



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

ESCUELA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA MEDIANTE EL ESTUDIO
DENDROMÉTRICO EN EL CULTIVO DE DURAZNERO (*Prunus
persica L*) EN EL SECTOR EL CHAPI, PARROQUIA PIMAMPIRO,
CANTÓN PIMAMPIRO.**

Tesis previa a la obtención del Título de:
Ingeniero Agropecuario

AUTOR: Chandi Mora Henry Rolando

DIRECTOR: Ing. Carlos Cazco L. MSc.

Ibarra – Ecuador

2015

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

ESCUELA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA MEDIANTE EL ESTUDIO
DENDROMÉTRICO EN EL CULTIVO DE DURAZNERO (*Prunus
persica L*) EN EL SECTOR EL CHAPI, PARROQUIA
PIMAMPIRO, CANTÓN PIMAMPIRO.**

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 Cazco L. MSc.

Director de Tesis

Ing. Franklin Valverde. MSc.

Asesor

Ing. Mónica León. MSc.

Asesor

Ing. Fernando Basantes. MSc.

Asesor



Ibarra – Ecuador

2015



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:	172529926-5		
Apellidos y nombres:	Chandi Mora Henry Rolando		
Dirección:	Av. Jaime Roldós y Juan Hernández. Ibarra		
Email:	merryonewi@yahoo.es		
Teléfono fijo:		TELÉFONO MÓVIL:	0998680887

DATOS DE LA OBRA	
Título:	“Cuantificación de biomasa mediante el estudio dendrométrico en el cultivo de duraznero (<i>Prunus persica</i>) en el sector el Chapi, Parroquia Pimampiro, Cantón Pimampiro”
Autor:	Chandi Mora Henry Rolando
Fecha:	2015
Solo para trabajos de grado	
Programa:	Pregrado
Título por el que opta:	Ingeniero Agropecuario
Director:	Ing. Carlos Cazco L. MSc.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Chandi Mora Henry Rolando, con cédula de ciudadanía Nro. **172529926-5**; 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, 14 de Julio de 2015.

AUTOR:



Rolando Chandi

C.I.: 1725299265

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, **Chandi Mora Henry Rolando**, con cédula de ciudadanía Nro. 172529926-5 ; 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 **“CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA MEDIANTE EL ESTUDIO DENDROMÉTRICO EN EL CULTIVO DE DURAZNERO (*Prunus persica L*) EN EL SECTOR EL CHAPI, PARROQUIA PIMAMPIRO, CANTÓN PIMAMPIRO”**, 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.

Chandi Mora Henry Rolando

C.I.: 172529926-5

Ibarra, 14 de Julio de 2015.

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

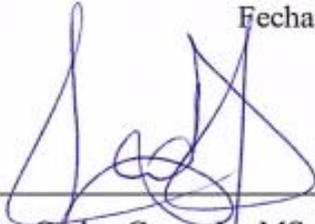
Guía: FICAYA-UTN
Fecha: Ibarra, 14 de Julio de 2015

CHANDI MORA HENRY ROLANDO “Cuantificación de biomasa mediante el estudio dendrométrico en el cultivo de duraznero (*Prunus persica L*) en el sector el Chapi, Parroquia Pimampiro, Cantón Pimampiro” / TRABAJO DE GRADO. Ingeniero Agropecuario. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, 14 de Julio de 2015. 112 pp. 7 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 duraznero (*Prunus persica*) 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 durazno. 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.

Fecha: Ibarra, 14 de Julio de 2015.



Ing. Carlos Cazco L. MSc.

Director de Tesis



Rolando Chandi

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 “ Cuantificación de biomasa mediante el estudio dendrométrico en el cultivo de duraznero (*Prunus persica* L)”

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

Rolando Chandi

DEDICATORIA

A Dios por darme la posibilidad de vivir, guiarme y bendecirme en todo instante.

A mis padres ya que me supieron brindar el apoyo, comprensión incondicional en cada instante de mi vida he infundir en mí los valores necesarios para luchar con perseverancia hasta alcanzar uno de los objetivos de culminar mis estudios profesionales.

ROLANDO CHANDI

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica del Norte y a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, de la cual me llevo las mejores enseñanzas recibidas en las aulas y a todos los docentes que contribuyeron de una u otra manera en mi formación académica y profesional.

Al Ing. Carlos Cazco, Director de Tesis porque gracias a sus conocimientos esta investigación llegó a culminarse con éxito.

Al Ph.D. Borja Velázquez Martí, por contribuir con los conocimientos y experiencia a desarrollar este proyecto.

Y mi eterna gratitud a todos mis maestros, amigos, compañeros y a todas aquellas personas, testigos de mis triunfos y fracasos.

ROLANDO CHANDI

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	vii
DEDICATORIA.....	viii
AGRADECIMIENTO.....	ix
ÍNDICE	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
ÍNDICE DE FOTOS	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO II	5
REVISIÓN DE LA LITERATURA	5
2.1. LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE.....	5
2.1.1. Energía a partir de la biomasa.	6
2.1.2. Ventajas de la biomasa	8
2.1.2.1. Ventajas ambientales	8
2.1.2.2. Ventajas socioeconómicas.....	8
2.2. DENDROMETRÍA	9
2.3. DASOMETRÍA.....	9
2.4. MEDICIÓN DE ÁRBOLES.	10
2.5. MEDICIÓN DE ALTURAS Y VOLUMEN	10
2.6. MEDICIÓN DE LA CANTIDAD DE BIOMASA.....	11
2.6.1. Sensores remotos.....	17

2.7. CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA EN FRUTALES.....	18
2.8. BIOMASA PROCEDENTE DE PODAS	19
2.8.1. Factor Intensidad de la poda.....	23
2.8.2. Modelos de regresión para la predicción de la biomasa producida.....	25
2.8.3. Coeficiente de determinación r^2 en ciruelo.	26
2.9 RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE BIOMASA RESIDUAL.	28
2.10. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS.....	30
2.10.1. Caracterización de los residuos	30
2.11. CULTIVO DE DURAZNO.....	31
2.11.1. Origen y distribución.....	31
2.11.2. Taxonomía.....	31
2.11.3. Descripción botánica	32
2.11.4. Variedades	33
2.12. FACTORES DE PRODUCCIÓN	33
2.12.1. Clima	33
2.12.2. Suelo.....	34
2.12.3. Agua	34
2.12.4. Altitud.....	34
2.12.5. Precipitación.....	34
2.12.6. Temperatura.....	35
2.12.7. Horas Frío.....	35
2.12.8. Heladas	35
2.13. PREPARACIÓN DEL SUELO.....	36
2.13.1. Arada	36
2.13.2. Rastrada y nivelada	36
2.13.3. Plantación	36
2.13.4. Trazado y hoyado	36

2.13.5. Fertilización.....	37
2.14. PODAS.....	37
2.14.1. Poda de formación.....	37
2.14.2. Poda de fructificación.....	37
2.15. PLAGAS Y ENFERMEDADES.....	38
CAPÍTULO III	39
MATERIALES Y MÉTODOS	39
3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	39
3.1.1. Ubicación Geográfica	39
3.1.2. Condiciones Climáticas	39
3.1.3. Condiciones Edáficas.....	40
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS.....	41
3.2.1. Materiales	41
3.2.2. Equipos	41
3.3. MÉTODOS.....	42
3.3.1. Factor en estudio	42
3.3.2. Análisis Estadístico	42
3.3.3. Variables Evaluadas	42
3.3.4. Características del Experimento.....	43
3.3.5. Características de la unidad experimental	43
3.4. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO	43
3.4.1. Selección e identificación.....	43
3.4.2. Análisis de predicción de la biomasa residual procedente de la poda en el árbol entero.....	43
3.4.3. Poda del cultivo	44
3.4.4. Peso de los residuos de poda	44
3.4.5. Análisis dendrométrico de las ramas.....	45

3.4.6. Análisis dendrométrico de la planta entera	47
3.4.7. Análisis del material vegetal seleccionado en laboratorio.	49
CAPITULO IV	53
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
4.1 PREDICCIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL DE PODA.....	53
4.2. ESTUDIO DENDROMÉTRICO DE RAMAS.....	56
4.3 ANÁLISIS DE LA BIOMASA LIGNOCELULÓSICA DE LA PLANTA.	60
4.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA BIOMASA.	65
CAPITULO V	67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
5.1. CONCLUSIONES.....	67
5.2. RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFÍA	70
ANEXOS	78
FOTOGRAFÍAS	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fuentes de origen de la biomasa con destino energético.	5
Tabla 2. Biocombustibles obtenidos de la transformación de la biomasa.	7
Tabla 3. Estimaciones de biomasa residual de distintos cultivos según autores.	21
Tabla 4. Clasificación de las intensidades de poda.	22
Tabla 5. Ecuaciones de predicción de la biomasa obtenida por hectárea en la poda de frutales.	26
Tabla 6. Cuantificaciones medias de materia seca por árbol.	28
Tabla 7. Resumen estadístico de la biomasa residual del ciruelo.	29
Tabla 8. Propiedades de los residuos estudiados.	30
Tabla 9. Ubicación geográfica del ensayo.	39
Tabla 10. Condiciones Climáticas.	39
Tabla 11. Condiciones Edáficas.	40
Tabla 12. Resumen estadístico de los parámetros estudiados en la predicción de la biomasa residual de poda.	53
Tabla 13. Análisis de la relación lineal entre las variables a través del coeficiente de Pearson.	54
Tabla 14. Modelo de regresión para la biomasa residual de la poda de duraznero.	55
Tabla 15. Resumen estadístico de los parámetros estudiados en las ramas.	57
Tabla 16. Cálculo de factores de forma en cada uno de los modelos geométricos estudiados.	57
Tabla 17. Análisis de la relación lineal entre variables a través del coeficiente de Pearson.	58
Tabla 18. Modelo de regresión para las ramas.	59
Tabla 19. Valores promedios de las ramas de durazno por estratos.	60
Tabla 20. Resumen estadístico de los parámetros estudiados de la planta entera.	61
Tabla 21. Modelo de regresión para la predicción de la biomasa residual del duraznero.	62
Tabla 22. Resultados del factor de ocupación de los árbol de duraznero.	64
Tabla 23. Valores promedios de los parámetros físicos del material lignocelulósico del duraznero.	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Intervalos LSD para el factor “Especie” en frutales para un nivel de confianza del 99% (Fernández & Velázquez, 2010).	23
Figura 2. Intervalos LSD para el factor Intensidad de la poda en melocotonero para un nivel de confianza del 99% (Fernández & Velázquez, 2010).....	24
Figura 3. Intervalos LSD para el factor “Intensidad de la poda” en frutales para un nivel de confianza del 99% (Fernández & Velázquez, 2010).....	25
Figura 4. Componentes más residuo para biomasa residual en ciruelo.	27
Figura 5. Tipos de distribución según la asimetría (Pacheco, 2014).	29
Figura 6. Clasificación de las distribuciones de acuerdo a su grado de apuntamiento (Pacheco, 2014).	30
Figura 7. Mediciones de diámetros cada cierto intervalo (Velázquez, 2006).....	45
Figura 8. Sección de un tronco de cono, donde R = radio mayor; r = radio menor; h = longitud del intervalo (Velázquez, 2006).	46
Figura 9. Distribución del árbol por estratos.....	47
Figura 10. Modelos de crecimiento de copas arbóreas en una superficie determinada: (a) semielipse, (b) paraboloides, (c) crecimiento cónico, (d) crecimiento cilíndrico (Velázquez, 2006).....	48
Figura 11. A) Gráfico de Componente + Residuo en durazno B) Componentes más residuo para biomasa residual en ciruelo.	56
Figura 12. Gráfico de Componente + Residuo para el volumen real de las ramas.	59
Figura 13. Diagrama de distribución de la biomasa por estratos y fuste en durazno.....	61
Figura 14. Gráfico del modelo ajustado para el volumen total de la planta.	63
Figura 15. Curva de desecación de la humedad hasta el 10% en el duraznero.....	66

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ubicación del área de estudio.....	79
Anexo 2. Hoja de campo, ensayo determinación de biomasa procedente de restos de poda.....	80
Anexo 3. Hoja de campo, estudio factor de forma y funciones de volumen.	81
Anexo 4. Hoja de campo, determinación volumen total.....	82
Anexo 5. Datos dendrometría de la planta y del cultivo.....	83
Anexo 6. Función de volumen de las ramas.	84
Anexo 7. Datos biomasa por estratos.....	85

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Identificación del cultivo de duraznero.	87
Foto 2. Numeración de la unidad experimental.	87
Foto 3. Medición de la altura de planta.	88
Foto 4. Medición del diámetro de copa.	88
Foto 5. Medición de la altura de copa al suelo.	89
Foto 6. Medición del diámetro de tronco.	89
Foto 7. Poda del cultivo de duraznero (ramas y ramillas).	90
Foto 8. Recolección y pesada de los residuos de poda.	90
Foto 9. Deshojada y pesada de hojas.	91
Foto 10. Selección y mediciones de ramas.	91
Foto 11. Medición de la longitud por estratos.	92
Foto 12. Medición del diámetro en estratos.	92
Foto 13. Corte de las ramas.	93
Foto 14. Muestras para determinar el % de humedad en laboratorio.	93
Foto 15. Muestras en estufa a 105 °C por 24 horas para determinar peso seco.	94
Foto 16. Determinación del peso seco.	94
Foto 17. Determinación de la densidad en húmedo y seco.	95
Foto 18. Determinación del % de cenizas en laboratorio.	95
Foto 19. Fructificación del cultivo después de la investigación.	96
Foto 20. Presentación de la investigación en el campo.	96

RESUMEN

Esta investigación generó información científico-técnica sobre la cantidad de biomasa obtenible del duraznero (*Prunus persica* L) a partir del análisis dendrométrico, en una plantación ubicada en el sector el Chapi del Cantón Pimampiro, 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 3,15t/ha de materia seca en un marco de plantación de 4 x 4m con una desviación típica de 1,58t/ha. La forma real de las ramas se ajustó al modelo geométrico paraboloidal con un coeficiente de 0.76. El muestreo de la distribución de la biomasa determinó que la mayor cantidad se encontró en los estratos tres (32%) y cuatro (29%) seguido de los estratos uno (9%) y dos (22%) de la planta. Finalmente, la caracterización energética de la biomasa leñosa señaló el contenido del 46,9% de humedad, 0,91 g/cm³ de densidad en seco, 1,1 g/cm³ densidad en húmedo, 8,8% de cenizas y 91,1% de volátiles, parámetros que indicaron la aptitud del material leñoso para la combustión directa en caldera o para procesos de gasificación.

ABSTRACT

The study's research generated technical and scientific information regarding the amount of biomass obtained from the Peach Tree (*Prunus persica* L) crop by performing a dendrometry analysis. The study took place at the Chapi neighborhood in the Pimampiro Village in the Imbabura Province; and the objectives of this research were the following: To analyze and determine the influencing factors that take place as far as branch formation and determine what function the branches volume plays. To analyze distribution biomass pattern of the tree top, to define an occupancy factor and to estimate regression models. The biomass residual prediction at pruning, the branches' dendrometry analysis, the entire plant dendrometry analyses, in addition to the study of the plant's characteristics were quite important variables that were studied in this research. Within this project, thirty trees were selected, which all the trunks and tree top diameters, height (from the ground to the tree top) and tree's total height were measured. Eventually, the branches were pruned and the material cut from them was weighted. For the dendrometry analysis of the branches, 30 of them were selected and their diameters were measured at the base, to the length of the branch and every 10 centimeters of the branch's diameter were calculated, as a result the real branch volume was revealed. Residual biomass available is 3, 15 t/ha from dry matter with a 4 x 4 m² frame, its typical deviation is 1, 58 t/ha. The real shape of the branches got adjusted to the paraboloid geometric model with a coefficient of 0.76. Furthermore, the sampling of the biomass distribution displayed the most quantity and was found in layers three (32%) and four (29%), followed by layer one (9%) and layer two (22%) in the plant. Finally, the energetic structure in woody biomass indicated humidity contend of (46.9%), dried density of (0.91 g/cm³) humid density (1.1 g/cm³) ash (8.8%) and volatiles (91.1%). Such parameters indicated the woody material's capacity to generate a direct combustion in a boiler or capacity for the gasification processes.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La contaminación y el incremento de la concentración de CO₂ en la atmósfera está cambiando progresivamente el clima mundial provocando el aumento de la temperatura y la frecuencia de fenómenos climáticos extremos. Las plantas agrícolas contribuyen a la captación de CO₂ de la atmósfera a través de la fotosíntesis almacenándolo en sus estructuras vegetales. La valoración de las distintas especies como sumideros de dióxido de carbono es algo de momento desconocido y supone un reto científico. Esta investigación pretende desarrollar métodos para valorar este proceso de captación en especies frutales ecuatorianas. Por otra parte, debido al posible agotamiento de los combustibles fósiles en un plazo cercano, el ser humano busca fuentes de energía alternativa para satisfacer sus necesidades básicas, llamadas Energías Renovables, dentro de las cuales se encuentra la biomasa. Los distintos cultivos producen residuos de poda que podrían aprovecharse desde el punto de vista energético como recursos renovables. Actualmente en la mayoría de las plantaciones los restos son amontonados, siendo quemados no produciendo ningún beneficio directo, desperdiciando una posible fuente de energía, a partir del calor desprendido de la combustión. En Ecuador se realizan podas de varios cultivos agrícolas, de los cuales se producen grandes cantidades de biomasa.

En los últimos años los gobiernos de los distintos países del mundo han promocionado el uso de energías renovables. Se denominan energías renovables a fuentes de energías inagotables, sostenibles y respetuosas con el medioambiente. Este tipo de energías podrían solucionar muchos de los problemas ambientales y económicos que supone el actual uso del resto de las fuentes de energía, como la contaminación atmosférica, residuos radiactivos, liberación de gases que propician la destrucción de la capa de ozono e incrementan el efecto invernadero, junto a su vez; frenar la dependencia de las importaciones energéticas de fuentes agotables, dado que las fuentes de energía renovables son accesibles en cualquier zona del mundo (World Energy Council, 1997).

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. 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 (Velázquez, 2006).

En el Ecuador existen varias zonas dedicadas al cultivo de duraznero con el único objetivo de obtener productos alimentarios, dejando a un lado por desconocimiento la importancia de la biomasa adquirida durante el manejo del cultivo. La biomasa procedente de las podas de duraznero, así como de otros árboles frutales, es un recurso renovable que puede ser aprovechado de manera continua y sin causar efectos negativos al medio ambiente. Por este motivo, se pretende dar un mejor uso alternativo a los restos agrícolas, que comúnmente nuestros agricultores no lo aprovechan y prefieren quemar, botar o dejar en el campo sin conseguir ningún beneficio directo, más bien se transforman en un obstáculo en el campo, para realizar otras operaciones de cultivo. En definitiva, el uso adecuado de los residuos de las podas fomentará las buenas prácticas agrarias, los agricultores conseguirán ingresos económicos adicionales, actividades que contribuirán al desarrollo sustentable de las especies y el medio ambiente.

En la actualidad existe una extensa cantidad de residuos de árboles frutales que no son utilizados para ningún fin, salvo para su quema. Mediante la aplicación de la dendrometría se quiere obtener fuentes seguras de biomasa y el mejor empleo de los residuos que generan las podas en los frutales. De esta manera reducir la contaminación de CO₂ a la atmósfera. Por lo tanto la generación de biomasa se pretende dar una alternativa a la combustión directa en campo o convirtiendo sus residuos en subproductos, que sería materia prima para generar biocombustible.

Es por eso que el objetivo general de esta investigación fue:

Generar información técnica científica sobre la cantidad de biomasa obtenible del cultivo de duraznero (*Prunus persica* L) a partir del análisis dendrométrico, en el sector El Chapí, Parroquia y Cantón Pimampiro, Provincia de Imbabura.

Los objetivos específicos fueron:

- Analizar y determinar el factor de forma, las funciones de volumen en las ramas de la planta de duraznero (*Prunus persica* L).
- Analizar la distribución de la biomasa en las ramas de la copa del árbol.
- Definir un factor de ocupación que relacionará la biomasa contenida en la copa con un modelo geométrico que describe el volumen aparente de la copa.
- Determinar la biomasa en la copa del árbol a partir del coeficiente de determinación r^2 ajustado, mediante variables como: el diámetro de copa, diámetro del tronco, altura de planta, altura de la copa o el marco de plantación.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE

Según Velázquez (2006), 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 se puede extraer de sistemas agrícolas, forestales y marinos, en cada uno de estos el hombre obtiene productos para su alimentación o materias primas para su transformación industrial (madera, papel, tejidos). Los orígenes de la biomasa con destino energético son mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. 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, mistanco, 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), cascara (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, 2009).

La biomasa obtenida en cada uno de estos sistemas puede ser destinada a uso energético pero debe realizarse diversas transformaciones físicas o químicas, obteniendo lo que se denomina biocombustibles. Denominamos biocombustible a sustancias o materiales que provienen de la transformación física o química de la biomasa que tiene la facilidad de reaccionar con el oxígeno de forma exotérmica, es decir, desprendiendo energía calorífica (Velázquez, 2006).

2.1.1. Energía a partir de la biomasa.

Durante la fotosíntesis, las plantas generan carbohidratos: azúcares y almidones. Los carbohidratos son compuestos orgánicos provenientes del carbono y del hidrógeno. Estos compuestos almacenan energía en los enlaces que los mantienen unidos. Esta energía almacenada se libera cuando las plantas se comen o, lo que es más importante en este caso, cuando se queman. El oxígeno del aire se combina con el carbono de las plantas y libera energía, agua y dióxido de carbono (CO_2). La energía se usa para hervir agua y transformarla en vapor. El vapor pone en funcionamiento las turbinas que generan electricidad. Existe otra manera de liberar la energía de las plantas. El proceso de fermentación convierte los azúcares de las plantas en alcohol. Luego ese alcohol, en forma de líquido o gas, puede ser quemado para liberar energía (SEED, 2013).

Estos serán utilizados como fuente de calor, para la generación de energía eléctrica o como carburante para el transporte. Los biocombustibles más comunes se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Biocombustibles obtenidos de la transformación de la biomasa.

Biocombustibles	Estado Físico	Biomasa de origen	Tipo y proceso de transformación		Utilización
Leñas y astillas	Sólido	Cultivos energéticos forestales y especies leñosas Restos de operaciones silvícolas Recortes y tacos procedentes de las industrias forestales	Física	Fragmentación	Combustión directa en calderas Formación de carbón vegetal Formación de pélets y briquetas
Carbón vegetal	Sólido	Cultivos energéticos forestales y especies leñosas Restos de operaciones silvícolas Recortes y tacos procedentes de las industrias forestales	Física	Fragmentación Carbonización	Combustión directa en calderas Formación de pélets y briquetas
Pélets y briquetas	Sólido	Cultivos energéticos agrícolas y forestales Restos de operaciones silvícolas e industrias forestales Residuos urbanos	Física	Trituración Secado Compactación	Combustión directa en calderas
Bioetanol y Bioetanol	Líquido	Azúcares procedentes de cultivos como la caña de azúcar o remolacha Almidón obtenido de diversas especies vegetales entre las que destaca patata, maíz y demás cereales Almidón obtenido de materiales lignocelulósicos (maderas)	Química	Fermentación de azúcares Destilación	Carburantes de motores de encendido provocado Como aditivo mezclándose con gasolina en una proporción comprendida entre el 15 %.
Metiléster y dimetiléster	Líquido	Aceite de origen vegetal, principalmente de cultivos oleaginosos: colza, el girasol y el cacahuete... Aceites residuales de freiduría, o de procesos industriales	Física y química	Prensado de semillas Transesterificación de aceites con metanol o etanol.	Directamente como carburantes de motores de encendido por combustión (biodiesel)
Aceites piroleñosos	Líquido	Residuos leñosos, paja de cereales (arroz, trigo...), tallos de maíz, mazorca de maíz.	Química y física	Pirólisis (calentamiento instantáneo de la biomasa a temperaturas entre 400- 450°C y posterior enfriamiento rápido)	Calderas para la obtención de calor Como carburante de motores En turbinas para energía eléctrica.
Biogás	Gaseoso	Residuos ganaderos (purines) fangos aguas residuales, residuos sólidos urbanos, residuos agrícolas, residuos orgánicos industriales, como de la industria del aceite, vino o de zumos	Química	Fermentación anaerobia de origen microbiológico, obteniendo principalmente metano, nitrógeno, amoníaco e hidrógeno.	Combustión directa en calderas Como carburante de motor
Gas obtenido por gasificación	Gaseoso	Residuos leñosos, paja de cereales (arroz, trigo.), tallos de maíz, mazorca de maíz.	Química	Oxidación parcial de la biomasa a alta temperatura (1400°C) sin combustión, obteniendo hidrógeno e hidrocarburos (metano)	Combustión directa en calderas Como carburantes de motor En turbinas para energía eléctrica Producción de otros líquidos o gases combustibles de síntesis
Biohidrógeno	Gaseoso	Biomasa con gran contenido en agua o alcoholes	Química	Hidrólisis	Carburante

Fuente: (Velázquez & Fernández, 2010).

2.1.2. Ventajas de la biomasa

2.1.2.1. Ventajas ambientales

- Balance neutro en emisiones de CO₂ (principal responsable del efecto invernadero). La combustión de biomasa produce CO₂, pero una cantidad análoga a la emitida fue captada previamente por las plantas durante su crecimiento, por lo que la combustión de la biomasa no supone un incremento neto de este gas en la atmósfera (Biodisol, 2011).
- Al tener escaso o nulo contenido en azufre, la combustión de la biomasa no produce óxidos de este elemento, causantes de las lluvias ácidas, como ocurre en la quema de combustibles fósiles (IDAE, 2007).
- En el caso de los biocarburantes utilizados en motores, las emisiones contienen menos partículas sólidas y menor toxicidad que las emisiones producidas por carburantes procedentes del petróleo (IDAE, 2007).
- Permite recuperar en las cenizas de la combustión importantes elementos minerales de valor fertilizante, como fósforo y potasio (Biodisol, 2011).
- Como una parte de la biomasa procede de residuos que es necesario eliminar, su aprovechamiento energético supone convertir un residuo en un recurso (Biodisol, 2011).

2.1.2.2. Ventajas socioeconómicas

- Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.
- Favorece el desarrollo del mundo rural y supone una oportunidad para el sector agrícola, ya que permite realizar cultivos energéticos en sustitución de otros excedentarios.

- La producción de cultivos energéticos en tierras agrícolas de barbecho, supone creación de puestos de trabajo con el consiguiente ahorro de subvenciones por desempleo y favorece el incremento de la actividad del sector agrario (maquinaria, fertilizantes, técnicos etc.) (Biodisol, 2011).
- Abre oportunidades de negocio a la industria española, favorece la investigación y el desarrollo tecnológicos, e incrementa la competitividad comercial de los productos (Biodisol, 2011).

2.2. DENDROMETRÍA

Según Zimble, Evans, Carlson, Parker, Grado & Gerard (2003) aseguran que 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. Sin embargo ha sido poco estudiado en árboles frutales u ornamentales (Sajdak & Velázquez, 2012).

Por otra parte, Romahn & Ramírez (2010), manifiestan que es la medición, cálculo y/o estimación de las dimensiones de los árboles y bosques; analiza las dimensiones de árboles y bosques desde un punto de vista estático.

2.3. DASOMETRÍA

“Dasometría es ciencia que se ocupa de la determinación de volúmenes y crecimientos de las masas forestales, así como del estudio de las relaciones métricas y las que rigen su desarrollo” (Diéguez, *et. al.*, 2003).

2.4. MEDICIÓN DE ÁRBOLES.

El objeto fundamental de la dendrometría es la medición, cálculo o estimación de las dimensiones de árboles y de bosques. Naturalmente, para facilitar las mediciones de bosques, es necesario medir sus partes estructurales, esto es, medir a los árboles (Romahn & Ramírez, 2010).

La medición de las dimensiones de los árboles, a su vez, debe considerar a cada dimensión por separado para, finalmente, de la complementación de esas dimensiones conocer el volumen de madera que cada árbol contiene.

2.5. MEDICIÓN DE ALTURAS Y VOLUMEN

En relación con las alturas, según la parte del árbol de que se trate, se distinguen:

- **Altura total:** del suelo hasta el ápice de la copa.
- **Altura del fuste:** del suelo hasta la base de la copa.
- **Altura de la copa:** la diferencia entre las dos anteriores.
- **Altura comercial:** la parte del fuste que se aprovecha; ésta se determina por el diámetro de la parte superior (diámetro mínimo comercial) o por defectos (nudos, torceduras, bifurcaciones) y por la altura del tocón (Romahn & Ramírez, 2010).

- **Volumen**

A la determinación del volumen de un cuerpo se denomina cubicación, operación que debe estar sujeta con la forma predominante de los árboles en función de los cuatro tipos dendrométricos: cilindro, paraboloides, cono y nelóide (Jaramillo, 2001).

- **El factor volumétrico de forma**

Según Lojan (2005), citado por Toledo (2011), manifiesta que la forma de un árbol sirve principalmente para los cálculos de su volumen geométrico. La forma se debe a la disminución del diámetro con el aumento de altura, y para valorar se busca la relación del volumen del árbol con el volumen de algún sólido geométrico, o la relación que existe entre dos diámetros del mismo fuste.

El factor volumétrico de forma = volumen del árbol/ Vol. del sólido geométrico.

2.6. MEDICIÓN DE LA CANTIDAD DE BIOMASA

El proceso de la medición de la cantidad de biomasa existente en un determinado sistema productivo posee las siguientes fases:

- Selección de la muestra.
- Medición de individuos mediante métodos dendrométricos.
- 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, 1997). Una posibilidad es el volteo o derribo de los árboles para poder medir diámetros a diferentes alturas (Salas, 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).

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; Prodan, 1997).

Ecuación de Huber, (1928).

$$\text{Huber: } V = g_m * L$$

Ecuación de Smalian, (1837).

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

Ecuación de Newton.

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

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)

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, 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, 1997).

$$V = f(Dap, H_T, f)$$

Además Higuera (1994) comenta que: 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 predictora.

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 (Lencinas, 2002). Esto nos incita a investigar ecuaciones aplicadas a los sistemas de cultivo y clima específico de Ecuador.

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, 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, 1997).

Determinación de porciones utilizables del árbol en función del volumen total. Debido a la poca flexibilidad de las funciones anteriores se han desarrollado nuevos métodos para una determinación directa de volúmenes hasta un determinado índice de utilización o entre dos límites de utilización. 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, 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, 1997; Barrio, 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. 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, 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 paraboloide 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 (Fassola, 2007; 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, 1998; Montero, 2008).

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

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, 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, 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 (p. 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 silviculturales, 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 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).

$$y = \beta_1 \cdot x + \beta_0$$

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

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

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 (Mora & Moret, 2001). 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). Cuanto menor sea esta función, mejor será el ajuste (Mora & Moret, 2001).

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

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

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, 2006).

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 (Costas, 2006).

2.6.1. 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, 2011). Los datos multiespectrales 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 (Lencinas, 2002). Entre las variadas formas de clasificar los sensores remotos, una de las más habituales es considerar su procedimiento de recibir la energía de las distintas cubiertas (Gibson & Power, 2000). 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, 2012). Es por ello que investigaciones orientadas al cálculo de biomasa en las parcelas agrícolas supone una oportunidad científica de enorme interés.

2.7. CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA EN FRUTALES

A diferencia de los árboles forestales donde la mensura se ha centrado tradicionalmente en la cubicación del tallo que es la parte utilizable por la industria maderera, si se desea valorar la biomasa leñosa de los árboles frutales hay que considerar que estos poseen un tallo relativamente corto y la mayor cantidad de biomasa se concentra en la copa (Velázquez, 2009). Para cuantificar la biomasa contenida en la copa de los árboles frutales se deben cubicar las ramas del estrato primero, y dependiendo del número de ramas del estrato segundo también estas pueden ser cubicadas en su totalidad. A partir de segundo estrato si el número de ramas es elevado debe contabilizarse el número de ramas del estrato estudiado y posteriormente realizar un muestreo. El conteo de las ramas del estrato puede realizarse mediante estimación contabilizando en número de ramas medio que se desarrollan por cada rama del estrato anterior. A las ramas seleccionadas para ser muestreadas se les determina su volumen real (Velázquez, 2009).

Para la obtención del volumen real se miden los diámetros en secciones separadas una determinada distancia. El volumen comprendido entre dos secciones forma un tronco de cono cuyo valor viene dado por la ecuación. La suma de todos los volúmenes

truncónicos de cada una de las porciones resultara el volumen real de la rama. El volumen de biomasa en cada estrato viene dado por el producto de la media del volumen de las ramas medias y el número total contenido en el estrato. La dispersión existente se determina a través del producto de este número por la desviación típica de las medias realizadas (Velázquez, 2009).

2.8. 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, 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.

La diferenciación es causa de sustancias hormonales producidas en las hojas (SADH, TIBA) cuando se conjugan determinadas condiciones de insolación y temperatura, causa por la que la diferenciación floral se realiza siempre en la misma época del año (Vozmediano, 1982). A medida que el árbol se va convirtiendo en adulto va sufriendo en cada ciclo una diferenciación más intensa y en consecuencia una excesiva floración. La sobreabundancia de floración revertirá en un exceso de frutos que demandarán los

nutrientes almacenados (Gonzales & Borroto, 1987). El reparto excesivo de los nutrientes por los frutos provocará que éstos alcancen poco calibre y menores cualidades organolépticas (Sartori, 2007). En otras palabras, un exceso de frutos tiene efectos negativos sobre la producción a nivel comercial. Por otra parte, los frutos producen en su maduración ácido giberélico, sustancia que inhibe la diferenciación provocando una alternancia de años con mucha floración y producción y años de baja floración y producción debido a la inhibición, fenómeno que denomina vecería (Guardiola, 2008).

La poda es una práctica de control fisiológico para orientar las plantas hacia una producción óptima continuada (Martínez & Zaporta, 1964). Al eliminar ramas, se reduce el número de frutos por planta, se reparte mejor los nutrientes y el peso sobre las ramas principales. Se eliminan ramas mal formadas o dañadas que van a producir frutos defectuosos. Se consigue una mejor iluminación a la parte interna del árbol, mejorando en general la calidad de la producción y reducir la vecería (Sartori, 2007; Nesbitt, 2008).

Existen relativamente pocos estudios que cuantifiquen la masa obtenida en la poda con experimentos específicos. Sólo aparecen en la bibliografía estimaciones globales basadas en encuestas. Ello hace necesario la realización de experimentos que tengan en cuenta factores como tamaño de la planta, tipos de formación o tipo de poda, estudiaron la generación de residuos agrícolas en Italia, país influido también por el clima mediterráneo (Di Blasi, Tanzi & Lanzetta, 1997). En 2005, el Instituto de Ingeniería Energética y el Departamento de Mecanización y Tecnología Agraria de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), desarrollaron el proyecto Bioval. Este proyecto estudia la optimización del aprovechamiento energético de los recursos biomásicos en la Comunidad Valenciana. Dentro de estos recursos incluyen residuos agrícolas, forestales, y residuos de los sectores alimentarios e industria, de la madera y el mueble. Este trabajo se realizó mediante datos estimados de estudios precedentes y estimaciones basados en coeficientes de generación superficial, generación de residuos en función de la productividad agrícola o en función de la actividad agroalimentaria e industrial. Tres años más tarde, en 2008, este mismo instituto desarrolló una metodología basada en sistemas de información geográfica para la cuantificación de la biomasa necesaria para

la cubicación de una planta energética potencial (Perpiñá, 2008). En la Tabla 3, aparecen las cuantificaciones de estos tres estudios para cada uno de los cultivos evaluados.

Tabla 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

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. El melocotonero por su parte, tiene dos tipos de poda, una que consiste en el aclareo de las varas que contienen las yemas, y otra que consiste en la renovación de la madera. Estas diferencias de técnicas culturales hacen que los mismos cultivos que se han desarrollado en condiciones climáticas parecidas den cifras tan diferentes. A continuación se define la poda y sus clases para conseguir una uniformidad de criterios que normalicen los resultados de los ensayos llevados a cabo (Picaza, 1950).

Entendemos la poda como la eliminación o acortamiento de algunas partes de las plantas para facilitar la formación, iluminación y aireación de la copa, mejorar la producción y calidad de los frutos. Existen distintos tipos de podas, las cuales se clasifican según los objetivos que se persigan: poda de formación, poda de fructificación, poda de regeneración; según el tipo de corte a realizar: poda por despunte,

poda por aclareo; y, según la época de ejecución: poda en seco (temprana, de invierno, tardía), poda en verde (de primavera, de verano, de otoño). Esta clasificación es válida para todos los cultivos salvando las diferencias morfológicas de cada uno de ellos, que serán descritas en sus apartados correspondientes (Agustí, 2003).

Respecto a la cantidad de residuos en función de los tipos de poda descritos existen pocas referencias que establecieron la siguiente clasificación (Tabla 4).

Tabla 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).

Se puede ver claramente que la producción de materia seca por árbol de ciruelos es muy inferior a la del resto de especies. La poda de éste árbol, así como su desarrollo vegetativo, es más leve que el resto de especies estudiadas, con lo que es de esperar que la cantidad de biomasa que se extrae en la operación de poda, sea también inferior. En la Figura 1, se muestra la representación de los intervalos LSD, obtenidos en el ADEVA para algunas especies de frutales de hueso.

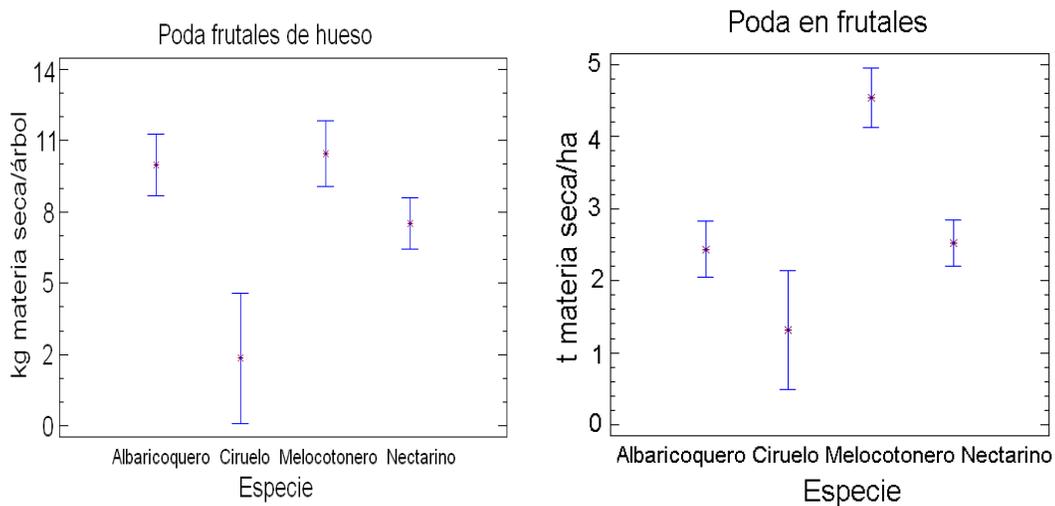


Figura 1. Intervalos LSD para el factor “Especie” en frutales para un nivel de confianza del 99% (Fernández & Velázquez, 2010).

En la biomasa residual producida por árbol se pueden establecer tres grupos, uno de baja producción de biomasa, que engloba al ciruelo, otro de producción media de biomasa que engloba el nectarino y un tercer grupo con producción elevada de biomasa que engloba al melocotonero y el albaricoquero. Si cuantificamos la cantidad de biomasa residual generada por hectárea la única diferencia que se observa es que el albaricoquero se agrupa con el nectarino diferenciándose del melocotonero de mayor producción. Esto es debido a la influencia que ejercen los distintos marcos de plantación en el número de árbol por unidad de superficie y consecuentemente en la biomasa obtenida en la misma.

2.8.1. Factor Intensidad de la poda

Se muestra a continuación, en la Figura 2, el análisis de los individuos del melocotonero, estudiando la intensidad de la poda realizada. El resultado muestra que cuando la poda es de alta intensidad, es decir, se cortan ramas agotadas y secas, y cuando se aplica una poda de menor intensidad o aclareo de varas.

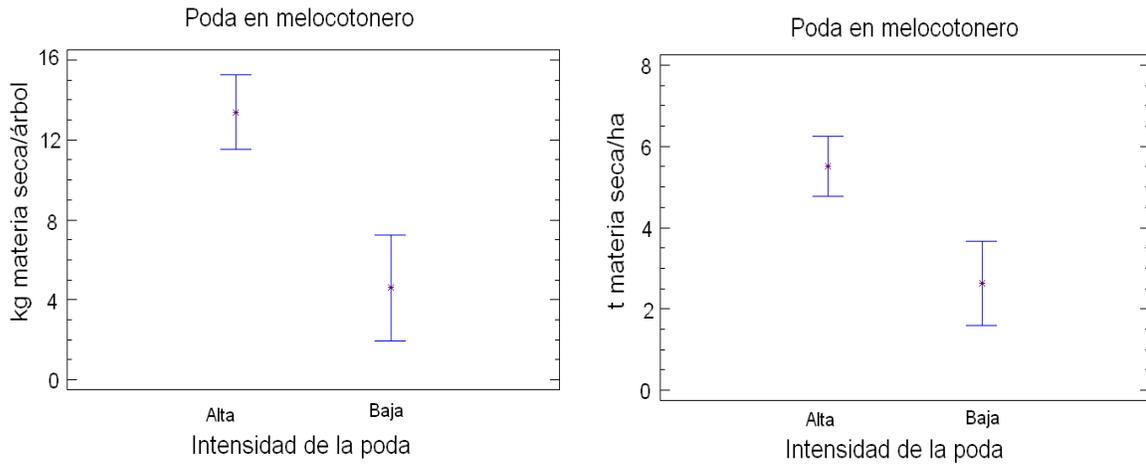


Figura 2. Intervalos LSD para el factor Intensidad de la poda en melocotonero para un nivel de confianza del 99% (Fernández & Velázquez, 2010).

En el grupo de los nectarinos y albaricoqueros la intensidad de poda también es un factor significativo en la producción de biomasa, obteniéndose mayor cantidad de biomasa cuanto más intensa es ésta. Como ya se ha explicado en anteriores cultivos, es en la poda de intensidad alta, donde se suprimen las ramas más voluminosas y pesadas del árbol, frente a las ramas de tamaño y grosor medio que se cortan en las podas de intensidad baja o aclareo. En la Figura 3, se muestra el gráfico de intervalos LSD.

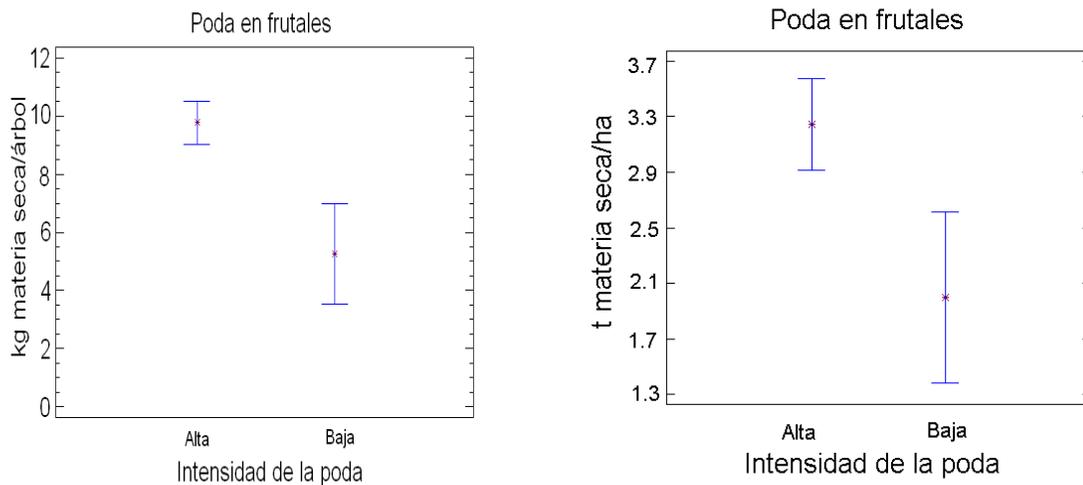


Figura 3. Intervalos LSD para el factor “Intensidad de la poda” en frutales para un nivel de confianza del 99% (Fernández & Velázquez, 2010).

2.8.2. 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.

VARIABLES CUANTITATIVAS:

- 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.

Según Fernández & Velázquez (2010), afirma que inicialmente probaron un modelo lineal. Posteriormente, para mejorar el coeficiente de determinación r^2 , 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 0,58t/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 muestra en la Tabla 5, las ecuaciones de regresión, lineal y cuadrática que se han obtenido para los frutales en t/ha.

Tabla 5. Ecuaciones de predicción de la biomasa obtenida por hectárea en la poda de frutales.

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

Fuente:(Fernández & Velázquez, 2010).

2.8.3. Coeficiente de determinación r^2 en ciruelo.

El modelo de regresión describe la relación entre Biomasa residual (BR) y las variables independientes: diámetro de copa (Dc) y diámetro de tronco (Dt), dado que el p-valor en la tabla ADEVA es inferior a 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99%. En algunos casos puede existir error en la medición de ciertos individuos, o los mismos árboles pueden presentar diferencias en su estructura y cantidad de

biomasa residual, debido al tipo de poda, o por haber sido reemplazado por un árbol más joven, en esos casos el efecto del componente indica que individuo presenta un comportamiento anormal y puede ser aislado del análisis, como se ve en la figura 4, las variables de los árboles estudiados varían, pero no se alejan de la línea de tendencia (Maigua, 2015).

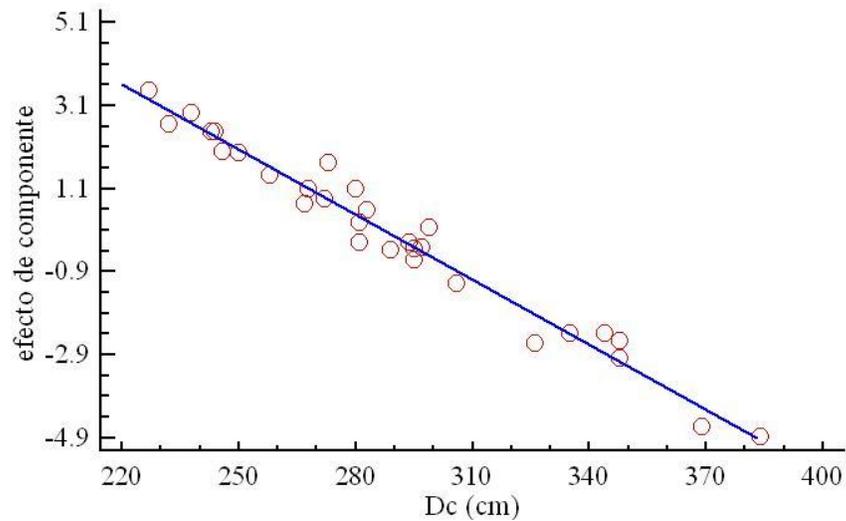


Figura 4. Componentes más residuo para biomasa residual en ciruelo.

En la Tabla 6, se muestra la cuantificación de materia seca por árbol. Además se concluye que la cantidad de biomasa extraíble de los cultivos mediterráneos depende de múltiples factores como variedad, especie o técnicas culturales.

Tabla 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).

En los frutales de hueso, el análisis de las especies ensayadas revela que el melocotonero es la especie con mayor cantidad de biomasa generada en poda, por encima del albaricoquero, ciruelo y nectarino. En la poda del melocotonero se debe distinguir entre poda de intensidad alta, donde se suprime ramas agotadas y aclareo, donde lo que se suprime son varetas portadoras de yemas para mejorarla calidad de la producción. La producción de biomasa media de los árboles frutales asciende a 2,5t materia seca/ha.

En estos cultivos englobados en frutales de hueso, son los marcos de producción amplios, muchas veces superior a 120m² los que resultan ser más productivos en biomasa residual.

2.9 RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE BIOMASA RESIDUAL.

En la Tabla 7, se muestran los resultados estadísticos media, desv. Típica, coef. Curtosis, máximo y mínimo que se obtuvieron de la investigación del cultivo de ciruelo.

Tabla 7. Resumen estadístico de la biomasa residual del ciruelo.

	Media	Desv. Típica	Coef. De Curtosis	Coef. de Asimetría	Máximo	Mínimo
Biomasa residual (kg)	2,33	0,97	-0,42	1,63	4,58	0,96
Diámetro de copa (cm)	289,06	41,24	-0,29	1,35	384,0	227,0
Diámetro de tronco (cm)	13,29	2,37	0,55	-0,53	18,41	8,02
Altura de planta (cm)	298,9	24,49	-0,67	-0,41	344,0	241,0
Altura de la copa al suelo (cm)	35,96	9,15	-0,02	0,63	57,0	19,0

Fuente: (Maigua, 2015).

El coeficiente de asimetría es un indicador del grado de simetría o asimetría de una distribución de probabilidad de una variable aleatoria. Valores muy altos significarían un desplazamiento de la curva de distribución hacia la derecha y valores muy bajos (negativos) significarían un desplazamiento de la curva hacia la izquierda, de acuerdo a la Figura 5.

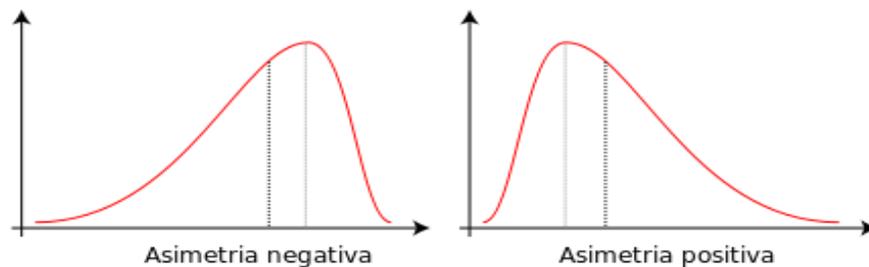


Figura 5. Tipos de distribución según la asimetría (Pacheco, 2014).

El coeficiente de Curtosis informa sobre el grado de apuntamiento de la distribución. Valores muy altos significan una distribución Leptocúrtica donde la mayoría de los datos están muy próximos a la media; valores muy bajos (negativos) indicaría una distribución Platicúrtica en que los datos se distribuyen alejándose de la media según como indica la Figura 6.

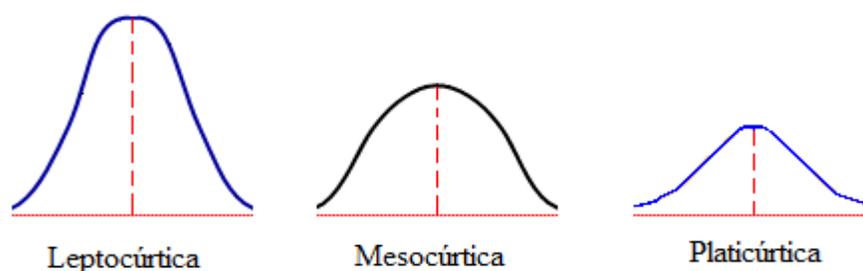


Figura 6. Clasificación de las distribuciones de acuerdo a su grado de apuntamiento (Pacheco, 2014).

2.10. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS

2.10.1. Caracterización de los residuos

En la Tabla 8, mostrada a continuación se presentan los valores de las propiedades de los residuos estudiados: humedad, cenizas, material volátil.

Tabla 8. 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 hojas	29,33	1,2	4	81
Vid	40,3	5,01	8,93	70,7

Fuente: (Fernández & Velázquez, 2010).

En la tabla 8, 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, y el contenido de energético de la biomasa es igual bastante homogéneo (lo que indica que se podría utilizar una mezcla de residuos para incrementar la disponibilidad de materia prima).

2.11. CULTIVO DE DURAZNO

2.11.1. Origen y distribución

El durazno es un árbol caducifolio originario de China, lugar donde todavía hoy se encuentra la mayor producción. Se extendió a la antigua Persia, Grecia y a toda Europa y norte de África (Enríquez, 2001).

Se cree que Cristóbal Colon en su segundo viaje, trajo el durazno a América, donde rápidamente se extendió a E.U.A., México y otros países (Enríquez, 2001).

2.11.2. Taxonomía

Reino: Plantae

División: Mangnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Dicotiledónea

Orden: Rosales

Familia: Rosáceas.

Género: *Prunus*.

Especie: *persica* L.

Nombres Comunes: Duraznero, Melocotonero. (Miranda, 1991).

2.11.3. Descripción botánica

El duraznero es una planta fanerógama, angiosperma, dicotiledónea, dialipétala, su desarrollo es mediano alcanzando una altura de cinco metros (Miranda, 1991).

Las características botánicas son:

- **Raíz**

Raíz pivotante, la misma que se introduce verticalmente a las capas inferiores, a más de estas existen otras que se denominan secundarias, las que se ubican superficialmente, también encontramos raíces terciarias con sus pelos absorbentes (Miranda, 1991).

- **Tallo**

Tallo no muy grueso, se desarrolla en sentido heliotrópico; el tallo cuando tierno su corteza es lisa y de una coloración verde clara a rojiza que posteriormente se toma de un color parduzco su corteza ligeramente agrietada. En las ramillas encontramos el resto de sus órganos como son las flores, hojas, frutos y yemas vegetales y florales (Miranda, 1991).

- **Hojas**

Hojas lanceoladas, de lámina lisa y borde dentado, las mismas que se hallan unidas al tallo por un pecíolo corto en forma alternada. La coloración de estas al inicio es verde claro y luego verde oscuro (Miranda, 1991).

- **Flores**

Flores que aparecen antes de las hojas, cuando la planta termina el periodo de agostamiento. Son flores grandes, medianas o pequeñas de un color rosado o rojizo, son

flores regulares, ordinariamente hermafroditas, autofecundantes, con cinco sépalos, cinco pétalos, numerosos estambres, un ovario supero, unilocular (Miranda, 1991).

- **Fruto**

El fruto es una drupa de forma más o menos esférica, de pulpa carnosa con una hendidura longitudinal poco profunda que va desde el ápice hasta la parte basal. Se halla unida a la rama por medio de un pedúnculo corto de forma globosa. En el centro del fruto se encuentra un cuesco, carnoso o pepa voluminosa ovoidea de superficie surcada en cuyo interior se encuentra la semilla o almendra compuesta de dos cotiledones, recubiertos a la vez por una membrana llamada funículo. La epidermis puede o no estar cubierta de vellosidades, las que van desapareciendo a medida que avanza la madurez (Miranda, 1991).

2.11.4. Variedades

Según Casaca (2005) menciona que en Honduras, Intibucá es el departamento que cuenta con la mayor área sembrada con durazno; sin embargo, no hay un registro preciso de las variedades que están plantadas. En la actualidad, la FHIA recomienda las dos variedades por su buena adaptación y mayores rendimientos:

- La variedad criolla denominada Melocotón amarillo
- La variedad Diamante

2.12. FACTORES DE PRODUCCIÓN

2.12.1. Clima

El duraznero tiene más sensibilidad al clima que a la naturaleza del suelo, ya que necesita de calor y abundante luz para su maduración y color de fruto. Los climas abrigados o templados son los mejores, en cambio los corrientes de aire frío, cambios

bruscos de temperatura y lloviznas frecuente, en especial cuando el huerto está en floración son perjudiciales (INIAP, 1992).

2.12.2. Suelo

El árbol de durazno es poco exigente con respecto a la calidad del suelo, aunque prefiere los suelos profundos, de naturaleza fresca y bien drenada. Pueden cultivarse en tierras de secano y regadío, ligeramente alcalinas que contengan cierta cantidad de materia orgánica siendo indiferente a su estructura bien sea fina, gruesa o pedregosa (INIAP, 1992).

Por otra parte Casaca (2005) menciona que para el buen desarrollo de la planta es preferible seleccionar suelos profundos (mayores de 1 metro) y con un adecuado drenaje natural para evitar encharcamientos, un buen contenido de materia orgánica (3 a 5%) y una textura franco-arcillosa.

2.12.3. Agua

La demanda anual de agua por esta especie, es de 300 a 600 mm de precipitación debidamente distribuida en el ciclo vegetativo. En zonas de ambientes secos es necesario completar las necesidades hídricas con aplicaciones de riego (INIAP, 1992).

2.12.4. Altitud

Las altitudes de cultivo de durazno varían de acuerdo a las variedades, los nectarinos y la variedad de durazno fortuna se adaptan a altitudes de hasta 3200 msnm. Además la variedad diamante se adapta desde los 2500 a 2800 msnm. (Tungurahua y Azuay), y desde 2300 a 2500 msnm. (Pichincha) (Muñoz, 1986).

2.12.5. Precipitación

El durazno requiere precipitaciones de 700 a 1000 mm anuales para todas las zonas de cultivo de durazno (Muñoz, 1986).

2.12.6. Temperatura

La temperatura mínima de crecimiento del árbol es 8°C y la máxima de 40°C, el rango óptimo fluctúa entre los 21°C y los 27°C (Irrifrut, 2007). Por otro lado Charton (1998) asegura que durante el reposo invernal, el durazno es capaz de soportar bajas temperaturas, dada la precocidad de su floración.

2.12.7. Horas Frío

La mayoría de las variedades necesitan de 600 a 800 horas frío (bajo 7°C) las que acumula en invierno mientras están en letargo, y luego, para completar el desarrollo del fruto en primavera/verano, requiere una suma térmica de 450 a 800 grados día desde yema hinchada a la cosecha. La falta de acumulación de frío produce floración/brotación irregular, caída de yemas florales y vegetativas, caída de frutos y frutos de bajo calibre y deformes (Irrifrut, 2007).

2.12.8. Heladas

Las heladas consisten en el descenso de la temperatura de 0 °C, se considera que las heladas constituyen uno de los principales problemas que confronta la fruticultura de hoja caduca en la mayor parte de los países productores de mundo (Calderón, 1993).

Las heladas tardías pueden afectarle. Es una especie ávida de luz y la requiere para conferirle calidad al fruto. Sin embargo el tronco sufre con excesiva insolación, por lo que habrá que encalar o realizar una poda adecuada (Infoagro, 2002).

2.13. PREPARACIÓN DEL SUELO

2.13.1. Arada

Es una labor que se debe practicar con un mes de anticipación a la plantación, con el propósito de mejorar las condiciones físicas del suelo y facilitar un desarrollo normal de las raíces. Esta labor deberá profundizarse hasta 40 cm en suelos sueltos, mientras que en suelos pesados hasta 70 cm, en este último caso se recomienda el empleo de un subsolador (INIAP, 1992).

2.13.2. Rastrada y nivelada

Con la finalidad de disgregar y nivelar el suelo, es recomendable la práctica de estas labores para evitar potenciales encharcamientos y la consecuente interferencia en el crecimiento y desarrollo del sistema radicular (INIAP, 1992).

2.13.3. Plantación

El diseño del huerto puede afectar los costos de inversión y la expectativa de vida del huerto. Por ejemplo, se puede optar por aumentar los costos de establecimiento para obtener altos rendimientos tempranos. La selección del mejor diseño para una situación en particular depende de las limitaciones tales como la fertilidad del suelo, la disponibilidad de agua, el vigor y el hábito de crecimiento y fructificación de la variedad (Gratacos, 2004).

2.13.4. Trazado y hoyado

La primera operación que se debe realizar antes de la plantación y con dos meses de anticipación, es el trazado del huerto tomando en consideración la topografía del terreno. Luego de hacerse el hoyado, cuyos huecos deben tener una dimensión de 80 x 80 x 80 cm (INIAP, 1992).

2.13.5. Fertilización

La fertilización se distribuye de la siguiente manera: se aplica una dosis inicial de triple 19 (19-19-19) con micronutrientes, dividida en dosis bajas (100 kg/ha), de ser posible durante los riegos. Comúnmente se fertiliza con sulfato de amonio, pero debe de tomarse en cuenta el análisis del suelo, ya que se tienen suelos alcalinos con pH de hasta 8.5. Por lo anterior se recomienda el uso de fertilizantes acidificados. Regionalmente se usan también los abonos orgánicos (Hernández y Pinedo, 2009).

2.14. PODAS

2.14.1. Poda de formación

Esta poda tiene por objetivo dar a la planta la forma deseada, regular su producción, rejuvenecer el árbol y suprimir las partes deterioradas de la planta. La poda se practica en receso vegetativo, cuando las hojas han caído y hasta el inicio de la brotación de las yemas y con preferencia de realizar cuando la planta está próxima a brotar por que se estimula el desarrollo vegetativo a lo largo de las ramas (INIAP, 1992).

2.14.2. Poda de fructificación

Una vez obtenida la forma deseada y después de dos ciclos de crecimiento se inicia esta clase de poda, la misma que consiste en elegir cierto número de ramas mixtas las cuales dependen de la variedad, de la edad del árbol y el número de los árboles por hectárea. El duraznero produce la fruta en la rama del año, los cuales son fáciles de identificar debido a la superficie lisa o de color verde rojizo; una vez que estos ramos han producido, deberán eliminarse desde su base o despunte a dos yemas para inducir nuevas brotaciones de yemas laterales que constituirán los ramos mixtos (INIAP, 1992).

2.15. PLAGAS Y ENFERMEDADES

Según Casaca (2005) afirma que las plagas más comunes son: Pulgón verde (*Myzus persicae*), Escama de San José (*Quadraspidio tusperniciosus*) y las enfermedades: Tiro de munición (*Wilsonomyces carhopilus*), Roya (*Tranzschelia discolor*), Cenicilla (*Sphaeroteca pañosa*), Pudrición morena (*Monilinia fructigena*) y Verrugosis o Cresta de gallo (*Taphrina deformans*).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La presente investigación se realizó en un lote con el cultivo de duraznero, de propiedad del señor Roberto Narváez, ubicado en el sector el Chapi, vía a Pimampiro. Anexo 1.

3.1.1. Ubicación Geográfica

Tabla 9. Ubicación geográfica del ensayo.

Ubicación	Localidad
Provincia:	Imbabura
Cantón:	Pimampiro
Parroquia:	Pimampiro
Sector:	El Chapi
Coordenadas UTM:	X: 840965 Y: 10044442
Altitud:	2400 msnm
Datum:	WGS 84
Zona:	17 Sur

Fuente: Carta topográfica Pimampiro. (IGM, 2013).

3.1.2. Condiciones Climáticas

Tabla 10. Condiciones Climáticas.

Temperatura media anual:	14,8 °C
Precipitación anual media:	1.100 mm
Zona de vida:	Bosque húmedo Montano Bajo

Fuente: (INAMHI, 2013)

3.1.3. Condiciones Edáficas

Tabla 11. Condiciones Edáficas.

Características del suelo	Textura: franco-arcilloso pH: 7.5 – 8.5 Profundidad: media Fertilidad: media Pedregosidad: muy baja MO: Alta
Clasificación taxonómica	Orden: Molisol Suborden: Ustol Gran grupo: Durastol
Fuente: Sistema Nacional de Información (2013).	

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. Materiales

Los materiales utilizados para la ejecución de esta investigación, se muestra a continuación:

- Cinta métrica
- Pértiga
- Tijeras de podar
- Segueta
- Piola
- Bandejas
- Pie de rey

3.2.2. Equipos

Los equipos utilizados para la ejecución de esta investigación, se indican a continuación.

- Balanza digital
- Hipsómetro Vertex
- Forcípula
- Dinamómetro
- Equipo de filmación

3.3. MÉTODOS

3.3.1. Factor en estudio

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

3.3.2. Análisis Estadístico

Para estimar los modelos se utilizó el programa estadístico Sthatchatgraphics 5.1. El análisis estadístico de los datos obtenidos 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, teniendo en cuenta el coeficiente de correlación de Pearson que indicó 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 a 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

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

- Análisis dendrométrico de ramas.
- Análisis dendrométrico de la planta entera.
- Análisis del material vegetal seleccionado en laboratorio (volátiles, humedad, densidad, cenizas).

3.3.4. Características del Experimento

Unidad experimental Un árbol de duraznero

3.3.5. Características de la unidad experimental

La unidad experimental fue un árbol de durazno de la variedad “diamante”, de cuatro (4) años de plantados, en producción y un distanciamiento de 4 x 4m² en la plantación.

3.4. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

3.4.1. Selección e identificación

Pimampiro es un cantón frutícola y muy representativo con el cultivo de duraznero, razón por la cual se eligió esta zona para ejecutar la presente investigación. En la vía a la ciudad de Pimampiro se encuentra la finca El Chapi, de propiedad del señor Roberto Narváez, con duraznero variedad “diamante” en producción. En un sector de la plantación, se seleccionaron treinta (30) árboles al azar, bajo un marco de plantación de 4 x 4 m y en estado de receso de producción. Los árboles fueron identificados con la numeración de 1 al 30, con pintura blanca en la base de su tallo principal.

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 diámetro de tronco (cm), diámetro de copa (m), altura del suelo a la copa (cm) y altura del árbol (m). Anexo N° 5.

Diámetro del tronco: Utilizando un pie de rey, se procedió a realizar la medida del tronco del árbol, obteniéndose su medida 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.

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).

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.

3.4.3. Poda del cultivo

Se realizó una poda de fructificación, el cual consistió en eliminar ramas o ramillas que ya han producido desde su base o despunte para inducir una nueva brotación, y mientras que la poda sanitaria consistió en eliminar ramas, ramillas que estuvieron infectadas de enfermedades.

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 5.

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:

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

factor de forma ($f = \frac{\text{Volumen real de la estructura analizada}}{\text{Volumen del modelo}}$). (Anexo 6).

Los datos del diámetro de la base se obtuvo a través de la medición con un 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 7; se midió el diámetro ecuatorial de la sección de forma, obteniendo el diámetro inicial y final de cada intervalo.

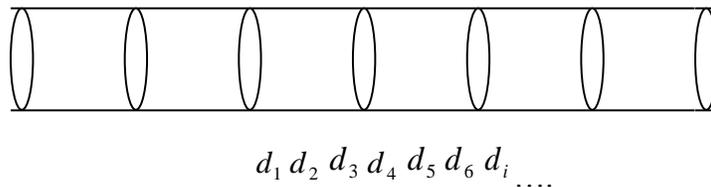
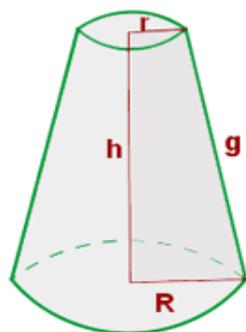


Figura 7. Mediciones de diámetros cada cierto intervalo (Velázquez, 2006).

Cada porción fue considerada como un tronco de cono, cuyo volumen se calculó con la ecuación de volumen de un cono truncado o la ecuación de Smailan. 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.

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



Ecuación de Smailan.

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

Volumen real de la rama.

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

Figura 8. Sección de un tronco de cono, donde R = radio mayor; r = radio menor; h= longitud del intervalo (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.

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

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.

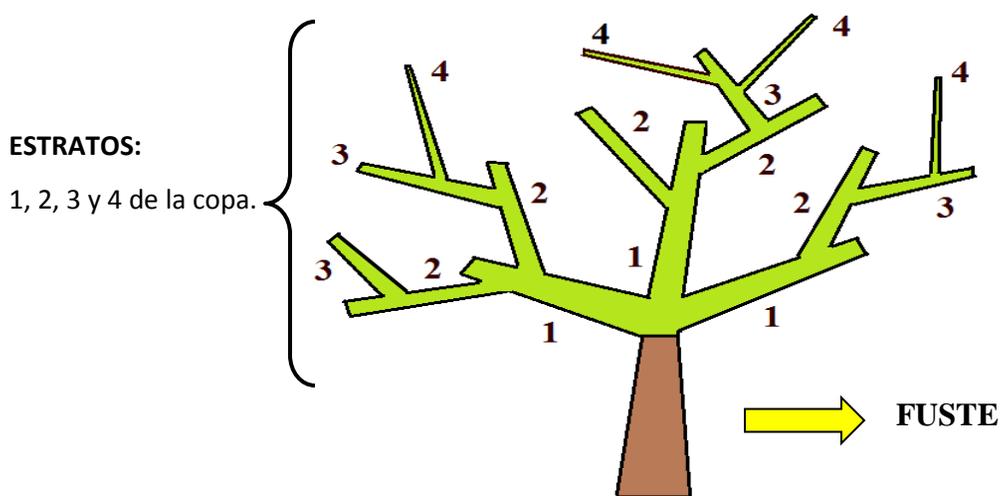
El volumen de cada rama (V_i) del duraznero se determinó a partir de su coeficiente mórfico (f), cociente entre el volumen real y un volumen geométrico modelo.

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

3.4.6. Análisis dendrométrico de la planta entera

Se identificó los estratos de las ramas de la planta de duraznero (Figura 9). 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 el más representativo, al que se midió su diámetro y su longitud. Seguidamente se cubicó el tercero y cuarto estratos siguiendo la misma metodología descrita para el segundo estrato.

Figura 9. Distribución del árbol por estratos.



Habiéndose determinado el coeficiente de forma del duraznero, 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 intersectan en el centro de la proyección de la copa formando un ángulo de 90°. El diámetro y la altura media de las copas dieron diferentes modelos geométricos de volumen aparente (Figura 10) que se relacionó con el volumen real, y a través de la densidad con la biomasa.

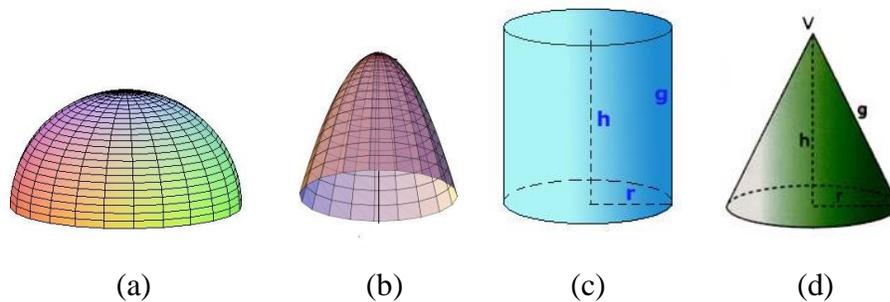


Figura 10. Modelos de crecimiento de copas arbóreas en una superficie determinada: (a) semielipse, (b) paraboloide, (c) crecimiento cónico, (d) crecimiento cilíndrico (Velázquez, 2006).

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

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

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.

Se realizó en laboratorio 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 en base a los siguientes parámetros físicos: porcentaje de humedad, densidad, porcentaje de volátiles, porcentaje de ceniza del material lignocelulósico del duraznero.

- **Humedad**

Para determinar el porcentaje de humedad se cortaron segmentos (trozos) de 10 cm de ramas de durazno y se llevó al laboratorio y se procedió a pesar obteniéndose el peso húmedo. Posteriormente, se obtuvo peso seco colocando las muestras en estufa a 105°C por 24 horas, luego se procedió a pesar.

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

$$\% Humedad = \frac{Ph - Ps}{Ph} \cdot 100$$

- **Densidad**

Se determinó la densidad en húmedo y seco. En húmedo se cortaron trozos de madera en campo y se colocó en bandejas para evitar que pierda humedad y se llevó al laboratorio donde se determinó el peso húmedo con una balanza digital y el volumen del material en húmedo se obtuvo mediante el método de Arquímedes usando una balanza de un solo plato (balanza electrónica estándar). En seco, se colocaron los trozos de madera en estufa a 105°C por 24 horas para conseguir el peso seco y luego se determinó el volumen del material en seco.

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

$$Densidad = \frac{masa}{volumen}$$

- **Cenizas**

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

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.
 - a) 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.
 - b) 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.
5. 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.
6. Si existe alguna sospecha de que la incineración no ha sido completa (por ejemplo, presencia de hollín en la inspección visual), entonces:
 - a) 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.
 - b) Se añaden a la muestra unas gotitas de agua destilada o nitrato de amonio antes de introducirla de nuevo en el horno frío (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:

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

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.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio se estructuró en cuatro (4) partes:

- Predicción de la biomasa residual obtenible de la poda a partir de variables fácilmente medibles.
- Estudio dendrométrico de ramas.
- Análisis de la biomasa lignocelulósica de la planta entera.
- Caracterización física de la biomasa en laboratorio.

4.1 PREDICCIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL DE PODA

Primeramente, se realizó un análisis descriptivo unidimensional de los parámetros medidos en cada uno de los árboles. En la tabla 12 se presentan los estadísticos: media, desviación típica, coeficientes de curtosis y de asimetría, los mismos que serán utilizados para determinar si la muestra procedía de una distribución normal.

Tabla 12. 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)	5,04	2,53	0,79	1,46	12,15	0,92
Diámetro de copa (cm)	432,73	69,36	1,07	1,58	594,0	302,0
Diámetro de tronco (cm)	11,52	1,15	1,63	0,20	15,23	8,59
Altura de planta (cm)	303,8	25,85	0,17	-1,22	346,0	238,0
Altura del suelo a la copa (cm)	17,12	6,04	-0,89	0,14	28,0	7,0

Como se puede observar en la Tabla 12 los coeficientes de asimetría y curtosis están dentro del intervalo entre -2 y +2 en cada uno de las variables (Figura 6). Los demás parámetros consideramos que las mediciones tomadas se asemejan lo suficiente a una distribución normal. El coeficiente de asimetría es un indicador del grado de simetría o

asimetría de una distribución de probabilidad de una variable aleatoria. Valores muy altos significarían un desplazamiento de la curva de distribución hacia la derecha y valores muy bajos (negativos) significarían un desplazamiento de la curva hacia la izquierda (Figura 5).

En la Tabla 13, se muestran las correlaciones de Pearson entre cada par de variables. El rango 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 cambio 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 cuando aumenta 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 están relacionados positivamente con el diámetro de tronco, esto significa que cuanto más grande es el tronco, mayor es el diámetro de copa y la altura total. 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 (0,19).

Tabla 13. Análisis de la relación lineal entre las variables a través del coeficiente de Pearson.

	Biomasa residual (kg)	Diámetro de copa (cm)	Diámetro de tronco (cm)	Altura de planta (cm)	Altura del suelo a la copa(cm)
Biomasa residual (kg)	1	0,63	0,52	0,44	-0,07
Diámetro de copa (cm)		1	0,37	0,19	0,018
Diámetro de tronco(cm)			1	0,38	-0,09
Altura de planta (cm)				1	-0,02
Altura del suelo a la copa (cm)					1

Por último, se realizó el modelo de regresión, que permitió predecir la biomasa residual obtenible de la poda del durazno, utilizando los datos de las dimensiones de la planta, señalados en la Tabla 12, observándose relaciones aceptables. El modelo con P-valores menores a 0,05 se detalla en la ecuación, donde BR (biomasa residual) fue obtenida por árbol en kg; Dc, diámetro de copa (m), Dt, diámetro de tronco, Hcs, altura del suelo a la copa y Ht 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%.

En la Tabla 14, se observa un coeficiente de determinación r^2 de 77, 43%, valor no muy alto debido a que existió bastante variabilidad y factores no controlados. Sin embargo, el valor absoluto de los errores de esta ecuación fue de 0,99 cm^3 y la desviación de los errores obtenidos por la ecuación de 1,31 cm^3 .

Tabla 14. Modelo de regresión para la biomasa residual de la poda de duraznero.

Ecuación	EMA (cm^3)	DTE (cm^3)	r^2	p- Valor
$BR = 6,7547 - 0,1544 \cdot Ht - 0,1285$ $\cdot +0,0004888 \cdot Dc * Ht + 6,3405$ $\cdot Dt - 0,183182 \cdot Dt^2$	0,997	1,31	0,77	<0,05

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 el Anexo 5, que equivale a una biomasa residual media disponible de 3,15 toneladas de materia seca por hectárea en plantaciones con un marco de $4\text{m}^2 \times 4\text{m}^2$, con una desviación típica de 1,58 toneladas por hectárea (DTE).

En la Figura 11, se muestra el gráfico de Componente + Residuo para biomasa residual al modelo ajustado r^2 del 77% con p-valores de 0,05 vs un r^2 del 81.62% en el ciruelo.

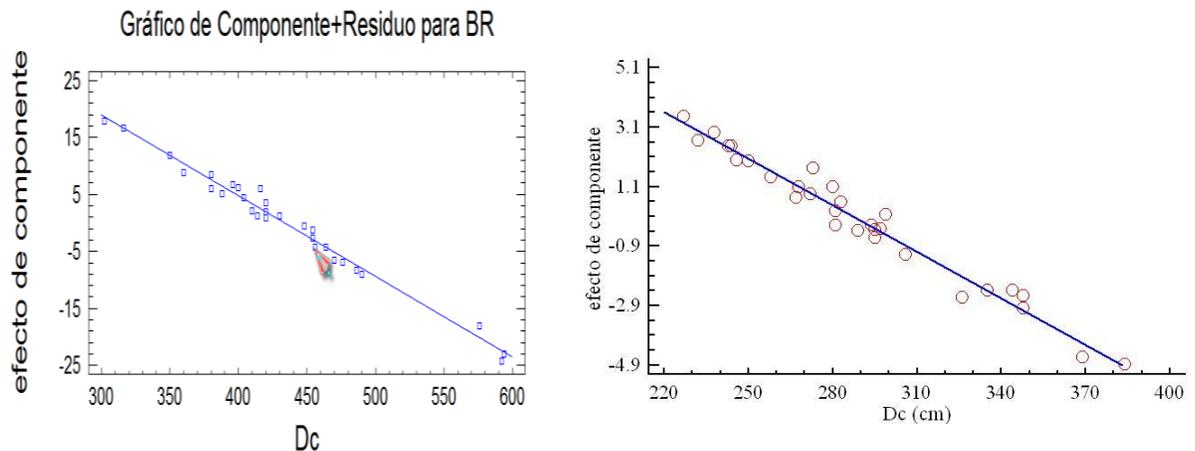


Figura 11. A) Gráfico de Componente + Residuo en durazno **B)** Componentes más residuo para biomasa residual en ciruelo.

El coeficiente de determinación r^2 indica que el modelo explica un 77.43% de la variabilidad en BR, porcentaje considerado bajo. 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 3.17 cm^3 fue el valor medio de los residuos, y la desviación típica de los errores para la ecuación fue de 4.32 cm^3 .

4.2. ESTUDIO DENDROMÉTRICO DE RAMAS

El objetivo de esta sección fue 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. En la Tabla 15, se puede observar el resumen estadístico del volumen real de la rama, volumen modelo, diámetro de la base y longitud; valores que estuvieron entre (-2 y +2), deduciéndose que siguieron una distribución normal de Gauss.

Tabla 15. Resumen estadístico de los parámetros estudiados en las ramas.

	Media	Desv. Típica	Coef. de Curtosis	Coef. de asimetría	Máximo	Mínimo
Volumen real (VR) (cm ³)	453,99	223,62	0,77	2,61	1017,92	172,62
Volumen modelo (Vm) (cm ³)	1241,54	645,64	-0,42	2,02	2603,13	398,08
Diámetro de la base (Db) (cm)	2,67	0,60	-1,15	0,79	3,79	1,66
Longitud de la rama (L) (cm)	207,96	30,47	0,24	-1,14	261,0	138,0

En la Tabla 16, 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 0,38, con una desviación típica de 0,06 lo que proporciona un coeficiente de variación del 15,78%, valor aceptable para el cálculo del volumen real que se determinó con la siguiente ecuación.

$$VR = \frac{\pi \cdot Db^2}{4} \cdot L \cdot f$$

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 paraboloide, el cono y el neiloide, obtenidos a partir de la base y la longitud de la rama. El factor de forma más cercano a uno (1) fue el que mejor representa su forma. En la tabla 16, se muestra el modelo que proporcionó el volumen más próximo al real fue el paraboloide con 0,76, además: Pacheco & Flores (2014) confirman que el factor de forma de las ramas es paraboloide en el duraznero y tomate de árbol.

Tabla 16. Cálculo de factores de forma en cada uno de los modelos geométricos estudiados.

	F cilindro	F paraboloide	F cono	F neiloide
Media	0,38	0,76	1,13	1,51
Desviación tip.	0,06	0,12	0,18	0,25

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 17).

Tabla 17. Análisis de la relación lineal entre variables a través del coeficiente de Pearson.

	Diámetro de la base (cm)	Longitud de la rama (cm)	Volumen real (cm ³)	Volumen modelo (cm ³)
Diámetro de la base (cm)	1	0,23	0,86	0,94
Longitud de la rama (cm)		1	0,53	0,49
Volumen real(cm ³)			1	0,93
Volumen modelo(cm ³)				1

Como se puede observar en la Tabla 17, la relación del diámetro de la base con la longitud de la rama fue muy débil, con un coeficiente de Pearson de 0,23. Esto significa 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 muy alto (0,86). La longitud de la rama influye positivamente con el volumen real de la misma, pero con una fuerza más débil que el diámetro.

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%.

En la Tabla 18, se observa un coeficiente de determinación r^2 de 87%, 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 53,14 cm³ y una desviación típica de 80,59 cm³.

Tabla 18. Modelo de regresión para las ramas.

Ecuación	EMA (cm ³)	DTE (cm ³)	r ²	p-Valor
$VR = 51,8527 + 0,254395 \cdot Db^2 \cdot L$	53,14	80,59	0,87	<0,05

EMA: error medio absoluto

DTE: desviación típica de los errores

r²: coeficiente de determinación

VR: Volumen de la rama del estrato (cm³)

L: Longitud (cm)

Db: Diámetro de la base (cm)

En la Figura 12, se presenta el gráfico de Componente + Residuo para el volumen real de las ramas al modelo ajustado r² con p- valores de 0,05.

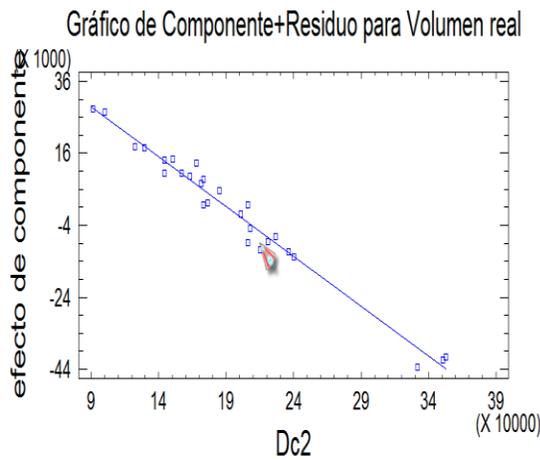


Figura 12. Gráfico de Componente + Residuo para el volumen real de las ramas.

4.3 ANÁLISIS DE LA BIOMASA LIGNOCELULÓSICA DE LA PLANTA.

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 duraznero.

En la Tabla 19, 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: $V_i = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R^2 + r^2 + R \cdot r)$

En la Figura 13, se presenta la distribución de la biomasa en la planta. Como se puede observar la mayor cantidad de la biomasa se encuentran en los estratos 3 y 4 (más del 50%) y posteriormente en los estratos 1 y 2 de la planta, según Pacheco (2014) menciona que existe mayor cantidad de biomasa en el 2 y 3 estratos más del 80% en el duraznero. En el cultivo de tomate de árbol existe mayor cantidad de biomasa en el estrato 3 (54%) y en el fuste (31%) (Flores, 2014).

El volumen medio de la parte leñosa de las plantas de duraznero fue de 22,64 dm³ y su desviación típica de 6,7 dm³.

Tabla 19. Valores promedios de las ramas de durazno por estratos.

	Diámetro de la base (cm)	Longitud (cm)	Volumen real (cm ³)
Estrato 1	6,61	50,71	58799,46
Estrato 2	4,74	75,08	151105,69
Estrato 3	3,1	60,2	219386,61
Estrato 4	2,1	41,4	195707,54

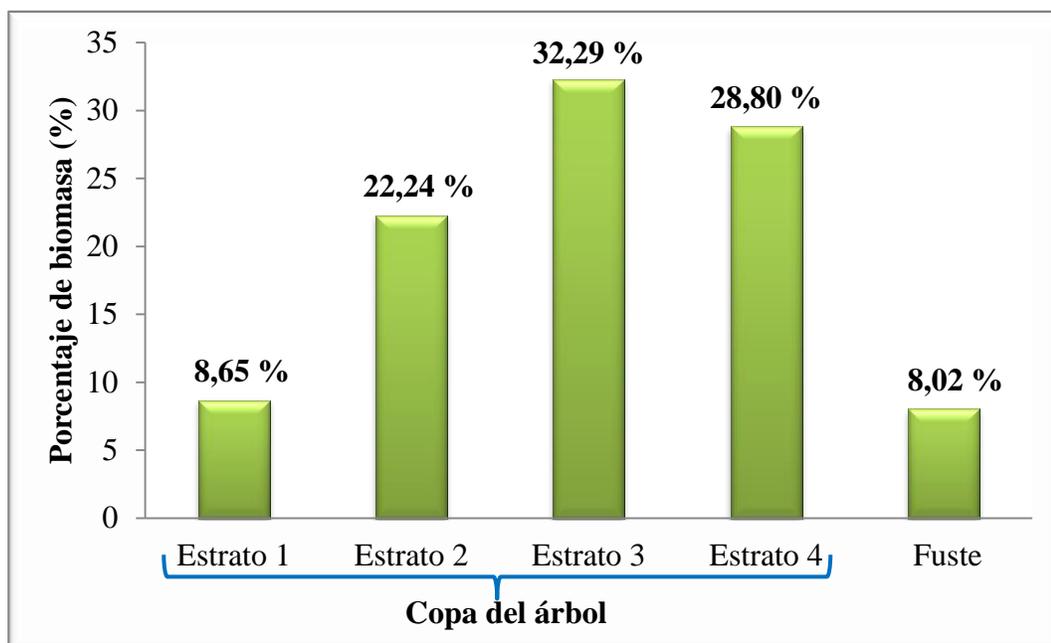


Figura 13. Diagrama de distribución de la biomasa por estratos y fuste en durazno.

En la Tabla 20, se presenta el análisis estadístico descriptivo de las dimensiones de los árboles estudiados y el volumen total calculado.

Tabla 20. Resumen estadístico de los parámetros estudiados de la planta entera.

	Media	Desv. típica	Coef. de Curtosis	Coef. de asimetría	Máximo	Mínimo
Volumen real de la planta entera(cm ³)	22648,7	6867,47	0,45	1,92	39732,4	11374,5
Volumen aparente de la planta entera (modelo cilíndrico)(cm ³)	45,10	16,90	2,33	2,59	93,39	16,33
Diámetro de copa (cm)	432,73	69,36	1,07	1,58	594,0	302,0
Diámetro de tronco (cm)	11,52	1,15	1,63	0,20	15,23	8,59
Altura de planta (cm)	303,8	25,85	0,17	-1,22	346,0	238,0
Altura del suelo a la copa (cm)	17,12	6,04	-0,89	0,14	28,0	7,0
Factor de ocupación(cm ³)	520,54	183,15	0,27	0,81	1009,15	180,16

En la Tabla 21, 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 enorme utilidad práctica ya que a través de su aplicación, los técnicos pueden predecir la biomasa lignocelulósica residual obtenible del duraznero 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.

El coeficiente de determinación obtenido fue relativamente bajo, con un 75%. Sin embargo, estos bajos valores fueron habituales en la predicción agrícola donde existió una enorme influencia de los factores climáticos, los suelos, disponibilidad de nutrientes, agua, y las condiciones de manejo, los cuales proporcionaron una gran variabilidad. Los modelos de regresión obtenidos en el análisis de laboratorio, donde las condiciones estuvieron controladas, los coeficientes de determinación exigibles debieron tener alrededor del 95%. 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%. Por otro lado Flores (2014) menciona que en el cultivo de tomate de árbol obtuvo un r² del 65% y un error medio en la ecuación de 1.7 dm³, el volumen medio de la planta de 12.98 dm³ lo que supone un error relativo del 13%.

Tabla 21. Modelo de regresión para la predicción de la biomasa residual del duraznero.

Ecuación	EMA (cm ³)	DTE (cm ³)	r ²	p-Valor
$VT = -3922,98 - 0,524534 \cdot Ht^2 - 0,309826 \cdot Dc^2 + 0,903928 \cdot Dc \cdot Ht + 113,158 \cdot Dt^2$	2462,51	3448,97	0,75	<0.05

EMA: error medio absoluto

DTE: desviación típica de los errores

r²: coeficiente de determinación

VT: Volumen de la biomasa residual

Ht: Altura total del árbol

Dc: Diámetro de copa

Dt: Diámetro de tronco

En la Figura 14, se muestra el gráfico de Componente + Residuo para el volumen real de las ramas al modelo ajustado r^2 con p- valores de 0,05.

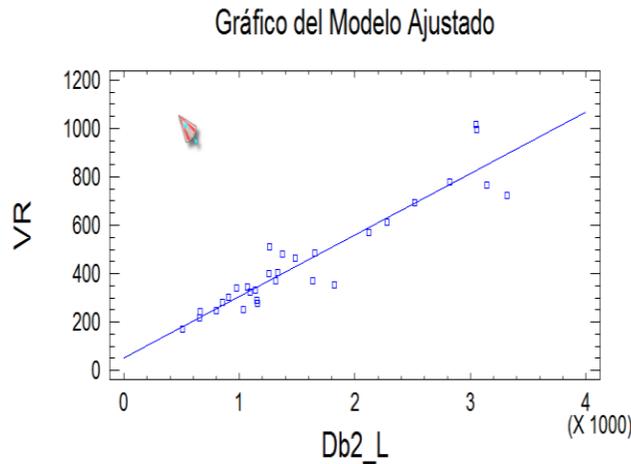


Figura 14. Gráfico del modelo ajustado para el volumen total de la planta.

Por último en la Tabla 22, se presenta el valor medio y desviación típica del factor de ocupación (FO) de la especie, siendo $5,2 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ y $1,8 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ respectivamente. Este factor es la relación entre el volumen real del material lignocelulósico 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 mediante el modelo del cilindro.

Tabla 22. Resultados del factor de ocupación de los árboles de duraznero.

	V real planta(cm ³)	D copa (m)	Ht (m)	V cilindro aparente(cm ³)	FO (cm ³)
Árbol 1	11374,54	3,5	3,42	32,90	345,69
Árbol 2	15996,37	3,02	2,85	20,42	783,56
Árbol 3	17980,07	3,8	2,38	26,99	666,13
Árbol 4	17668,08	5,92	2,96	81,48	216,85
Árbol 5	33430,49	4,2	3,13	43,36	770,92
Árbol 6	26050,82	4,76	3,19	56,77	458,91
Árbol 7	32188,09	4,54	3,14	50,83	633,23
Árbol 8	14659,84	4,86	2,7	50,09	292,69
Árbol 9	17745,63	4,2	3,38	46,83	378,95
Árbol 10	17993,29	3,16	3,06	24,00	749,76
Árbol 11	17864,56	5,76	3,23	84,17	212,25
Árbol 12	16404,07	4,48	2,82	44,45	369,02
Árbol 13	23534,30	4,54	3,23	52,29	450,09
Árbol 14	21032,31	4,64	3	50,73	414,61
Árbol 15	26250,94	4,3	2,99	43,42	604,57
Árbol 16	24654,68	4,56	3,16	51,61	477,74
Árbol 17	20785,85	4,9	2,99	56,38	368,65
Árbol 18	23627,00	4,04	3,46	44,35	532,70
Árbol 19	24165,13	4,2	3,14	43,50	555,48
Árbol 20	15393,18	3,6	2,56	26,06	590,73
Árbol 21	21398,81	3,8	3,31	37,54	570,04
Árbol 22	28228,00	3,88	2,96	35,00	806,56
Árbol 23	28280,47	4,16	3,23	43,90	644,18
Árbol 24	20383,58	4,7	2,92	50,66	402,36
Árbol 25	39361,76	5,94	3,37	93,39	421,48
Árbol 26	17024,20	3,96	2,67	32,88	517,70
Árbol 27	27736,03	4,1	3,21	42,38	654,46
Árbol 28	38044,08	4	3	37,70	1009,15
Árbol 29	17773,61	4,16	2,84	38,60	460,45
Árbol 30	22431,50	4,14	2,84	38,23	586,74
Media	22648,7	4,32	3,03	45,10	520,54
Desviación tip.	6867,47	0,69	0,25	16,90	183,15

4.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA BIOMASA.

En la Tabla 23, se muestran los promedios de los parámetros físicos de porcentaje de humedad, densidad, porcentaje de volátiles, porcentaje de ceniza del material lignocelulósico del árbol de duraznero.

Tabla 23. Valores promedios de los parámetros físicos del material lignocelulósico del duraznero.

	Promedios (\bar{x})
Humedad %	46,92
Cenizas %	8,81
% Volátiles + Carbono fijo	91,19
Densidad Húmeda g/cm ³	1,18
Densidad Seco g/cm ³	0,91

Se puede observar que el contenido de volátiles del material leñoso es muy alto del 91,19%. 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 22,64 dm³, la cantidad de materia seca por planta es de 5044,431*1,18 (Densidad Húmeda g/cm³) = 5952,42 g, es decir aproximadamente 5,95 kg. Por otra parte Fernández y Velázquez (2010) mencionan que obtuvieron 10,45 kg de materia seca por planta en el melocotonero en España y según Flores (2014) asegura que obtuvo 9 kg de materia seca en el cultivo de tomate de árbol en Ambato-Ecuador.

Vemos que el alto contenido de humedad hace que exista una gran diferencia entre la densidad seca y la densidad húmeda. La humedad media de las muestras recién cortadas es del 46%. 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%. En la Figura 15 se muestra la disminución de humedad durante los primeros días de secado de los materiales leñosos tras el corte de la planta. Se puede observar que el tiempo necesario para una desecación hasta una humedad del 10% es de 10 días.

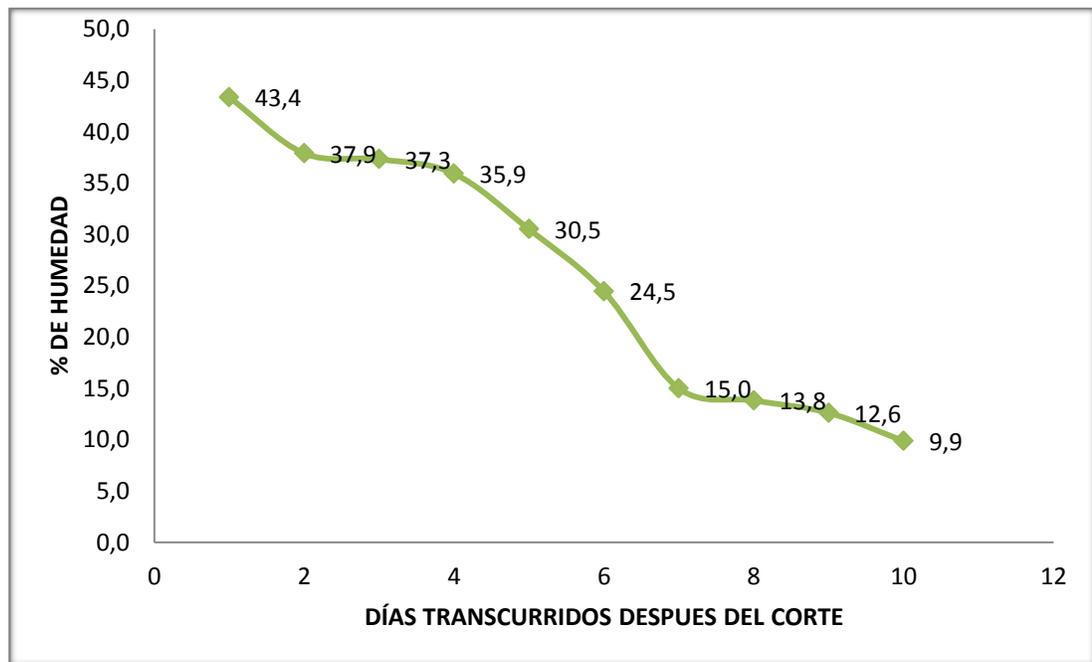


Figura 15. Curva de desecación de la humedad hasta el 10% en el duraznero.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La biomasa residual obtenida en la poda está relacionada positivamente con el diámetro de copa, diámetro del tronco y la altura de la planta. Esto significa que cuando aumenta el tamaño de la planta, aumenta la biomasa residual disponible.
- La biomasa residual media de las plantas de duraznero es de 5,95 kg de materia seca por planta. Teniendo en cuenta que el marco de plantación más común es de 4 x 4 m este valor supone una biomasa potencial disponible de 3,71 toneladas de materia seca por hectárea.
- Se ha caracterizado la forma y el volumen de las ramas en cada uno de los estratos, la forma de las ramas se ajusta bien a una forma paraboloides. Las funciones de volumen calculadas poseen coeficientes de determinación altos (87%), 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 duraznero a partir del diámetro de su base y su longitud.
- La biomasa de la planta entera se distribuye de forma irregular, siendo el estrato tres (32%) y cuatro (28%), donde se concentra la mayor parte de la biomasa de la planta, los estratos uno y dos contienen 8% y 22%, respectivamente.
- Se determinó el modelo de regresión para predecir de forma aproximada el volumen de la biomasa residual contenida en la copa del duraznero a partir de su

altura total y diámetro del fuste. Esta función fue de enorme utilidad práctica ya que a través de su aplicación, los técnicos pueden predecir la biomasa lignocelulósica residual obtenible del duraznero al finalizar la cosecha o después de la poda.

- Se determinó el factor de ocupación (FO) de la especie, siendo $5,2 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$. Este factor es la relación entre el volumen real del material lignocelulósico 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.
- El material lignocelulósico en base a los parámetros físicos de humedad (46,92%), densidad seca ($0,91\text{g}/\text{cm}^3$), densidad humedad ($1,1\text{g}/\text{cm}^3$), contenido en cenizas (8,81%) y de volátiles (91,19%). El contenido alto en materias volátiles indica que este residuo podría tener buena aptitud para la combustión directa en caldera o para procesos de gasificación.
- Los requerimientos para la combustión directa exigen que ésta tenga una humedad máxima del 10%. Tras el corte de la planta se pudo observar que el tiempo necesario para una desecación hasta esta humedad es de 10 días si ésta se almacena en un sitio cerrado con las condiciones ambientales típicas de la provincia de Imbabura.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar cuantificación de biomasa mediante el estudio dendrométrico en diferentes cultivos frutales para conocer la cantidad de materia seca por planta y para qué tipo de biocombustibles es apto la biomasa.
- Realizar estudios de transformación de biomasa en energías renovables (bioalcohol, biodiesel, biogás, etc.), a partir de los resultados que se obtuvieron en esta investigación.
- Determinar el calibre de frutos en los estratos 3 y 4, con el fin de conocer la producción efectiva y su calidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Agustí, M. (2003). *Citricultura*. 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.
- Biodisol. (2011). La biomasa, una fuente de energía muy utilizada pero mal aprovechada. España.
- 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.

- Chartón, E. (1998). *Las especies frutales*. Editorial Susaeta S.A. Edición S.A. Madrid. pp 69-109.
- 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 *Pinus taeda* 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.
- Enriquez, J. (2001). Rescate del germoplasma del duraznero *Prunus persica* L. Batsch. Establecido en Zacatecas. pp 1.
- 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.
- Gratacós, E. (2004). El cultivo del duraznero *Prunus persica* L. Batsch. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía.
- 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 regulators to 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 Plantarum*, 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. Cultivo del duraznero en las zonas altas del Ecuador. Quito, Departamento de Comunicación Social del INIAP. pp. 22.
- INFOAGRO. (2011). Características del cultivo de duraznero. Accedido 25 de marzo del 2014. Disponible en: http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/melocoton.htm.
- Instituto Geográfico Militar. (2013). Carta topográfica Pimampiro.
- 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 *Nothofagus antarctica* (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. 1003 pp.

- Miranda, F., & Ortega, E., & Sánchez, A. (1991). Establecimiento de un huerto frutícola modelo de melocotonero en la Granja Urbana del plantel. Ambato Ec. Itaslam. Pp.76, 77,79, 85.
- 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. Hort Science 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.

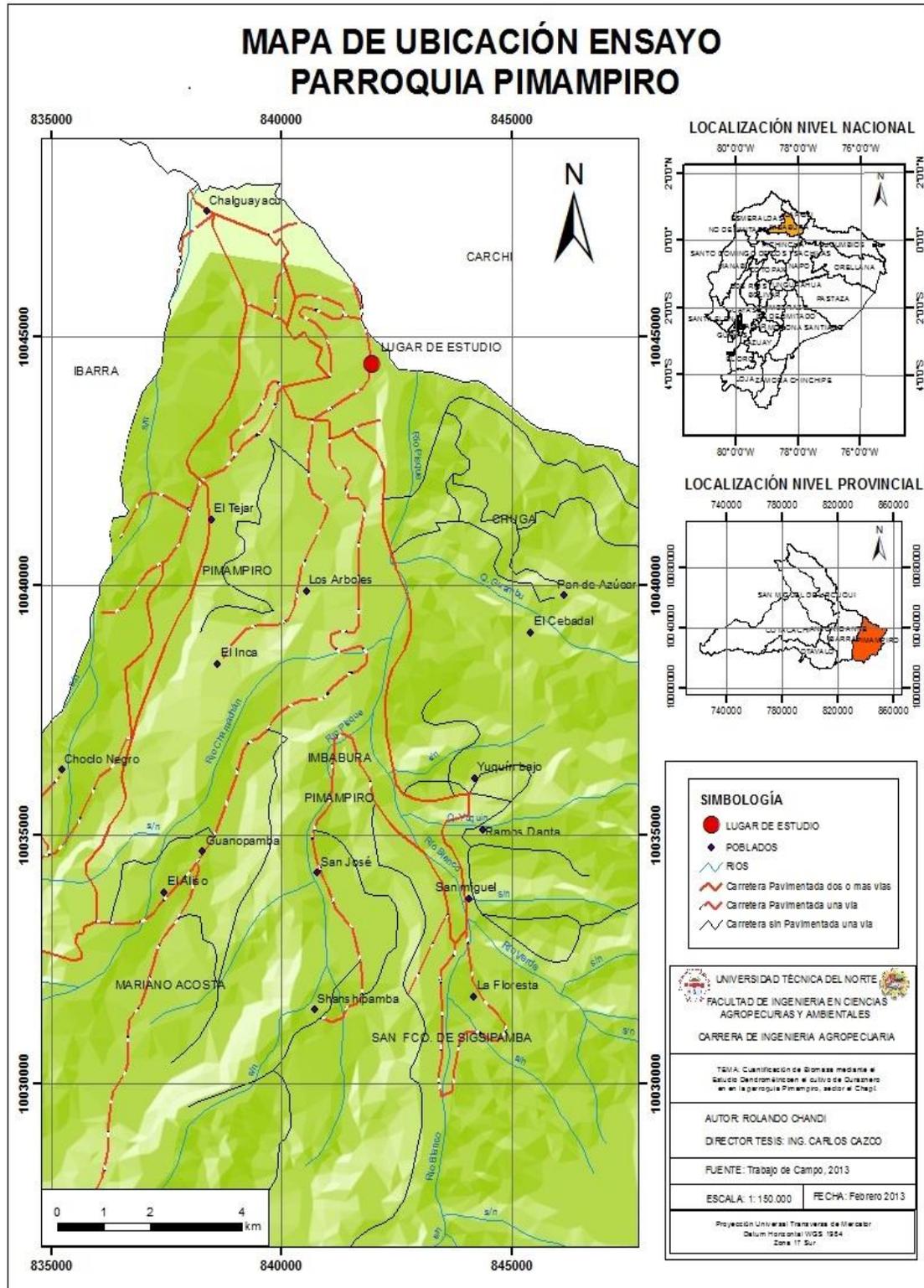
- Peng, H., & Apps, J. (1999). Modeling the response of net primary productivity (NPP) of Boreal Forest ecosystems to changes in climate and fire disturbance regimes. *Ecological Modelling*.
- Perpiñá, C., & Alfonso, D., & Pérez, A., & Peñalvo, E., & Vargas, C., & Cárdenas, R. (2008). Methodology based on Geographic Information Systems for biomass logistics and transport optimisation. *Renewable Energy*. 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.
- SEED. (2013). Excelencia en el Desarrollo Educativo Schlumberger. La energía y el cambio climático mundial Fuentes de energía alternativa: biomasa.
- 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.
- SNI. (2013). Sistema Nacional de Información. Geoportales y Visores Geográficos.
- 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 ReysahiwalAgr 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 allometric 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-foot print airborne lidar. *Remote Sensing of environment* 87: 171-182.
- World Energy Council. (1997). *Survey of Wood Energy Resources*.asp

ANEXOS

Anexo 1. Ubicación del área de estudio.



Anexo 2. 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)				
Nº 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 (%)

Anexo3. 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 4. 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 5. Datos dendrometría de la planta y del cultivo.

ÁRBOL	diám, Tronco (cm)	diám, Copa (cm)	Altura del suelo a la copa (cm)	Altura del árbol (cm)	Año última poda	Intensidad de la poda	Objeto de la poda	Masa de ramas (kg)	% Humedad	Masa seca	t m,s./ha
1	8,59	350	16	342	2013	Baja	Producción	3,7	46,02	2,00	1,25
2	11,14	302	25	285	2013	Baja	Producción	2,35	46,02	1,27	0,79
3	10,82	380	24	238	2013	Baja	Producción	4,9	46,02	2,65	1,65
4	11,46	592	23	296	2013	Baja	Producción	11,5	46,02	6,21	3,88
5	12,41	420	13	313	2013	Baja	Producción	9	46,02	4,86	3,04
6	11,46	476	28	319	2013	Baja	Producción	9,5	46,02	5,13	3,21
7	12,73	454	28	314	2013	Baja	Producción	12	46,02	6,48	4,05
8	9,87	486	10	270	2013	Baja	Producción	4,5	46,02	2,43	1,52
9	12,41	420	17	338	2013	Baja	Producción	14,9	46,02	8,04	5,03
10	11,14	316	18	306	2013	Baja	Producción	7	46,02	3,78	2,36
11	11,78	576	19	323	2013	Baja	Producción	22,5	46,02	12,15	7,59
12	9,23	448	9	282	2013	Baja	Producción	6,5	46,02	3,51	2,19
13	13,05	454	7	323	2013	Baja	Producción	14	46,02	7,56	4,72
14	12,73	464	18	300	2013	Baja	Producción	11	46,02	5,94	3,71
15	11,78	430	23	299	2013	Baja	Producción	10,5	46,02	5,67	3,54
16	12,1	456	22	316	2013	Baja	Producción	9,5	46,02	5,13	3,21
17	11,14	490	18	299	2013	Baja	Producción	10	46,02	5,40	3,37
18	10,82	404	20	346	2013	Baja	Producción	12	46,02	6,48	4,05
19	12,73	420	7	314	2013	Baja	Producción	11,5	46,02	6,21	3,88
20	9,87	360	15	256	2013	Baja	Producción	1,7	46,02	0,92	0,57
21	12,41	380	18	331	2013	Baja	Producción	5,5	46,02	2,97	1,86
22	13,05	388	12	296	2013	Baja	Producción	3,3	46,02	1,78	1,11
23	12,1	416	15	323	2013	Baja	Producción	6,5	46,02	3,51	2,19
24	11,46	470	18	292	2013	Baja	Producción	8,5	46,02	4,59	2,87
25	15,23	594	15	337	2013	Baja	Producción	16,5	46,02	8,91	5,57
26	10,19	396	26	267	2013	Baja	Producción	6	46,02	3,24	2,02
27	10,82	410	19	321	2013	Baja	Producción	8	46,02	4,32	2,70
28	12,1	400	10	300	2013	Baja	Producción	13	46,02	7,02	4,39
29	11,78	416	12	284	2013	Baja	Producción	16,5	46,02	8,91	5,57
30	11,46	414	9	284	2013	Baja	Producción	8	46,02	4,32	2,70

Anexo 6. 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	245,06	2,04	193	4,15	37249	393,18	800,97	629,08	314,54	209,69	157,27	0,39	0,78	1,17	1,56
Rama 2	282,20	2,04	205	4,15	42025	417,62	850,77	668,19	334,10	222,73	167,05	0,42	0,84	1,27	1,69
Rama 3	172,62	1,66	185	2,74	34225	306,21	506,85	398,08	199,04	132,69	99,52	0,43	0,87	1,30	1,73
Rama 4	330,77	2,32	211	5,40	44521	490,29	1139,27	894,78	447,39	298,26	223,70	0,37	0,74	1,11	1,48
Rama 5	693,66	3,44	213	11,82	45369	732,24	2517,24	1977,04	988,52	659,01	494,26	0,35	0,70	1,05	1,40
Rama 6	997,16	3,60	236	12,94	55696	848,87	3053,28	2398,05	1199,02	799,35	599,51	0,42	0,83	1,25	1,66
Rama 7	344,31	2,10	242	4,41	58564	508,40	1068,07	838,87	419,43	279,62	209,72	0,41	0,82	1,23	1,64
Rama 8	779,40	3,60	218	12,94	47524	784,12	2820,41	2215,15	1107,57	738,38	553,79	0,35	0,70	1,06	1,41
Rama 9	479,14	3,15	138	9,93	19044	434,87	1370,40	1076,31	538,16	358,77	269,08	0,45	0,89	1,34	1,78
Rama 10	462,55	2,74	198	7,49	39204	542,02	1483,75	1165,34	582,67	388,45	291,33	0,40	0,79	1,19	1,59
Rama 11	338,54	2,26	191	5,11	36481	431,66	975,55	766,19	383,10	255,40	191,55	0,44	0,88	1,33	1,77
Rama 12	290,80	2,61	169	6,81	28561	441,11	1151,36	904,28	452,14	301,43	226,07	0,32	0,64	0,96	1,29
Rama 13	304,43	2,01	225	4,02	50625	451,20	904,82	710,65	355,32	236,88	177,66	0,43	0,86	1,29	1,71
Rama 14	570,51	3,12	218	9,73	47524	680,04	2121,32	1666,09	833,04	555,36	416,52	0,34	0,68	1,03	1,37
Rama 15	372,25	2,67	229	7,15	52441	612,30	1637,16	1285,83	642,91	428,61	321,46	0,29	0,58	0,87	1,16
Rama 16	511,27	2,23	254	4,96	64516	565,95	1261,04	990,42	495,21	330,14	247,60	0,52	1,03	1,55	2,06
Rama 17	610,86	3,34	204	11,17	41616	681,82	2278,80	1789,77	894,89	596,59	447,44	0,34	0,68	1,02	1,37
Rama 18	352,47	3,18	180	10,13	32400	572,96	1823,77	1432,39	716,20	477,46	358,10	0,25	0,49	0,74	0,98
Rama 19	403,19	2,51	211	6,32	44521	530,59	1334,24	1047,91	523,96	349,30	261,98	0,38	0,77	1,15	1,54
Rama 20	243,47	1,78	207	3,18	42849	368,98	657,73	516,58	258,29	172,19	129,14	0,47	0,94	1,41	1,89
Rama 21	324,00	2,36	197	5,55	38809	464,03	1093,02	858,46	429,23	286,15	214,61	0,38	0,75	1,13	1,51
Rama 22	368,72	2,55	203	6,48	41209	516,93	1316,36	1033,87	516,93	344,62	258,47	0,36	0,71	1,07	1,43
Rama 23	217,30	2,16	140	4,69	19600	303,03	655,91	515,15	257,58	171,72	128,79	0,42	0,84	1,27	1,69
Rama 24	278,51	2,42	198	5,85	39204	478,99	1158,75	910,08	455,04	303,36	227,52	0,31	0,61	0,92	1,22
Rama 25	486,34	2,58	249	6,65	62001	642,00	1655,27	1300,05	650,02	433,35	325,01	0,37	0,75	1,12	1,50
Rama 26	767,81	3,47	261	12,04	68121	905,56	3141,90	2467,64	1233,82	822,55	616,91	0,31	0,62	0,93	1,24
Rama 27	401,15	2,36	226	5,55	51076	532,34	1253,92	984,83	492,41	328,28	246,21	0,41	0,81	1,22	1,63
Rama 28	1017,92	3,53	244	12,48	59536	862,11	3046,03	2392,35	1196,18	797,45	598,09	0,43	0,85	1,28	1,70
Rama 29	721,67	3,79	231	14,35	53361	875,00	3314,39	2603,13	1301,56	867,71	650,78	0,28	0,55	0,83	1,11
Rama 30	251,71	2,51	163	6,32	26569	409,89	1030,72	809,53	404,76	269,84	202,38	0,31	0,62	0,93	1,24

Anexo 7. Datos biomasa por estratos.

	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	volumen Fuste	Total
Árbol 1	638,97	1776,69	3898,54	4133,09	927,25	11374,54
Árbol 2	1482,59	1869,63	4285,60	5921,86	2436,70	15996,37
Árbol 3	1256,99	4293,27	4342,00	5881,05	2206,77	17980,07
Árbol 4	961,22	2277,93	7700,33	4356,19	2372,40	17668,08
Árbol 5	2516,78	8755,35	11519,59	9066,32	1572,45	33430,49
Árbol 6	1775,29	6091,20	7341,22	7954,97	2888,14	26050,82
Árbol 7	3051,21	5672,11	7776,58	12124,46	3563,74	32188,09
Árbol 8	1069,69	2128,30	5041,87	5654,88	765,11	14659,84
Árbol 9	3633,12	3466,17	4051,95	4538,11	2056,29	17745,63
Árbol 10	1551,56	3270,84	5993,74	5422,73	1754,42	17993,29
Árbol 11	2513,48	4918,70	5151,75	3209,84	2070,79	17864,56
Árbol 12	1422,40	4743,95	1636,10	7999,42	602,19	16404,07
Árbol 13	3326,47	3433,24	8439,19	7399,12	936,29	23534,30
Árbol 14	3154,70	2143,31	6093,98	7349,34	2290,97	21032,31
Árbol 15	2061,78	8127,22	8356,12	5199,08	2506,74	26250,94
Árbol 16	1548,01	2109,73	3199,83	15267,32	2529,79	24654,68
Árbol 17	2717,91	2783,45	8151,69	5378,38	1754,42	20785,85
Árbol 18	1426,33	6698,84	6549,52	7113,34	1838,97	23627,00
Árbol 19	2573,94	9302,09	7246,36	4151,81	890,93	24165,13
Árbol 20	880,40	2547,43	3580,33	7237,36	1147,67	15393,18
Árbol 21	2161,35	4160,45	7404,15	5495,61	2177,24	21398,81
Árbol 22	1170,18	7589,64	9330,99	8532,12	1605,07	28228,00
Árbol 23	2862,70	7588,28	10212,62	5892,01	1724,86	28280,47
Árbol 24	1894,59	3532,14	5546,90	7553,28	1856,66	20383,58
Árbol 25	3983,75	12258,57	15786,90	4599,91	3103,27	39732,39
Árbol 26	1746,60	5045,14	4286,12	3825,95	2120,37	17024,20
Árbol 27	786,61	4205,70	13775,98	7220,70	1747,02	27736,03
Árbol 28	1791,53	8843,45	21125,95	5133,24	1149,90	38044,08
Árbol 29	1663,26	2631,20	6464,31	5706,98	1307,86	17773,61
Árbol 30	1176,06	8841,67	5096,40	6389,04	928,33	22431,50

FOTOGRAFÍAS

CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO

Foto 1. Identificación del cultivo de duraznero.



Foto 2. Numeración de la unidad experimental.



DENDROMETRÍA DE PLANTA ENTERA

Foto 3. Medición de la altura de planta.



Foto 4. Medición del diámetro de copa.



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



Foto 6. Medición del diámetro de tronco.



Foto 7. Poda del cultivo de duraznero (ramas y ramillas).



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



Foto 9. Deshojada y pesada de hojas.



DENDROMETRÍA DE RAMAS

Foto 10. Selección y mediciones de ramas.



DENDROMETRÍA DE PLANTA POR ESTRATOS

Foto 11. Medición de la longitud por estratos.



Foto 12. Medición del diámetro en estratos.



Foto 13. Corte de las ramas.



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



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



Foto 16. Determinación del peso seco.



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



Foto 18. Determinación del % de cenizas en laboratorio.



Foto 19. Fructificación del cultivo después de la investigación.



Foto 20. Presentación de la investigación en el campo.

