelos lineales se sitúa alrededor de 0,72 y 0,63. Esto indica que el modelo explica un 72% de la variabilidad en la cantidad de toneladas de biomasa seca obtenida por árbol y el 63% de la variabilidad de las de biomasa obtenida por hectárea. El error absoluto medio es de 1,59 kg/árbol y 0,58 t/ha que representa el error medio cometido en la predicción usando las ecuaciones lineales calculadas. Este error disminuye considerablemente hasta 0,77 cuando utilizamos para la predicción un modelo cuadrático”. Como ya se ha indicado anteriormente, al introducir en las ecuaciones de predicción componentes cuadráticas mejora sustancialmente el coeficiente de determinación y se reducen los errores absolutos medios y dispersión de los mismos.

Se demuestra, las ecuaciones de regresión, lineal y cuadrática que se han obtenido para los frutales en t/ha(Tabla No 5).

Tabla No. 5. Ecuaciones de predicción de la biomasa obtenida por hectárea en la poda de frutales.

Frutales
<p>Modelo Lineal $BFA(kg \text{ árbol}) = -2,512 - 8,717 \cdot r + 0,320 p + 0,046 \cdot h + 2,284 \cdot h$</p>
<p>Modelo Cuadrático $BFA(kg \text{ árbol}) = -9,881 - 1,855 \cdot p + 1,539 \cdot r \cdot p - 0,363 \cdot r \cdot hc - 7,890 \cdot r \cdot h + 0,008 \cdot p \cdot hc - 0,398 \cdot p \cdot h$</p>
<p>Modelo $BFH(t / ha) = -0,638 + 0,022 \cdot h + 0,166 \cdot p - 2,181 \cdot r$ Lineal</p>
<p>Modelo Cuadrático $BFH(t / ha) = 1,142 + 0,002 \cdot h \cdot p - 0,011 \cdot hc \cdot r$</p>

Fuente:(Fernández & Velázquez, 2010).

Del estudio realizado se llega a la conclusión de que la cantidad de biomasa extraíble de los cultivos mediterráneos depende de múltiples factores como variedad, especie o técnicas culturales. Las cuantificaciones de materia seca por árbol. (Tabla No 6).

Tabla No. 6. Cuantificaciones medias de materia seca por árbol.

Cultivo	Tipo	Media peso seco madera kg/árbol	Desv. Típica peso seco
Olivo	Anual	6,445	1,235
	Bianual	28,956	3,742
Uva de mesa	Espaldera alta	1,536	0,233
	Espaldera baja	1,014	0,224
	Parral	3,537	1,527
Uva de vinificación	Vaso	0,847	0,277
	Espaldera	0,762	0,312
Almendro		8,242	4,389
Naranja		5,324	2,456
Mandarino		5,064	2,112
Albaricoquero		9,981	3,700
Ciruelo		1,845	1,332
Melocotonero		10,454	6,553
Nectarino		7,497	4,493
Palmeras		30,45	7,434

Fuente:(Fernández & Velázquez, 2010).

2.5. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS

2.5.1. Caracterización de los residuos

A continuación se presentan los valores de las propiedades de los residuos estudiados: humedad, cenizas, material volátil.

Tabla No. 7. Propiedades de los residuos estudiados.

	% Humedad madera recién cortada	% Cenizas	% Humedad madera seca	% Volátiles
Albaricoque	37,39	2,1	3,7	79,8
Almendro	23,05	0,8	3,6	81,4
Melocotón	25,03	7,89	9,29	77,1
Cítricos sin hojas	36,05	5,2	5	77,6
Cítricos con hojas	30,12	1,2	3,9	80,1
Olivo sin hojas	32,32	3	4,7	53,3
Olivo con	29,33	1,2	4	81

hojas				
Vid	40,3	5,01	8,93	70,7

Fuente: (Fernández & Velázquez, 2010).

Se puede observar que en general las propiedades de las muestras recién cortadas de las distintas especies analizadas son bastante uniformes. Las cantidades de humedad presentes en las muestras no son apropiadas para que la biomasa sea empleada energéticamente al ser mayor de 10%, por lo que tiene que someterse a un secado previo antes de ser combustionadas directamente. El contenido de cenizas detectado es bajo, lo que posibilita el empleo de la biomasa en tecnologías térmicas de aprovechamiento como la combustión o la gasificación. El contenido energético de la biomasa es igual homogéneo (lo que indica que se podría utilizar una mezcla de residuos para incrementar la disponibilidad de materia prima). (Tabla No 7).

2.6. CULTIVO DE MANDARINA

2.6.1. Origen y distribución

Los cítricos se originaron hace unos 20 millones de años en el Sur este asiático. Desde entonces hasta ahora han sufrido numerosas modificaciones debidas a la selección natural y a hibridaciones tanto naturales como producidas por el hombre. La dispersión de los cítricos desde sus lugares de origen se debió fundamentalmente a los grandes movimientos migratorios: conquistas de Alejandro Magno, expansión del Islam, cruzadas, descubrimiento de América, etc.

En el Ecuador podemos encontrar que las zonas aptas para el desarrollo de cultivos están en las estribaciones de la cordillera, valles secos de la Sierra, y zonas tropicales húmedas, se cultiva en casi todas las provincias del país, con mayor cobertura dentro de las provincias de: Los Ríos, Bolívar, Carchi, Imbabura, Tungurahua, Azuay, Chimborazo, El Oro, Manabí, Sucumbíos, Napo, Pastaza y Morona Santiago (INFOAGRO, 2002).

Según datos del Proyecto de Sistema de Información Comercial Agropecuaria (SICA) del Ministerio de Agricultura, podemos ver que en el Ecuador existe una superficie plantada de 12873 hectáreas, de las cuales se cosecha 11312 hectáreas, de lo que se obtiene una producción de 10731 Toneladas de lo que se vende 9887 toneladas.

2.6.2. Taxonomía

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliosida

Orden: Sapindales

Familia: *Rutaceae*

Género: Citrus

Especie: *Citrus reticulata* L.

Nombre común: mandarina, mandarino (INFOAGRO, 2002).

2.6.3. Descripción botánica

El árbol de mandarina es un árbol pequeño de 2 a 6 m de altura a comparación del naranjo (Salinas & Ramos, 1998). Las características botánicas son:

❖ Raíz

Sistema de raíz pivotante que puede alcanzar hasta 1,50 m de profundidad. La mayor densidad de raíces secundarias se encuentra a los 80 cm y pueden alcanzar longitudes entre 6 y 7 m, en sentido horizontal (Salinas & Ramos, 1998).

❖ Tallo

Son plantas de un solo troncode forma cilíndrica y ramificación variablecon la especie y la variedad. El tronco joven es de color verde y va adquiriendo una coloración cada vez más parda a medida que sus tejidos externos se van suberificando (Salinas & Ramos, 1998).

❖ **Hojas**

Hojas alternas, punteadas, glandulares, lanceoladas, acuminadas enteras o finamente crenado- serruladas, son pequeñas y poseen peciolo de 2.5 a 5 cm de largo, alados, angostos y articulares con sus correspondientes limbos(Salinas & Ramos, 1998).

❖ **Flores**

Son individuales de color blanco, pentámeras, con 18 a 24 estambres, pueden presentarse en racimos, pero nunca forman una inflorescencia ramificada, el cáliz de 4-5 sépalos libres o soldados de prefoliación imbricada, ovario plurilocular y el estilo largo y caedizo(Salinas & Ramos, 1998).

❖ **Fruto**

El fruto es globoso y deprimido, liso o algo rugoso, brillante de color anaranjado rojizo, con la cascara más foja y los segmentos o gajos de la pulpa fácilmente separables, mide de 2.5 a 7.5 cm de diámetro y sus semillas son blancas y puntiagudas(Salinas & Ramos, 1998).

2.6.4. Variedades

Las variedades de mandarina están dadas por su vigor, características del fruto (tamaño, calidad de la corteza, número de gajos, cantidad de zumo, azúcares (g/l), semillas por fruto, color rusticidad, resistencia a humedades, etc.). En el Ecuador encontramos diferentes cantidades de variedades como se las detalla a continuación:

- Satsumas: más precoces, fruto de mayor tamaño y peor calidad gustativa, sin semilla, destaca la variedad Clausellina.
- Clementinas: más tardías, de menor tamaño, mejor calidad gustativas y asemilladas destaca la variedad Clemenules.
- Otros tipos: ornamentales, mandarino Cleopatra, híbridos Nova, Citroyer, Fortune, etc (INFOAGRO, 2002).

2.7. AGROECOLOGÍA DEL CULTIVO

2.7.1. Clima

La granja experimental La Pradera donde se realizó la investigación cuenta con las siguientes características climáticas. Temperatura media anual: 14 –16°C

Precipitación media anual: 500 -750 mm

Clima: Sub-húmedo temperado. (INAMHI, 2008, INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA)

2.7.2. Altitud

La altitud del cultivo de mandarina varía según la variedad, sin embargo este cultivo se puede adaptar desde los 0 msnm hasta los 2500 msnm(Benacchio, 1982). Pero la altura optima va desde los 500 a 1200 msnm(Ruiz, 1981).

2.7.3. Precipitación

Para mantener niveles adecuados de humedad en el suelo se requieren entre 1000 a 2000 mm ya que cuando existe un déficit de agua puede ocasionar daños en el fruto (Reuther, 1988).

2.7.4. Temperatura

El crecimiento vegetativo se detiene con temperaturas menores de 15.5°C y se incrementa progresivamente hasta 30°C. La temperatura optima está entre los 20°C a 27°C(Reuther, 1988)

2.7.5. Luz

El aumento de los sólidos solubles totales de la fruta, está en función directa con la luminosidad. Las futas que se encuentran más expuestas a la luz, ubicadas hacia el exterior de la copa son más ricas en vitamina C que aquellas que se encuentran en la parte interior (Reuther, 1988).

2.7.6. Suelo

La mandarina se cultiva en una amplia variedad de suelos, que van desde texturas arcillosas a arenosas, también en suelos con pH ácidos o con tendencias a la alcalinidad (Malavolta, 1980).

El rango óptimo de pH es de 5 a 6, con valores más bajos se presentan problemas en el desarrollo de la planta por deficiencias de Calcio (Ca) de Magnesio (Mg), con valores superiores a 6 se presentan problemas de fijación con el Hierro (Fe) y el Zinc (Zn) (Malavolta, 1980).

2.7.8. Riegos

Se trata de especies que demandan grandes aportes de agua (9.000-12.000 m³/ha). En parcelas pequeñas se aplicaba el riego por inundación, aunque la tendencia actual es a emplear el riego localizado y riego por aspersión en grandes extensiones de zonas frías, ya que supone una protección contra las heladas(Ruiz, 1981).

2.8. PREPARACIÓN DEL SUELO

2.8.1. Arada

Esta labor se realiza generalmente después del segundo pase del subsolado, tienen como objetivo fracturar y voltear el suelo hasta una profundidad de 30 a 40 cm, con el fin de favorecer la distribución de los agregados (Rodríguez, 1995).

2.8.2. Rastrada y nivelada

Tiene como finalidad destruir los terrones grandes resultantes en las labores antes mencionadas y garantizar de esta manera el buen contacto de las raíces con el suelo y sus nutrientes(Rodríguez, 1995).

2.8.3. Plantación

Los marcos son menores a los del naranjo con excepción del híbrido Fortune con un marco de plantación de 6 x 6 para los mandarinos más pequeños se aplican marcos de 4,5 x 4,5, 4 x 4 o 5,5 x 4 (INFOAGRO, 2002).

2.8.4. Trazado y hoyado

Al hacer el hoyo se debe colocar la primera capa de tierra a un lado y la del fondo al otro lado ya que al momento de la siembra la tierra de encima es revuelta con media libra de ceniza, abono tipo bocashi o materia orgánica y colocarle al fondo del hoyo (INFOAGRO, 2002).

2.8.5. Fertilización

La fertilización de cultivos y frutales es una de las prácticas agronómicas más importantes junto al riego, ya que permite sustentar una producción alta y de calidad. Para lograr estos objetivos los programas de fertilización deben considerar, no solo la aplicación de fertilizantes químicos también, la incorporación de enmiendas ya sea orgánica e inorgánica. Los requerimientos nutricionales del cultivo dependen de la edad vegetativa, hidrología del suelo y desgaste, ya que la mandarina se pueden desarrollar bajo una amplia gama de niveles de nutrimentos, es imposible definir un solo programa de fertilización que sea universal para cada tipo de suelo y especie citrícola (SAGARPA, 2008).

2.9. PODAS

2.9.1. Poda de formación

Se inicia en arboles pequeños para darles una adecuada forma y estructura según se requiera, además esto influirá después en el proceso de fructificación, ya que al ser el árbol podado se logra un balance equilibrado de la relación madera- follaje (Baudilio, 1967).

2.9.2. Poda de fructificación

Esta poda se la debe realizar para mantener un balance entre el volumen del follaje y la fructificación para alcanzar el máximo potencial productivo. La poda de árboles adultos efectuada con regularidad permite mantener altos rendimientos e incrementar la vida productiva de la huerta(Baudilio, 1967).

2.10. PLAGAS, ENFERMEDADES Y VIRUS

Dentro del complejo de plagas, enfermedades y virus que afectan al cultivo de mandarina se encuentra: Minador de los cítricos (*Phyllocnistiscitrella*), cochinilla (*Pseudococcuscryptus*), araña roja (*Tetranychusurticae*), (*Phytophthoraspp.*), virus de la tristeza, exocortis y psoriasis(INFOAGRO, 2002).

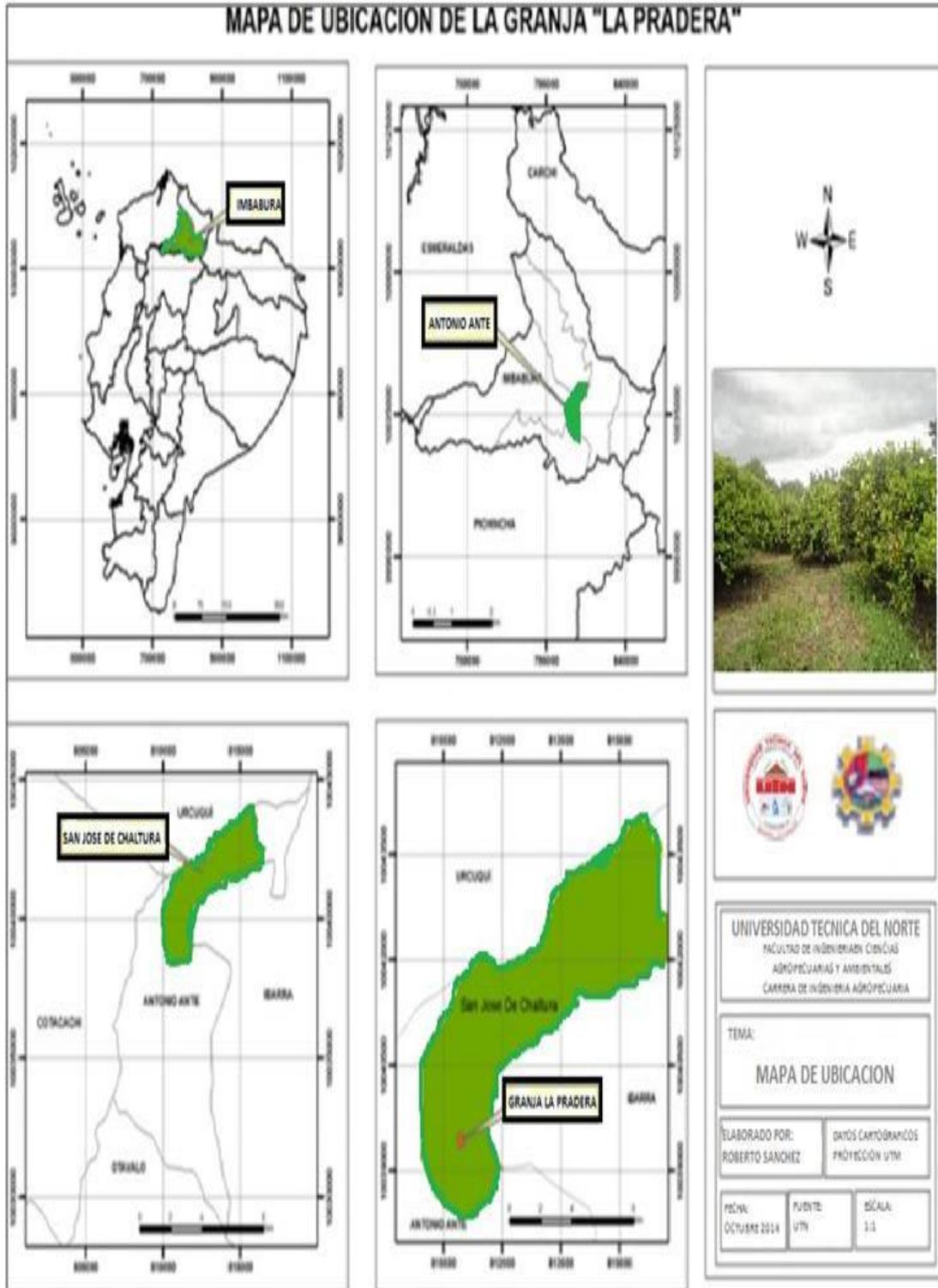
CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La presente investigación se realizó en la Granja Experimental ‘‘La Pradera’’, ubicada en la parroquia de Chaltura, cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura, en las coordenadas: X= 810913-E Y=10039425-N, altitud 2.350 msnm, temperatura media anual 16,4°C, precipitación media anual de 600 a 800 mm y humedad relativa de 68,9% (Gobierno Municipal de Antonio Ante, 2013).

AREA DE INVESTIGACIÓN



3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. Materiales

Los materiales utilizados para la ejecución de esta investigación, semuestraa continuación:

MATERIALES

Cantidad	Descripción
1	Cinta métrica
1	Pértiga
1	Segueta
1	Tijeras de podar
1	Pie de rey
1	Piola
5	Bandejas plásticas

En la tabla se describe los materiales utilizados por el investigador para realizar las actividades de corte y medición de tallos procesos que son necesarias en el desarrollo y ejecución de la investigación.

3.2.2. Equipos

Los equipos utilizados para la ejecución de esta investigación, son detallados a continuación:

EQUIPOS

Cantidad	Hipsómetro vertex
1	Balanza
1	Forcípula
1	Dinamómetro
1	Equipos de filmación
1	Horno de secamiento
1	Horno especial para cenizas

En la tabla se describen los equipos utilizados por el investigador para realizar las actividades de corte y medición de tallos procesos que son necesarias en el desarrollo y ejecución de la investigación

3.3. MÉTODOS

3.3.1. Factor en estudio

Cuantificación de biomasa mediante el muestreo de 30 árboles al azar en una plantación de mandarina, de acuerdo a la metodología de Velázquez (2009).

3.3.2. Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico se utilizará el programa Sthatagraphics 5.1 y para la obtención de los datos extraídos de campo en cada una de las unidades experimentales se basó en lo siguiente:

1. Análisis unidimensional de las variables cuantitativas, determinando los estadísticos de la media, desviación típica, coeficientes de curtosis y asimetría, a partir de los cuales se analizó la normalidad de los datos.
2. Análisis multidimensional de las variables cuantitativas (factores) a partir de la comparación de cada par de variables, tomando en cuenta que el coeficiente de correlación de Pearson indica las relaciones entre variables, ya sean positivas, negativas o neutras.
3. Análisis de la influencia de los factores cualitativos a través del ADEVA de los mismos.
4. Desarrollo de modelos de regresión para predecir las variables respuesta, en base en las mediciones dendrométricas realizadas.
5. Validación del modelo de predicción mediante el análisis de comparación entre variable observable y las variables predichas a través de la prueba de t de student.

3.3.3. Variables Evaluadas

1. Análisis de predicción de la biomasa residual procedente de la poda en el árbol entero.
2. Análisis dendrométrico de ramas.
3. Análisis dendrométrico de la planta entera.
4. Análisis del material vegetal seleccionado en laboratorio (volátiles, humedad, densidad, cenizas).

3.3.4. Características del Experimento

Unidades experimentales Un árbol de mandarina

3.3.5. Características de la unidad experimental

La unidad experimental fue un árbol de mandarina de la variedad “aurantifolia” de (30) años de edad, en producción y una densidad de siembra en la plantación.

3.4. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

3.4.1. Selección e identificación.

La parroquia de Chaltura del cantón Antonio Ante posee una riqueza agrícola de gran importancia para la provincia, por tal razón se eligió esta zona para ejecutar la presente investigación. De las 27 hectáreas de extensión, existe una plantación de cultivo de mandarina, se seleccionaron treinta (30) árboles al azar, bajo un marco de plantación de 4 x 4 m. Los árboles fueron identificados con la numeración de 1 al 30, con pintura azul en la base de su tallo principal y con rótulos de madera.

3.4.2. Análisis de predicción de la biomasa residual procedente de la poda en el árbol entero.

Antes de realizar las podas de fructificación y fitosanitarias en las plantas, se tomaron los datos de las siguientes variables: Diámetro de tronco (cm), Diámetro de copa (m), Altura de la copa al suelo (cm) y Altura del árbol (m). (Anexo N° 2).

Diámetro del tronco: utilizando un pie de rey, se procedió a realizar la medida del tronco del árbol, los resultados se expresaron en cm. Como los troncos de los árboles fueron uniformes, se tomó una sola medida, de acuerdo a investigaciones de Borja Velázquez Martí, (2010)

Diámetro de la copa: con un flexómetro, se midió la distancia del borde externo dominante hacia el centro del tronco principal de la planta y se multiplicó por dos (2), obteniéndose el diámetro de copa en metros.

Altura de la copa al suelo: con el flexómetro, se midió la distancia desde el suelo hacia el punto de inicio de la bifurcación de los ejes primarios de la planta. (Inicio de la copa), la medida fue registrada en centímetros.

Altura del árbol: con la ayuda de una pértiga y un operario, se midió la altura de la planta, colocando la pértiga en el centro del árbol junto al tronco, el mismo que prolonga la pértiga hacia arriba del árbol y con la ayuda de un ojeador que observa si la pértiga está al nivel de la planta, se obtuvo el dato correspondiente en metros.

3.4.3. Poda del cultivo.

Se realizó una poda de raleo baja debido a que las flores son sumamente susceptibles a la caída por el movimiento, de esta manera se aprovechó la poda también para la eliminación de ramas nulas y chupones que habían brotado en el árbol.

3.4.4. Peso de los residuos de poda

Las ramas y ramillas cortadas a través de la poda de cada árbol o unidad experimental fueron engavilladas y pesadas utilizando un dinamómetro o balanza. Luego, las ramas fueron deshojadas para determinar el porcentaje de masa foliar y la masa de madera (Anexo 2).

3.4.5. Análisis dendrométrico de las ramas.

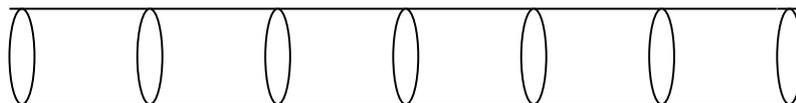
Se muestrearon 30 ramas, una por cada árbol o unidad experimental, a las que se realizaron las mediciones del diámetro de la base, longitud de la rama, diámetros a distintas longitudes (cada 10 cm), volumen real de la rama (cm)

$$\left(\frac{1}{3} \pi R^2 L \right), \text{ Volumen modelo (Cilindro: } V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L) \text{ y}$$

$$\text{factor de forma } (f = \frac{\text{Volumen real de la estructura analizada}}{\text{Volumen del modelo}}). \text{ (Anexo N° 3). (9)}$$

Los datos del diámetro de la base se obtuvo a través de la medición con el pie de rey digital y la longitud de la rama se obtuvo las mediciones con una cinta métrica en cm.

Para el cálculo del volumen real de una rama, se dividió la rama en partes iguales (10 cm), tal como se indica en la Figura 4; se midió el diámetro ecuatorial de la sección de forma, obteniendo el diámetro inicial y final de cada intervalo.



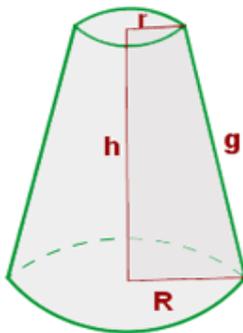
$$d_1 d_2 d_3 d_4 d_5 d_6 d_i \dots$$

Figura N°. 1. Mediciones de diámetros cada cierto intervalo.

Cada porción fue considerada como un tronco de cono, cuyo volumen se calculó con la ecuación de Smailan volumen de un cono truncado. La suma de todos los volúmenes de cada una de las porciones calculadas fue el volumen real de la rama.

Volumen de un cono truncado.

$$V_i = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R^2 + r^2 + R \cdot r) \quad (10)$$



Ecuación de Smailan.

$$V_i = \pi \cdot h \cdot R_a^2 \quad \text{Dónde: } R_a = \frac{R+r}{2} \quad (11)$$

Volumen real de la rama.

$$V_{real} = \sum_1^i V_i \quad (12)$$

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

Fuente: (Velázquez, 2006).

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.

$$V_{cilindro} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L \quad (13)$$

En principio el coeficiente mórfico fue un parámetro característico de la especie y clase diamétrica. No obstante, para cada una de las determinaciones realizadas existió una variabilidad estadística, donde se determinó la media y la dispersión para cada uno de los casos. Como se pudo observar la obtención del coeficiente mórfico (f) permitió determinar el volumen de cualquier estructura midiendo el diámetro basal y su longitud.

El volumen de cada rama (V_i) de mandarina se determinó a partir de su coeficiente mórfo (f), cociente entre el volumen real y un volumen geométrico modelo.

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

3.4.6. Análisis dendrométrico de la planta entera.

Se identificó los estratos de las ramas de la planta de mandarina. El primer estrato estuvo constituido por las ramas de la base de la copa, a las cuales se midió su diámetro y su longitud, que por lo general fueron en número reducido (2 - 4 ramas) y de mayor diámetro. El segundo estrato estuvo constituido por las ramas que se ramificaron del primer estrato; se contabilizaron todos ellos (ocurrencia: veces que se repite la rama en un mismo estrato) para determinar el volumen de biomasa; luego, se seleccionó la rama más representativa, al que se midió su diámetro y su longitud. Seguidamente se ubicó el tercero, cuarto y quinto estrato siguiendo la misma metodología descrita para el segundo estrato.

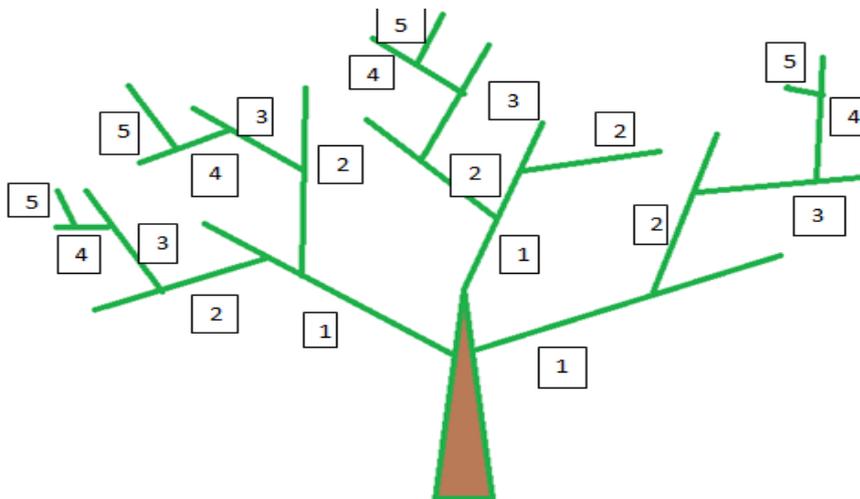


Figura N°. 3. Distribución del árbol por estratos.

Fuente: (Autor).

Una vez determinado el coeficiente de forma de mandarina, se calculó el volumen real de todas las ramas existentes en cada estrato y se estimó el volumen real que

ocupa todo el árbol. Se determinó el volumen real del árbol entero y por estratos (Anexo 7), analizando su evolución según la edad, diámetro y altura de la copa, representando en cuadros y gráficas que muestran la distribución de biomasa por estratos en la copa. Se determinó si existe tendencia a la concentración de la biomasa en uno o más estratos. Se confeccionaron gráficos y tablas que ayuden a la visualización de esta supuesta concentración de biomasa.

Se determinó el volumen aparente de las copas, determinado por su diámetro y la altura media de las mismas que va desde la base al ápice. La finalidad fue relacionar el volumen aparente (materiales y huecos) con el volumen real del material contenido en la copa (madera, hojas y frutos). El diámetro de la copa es un promedio de dos segmentos que se intersecan en el centro de la proyección de la copa formando un ángulo de 90°. El diámetro y la altura media de las copas dieron diferentes modelos geométricos de volumen aparente que se relacionó con el volumen real, y a través de la densidad con la biomasa.

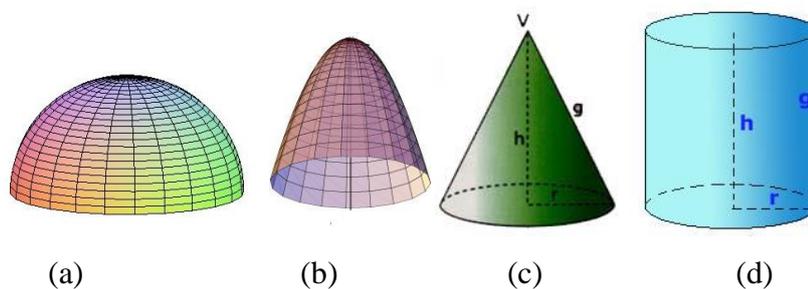


Figura N°. 4. Modelos de crecimiento de copas arbóreas en una superficie determinada: (a) semi-elipse, (b) paraboloide, (c) crecimiento cónico, (d) crecimiento cilíndrico.

Fuente: (Velázquez, 2006).

La relación entre el volumen aparente de la copa y el volumen real de las ramas existentes en mandarina se le denominó factor de ocupación (*FO*) que se expresó en la siguiente ecuación.

$$FO = \frac{\text{Volumen real de copa}}{\text{Volumen aparente de copa}} \quad (15)$$

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

3.4.7. Análisis del material vegetal seleccionado en laboratorio.

En el laboratorio de Biología de la Universidad técnica de Ambato se realizó una caracterización energética de la biomasa leñosa obtenida con el objeto de determinar su aptitud para ser utilizados en procesos de combustión en calderas. Esta valoración de la aptitud se realizó con base en los siguientes parámetros físicos: porcentaje de humedad, densidad, porcentaje de volátiles, porcentaje de ceniza del material lignocelulósico de mandarina.

- **Humedad**

El contenido de humedad se determinó mediante la norma INTITEC, un método para la determinación del contenido humedad de todas las muestras madereras.

Procedimiento:

1. Se tomo la muestra de cinco (5) arboles al azar, ramas de mandarina ya que tienen la misma edad.
2. Las ramas seleccionadas se cortaron en segmentos de 10 cm cada una y se colocaron en bandejas de plástico para evitar así la perdida de humedad.
3. En el laboratorio, para la determinación del contenido de humedad (CH); se pesaron cada una de las muestras en estado verde para obtener el peso húmedo (Ph), expresado en gramos, también se peso el recipiente de cerámica para saber su peso.
4. Luego se colocaron en la estufa, seguidamente se aplicó un calentamiento gradual de 40°, 60°, 80° hasta que alcance los 105 °C, dejando las muestras a esta temperatura por un espacio de 24 horas.

5. Transcurrido el tiempo se retiraron las muestras de la estufa y se dejaron enfriar en el desecador por un espacio de 10 minutos.
6. Finalmente y después de haber pesado nuevamente se introdujo nuevamente al horno por una hora; repitiendo este proceso hasta obtener un peso constante o peso seco al horno (Ps)

La humedad de la muestra expresada en porcentaje se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\%Humedad = \frac{Ph - Ps}{Ph} \cdot 100 \quad (16)$$

El contenido de humedad se realizó de acuerdo a la ecuación (16) donde H= humedad (%), Ph= peso húmedo (g), Ps= peso seco (g).

- **Densidad**

La densidad se determinó en base a la norma ITINTEC 251.011, se pesaron las muestras en húmedo y seco.

Procedimiento:

1. En húmedo se cortaron trozos de madera en campo y se colocó en bandejas para evitar que pierda humedad y se llevó al laboratorio.
2. El volumen húmedo (VH) se determinó en forma indirecta, sumergiendo la muestra en un peso conocido de agua sin tocar el fondo del recipiente y se registra el incremento de peso correspondiente, que presenta el volumen desplazado por la muestra.
3. Luego las muestras se colocaron en la estufa aplicando un calentamiento gradual de 40°, 60°, 80° y 105 °C manteniendo en esta temperatura por 24 horas.

4. Se retiraron las muestras de la estufa, se dejaron enfriar en el desecador y se pesaron. Se repitió el tratamiento hasta obtener el peso constante. En esta forma se consiguió el peso seco al horno (Ps).
5. Posteriormente se determinó el volumen seco al horno (Vs), en forma indirecta por inmersión en agua.

La relación entre la masa y el volumen se denomina Densidad (D) expresado por la siguiente ecuación:

$$Densidad = \frac{masa}{volumen} \quad (17)$$

La densidad se realizó de acuerdo a la ecuación (17) donde D= densidad, m= masa (g), V= Volumen (cm³).

- **Cenizas**

El contenido de cenizas se determinó mediante la norma española AENOR específica un método para la determinación del contenido en cenizas de todos los biocombustibles sólidos (CEN/TS 14588).

Procedimiento:

1. Se debe llevar a cabo un mínimo de dos determinaciones sobre la muestra de ensayo.
2. Se calienta el plato vacío en el horno a (550±10) °C durante al menos 60 min. Se saca el plato del horno. Se deja enfriar el plato sobre una superficie resistente al calor entre 5 min y 10 min, se pasa a un desecador sin desecante y se deja enfriar a temperatura ambiente. Cuando el plato se enfría, se pesa con una aproximación de 0,1 mg y se registra el peso.
3. La muestra para análisis general se debe mezclar cuidadosamente antes de pesar. Se coloca un mínimo de 1 g de muestra en el fondo del plato y se

esparce en una capa uniforme sobre la superficie del fondo. Se pesa el plato con la muestra con una aproximación de 0,1 mg y se registra la masa. Si la muestra de ensayo anterior se ha secado en estufa previamente, el plato y la muestra se deberían secar a 105 °C y luego pesarse como medida de precaución para evitar la absorción de humedad.

4. Se coloca el plato en un horno frío. Se calienta la muestra en el horno según el siguiente procedimiento de calentamiento.
5. Se eleva la temperatura del horno de manera uniforme hasta 250 °C durante un periodo de 30 min a 50 min (es decir, con una subida de 4,5 °C/min a 7,5 °C/min). Se mantiene a esta temperatura durante 60 min para permitir que se evaporen los volátiles antes de la ignición.
6. Se sigue elevando la temperatura en el horno de manera uniforme hasta (550-±10) °C durante un periodo de 30 min, o una elevación de 10°C/min, y se mantiene esta temperatura durante al menos 120 min.
7. Se saca el plato con su contenido del horno. Se deja enfriar el plato sobre una superficie resistente al calor entre 5 min y 10 min, se pesa al desecador sin desecante y se deja enfriar a temperatura ambiente. Se pesa el plato con las cenizas con una aproximación de 0,1 mg tan pronto como se alcance la temperatura ambiente y se registra el peso. Se calcula el contenido en cenizas de la muestra según se detalla en la ecuación 16.
8. Si existe alguna sospecha de que la incineración no ha sido completa (por ejemplo, presencia de hollín en la inspección visual), entonces:
9. Se vuelve a introducir la muestra en el horno (a (550°C) durante periodos adicionales de 30 min hasta que el cambio de masa sea menor de 0,5 mg; o bien

10. Se añaden a la muestra unas gotitas de agua destilada o nitrato de amonio antes de introducirla de nuevo en el horno frio (a temperatura ambiente) y se calienta de nuevo a (550 ± 10) °C y se mantiene durante un periodo adicional de 30 min hasta que el cambio de masa sea menor de 0,5 mg.

El contenido de cenizas en base seca (A_d) de la muestra expresado en porcentaje en masa en base seca se debe calcular usando la siguiente ecuación:

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \times \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (18)$$

Dónde:

m_1 fue la masa, en gramos, del plato vacío;

m_2 fue la masa, en gramos del plato y la muestra;

m_3 fue la masa, en gramos, del plato y la ceniza;

M_{ad} fue el porcentaje de humedad contenido en la muestra usada para la determinación.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio se ha estructurado en cuatro (4) partes:

1. Predicción de la biomasa residual obtenible de la poda a partir de variables fácilmente medibles.
2. Estudio dendrométrico de ramas.
3. Análisis de la biomasa ligno-celulósica de la planta entera.
4. Caracterización física de la biomasa en laboratorio.

4.1 PREDICCIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL DE PODA

Se realizó un análisis descriptivo unidimensional de los parámetros medidos en cada uno de los árboles, incluye los estadísticos: media, desviación típica, coeficientes de curtosis y de asimetría, los mismos que se utilizaron para determinar si la muestra procedía de una distribución normal. Los valores estadísticos fuera del intervalo entre -2 a +2 indicarían una desviación no significativa de la normalidad.(Tabla No 8).

Tabla No. 8. Resumen estadístico de los parámetros estudiados en la predicción de la biomasa residual de poda.

	Media	Desv. Típica	Coef. De Curtosis	Coef. De Asimetría	Máximo	Mínimo
Biomasa residual (kg)	4,23	1,93	-0,32	0,19	8,2	0,92
Diámetro de copa (m)	4,07	0,54	2,68	-2,22	5,01	2,38
Diámetro de tronco (cm)	21,93	2,32	0,26	-1,74	25,78	16,23
Altura de planta (m)	2,93	0,30	3,27	1,47	3,86	2,21
Altura de la copa al suelo (cm)	24,2	7,15	-0,79	-0,43	36,0	11,0

Fuente: (Autor).

Se muestran las correlaciones de Pearson entre cada par de variables. El intervalo de los coeficientes de correlación fue de -1 a +1 que midió la fuerza de relación lineal entre las variables. Los valores negativos indicaron las relaciones lineales inversas, en tanto que los valores positivos indicaron relaciones lineales directas. Como se puede observar la biomasa residual obtenida en la poda se relaciona positivamente con el diámetro de copa, diámetro del tronco y la altura de la planta. Esto significa que al aumentar el tamaño de la planta, aumenta la biomasa residual disponible. Sin embargo, se detectó que la relación entre la biomasa residual y la altura de la copa al suelo fue muy débil, porque el coeficiente de Pearson está muy próximo a 0. También se puede observar, que el diámetro de la copa y la altura de la planta estuvieron relacionados positivamente con el diámetro del tronco, significando que cuanto más grande era el tronco de mandarina, mayor era el diámetro de copa y la altura alcanzada. Sin embargo, la altura de la planta estuvo menos influenciada por el diámetro de copa ya que el coeficiente de Pearson tuvo un valor relativamente bajo (-0,02).(Tabla No. 9)

Tabla No. 9. Análisis de la relación lineal entre las variables a través del coeficiente de Pearson.

	Biomasa residual (kg)	Diámetro de copa (m)	Diámetro de tronco (cm)	Altura de planta (m)	Altura de la copa al suelo (cm)
Biomasa residual (kg)	1	0,56	0,47	0,16	-0,02
Diámetro de copa (m)		1	0,34	0,29	-0,17
Diámetro de tronco(cm)			1	0,32	-0,21
Altura de planta (m)				1	-0,12
Altura de la copa al suelo (cm)					1

Fuente: (Autor).

Por último, se realizó el modelo de regresión, que permitió predecir la biomasa residual obtenible de la poda de mandarina, utilizando los datos de las dimensiones de la planta, observándose relaciones aceptables. El modelo con P-valores menores a

0,05 se detalla en la Ecuación, donde BR fue la biomasa obtenida por árbol en kg; Dc, el diámetro de copa (m), Dt, el diámetro de tronco, Hcs, la altura de la copa al suelo y Ht la altura total de la planta. Puesto que el P-valor fue inferior a 0.05, el término de orden superior fue estadísticamente significativo para un nivel de confianza del 99%. (Tabla No 10).

El coeficiente de determinación (R^2) fue del 74,1 %, valor no muy alto debido a que existió bastante variabilidad y factores no controlados, (manejo del cultivo). Sin embargo, el valor absoluto de los errores de esta Ecuación fue de 0,82 kg y la desviación de los errores obtenidos por la ecuación de 1,12 kg.

Tabla No. 10 Modelo de regresión para la biomasa residual de la poda de mandarina.

Ecuación	EMA (cm ³)*	DTE (cm ³)1	r ²⁺	p- Valor
$BR = -100,48 - 21,1748 \cdot Dc + 2,9420 \cdot Dc^2 + 0,118483 \cdot Dt^2 \times Ht + 92,2198 \cdot Ht - 8,82461 \cdot Ht^2$	0,82	1,12	74,1	<0,05

Fuente: (Autor).

* EMA: error medio absoluto

1 DTE: desviación típica de los errores

+ r²: coeficiente de determinación

L: Longitud (cm)

D: Diámetro

En el caso de no utilizar esta ecuación por su bajo coeficiente de determinación (r^2), se podría utilizar el valor medio de la biomasa residual señalado en la tabla 10, que equivale a una biomasa residual media disponible de 4,23 toneladas de materia seca por hectárea en plantaciones con un marco de 4 x 4 m², con una desviación típica de 1,92 toneladas por hectárea (DTE). Estos resultados son corroborados por Maigua (2015), quien en el cálculo de modelos volumétricos en *Prunus domestica* obtiene un coeficiente de determinación de 81%. El error medio

absoluto de 3.17cm³ fue el valor medio de los residuos, y la desviación típica de los errores para la ecuación fue de 4.32cm³.

4.2. ESTUDIO DENDROMÉTRICO DE RAMAS

Definir el volumen de una rama a partir de su diámetro y longitud. Para ello se muestra el análisis unidimensional de las variables medidas en 30 ramas. Los valores de simetría y curtosis del volumen real de la rama, diámetro de la base y longitud estuvieron entre los valores de -2 y +2, deduciéndose que siguieron una distribución normal de Gauss.(Tabla No. 11)

Tabla No. 11. Resumen estadístico de los parámetros estudiados en las ramas.

	Media	Desv.tí pica	Coef. De Curtosis	Coef.dea simetría	Máximo	Mínimo
Volumen real (VR) (cm ³)	1435,02	861,65	1,11	3,08	3578,83	509,5
Volumen modelo (Vm) (cm ³)	2270,63	1378,7	0,23	2,69	5648,53	913,0
Diámetro de la base (Db) (cm)	3,68	0,91	-1,00	1,87	5,36	2,57
Longitud de la rama (L) (cm)	195,7	26,82	0,28	0,99	257,0	142,0

Fuente: (Autor).

Se proporciona el cálculo del factor de forma, que fue el factor de conversión entre el volumen del modelo cilíndrico y el volumen real de la rama. La media del factor de forma fue de 0,64, con una desviación típica de 0,08 lo que proporciona un coeficiente de variación del 12,5 % Velázquez & Fernández (2009) Afirman: “El valor de coeficiente de variación es aceptable para el cálculo del volumen real con la ecuación (15)”. (Tabla No 12).

$$VR = \frac{\pi \cdot Db^2}{4} \cdot L \cdot f \quad (19)$$

Para el análisis de la forma de la rama se evaluó el factor de forma, que fue la relación entre el volumen real y los diferentes volúmenes modelos, tales como: el cilindro, el paraboloides, el cono y el neiloide, obtenidos a partir de la base y la longitud de la rama. El factor de forma más cercano a uno (1) fue el que mejor representa su forma. Como se puede observar en la tabla 12, el modelo que proporcionó el volumen más próximo al real fue el paraboloides con 1,28.

Tabla No. 12. Cálculo de factores de forma en cada uno de los modelos geométricos estudiados.

	F cilindro	F paraboloides	F cono	F neiloide
Media	0,64	1,28	1,92	2,56
Desviación tip.	0,08	0,16	0,24	0,32

Fuente: (Autor).

Seguidamente se realizó un análisis de correlación entre cada par de variables a partir del coeficiente de Pearson, para medir la fuerza de la relación lineal. (Tabla No.13).

Tabla No. 13 Análisis de la relación lineal entre variables a través del coeficiente de Pearson.

	Díámetro de la base(cm)	Longitud de la rama(cm)	Volumen real(cm ³)	Volumen modelo(cm ³)
Díámetro de la base(cm)	1	0,44	0,93	0,97
Longitud de la rama(cm)		1	0,65	0,62
Volumen real(cm ³)			1	0,98
Volumen modelo(cm ³)				1

Fuente: (Autor).

La relación del diámetro de la base con la longitud de la rama fue muy débil, con un coeficiente de Pearson de 0,43. Esto se debe a que las ramas con mucho diámetro fueron largas y cortas, pero sin tener una relación evidente. Sin embargo, la relación del diámetro de la base con el volumen real fue significativa, con un coeficiente de Pearson de (0,93). La longitud de la rama influyó positivamente en el volumen real de la misma, pero con una fuerza más débil que el diámetro.(Tabla No. 13).

A continuación se analizó un modelo de cálculo del volumen real de la rama a partir de un modelo de regresión múltiple. Las variables explicativas presentan p-valores menores a 0,05 lo que le dio una significación del 99 %.

Se observa un coeficiente de determinación (r^2) de 96,035, porcentaje considerado alto y que explica la variabilidad de la función obtenida. Estos datos corroboran en los obtenidos por Pacheco(2014) que obtuvo en las ramas de duraznero un coeficiente de determinación del 93%. Además Flores (2014) obtuvo un coeficiente de determinación del 82% en *Cyphomandra betacea*. Por otra parte, el error medio obtenido fue de 135, 816 cm^3 y una desviación típica de 174,604 cm^3 (Tabla No. 14).

Tabla No. 14. Modelo de regresión para las ramas.

Ecuación	EMA (cm^3)*	DTE (cm^3)1	r^{2+}	p-Valor
$VR = 44,4096 + 0,481005 \cdot Db^2 \cdot L$	135,82	174,61	96,04	<0,05

Fuente: (Autor).

* EMA: error medio absoluto

1 DTE: desviación típica de los errores

+ r^2 : coeficiente de determinación

VR: Volumen de la rama del estrato (cm^3)

L: Longitud (cm)

D: Diámetro

4.3 ANÁLISIS DE LA BIOMASA LIGNOCELULÓSICA DE LA PLANTA ENTERA.

En esta parte se realizó el análisis de la distribución de la biomasa por estratos, para calcular el volumen de la parte leñosa de la planta entera y por cada uno de los estratos de los árboles de mandarina.

Se indican los datos del 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: $V = \frac{1}{3} \pi R^2 L$ (20). (Tabla No 15).

El volumen medio de la parte leñosa de las plantas de mandarina fue de 62,68 cm³ y su desviación típica de 2,4 cm³.

Tabla No. 15 .Parámetros característicos de las ramas de mandarina por estratos.

	Diámetro de la base(cm)	Longitud(cm)	Volumen real(cm ³)
Estrato 1	10,91	65,73	3850,69
Estrato 2	5,27	72,96	17491,34
Estrato 3	3,2	55,1	16829,9
Estrato 4	2,0	51,1	15311,0
Estrato 5	1,2	31,9	8753,5

Fuente: (Autor).

La distribución de la biomasa en la planta. Se observa la mayor cantidad de biomasa en los estratos 2, 3 y 4, seguido con los estratos 1 y 5 de la planta, donde las ramas fueron más pequeñas y de menor número. Según Pacheco (2014) menciona que existe mayor cantidad de biomasa en los estratos dos(2) y tres(3), (más del 80%) en el duraznero, En el cultivo de durazno existe mayor cantidad de biomasa en el estrato 3 (32,29 %)y estrato 4 (28,80%) (Chandi, 2015). (Figura No 5).

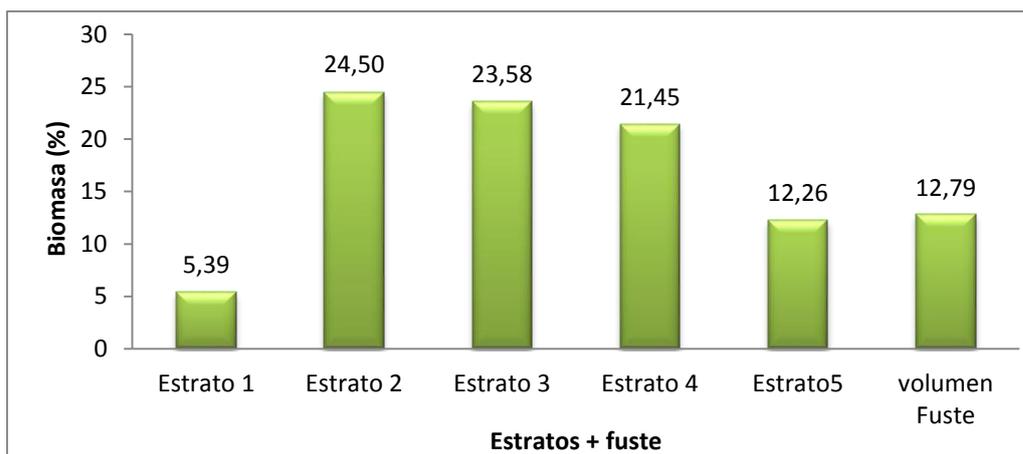


Figura N°. 5 Diagrama de distribución de la biomasa por estratos en mandarina.

Se presenta el análisis estadístico descriptivo de las dimensiones de cada uno de los arboles estudiados y el volumen total calculado. (Tabla No.16).

Tabla No. 16. Resumen estadístico de los parámetros estudiados de la planta entera.

	Media	Desv. típ ica	Coef. de Curtosis	Coef. de asimetría	Máximo	Mínimo
Volumen real de la planta entera	62688,0	24174,9	5,34	4,31	140333,0	27341,5
Volumen aparente de la planta entera (modelo cilíndrico)	38,61	10,21	1,28	-0,71	56,57	9,83
Diámetro de copa (m)	4,06	0,53	2,67	-2,21	5,01	2,38
Diámetro de tronco (cm)	21,92	2,31	0,25	-1,74	25,78	16,23
Altura de planta (m)	2,91	0,29	3,26	1,47	3,86	2,21
Altura de la copa al suelo (cm)	24,2	7,14	-0,79	-0,42	36,0	11,0
Factor de ocupación	1764,98	941,17	10,14	5,90	5604,82	828,22

Fuente: (Autor).

Se muestra la ecuación de predicción del volumen de biomasa de la planta entera a partir de su altura total y diámetro del fuste. Esta función fue de gran utilidad práctica ya que, a través de su aplicación. Los técnicos pueden predecir la biomasa ligno-celulósica residual obtenible de mandarina al finalizar la cosecha o después de

la poda. Esta biomasa actualmente no es aprovechada, pero se podría utilizar muy bien como un recurso energético. (Tabla No. 17).

El coeficiente de determinación fue bajo, de 71,22%. Lo que indica que la influencia de los factores micro climático, los suelos, disponibilidad de nutrientes, el agua, y las condiciones de manejo, han sido adecuadas. Los modelos de regresión obtenidos en el análisis de laboratorio, donde las condiciones controladas, los coeficientes de determinación exigibles debieron tener alrededor del 95%. El error medio obtenido en la ecuación fue de 10856,8cm³, considerado aceptable, puesto que como se había indicado el volumen medio de la planta fue 62,68 cm³%. Por otro lado Chandi (2015) menciona que en el cultivo de durazno obtuvo un r² del 75% y El error medio obtenido en la ecuación fue de 2,4 dm³, considerado aceptable, puesto que como se había indicado el volumen medio de la planta fue 22,64 dm³ que supone un error relativo del 11%.

Tabla No. 17. Modelo de regresión para la predicción de la biomasa residual de mandarina.

Ecuación	EMA (cm ³)*	DTE (cm ³)1	r ²⁺	p-Valor
$VT = 3,3332 - 7057,56 \cdot Dc \cdot Hcs$ $- 1687,74 \cdot Dt^2 - 19518,9$ $\cdot Dt \cdot Dc + 54686,4 \cdot Dt \cdot Ht$ $+ 63513,4 \cdot Hcs - 2,77261$ $\cdot Ht + 169369,0 \cdot Ht^2$ $+ 201040,0 \cdot Ht \cdot Dc$ $- 11370,8 \cdot Ht \cdot Hcs$	10856,8	16279,8	71,22	<0.05

Fuente: (Autor).

*EMA: error medio absoluto

1 DTE: desviación típica de los errores

+ r²: coeficiente de determinación

VT: Volumen de la biomasa residual (cm³)

L: Longitud (cm)

D: Diámetro

Por último se presenta el valor medio y desviación típica del factor de ocupación (FO) de la especie, siendo $1,7 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ y $9,4 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ respectivamente. Este factor es la relación entre el volumen real del material ligno-celulósico de la planta (en cm^3) y su volumen aparente (en dm^3). El volumen aparente es el de un modelo geométrico calculado a partir de su diámetro de copa y su altura total, generalmente el cilindro. Este cilindro teórico está formado por las ramas y los huecos existentes entre ellas. Los valores de FO suponen un factor de conversión para obtener el volumen real a partir del cálculo del volumen modelo del cilindro. (Tabla No. 18).

Tabla No. 18. Resultados del factor de ocupación de los árbol de mandarina.

	V real planta(cm^3)*	D copa(m)+	Ht(cm)1	V cilindro aparente2	FO3
Árbol 1	41299,84	3,6	3,86	39,29	1051,15
Árbol 2	140333,28	4,75	3,11	55,11	2546,37
Árbol 3	27341,47	3,82	2,76	31,63	864,36
Árbol 4	45750,07	3,71	2,58	27,89	1640,34
Árbol 5	39587,35	3,72	2,72	29,56	1339,09
Árbol 6	60697,90	4,23	3,12	43,85	1384,35
Árbol 7	39059,16	3,89	2,56	30,42	1283,79
Árbol 8	45111,68	4,03	3,08	39,29	1148,25
Árbol 9	45504,49	3,07	2,62	19,39	2346,31
Árbol 10	133933,64	3,95	3,36	41,17	3252,86
Árbol 11	62552,02	3,82	2,97	34,04	1837,67
Árbol 12	73964,02	4,01	3,12	39,40	1877,10
Árbol 13	71959,37	3,3	2,66	22,75	3162,91
Árbol 14	76570,58	4,17	2,91	39,74	1926,66
Árbol 15	59094,29	4,35	3,11	46,22	1278,54
Árbol 16	69387,17	4,21	3,02	42,04	1650,51
Árbol 17	41621,97	4,73	2,86	50,25	828,22
Árbol 18	55106,01	2,38	2,21	9,83	5604,82
Árbol 19	77373,53	3,97	2,89	35,77	2162,83
Árbol 20	57145,24	4,55	2,77	45,04	1268,78
Árbol 21	45369,21	4,3	3,12	45,31	1001,33
Árbol 22	84075,21	4,57	2,56	41,99	2002,19
Árbol 23	67470,83	4,16	2,92	39,69	1700,03
Árbol 24	56246,48	4,12	2,79	37,20	1512,19
Árbol 25	68081,77	4,2	2,73	37,82	1800,03
Árbol 26	58053,61	3,95	3,14	38,48	1508,74
Árbol 27	58630,23	4,01	3,09	39,02	1502,39
Árbol 28	63752,14	5,01	2,87	56,58	1126,80

Árbol 29	57283,61	4,46	2,89	45,15	1268,74
Árbol 30	58284,64	4,82	2,98	54,38	1071,90
				Media	1764,97
				Desviación tip.	941,17

Fuente: (Autor).

- * **V real planta:** Volumen Real
- + **D copa:** Diámetro de Copa
- 1 Ht:** Altura de Tronco
- 2 V cilindro:** Volumen cilindro aparente
- 3 FO:** Factor ocupación

4.4. 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 ligno-celulósico del árbol de mandarina.

Tabla No. 19 Media de los parámetros físicos del material ligno-celulósico de mandarina.

Parámetros	\bar{x}
Humedad %	38,96
Cenizas %	9,12
% Volátiles + Carbono fijo	90,88
Densidad Húmeda g/cm ³	1,05
Densidad Seco g/cm ³	0,632

Fuente: (Autor).

\bar{x} : Media

Como se puede percibir el porcentaje de contenido volátil del material leñoso es muy alto con un 90,88%. Según Velázquez (2014), explica 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. Además el material se puede utilizar como pélets y briquetas, son materiales sólidos densificados por compactación de partículas finas de madera, carbón vegetal o de cualquier tipo de biomasa residual: paja, algodón, residuos de poda etc. Pueden ser formados mediante mezclas de diferentes materiales e incorporar aditivos que mejoran sus cualidades, como parafina que mejora el poder calorífico, inflamabilidad y adhesión de las partículas en la compactación. 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 $62,48 \text{ dm}^3$, la cantidad de materia seca por planta es de $6769,02 * 1,05$ (Densidad Húmeda g/cm^3) = $7107,41 \text{ g}$, es decir aproximadamente $7,1 \text{ kg}$. Por otra parte Fernández y Velázquez (2010) mencionan que obtuvieron $10,45 \text{ kg}$ de materia seca por planta en el melocotonero en España, según Flores (2014) asegura que obtuvo 9 kg de materia seca en el cultivo de tomate de árbol en Ambato-Ecuador y según Chandi (2015) asegura haber obtenido $5,95 \text{ kg}$ de materia seca en el cultivo de durazno en el sector el Chapi en el Cantón Pimampiro.

El contenido de humedad hace que exista una gran diferencia entre la densidad seca y la densidad húmeda. La humedad media de las muestras recién cortadas es del $38,96\%$. Esta humedad resulta elevada para los procesos de combustión directa en caldera lo que obliga a realizar un proceso de secado al ambiente para el aprovechamiento energético de esta biomasa. Los requerimientos para la combustión directa exigen que ésta tenga una humedad máxima del 10% Velázquez (2010).

Se muestra la disminución de humedad durante los primeros días de secado de los materiales leñosos tras el corte de la planta de mandarina. Se pudo observar que el tiempo necesario para una desecación hasta una humedad del 10% fue de 4 días y para una desecación completa al aire fue necesario esperar 7 días. (Figura No 6).

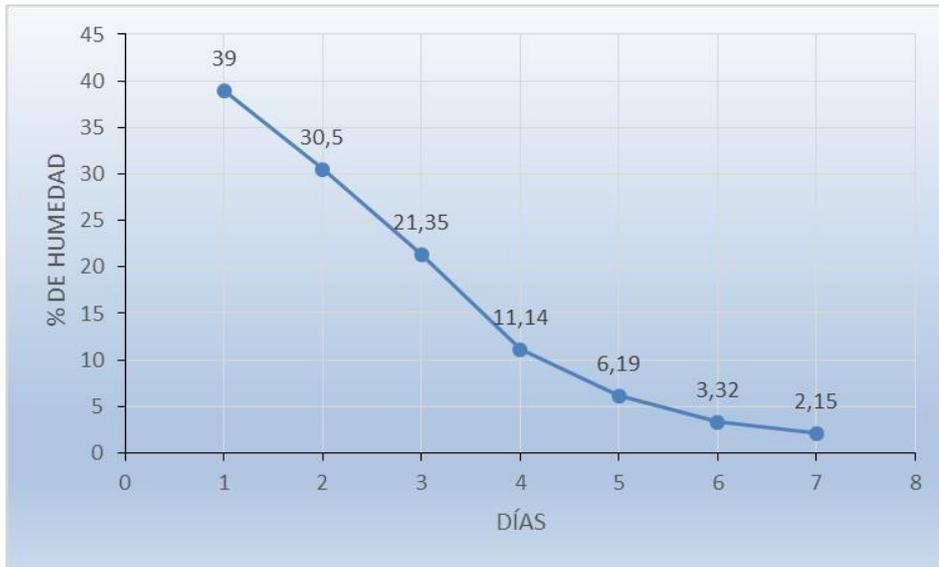


Figura N°. 6. Curva de desecación del material leñoso de mandarina.

Se muestra la disminución paulatina de humedad que sufrió la muestra hasta llegar al día 4 que se obtuvo un contenido de humedad de 11,14 que es la media aceptada Velázquez (2010). Para llegar en el séptimo día a un valor de 2,15 de contenido de humedad.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se logró establecer una metodología específica que permitió calcular la biomasa del árbol de mandarina, a partir de mediciones sencillas y rápidas del diámetro y longitud de rama, diámetro y altura de copa, y volumen del fuste.
- La biomasa residual media de las plantas de mandarina fue de 7,1 kg de materia seca por planta en un marco de plantación de 4 x 4 m², teniendo una biomasa potencial disponible de 4,23 toneladas por hectárea.
- La caracterización de forma y volumen de las ramas en cada uno de los estratos, permitieron determinar la forma paraboloidal de las ramas. Se ajusta bien a una forma paraboloidal. Las funciones de volumen calculadas poseen coeficientes de determinación altos (96%), por lo que se consideran adecuadas para su aplicación práctica. Es decir, estas ecuaciones pueden ser en el futuro una buena herramienta para el cálculo del volumen de cualquier rama de mandarina a partir del diámetro de su base y su longitud.
- La biomasa de la planta entera se distribuyó de forma irregular, siendo los estratos dos (24,50%), tres (23,58%) y cuatro (21,45%) donde se concentró la mayor cantidad de biomasa, los estratos uno y cinco contuvieron 5,39% y 12,26%, respectivamente.

- Se determinó el factor de ocupación (FO) de la especie, siendo 1,7 cm^3/dm^3 . Este factor es la relación entre el volumen real del material ligno-celulósico de la planta (en cm^3) y su volumen aparente (en dm^3). Este cilindro teórico está formado por las ramas y los huecos existentes entre ellas. Los valores de FO suponen un factor de conversión para obtener el volumen real a partir del cálculo del volumen mediante el modelo del cilindro
- Se determinó el modelo de regresión para predecir de forma aproximada el volumen de la biomasa residual contenida en la copa del árbol de mandarina a partir de su altura total y diámetro del fuste. Esta función fue de gran utilidad ya que a través de su aplicación, los técnicos pueden predecir la biomasa ligno-celulósica residual obtenible del mandarino al finalizar la cosecha o después de la poda.
- El material ligno-celulósico en base a los parámetros físicos de humedad (38,96%), densidad seca ($0,63\text{g}/\text{cm}^3$), densidad humedad ($1,05\text{g}/\text{cm}^3$), contenido en cenizas (9,12%) y de volátiles (90,88%), indicó que estos residuos podrían tener buena aptitud para la combustión directa en caldera o para procesos de gasificación.

5.2. RECOMENDACIONES

Debido al agotamiento de los recursos no renovables, la cuantificación de biomasa mediante su estudio dendrométrico se presenta como una alternativa importante debido a su cantidad de materia seca que genera por planta, es decir crear un manual con todas las características técnicas de diferentes cultivos estudiados y que se podrían estudiar con el fin de mejorar la información de esta valiosa fuente energética.

- Establecer un estudio similar al realizado en diferentes zonas o regiones del país para evaluar si las condiciones climáticas influyen con el rendimiento obtenido de biomasa.
- Realizar una evaluación de la producción de los frutos, para así ver si existe una incidencia de mejora de producción mediante las buenas actividades que se realizaron en la planta durante el tiempo de investigación de campo.
- Con los resultados obtenidos de la presente investigación, establecer estudios para acceder a la transformación de la biomasa como fuente de combustible.

BIBLIOGRAFÍA

- Agustí, M. (2003). *Citrucultura*. Ed. Mundi-Prensa. 422 pp.
- Agustí, M. (2004). *Fruticultura*. Ed. Mundi-Prensa. 493 pp.
- Alcin, D. (2010). *Biomasa; Fundamentos, Tecnología y Aplicación*. Primera Edición.
- Báez, D., & Chen, P., & Tiscareño, M., & Srinivasan, R. (2002). Using satellite and field data with crop growth modeling to monitor and estimate corn yield in Mexico. *Crop Sci.* 42(6): 1943–1949.
- Barrio, M., & Sixto, H., & Cañellas, I., & González, F. (2007). Sistema de cubicación con clasificación de productos para plantaciones de *Populus euramericana* (Dode) Guinier cv. ‘I-214’ en la meseta norte y centro de España. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 16 (1), 65-75.
- Burkhart, H. (1977). Cubic-foot volume of loblolly pine to any merchantable top limit. *South J ApplFor* 1, 7-9.
- Calderón, E. (1993). *Fruticultura General*. El Esfuerzo del Hombre. Editorial Limusa S.A. Tercera Edición. D.F México. pp 296 - 305.
- Casaca, A. (2005). Consultor individual, Ingeniero Agrónomo Zootecnista, egresado de la Escuela Centroamericana de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, ECAG.
- Cao, Q., & Burkhart, H., & Max, T. (1980). Evaluation of two methods for cubic-foot volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. *Forest Science* 26, 71-80.
- Camps, M., & Marcos, F. (2002). *Los Biocombustibles*. Ed. Mundi-Prensa. 348 pp.

- Chandi, R. (2015). Cuantificación de biomasa mediante el estudio dendrométrico en el cultivo de duraznero (*Prunus pérsica*) L. Tesis de grado de Ingeniería Agropecuaria. Universidad Técnica del Norte. Ibarra-Ecuador.
- Cofré, L. (1983). Modelos Fustales. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile, Valdivia. 46 p.
- Costas, R., & Mac, P., & Weber, E., & Figueredo, S., & Gómez, C., & Irschick, P. (2006). Modelos predictivos de la producción de *Pinustaeda* empleando variables vinculadas con las podas. *Bosque* 27(2): 98-107.
- Di Blasi, C., & Tanzi, V., & Lanzetta, M. (1997). A study on the production of agricultural residues in Italy. *Biomass and Bioenergy*, 12(5):321-333.
- Dieguez, U., & Barrio, M., & Castedo, F., & Ruiz, A., & Álvarez, M., & Álvarez, J., & Rojo, A. (2003). *Dendrometría*. Mundi-Prensa y Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid, 327 pp.
- Estornell, J., & Ruiz, A., & Velázquez, B., & Hermosilla, T. (2012). *Biomass and Bioenerg.* Estimation of biomass and volume of shrub vegetation using LiDAR and spectral data in a Mediterranean environment.
- Estornell, J., & Ruiz, A., & Velásquez, B. (2011). Study of shrub cover and height using LIDAR data in a Mediterranean area. *Forest Science* 57(3): 171-179.
- Estornell, J., & Ruiz, A., & Velásquez, B., & Fernandez, A. (2011). Estimation of shrub biomass by air borne LiDAR data in small forest stands. 262: 1697-1703.
- Fassola, E., & Crechi, E., & Keller, A., & Barth, S. (2007). Funciones de forma de exponente variable para la estimación de diámetros a distintas alturas en *Eucalyptus grandis*. Hill ex Maiden. Cultivado en La Mesopotamia Argentina.

- Gibson, J. & Power, H. (2000). *Introductory Remote Sensing: Digital Image Processing and Applications*. Routledge, 249 p.
- Gil, F. (1989). *La ecología del árbol frutal*. vol. 2. Ed. Mundi-Prensa. 248 pp.
- González, L., & Borroto, G. (1987). Use of planta growth regulatorsto control flowering in Citrus. *Biol. Plantarum* 29(5):342-349.
- Guardiola, L., & Monerri, C., & Agusti, M. (2008). The inhibitory effect of gibberellic acid on flowering in Citrus. *Physiologia Plantaru.* 55 (2):136-142.
- Hernández, D., & Pinedo, M. (2009). *Manual técnico para la producción de durazno en el Valle del Mezquital y el Vite*, Hidalgo. México.
- Higuera, C. (1994). *Funciones de volumen y ahusamiento para roble (Nothofagus obliqua (Mirb.) Oerst) y hualo (Nothofagus glauca (Phil.) Kraser)*. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile, Valdivia. 70 p.
- Hyypä, J., & Hyypä, H., & Leckie, D., & Gougeon, F., & Yu, X., & Maltamo, M. (2008). Review of methods of small-footprint airborne laser scanning for extracting forest inventory data in boreal forests, *International Journal of Remote Sensing*, 29(5):1339-1366.
- IDAE (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía), *Manual de energías renovables; energía de la biomasa*, Madrid 2007.
- INAMHI. (2013). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*.
- INIAP. (1992). *Instituto Nacional De Investigaciones Agropecuarias. Guía práctica para viveristas frutícolas* Quito, Departamento de Comunicación Social del INIAP. pp. 6.

INFOAGRO. (2002). Características del cultivo de madarina. Accedido 2 de junio del 2014. Disponible en: <http://http://www.infoagro.com/citricos/mandarina.htm>.

Irrifrut, 2.0. (2007). Enciclopedia de riego en frutales. Frutales y requerimientos climáticos.

Jaramillo, C. (2001). *Dasometría*. Editorial Universitaria. Ibarra- Ecuador.

Lencinas, M.,&Martínez, G.,&Cellini, J.,&Vukasovic, R.,& Peri, P.,& Fernández, M.(2002). Incorporación de la altura dominante y la clase de sitio a ecuaciones estándar de volumen para *Nothofagusantarctica* (Forster f.) Oersted. Bosque (Valdivia) [online]. 2002, vol. 23, no. 2, 5-17.

Maigua, I. (2015). Cuantificación de biomasa mediante el estudio dendrométrico en el cultivo de ciruelo (*prunus doméstica*) L. Tesis de grado de Ingeniería Agropecuaria. Universidad Técnica del Norte. Ibarra-Ecuador.

Martínez, F. (1964). *Fruticultura: Fundamentos y prácticas*. Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas. 1003pp.

Montero, G., & Ruiz, R., & Muñoz M. (2005). Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Monografías INIA: Serie Forestal n°. 13, 270 p.

Mora, A.,&Moret, A. (2001). *Evaluación de Métodos de Estimación para Ajustar*.

Moret, A.,& Jerez, M.,& Mora, A. (1998). *Determinación de Ecuaciones de Volumen*.

- Muñoz, F. (1986) Diagnostico de la Situación de la Producción de Algunas Especies Frutales en el Ecuador Ministerio de Agricultura y Ganadería. Tomo I Quito-Ecuador. pp 21 – 33; 62 - 75.
- Nesbitt, L., &Ebel, C., & Dozier, A. (2008). Production practices for satsuma mandarins in the southeastern United States. *HortScience* 43 (2): 290-292.
- Newham, R. (1992). Variable-form taper functions for Alberta tree species, *Can. J. For. Res.* 22: 210-223.
- Ortega, M. (1969). La poda del olivo. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Agricultura. Madrid. 413 pp.
- Pacheco, J. (2014). Cuantificación y logística de la biomasa disponible en el duraznero (*Prunus persica*) var. Conservero amarillo. Tesis de Grado de Ingeniería Agronómica. Universidad Técnica de Ambato. Ambato - Ecuador.
- Peng, H. (2000). Growth and yield models for uneven-aged stands: past, present and future. *Forest Ecology and Management*, 132 (2000) 259-279.
- Peng, H.,& Apps, J. (1999).Modeling the response of net primary productivity (NPP) of Boreal Forest ecosystems to changes in climate and fire disturbance regimes.*EcologicalModelling*.
- Perpiñá, C., & Alfonso, D., & Pérez, A., &Peñalvo, E., & Vargas, C., & Cárdenas, R. (2008). Methodology based on Geographic Information Systems for biomass logistics and transport optimisation. *RenewableEnergy*. 34:555-565.
- Picaza, J. (1950). *La poda de árboles frutales*. Servicio de publicaciones agrícolas. Madrid.312 pp.

- PNUMA. (1999). Para comprender el Cambio climático: Guía elemental de la Convención Marco de las Naciones Unidas y el protocolo de Kioto, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Secretaria Sobre el Cambio Climático (CMNUCC).
- Prodan, M., & Peters, R., & Cox, F., & Real, P. (1997). Mensura Forestal. IICA-BMZ/GTZ. San José. Costa Rica. 561p.
- Rodríguez, J., & Villalba, D. (2005). *Poda en cítricos*. Fruticultura profesional. 111: 29-41.
- Romahn, C., & Ramírez, H. (2010). *Dendrometría*. División de ciencias forestales. Universidad Autónoma Chapingo.
- Sajdak, M., & Velázquez, M. (2012). Estimation and comparison of pruned biomass depending on location and pruning practice applied in urban Morusalba trees. Ag. Eng-CIGR 2012. Valencia (España) Julio 12-16.
- Salas, C., & Reyes, M., & Bassaber, C. (2005). Medición de diámetros fustales con relascopio y forcípula finlandesa: efectos en la estimación de volumen. Bosque 26(2): 81-90.
- Sartori, I., & Koller, O., & Theisen, S., & De Souza, P., & Bender, R., & Marodin, G. (2007). Pruning effect, hand thinning and use of growth regulators on the production of tangerineiras (*Citrus deliciosa*) cv. Montenegrina. Revista Brasileira de fruticultura 29(1): 5-10.
- Schorfheide, F. (2000). Loss Function-Based evaluation of DSGE models. Journal Of Applied Econometrics 15: 645-670.
- Segura, M., & Andrade, H. (2008). ¿Cómo hacerlo? ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? Agroforestería de las Américas 46: 89-96.

- Theil, H. (1950) "A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis" I, II and III, *Nederl. Akad. Wetensch. Proc.*, 53.
- Trincado, G., & Gadow, K., & Sandoval, V. (1997). Estimación de volumen comercial en latifoliadas. *Bosque* 18(1), 39-44.
- Toledo, P. (2011). Determinación del factor de forma de Gmelina (*Gmelina arborea* roxb), en la hacienda forestal Libertad Agr. de la empresa agrícola ganadera Reysahiwal Agr SA. (Tesis de grado, ESPOCH). Riobamba-Ecuador.
- Vanclay, J. (1994). *Modeling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forest*. CAB International, London, England. 312p.
- Velázquez, B., & Fernández, E., & Estornell, J., & Ruiz, A. (2010). Dendrometric and dasometric analysis of the bushy biomass in Mediterranean forests. *Forest Ecology and Management* 259: 875-882.
- Velázquez, B. (2006). *Aprovechamiento de los residuos forestales para uso energético*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. Ref. 2006-766. 158 pp.
- Velázquez, 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.
- Vozmediano, J. (1982). *Fruticultura: Fisiología, ecología del árbol frutal y tecnología aplicada*. Servicio de publicaciones agrarias. Madrid. 518 pp.
- Walpole, E., & Myers, H. (1992). *Probabilidad y Estadística*". Mc Graw Hill. p.
- Yavuz, H. (1999). Comparison of the Centroid Method and Four Standard Formulas for Estimating Log Volumes. *Tr. J. of Agriculture and Forestry* 23 (1999) 597-602.

Zimble, A., & Evans, L., & Carlson, C., & Parker, C., & Grado, C., & Gerard, D.
(2003). Characterizing vertical forest structure using small-footprint airborne
lidar. *Remote Sensing of environment* 87: 171-182.

World Energy Council.(1997). Survey of Wood Energy Resources.asp

ANEXOS

Anexo N° 1. Hoja de campo, ensayo determinación de biomasa procedente de restos de

poda.

DATOS GENERALES:

Especie:	
Variedad:	Patrón:
Localidad:	Provincia:
Finca:	

DATOS DE LA PLANTACIÓN:

<p>- Marco de plantación _____</p> <p>- Secano o regadío _____</p> <p>- Año de plantación (edad de la plantación) _____</p> <p>- Producción media de fruto (t/ha) _____</p> <p>B) Estructura de formación (elegir una opción)</p> <p>___ Un tronco y dos ramas principales</p> <p>___ Copa redondeada</p> <p>___ Cilindro bajo</p> <p>___ Palmeta</p> <p>___ Sin tronco</p>	<p>C) Biomasa de poda</p> <p>Año que se podó por última vez _____</p> <p>Intensidad de la poda anterior (elegir una opción)</p> <p>___ Alta</p> <p>___ Baja</p> <p>Objeto de la poda:</p> <p>___ Producción</p> <p>___ Formación</p> <p>___ Rejuvenecimiento</p>
--	---

	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	Árbol 4
Diámetro de tronco (cm)				
Diámetro de copa (m)				
Altura de la copa al suelo (cm)				
Altura del árbol (m)				
N° de pies del árbol				
Pesada 1 (kg)				
Pesada 2 (kg)				
Pesada 3 (kg)				
Pesada 4 (kg)				

- Humedad de la madera recién pesada en base seca (%)
- Humedad de la madera recién pesada en base húmeda (%)

Anexo N° 2. Hoja de campo, estudio factor de forma y funciones de volumen.

Longitud (cm)	Diámetro rama 1 (cm)	Diámetro rama 2 (cm)	Diámetro rama 3 (cm)	Diámetro rama 4 (cm)	Diámetro rama 5 (cm)	Diámetro rama 6 (cm)	Diámetro rama 7 (cm)	Diámetro rama 8 (cm)
0								
10								
20								
30								
40								
50								
60								
70								

Anexo N° 3. Hoja de campo, determinación volumen total.

		Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Ocurrencia	Volumen
Estrato 1	Rama 1				
Estrato 1	Rama 2				
Estrato 1	Rama 3				
Estrato 1	Rama 4				
Estrato 2	Rama 1				
Estrato 2	Rama 2				
Estrato 2	Rama 3				
Estrato 2	Rama 4				
Estrato 2	Rama 5				
Estrato 3	Rama 1				
Estrato 3	Rama 2				
Estrato 3	Rama 3				
Estrato 3	Rama 4				
Estrato 3	Rama 5				
Estrato 4	Rama 1				
Estrato 4	Rama 2				
Estrato 4	Rama 3				
Estrato 4	Rama 4				
Estrato 4	Rama 5				
Estrato 5	Rama 1				

Anexo N° 4. Datos dendrometría de la planta y del cultivo.

ÁRBOL	diám, Tronco (cm)	diám, Copa (m)	Altura copa al suelo (cm)	Altura del árbol (m)	Año última poda	Intensidad de la poda	Objeto de la poda	Masa de ramas (kg)	% a aplicar	Masa seca	t m,s/ ha
1	20,37	3,6	13	3,86	2011	Baja	Producción	2,8	38,95	1,70	4,88
2	23,23	4,75	14	3,11	2011	Baja	Producción	19,5	38,95	11,90	7,44
3	18,97	3,82	21	2,76	2011	Baja	Producción	2,53	38,95	1,54	0,97
4	22,85	3,71	15	2,58	2011	Baja	Producción	5	38,95	3,05	1,91
5	18,14	3,72	23	2,72	2011	Baja	Producción	2,4	38,95	1,46	0,92
6	21,96	4,23	24	3,12	2011	Baja	Producción	9,6	38,95	5,86	3,66
7	23,8	3,89	20	2,56	2011	Baja	Producción	10,5	38,95	6,41	4,01
8	23,42	4,03	25	3,08	2011	Baja	Producción	11	38,95	6,71	4,20
9	22,53	3,07	27	2,62	2011	Baja	Producción	6,5	38,95	3,96	2,48
10	25,01	3,95	36	3,36	2011	Baja	Producción	11	38,95	6,71	4,20
11	25,78	3,82	11	2,97	2011	Baja	Producción	20	38,95	12,21	7,63
12	24,44	4,01	21	3,12	2011	Baja	Producción	7,5	38,95	4,57	2,86
13	16,23	3,3	27	2,66	2011	Baja	Producción	8,7	38,95	5,31	3,32
14	22,79	4,17	28	2,91	2011	Baja	Producción	14,7	38,95	8,97	5,61
15	22,66	4,35	29	3,11	2011	Baja	Producción	17,8	38,95	10,86	6,79
16	21,58	4,21	22	3,02	2011	Baja	Producción	12,6	38,95	7,69	4,81
17	23,87	4,73	18	2,86	2011	Baja	Producción	21,5	38,95	13,12	8,20
18	17,44	2,38	30	2,21	2011	Baja	Producción	3,5	38,95	2,13	1,34
19	19,74	3,97	30	2,89	2011	Baja	Producción	12	38,95	7,32	4,58
20	18,33	4,55	36	2,77	2011	Baja	Producción	15,5	38,95	9,46	5,91
21	22,31	4,3	25	3,12	2011	Baja	Producción	11,5	38,95	7,02	4,39
22	21,26	4,57	28	2,56	2011	Baja	Producción	9,6	38,95	5,86	3,66
23	21,9	4,16	24	2,92	2011	Baja	Producción	13,8	38,95	8,42	5,27
24	24,96	4,12	30	2,79	2011	Baja	Producción	12,7	38,95	7,75	4,85
25	22,28	4,2	28	2,73	2011	Baja	Producción	10,5	38,95	6,41	4,01
26	22,6	3,95	33	3,14	2011	Baja	Producción	15	38,95	9,15	5,72
27	23,24	4,01	36	3,09	2011	Baja	Producción	9,5	38,95	5,79	3,62
28	22,3	5,01	14	2,87	2011	Baja	Producción	8,6	38,95	5,25	3,28
29	23,11	4,46	13	2,89	2011	Baja	Producción	14	38,95	8,54	5,34
30	20,69	4,82	25	2,98	2011	Baja	Producción	12,8	38,95	7,81	4,88

Anexo N° 5. Función de volumen de las ramas.

Ramas	VR	Db	L	Db2	L2	DbL	Db2*L	V cilindro	V paraboloides	V cono	V neiloide	f cilindro	f paraboloides	f cono	f neiloide
Rama 1	821,18	3,15	142	9,92	20164	447,3	1408,99	1106,62	553,31	368,87	276,66	0,74	1,48	2,23	2,97
Rama 2	1233,92	3,2	183	10,24	33489	585,6	1873,92	1471,78	735,89	490,59	367,94	0,84	1,68	2,52	3,35
Rama 3	2700,93	5,14	224	26,42	50176	1151,36	5917,99	4647,99	2323,99	1549,33	1162,00	0,58	1,16	1,74	2,32
Rama 4	1037,34	3,1	200	9,61	40000	620	1922	1509,54	754,77	503,18	377,38	0,69	1,37	2,06	2,75
Rama 5	811,51	3,24	164	10,49	26896	531,36	1721,60	1352,15	676,07	450,72	338,04	0,60	1,20	1,80	2,40
Rama 6	1971,28	4,08	214	16,64	45796	873,12	3562,32	2797,85	1398,93	932,62	699,46	0,70	1,41	2,11	2,82
Rama 7	778,78	2,98	208	8,88	43264	619,84	1847,12	1450,73	725,37	483,58	362,68	0,54	1,07	1,61	2,15
Rama 8	509,50	2,57	176	6,61	30976	452,32	1162,46	913,00	456,50	304,33	228,25	0,56	1,12	1,67	2,23
Rama 9	1730,13	4,36	208	19,01	43264	906,88	3953,99	3105,47	1552,73	1035,16	776,37	0,56	1,11	1,67	2,23
Rama 10	909,48	2,87	203	8,24	41209	582,61	1672,09	1313,26	656,63	437,75	328,32	0,69	1,39	2,08	2,77
Rama 11	1217,54	3,09	253	9,55	64009	781,77	2415,66	1897,27	948,63	632,42	474,32	0,64	1,28	1,93	2,57
Rama 12	859,79	3,18	188	10,12	35344	597,84	1901,13	1493,15	746,57	497,72	373,29	0,58	1,15	1,73	2,30
Rama 13	2309,83	5,21	174	27,14	30276	906,54	4723,07	3709,50	1854,75	1236,50	927,38	0,62	1,25	1,87	2,49
Rama 14	2190,01	5,04	207	25,40	42849	1043,28	5258,13	4129,74	2064,87	1376,58	1032,43	0,53	1,06	1,59	2,12
Rama 15	1767,10	4,93	176	24,31	30976	867,68	4277,66	3359,68	1679,84	1119,89	839,92	0,53	1,05	1,58	2,10
Rama 16	1337,32	3,96	182	15,68	33124	720,62	2854,05	2241,57	1120,79	747,19	560,39	0,60	1,19	1,79	2,39
Rama 17	1102,51	3,68	187	13,54	34969	688,16	2532,43	1988,97	994,48	662,99	497,24	0,55	1,11	1,66	2,22
Rama 18	3480,55	5,36	224	28,72	50176	1200,64	6435,43	5054,39	2527,19	1684,80	1263,60	0,69	1,38	2,07	2,75
Rama 19	984,00	3,29	195	10,82	38025	641,55	2110,69	1657,74	828,87	552,58	414,44	0,59	1,19	1,78	2,37
Rama 20	602,23	2,86	163	8,18	26569	466,18	1333,27	1047,15	523,58	349,05	261,79	0,58	1,15	1,73	2,30
Rama 21	1244,62	3,36	194	11,28	37636	651,84	2190,18	1720,17	860,08	573,39	430,04	0,72	1,45	2,17	2,89
Rama 22	715,65	2,78	182	7,72	33124	505,96	1406,57	1104,72	552,36	368,24	276,18	0,65	1,30	1,94	2,59
Rama 23	1235,31	3,14	226	9,85	51076	709,64	2228,27	1750,08	875,04	583,36	437,52	0,71	1,41	2,12	2,82
Rama 24	3578,83	5,29	257	27,98	66049	1359,53	7191,91	5648,53	2824,26	1882,84	1412,13	0,63	1,27	1,90	2,53
Rama 25	649,06	3,07	154	9,42	23716	472,78	1451,43	1139,96	569,98	379,99	284,99	0,57	1,14	1,71	2,28
Rama 26	904,79	2,96	183	8,76	33489	541,68	1603,37	1259,29	629,64	419,76	314,82	0,72	1,44	2,16	2,87
Rama 27	3263,39	5,12	235	26,21	55225	1203,2	6160,38	4838,37	2419,18	1612,79	1209,59	0,67	1,35	2,02	2,70
Rama 28	859,15	2,87	189	8,23	35721	542,43	1556,77	1222,69	611,35	407,56	305,67	0,70	1,41	2,11	2,81
Rama 29	1268,23	3,57	194	12,74	37636	692,58	2472,51	1941,91	970,95	647,30	485,48	0,65	1,31	1,96	2,61
Rama 30	976,56	2,92	186	8,52	34596	543,12	1585,91	1245,57	622,79	415,19	311,39	0,78	1,57	2,35	3,14

Anexo N° 6. Datos biomasa por estratos

	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	volumen Fuste	Total
Árbol 1	4042,59	22098,77	5419,40	3187,51	2314,97	4236,59	41299,84
Árbol 2	5636,66	72153,89	35089,88	21519,27	16753,36	5933,59	140333,28
Árbol 3	3740,07	6342,24	7976,43	3347,41	3810,22	5935,33	27341,47
Árbol 4	3617,11	21306,93	5816,01	8858,88	7954,11	6151,13	45750,07
Árbol 5	5664,05	19460,46	4381,36	4137,29	4571,31	5944,20	39587,35
Árbol 6	5317,68	12031,21	21599,44	12659,51	8810,12	9090,06	60697,90
Árbol 7	2737,96	10520,69	8949,07	7953,80	8137,69	8897,64	39059,16
Árbol 8	3566,94	17624,50	4526,83	8623,70	6698,59	10769,73	45111,68
Árbol 9	2112,33	8605,39	13664,74	10357,95	5042,73	10764,08	45504,49
Árbol 10	3797,81	40526,18	40396,32	31527,69	13350,05	17685,64	133933,64
Árbol 11	2955,52	15953,02	20382,20	17519,47	10068,07	5741,82	62552,02
Árbol 12	3055,72	19336,67	14410,61	27309,29	14556,72	9851,73	73964,02
Árbol 13	3040,82	15845,40	21304,85	26182,42	8811,05	5585,88	71959,37
Árbol 14	4585,85	22528,04	20721,44	17313,36	8513,27	11421,88	76570,58
Árbol 15	3201,02	11403,42	18730,49	14064,13	10061,53	11695,23	59094,29
Árbol 16	3819,15	13419,43	26445,56	17656,37	8692,02	8046,67	69387,17
Árbol 17	3257,29	5116,65	9885,68	15307,30	9543,63	8055,05	41621,97
Árbol 18	7042,57	9513,27	16529,45	14854,26	9239,04	7166,47	55106,01
Árbol 19	4143,43	26680,70	19693,40	17674,66	9962,47	9181,35	77373,53
Árbol 20	3368,84	18363,17	9952,56	15960,78	10508,64	9499,88	57145,24
Árbol 21	2878,77	12354,22	6554,01	13809,17	7368,92	9773,05	45369,21
Árbol 22	4699,05	14412,88	29454,25	25569,28	8221,57	9939,75	84075,21
Árbol 23	4764,35	16957,89	19470,55	17237,58	8970,59	9040,46	67470,83
Árbol 24	3813,87	12654,23	10255,20	14844,01	9332,65	14679,16	56246,48
Árbol 25	3242,78	17339,88	26906,62	9676,09	6304,28	10916,40	68081,77
Árbol 26	4118,89	16059,92	10454,75	14182,07	9285,69	13237,98	58053,61
Árbol 27	5481,85	6291,15	15940,04	15646,26	11504,42	15270,94	58630,23
Árbol 28	2478,23	12055,40	23340,15	20410,35	9325,82	5468,00	63752,14
Árbol 29	2542,99	19411,38	17719,10	12157,15	6454,69	5452,98	57283,61
Árbol 30	2796,61	8373,27	18927,16	19782,31	8436,17	8405,27	58284,64

FOTOGRAFÍAS

CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO

Foto N° 1. Identificación del cultivo de mandarina.



Foto N° 2. Numeración de la unidad experimental.



DENDROMETRIA DE PLANTA ENTERA

Foto N° 3. Medición de la altura de planta.



Foto N° 4. Medición del diámetro de copa.



Foto N° 5. Medición de la altura de copa al suelo.

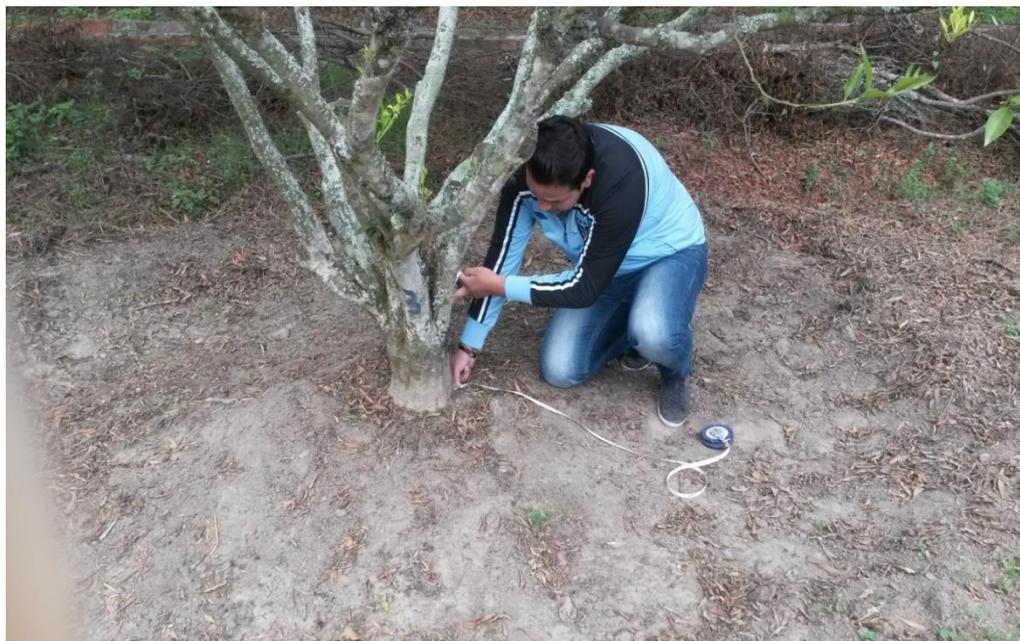


Foto N° 6. Medición del diámetro de tronco.



Foto N° 7. Poda del cultivo de mandarina (ramas y ramillas).



Foto N° 8. Recolección y pesada de los residuos de poda.



Foto N° 9. Deshojada y pesada de hojas.



DENDROMETRIA DE RAMAS

Foto N° 10. Selección y mediciones de ramas.



DENDROMETRIA DE PLANTA POR ESTRATOS

Foto N° 11. Medición de la longitud por estratos.



Foto N° 12. Medición del diámetro en estratos.



Foto N° 13. Corte de las ramas.



Foto N° 14. Muestras para determinar el % de humedad en laboratorio.



Foto N° 15. Muestras en estufa a 105 °C por 24 horas para determinar peso seco.



Foto N° 16. Determinación del peso seco.



Foto N° 17. Determinación de la densidad en húmedo y seco.



Foto N° 18. Determinación del % de cenizas en laboratorio.



Foto N°19. Revisión de resultados de la investigación UTA Ambato con el Dr. Borja Velázquez.

