



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**“CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA MEDIANTE EL ESTUDIO
DENDROMÉTRICO EN EL CULTIVO DE CIRUELO (*Prunus domestica* L.) EN
LA GRANJA EXPERIMENTAL “LA PRADERA”, PARROQUIA SAN JOSÉ DE
CHALTURA, CANTÓN ANTONIO ANTE, PROVINCIA DE IMBABURA”**

Tesis previa a la obtención del Título de:
Ingeniero Agropecuario

AUTOR:

Maigua Chancosa Paulo Israel

DIRECTOR:

Ing. Carlos Cazco L. MSc.

Ibarra – Ecuador

2014

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**“CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA MEDIANTE EL ESTUDIO
DENDROMÉTRICO EN EL CULTIVO DE CIRUELO (*Prunus
domestica* L.) EN LA GRANJA EXPERIMENTAL “LA PRADERA”,
PARROQUIA SAN JOSÉ DE CHALTURA, CANTÓN ANTONIO
ANTE, PROVINCIA DE IMBABURA”**

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

INGENIERO AGROPECUARIO

APROBADA:

Ing. Carlos Cazco L. MSc.

Director de Tesis

Ing. Telmo Basantes MSc.

Asesor

Ing. Víctor Nájera

Asesor

Ing. María José Romero

Asesor



Ibarra – Ecuador

2014



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:	1002940847
Apellidos y nombres:	Maigua Chancosa Paulo Israel
Dirección:	Juan de Dios Navas 1-125 y García Moreno
Email:	israelquilap@hotmail.com
Teléfono fijo:	0986505906

DATOS DE LA OBRA	
Título:	“Cuantificación de biomasa mediante el estudio dendrométrico en el cultivo de ciruelo (<i>Prunus domestica</i> L.), en la granja experimental “La Pradera” Parroquia San José de Chaltura, Cantón Antonio Ante, Provincia de Imbabura.”
Autor:	Maigua Chancosa Paulo Israel
Fecha:	Octubre 2014
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, Maigua Chancosa Paulo Israel, con cédula de ciudadanía Nro.1002940847; 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, 17 de octubre del 2014.

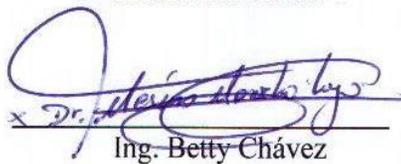
AUTOR:



Paulo Israel Maigua Chancosa

C.I.: 1002940847

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, **Maigua Chancosa Paulo Israel**, con cédula de ciudadanía Nro.1002940847; manifiesto 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 CIRUELO (*Prunus domestica* L.) EN LA GRANJA EXPERIMENTAL “LA PRADERA”, PARROQUIA SAN JOSÉ DE CHALTURA, CANTÓN ANTONIO ANTE, PROVINCIA DE IMBABURA”** que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Agropecuario en la Universidad Técnica del Norte, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Maigua Chancosa Paulo Israel

C.I.: 1002940847

Ibarra, 17 de octubre del 2014

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

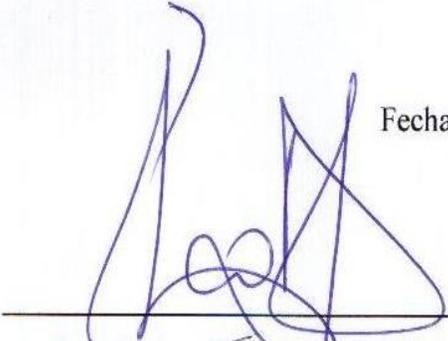
Fecha:

Maigua Chancosa Paulo Israel. “Cuantificación de biomasa mediante el estudio dendrométrico en el cultivo de ciruelo (*Prunus domestica* L.), en la granja experimental “La Pradera”, Parroquia San José de Chaltura, Cantón Antonio Ante, Provincia de Imbabura” / TRABAJO DE GRADO. Ingeniero Agropecuario. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra. EC. Octubre 2014. 110 p. 17 anexos.

DIRECTOR: Ing. Carlos Cazco L. MSc.

El principal objetivo de la presente investigación fue cuantificar la cantidad de biomasa obtenible del cultivo de ciruelo (*Prunus domestica* L.) a partir del análisis dendrométrico. Entre los objetivos específicos se encuentran: definir el factor de forma de las ramas del árbol de ciruelo; determinar las funciones matemáticas de volumen de las ramas y analizar la distribución de la biomasa en cada uno de los estratos de las ramas del árbol.

Fecha: 17 de octubre de 2014.



Ing. Carlos Cazco L. MSc.

Director de Tesis



Maigua Chancosa Paulo Israel

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 la “Cuantificación de biomasa mediante el estudio dendrométrico en el cultivo de ciruelo (*Prunus domestica* L.), en la granja experimental “La Pradera”, Parroquia San José de Chaltura, Cantón Antonio Ante, Provincia de Imbabura”

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

Maigua Chancosa Paulo Israel

DEDICATORIA

A Jehová, origen de la energía dinámica que sostiene el universo, por el aliento de vida que me ha permitido experimentar la satisfacción que procede de terminar lo empezado.

A Carmen, mi querida madre, por el amor y paciencia que me tienes. Tú también eres la alegría de mi vida.

A Adriana, mi fuente de fortaleza emocional, tenerte a mi lado me hace mejor persona, gracias ñaña.

A Rosa Elena, mi segunda madre, aunque vives en la memoria de Jehová, llevo grabado en mi corazón tu ejemplo de lucha y generosidad.

A Bladimir, Cristian y Jorge, mis hermanos, su integridad y amistad en toda circunstancia enriquecen mi vida.

Israel Maigua

AGRADECIMIENTO

En primer lugar debo dar las gracias al Ing. Carlos Cazco por sugerirme la realización de la presente investigación, así como por su apoyo dinámico e incondicional hasta la finalización de éste trabajo, sin escatimar tiempo, esfuerzo o gastos económicos, de nuevo gracias. Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento al Dr. Borja Velázquez, por su asesoramiento en la metodología, tabulación e interpretación de los datos, a la Ing. María José Romero, al Ing. Telmo Basantes y al Ing. Víctor Nájera por sus inapreciables sugerencias y correcciones, así como a Rolando Chandi, por su valiosa ayuda. Por último, doy las gracias a mi padre César Maigua y a Luchito, quienes me apoyaron en los trabajos de campo.

Israel Maigua

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	vii
DEDICATORIA.....	viii
AGRADECIMIENTO.....	ix
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	5
REVISIÓN DE LA LITERATURA	5
2.1. BIOMASA.....	5
2.1.1. Energía a partir de biomasa	5
2.1.2. Fuentes energéticas.....	6
2.1.3. Biomasa sólida	6
2.1.4. Ventajas de utilizar la biomasa.....	7
2.1.4.1. Ventajas ambientales.....	7
2.1.4.2. Ventajas socioeconómicas.....	7
2.2. DASOMETRÍA.....	8
2.2.1. Dendrometría.....	8
2.2.1.1. Diámetro	8
2.2.1.2. Instrumentos para medir diámetros de troncos en árboles	9
2.2.1.3. Diámetro de copas	9
2.2.1.4. Altura.....	9
2.2.1.5. Volumen	10

2.2.1.6. El factor volumétrico de forma	10
2.3. MEDICIÓN DE LA CANTIDAD DE BIOMASA.....	10
2.3.1. Fórmulas de volumen en especies forestales.....	11
2.3.2. Modelos de volumen locales y generales	12
2.3.2.1. Métodos de determinación directo de volumen	13
2.3.3. Obtención de Ecuaciones	15
2.3.4. Sensores remotos	16
2.4. BIOMASA PROCEDENTE DE PODAS	17
2.4.1. Cuantificación de biomasa residual.....	17
2.4.1.2. Modelos de regresión para la predicción de la biomasa producida.....	19
2.5. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS.....	21
2.6. CULTIVO DE CIRUELO.....	23
2.6.1. Origen y distribución.....	23
2.6.2. Taxonomía.....	23
2.6.2.1. Variedades	24
2.6.3. Factores de producción.....	24
2.6.3.1. Clima y suelo.....	24
2.6.3.2. Riego	25
2.6.3.3. Altitud.....	25
2.6.3.4. Precipitación	25
2.6.3.5. Temperatura.....	26
2.6.3.6. Horas Frío y heladas.....	26
2.6.4. PODAS.....	26
2.6.5. PLAGAS Y ENFERMEDADES.....	27
CAPÍTULO III	28

MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	28
Ubicación Geográfica.....	28
Condiciones climáticas.....	28
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS.....	29
3.2.1. Materiales.....	29
3.2.2. Equipos.....	29
3.3. MÉTODOS.....	30
3.3.1. Factor en estudio.....	30
3.3.2. Tratamientos.....	30
3.3.3. Análisis Estadístico.....	30
3.3.4. Variables Evaluadas.....	30
3.3.5. Características del Experimento.....	31
3.3.6. Características de la unidad experimental.....	31
3.4. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO.....	31
3.4.1. Selección e identificación.....	31
3.4.2. Análisis de predicción de la biomasa residual procedente de la poda en el árbol entero.....	31
3.4.3. Poda del cultivo.....	32
3.4.4. Pesaje de los residuos de poda.....	32
3.4.5. Análisis dendrométrico de las ramas.....	32
3.4.6. Análisis dendrométrico de la planta entera.....	34
3.4.7. Análisis del material vegetal seleccionado en laboratorio.....	35
CAPÍTULO IV	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38

4.1 PREDICCIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL DE PODA	38
4.2. ESTUDIO DENDROMÉTRICO DE RAMAS.....	43
4.3 ANÁLISIS DE LA BIOMASA LIGNOCELULÓSICA DE LA PLANTA ENTERA	48
4.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA BIOMASA.	52
CAPÍTULO V	54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
5.1. CONCLUSIONES.....	54
5.2. RECOMENDACIONES	56
CAPÍTULO VI	57
EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA INVESTIGACIÓN	57
6.1. TEMA.....	57
6.2. OBJETIVOS.....	57
6.2.1. General	57
6.2.2. Específicos.....	57
6.3. MARCO LEGAL LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL	57
6.4. TULSMA.....	59
6.4.1. Objetivo de los EsIA.	59
6.5. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	59
6.5.1. ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA (AID).....	59
6.5.2. ÁREA DE INFLUENCIA INDIRECTA (AII)	59
6.5.3. LÍNEA BASE.....	60
6.5.4. Características del lote.....	60
6.5.5. Caracterización del ambiente	60
6.5.6. EVALUACIÓN DEL IMPACTO	61

6.6. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	62
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS	70
FOTOGRAFÍAS	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Estimaciones de biomasa residual de distintos cultivos según autores.....	18
Tabla N° 2. Biomasa de duraznero en Ecuador.....	18
Tabla N° 3. Ecuaciones de predicción de la biomasa por hectárea en la poda de frutales.	20
Tabla N° 4. Ecuación de regresión para predecir la biomasa en duraznero.	20
Tabla N° 5. Cuantificaciones medias de materia seca por árbol.	21
Tabla N° 6. Propiedades de los residuos estudiados.	22
Tabla N° 7. Parámetros físicos del material lignocelulósico del duraznero.	22
Tabla N° 8. Resumen estadístico de los parámetros estudiados.....	38
Tabla N° 9. Análisis de la relación lineal entre las variables a través del coeficiente de Pearson.....	40
Tabla N° 10. Modelo de regresión para la biomasa residual de la poda de ciruelo	42
Tabla N° 11. Resumen estadístico de los parámetros estudiados en las ramas	43
Tabla N° 12. Factores de forma en cada uno de los modelos geométricos estudiados. .	44
Tabla N° 13. Análisis de la relación lineal entre variables a través del coeficiente de Pearson.....	45
Tabla N° 14. Modelo de regresión para las ramas de ciruelo.....	47
Tabla N° 15. Ocupación de biomasa por estratos.....	48
Tabla N° 16. Resumen estadístico de los parámetros estudiados de la planta entera	49
Tabla N° 17. Modelo de regresión para la predicción de la biomasa de planta entera ...	50
Tabla N° 18. Media y desviación típica de los parámetros físicos del material lignocelulósico del ciruelo	52
Tabla N° 19. Matriz de Leopold para la Evaluación de Impactos Ambientales.	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Medición de diámetros en intervalos.....	33
Figura N° 2. Sección de un tronco de cono, donde R = radio mayor; r = radio menor; h = longitud del intervalo.	33
Figura N° 3. Modelos de crecimiento de copas arbóreas en una superficie determinada: (a) semielipse, (b) parabolóide, (c) crecimiento cónico, (d) crecimiento cilíndrico.	35
Figura N° 4. Tipos de Asimetría	39
Figura N° 5. Tipos de distribución de acuerdo al grado de apuntamiento	39
Figura N° 6. Variación de biomasa residual predicha frente al diámetro de copa	41
Figura N° 7. Componentes mas residuo para biomasa residual	42
Figura N° 8. Variación del volumen real predicho de ramas frente al diámetro de la base	46
Figura N° 9. Componentes mas residuos para volumen de ramas	47
Figura N° 10. Diagrama de distribución de la biomasa por estratos en ciruelo	48
Figura N° 11. Componentes mas residuos para volumen total	50
Figura N° 12. Curva de desecación del material leñoso del ciruelo y extrapolación hasta el 10% de humedad.....	53

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1. Ubicación del área de estudio.	71
Anexo N° 2. Hoja de campo utilizada, ensayo determinación de biomasa procedente de restos de poda.	72
Anexo N° 3. Hoja de campo, estudio factor de forma y funciones de volumen.	73
Anexo N° 4. Hoja de campo utilizada, determinación volumen total.	74
Anexo N° 5. Datos de árboles de ciruelo.	75
Anexo N° 6. Modelo de Regresión de biomasa residual.	76
Anexo N° 7. Modelo de regresión de ramas.	77
Anexo N° 8. Función volumen de ramas.	78
Anexo N° 9. Volumen del Estrato 1.	79
Anexo N° 10. Volumen del Estrato 2.	83
Anexo N° 11. Volumen del Estrato 3.	87
Anexo N° 12. Volumen del Estrato 4.	91
Anexo N° 13. Volumen del Estrato 5.	95
Anexo N° 14. Factor de Ocupación.	99
Anexo N° 15. Porcentaje de cenizas.	100
Anexo N° 16. Humedad del material y densidad en seco y en húmedo.	101
Anexo N° 17. Pérdida de humedad.	102

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 1. Identificación de árboles.	104
Fotografía N° 2. Medición de planta entera.	104
Fotografía N° 3. Labores de poda.	105
Fotografía N° 4. Pesaje de residuos de poda.	105
Fotografía N° 5. Deshoje de ramas podadas.	106
Fotografía N° 6. Visita de campo de asesores y estudiantes.	106
Fotografía N° 7. Dendrometría de ramas.	107
Fotografía N° 8. Socialización de método de cuantificación a estudiantes de la UTN.	107
Fotografía N° 9. Cuantificación de diámetros y longitudes por estratos.	108
Fotografía N° 10. Determinación de densidad en húmedo.	108
Fotografía N° 11. Determinación de densidad en seco.	109
Fotografía N° 12. Medición de curva de desecación.	109
Fotografía N° 13. Preparación de materiales para análisis de cenizas y volátiles.	110
Fotografía N° 14. Muestras de ciruelo en húmedo y en cenizas.	110

RESUMEN

La investigación se realizó en una plantación de ciruelo (*Prunus domestica* L.) establecida en la Granja Experimental “La Pradera” de propiedad de la Universidad Técnica del Norte, en la que se estudió la predicción de la biomasa residual procedente de la poda; la dendrometría de ramas y de la planta entera, y las características físico químicas de la biomasa; para lo cual, se seleccionaron treinta árboles en los que se midieron el diámetro de tronco, el diámetro de copa, la altura de la copa al suelo y la altura del árbol. Posteriormente, se realizaron las podas de fructificación, fitosanitarias y de formación; el material cortado de cada árbol 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, el volumen modelo y el factor de forma. En el análisis dendrométrico de la planta entera se determinó los estratos de las ramas de la planta; en cada estrato se midió el diámetro, longitud y se contabilizaron las ocurrencias para determinar el volumen de la biomasa. El valor de la biomasa residual media disponible fue de 1.94 toneladas de materia seca por hectárea en plantaciones con un marco de 4 x 3 m. El modelo geométrico paraboloidal fue el que mejor se ajustó a la forma real de las ramas con un coeficiente de 0.83. La mayor cantidad de biomasa se encontró en los estratos tres (38%), cuatro (28%) y posteriormente en el dos (22%) y cinco (6%). Finalmente, el porcentaje de humedad calculado fue del 51.76%, la densidad en húmedo y en seco se estableció en el orden del 1.08 g/cm³ y 0.78 g/cm³, respectivamente. Los análisis de cenizas dieron como resultado un 3.8% y el porcentaje de volátiles y carbón fijo se estableció en 96.2%.

ABSTRACT

The investigation was carried out in a plum tree plantation (*Prunus domestica* L.) settled down in the Experimental Farm "La Pradera" of property of the Technical University of the North, in which the prediction of the residual biomass coming from the pruning was studied; the dendrometric of branches and of the whole plant, and the chemical physical characteristics of the biomass; for that which, thirty trees were selected in those that were measured the trunk diameter, the glass diameter, the height of the glass to the floor and the height of the tree. Later on, they were carried out the fructification prunings, and of formation; the cut material of each tree was weighed. For the dendrometric analysis of branches 30 branches were selected, to those that were carried out mensurations of the diameter of the base, longitude of the branch, diameters to each 10 cm, to obtain the real volume of the branch, the model volume and the form factor. In the dendrometric analysis of the plant finds out it determined the strata of the branches of the plant; in each stratum the diameter, longitude was measured and they were counted the occurrences to determine the volume of the biomass. The value of the biomass residual available stocking was of 1.94 tons of dry matter for hectare in plantations with a mark of 4 x 3 m. The pattern geometric paraboloid was the one that better it was adjusted to the real form of the branches with a coefficient of 0.83. The biggest quantity in biomass was in the strata three (38%), four (28%) and later on in both (22%) and five (6%). Finally, the calculated percentage of humidity was of 51.76%, the density in humid and in dry settled down in the order of the 1.08 g/cm³ and 0.78 g/cm³, respectively. The analyses of ashes gave 3.8% and the percentage as a result of volatile and fixed coal settled down in 96.2%.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Según (Agebur.com, 2012 citado por Pacheco, 2014), se considera como biomasa a cualquier tipo de residuo obtenido de materia orgánica, que puede provenir de restos de podas, paja de cereales, purines, serrín o cultivos energéticos y que mediante varios procesos se puede obtener energía principalmente térmica y eléctrica; hasta finales del siglo XVII la biomasa fue la principal fuente de energía para el hombre, pero con la llegada de los combustibles fósiles este recurso energético ha perdido importancia, esto ha sido un factor decisivo para que la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera se haya elevado en casi el 40% (índice actual: 387 ppm) desde la revolución industrial.

En la actualidad el elevado costo de las fuentes de energía no renovables y los avances técnicos han posibilitado la aparición de sistemas de aprovechamiento energético de la biomasa, fuente de energía accesible en cualquier zona del mundo y menos contaminante, pues Fernández (2011), explica que 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, lo que quiere decir que existe un balance neutro en emisiones de CO₂, principal responsable del efecto invernadero, por eso se empieza a considerar a esta fuente de energía renovable como una alternativa a la dependencia de combustibles fósiles.

Diferentes estudios apuntan a flujos de residuos procedentes de la agricultura y la silvicultura como una base importante para la expansión de la producción de biomasa para energía, tanto en el corto como en el largo plazo. No obstante solo las grandes empresas forestales utilizan actualmente éstos desechos como recurso energético renovable para autoabastecimiento eléctrico mediante la generación propia, sin embargo, existen numerosos productores de pequeña y mediana escala que no utilizan el potencial energético de los desechos debido a no poseer la tecnología necesaria o desconocimiento. Según, Biodisol (2011), la energía obtenida de la

biomasa favorecería el sector agrícola, ya que supondría una fuente de ingresos adicionales para el agricultor, además de la producción alimentaria.

Para Velázquez (2006), una de las fuentes de biomasa es el sistema de producción agrícola, de éste sistema se obtiene productos alimenticios y residuos de podas que en muchos casos no tienen ninguna utilidad para el agricultor siendo incinerados en el campo, sin embargo, estos residuos también son considerados biomasa que puede ser aprovechada como un recurso renovable para producir energía. Esto es significativo dado que en Ecuador a nivel nacional hasta el año 2012 se contabilizaron 38.969 árboles de ciruelo con una producción de 875 Tm. (INEC, 2013).

La oportunidad que supone este programa de investigación, es que las características de los sistemas agroforestales y los materiales susceptibles de ser aprovechados para la producción de bioenergía, son específicos en cada zona, debido a las condiciones climáticas, edáficas y biodiversidad. Los sistemas andinos y tropicales del Ecuador han sido poco estudiados, los modelos de cuantificación y caracterización elaborados en Europa o Estados Unidos no son aplicables. Esto significa que se tiene la oportunidad de ser pioneros en el análisis de estos ecosistemas para la obtención de bioenergía, y ser referenciados en trabajos posteriores (Velázquez, 2013 citado por Pacheco, 2014). Estudios del cálculo de biomasa en las parcelas agrícolas supone una oportunidad científica importante, pues el desarrollo de las técnicas de medición de biomasa a partir de las señales percibidas por sensores remotos implica el desarrollo de métodos de medición de biomasa en campo para poder relacionar ambos parámetros (Estornell, Ruiz, Velázquez & Hermosilla, 2012).

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

Cuantificar la cantidad de biomasa obtenible del cultivo de ciruelo (*Prunus domestica* L.) mediante el estudio dendrométrico, en la granja experimental “La Pradera”, Parroquia San José de Chaltura, Cantón Antonio Ante, Provincia de Imbabura.

Los objetivos específicos fueron:

- Definir el factor de forma de las ramas del árbol de ciruelo (*Prunus domestica* L.).
- Determinar los modelos matemáticos para calcular el volumen de ramas representativas del cultivo del ciruelo (*Prunus domestica* L.).
- Conocer la distribución de la biomasa en cada uno de los estratos de las ramas 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.
- Calcular modelos de regresión para la determinación de la biomasa en la copa a partir de variables como el diámetro de copa, diámetro del tronco, altura de planta, altura de la copa o el marco de plantación.
- Calcular el coeficiente de proporcionalidad entre el peso de la biomasa obtenida en la poda y el volumen de la planta.

La hipótesis fue:

Ha: La cantidad de biomasa disponible en los residuos de poda del cultivo del ciruelo (*Prunus domestica* L.) es proporcional a la variables dendrométricas de las plantas.

Ho: La cantidad de biomasa disponible en los residuos de poda del cultivo del ciruelo (*Prunus domestica* L.) no es proporcional a la variables dendrométricas de las plantas.

El presente estudio se fundamenta en los procesos de investigación científica, en el Capítulo I, se identifica el problema de la investigación, y los objetivos del estudio; en el Capítulo II, se realiza un recuento de las investigaciones ejecutadas sobre el tema de: Cuantificación la biomasa obtenible del cultivo de ciruelo (*Prunus domestica* L.) mediante el estudio dendrométrico, en la granja experimental “La Pradera”, Parroquia San José de Chaltura, Cantón Antonio Ante, Provincia de Imbabura, realizadas a nivel local, nacional e internacional. Así como los fundamentos teóricos sobre el estudio; en el Capítulo III se describe la metodología aplicada a la investigación y ejecución de las variables propuestas; el Capítulo IV se compone del análisis, interpretación y discusión de resultados; el capítulo V contiene la conclusiones y recomendaciones del estudio, finalmente, el Capítulo VI describe el estudio del impacto ambiental que generó ésta investigación.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. BIOMASA

La biomasa abarca todo un conjunto heterogéneo de materias orgánicas, tanto por su origen como por su naturaleza. En el contexto energético, el término biomasa se emplea para denominar a una fuente de energía renovable basada en la utilización de la materia orgánica formada por vía biológica en un pasado inmediato o de los productos derivados de ésta. También tienen consideración de biomasa la materia orgánica de las aguas residuales y los lodos de depuradora, así como la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU), aunque dadas las características específicas de estos residuos se suelen considerar como un grupo aparte (Fernández, 2011).

2.1.1. Energía a partir de 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. El combustible de la biomasa obtenido de esta forma se denomina biocombustible (SEED, 2013).

2.1.2. Fuentes energéticas

Según el observatorio que realiza el mejor seguimiento de la situación de las energías renovables en la Unión Europea (Euroobserver barometer) distingue dentro de la bioenergía, o biomasa en sentido amplio, cuatro fuentes energéticas diferentes:

- (1) biomasa sólida
- (2) biogás
- (3) fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU)
- (4) biocarburantes, también llamados biocombustibles líquidos

2.1.3. Biomasa sólida

Para el aprovechamiento térmico o eléctrico de la materia orgánica de origen vegetal o animal. Para (Cerdá, Caparrós y Ovando, 2008), dependiendo del origen y composición de cada uno de los materiales y residuos utilizados, la biomasa sólida se divide en:

a) Primaria: formada por cultivos energéticos, que son cultivos de especies vegetales destinados específicamente a la producción de biomasa para uso energético. Entre las especies agrícolas para producción de biomasa lignocelulósica podemos citar el cardo, el sorgo, la *Brassica carinata* o la colza etíope, entre otras. Entre las especies forestales leñosas se pueden citar, entre otras, el chopo, el sauce, el eucalipto. (Cerdá, *et al*, 2008).

b) Residual o secundaria: residuos forestales (como los generados en operaciones de limpieza o poda), residuos agrícolas leñosos (como podas de olivos, viñedos y frutales), residuos agrícolas herbáceos (como la paja de cereales de invierno o el cañote del maíz), residuos de industrias forestales y agrícolas (astillas, cortezas, serrín, huesos de aceitunas, cáscaras de frutos secos, cascarilla de arroz etc.) (Cerdá, *et al*, 2008).

2.1.4. Ventajas de utilizar la biomasa

El uso de la biomasa tiene una serie de ventajas ambientales y económicas.

2.1.4.1. 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).

2.1.4.2. 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. DASOMETRÍA

Es parte de la Dasonomía (estudio del bosque) que estudia la forma de medir, estimar y apreciar las dimensiones de los árboles individuales y demás parámetros del bosque (diámetros, alturas, volumen, etc.), además se ocupa de la determinación de incrementos, rendimientos del árbol, del bosque y de sus productos (Jaramillo, 2001).

2.2.1. Dendrometría

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

La dendrometría también fue definida como la matemática de medición cuantitativa y cualitativa del árbol y sus productos (Imaña, 1998).

2.2.1.1. Diámetro

El diámetro es uno de los parámetros más importantes para la medición forestal, sirve para determinar la estructura de un rodal, el área basal, volumen, crecimiento, etc. La medición de un árbol es la operación más corriente y fácil, generalmente se realiza en árboles en pie (Jaramillo, 2001).

2.2.1.2. Instrumentos para medir diámetros de troncos en árboles

Para (Ugalde, 1981), existen numerosos instrumentos para medir directamente el diámetro o la circunferencia, los más conocidos son los siguientes.

- A) La cinta. Puede utilizarse cualquier cinta graduada en m, cm, o mm, con ésta se miden circunferencias. También existe la cinta diamétrica que en una cara lleva escala para longitudes y en otra el equivalente a diámetros graduados a base de la relación: $C=D \cdot \pi \rightarrow D=C/\pi$ (C=circunferencia, D=diámetro).

- B) La forcípula. Este instrumento de metal o madera consta de una regla graduada y dos brazos perpendiculares a ésta, el uno fijo y el otro movable que se desplaza a lo largo de la regla; con la forcípula se lee directamente el diámetro.

2.2.1.3. Diámetro de copas

Para esto se mide el diámetro de la proyección de la copa sobre el suelo. Pocas veces tal proyección es circular, por lo que se debe medir el diámetro por lo menos en dos direcciones perpendiculares. Con el auge de las fotografías aéreas verticales, resulta fácil y cómodo medir las copas directamente en las fotografías (Ugalde, 1981).

2.2.1.4. Altura

Es la distancia vertical que existe entre un plano de referencia y el punto deseado (Jaramillo, 2001).

La altura es una variable necesaria para estimar principalmente, junto con el DAP el volumen de madera de un árbol, su proceso de crecimiento y el correspondiente incremento volumétrico (Imaña, 1998).

Según (Ugalde, 1981), en las alturas, según la parte del árbol que se desea medir, se distinguen:

- A) Altura total. La que va desde el suelo hasta el ápice de la copa.
- B) Altura de fuste (tronco). La que va del suelo hasta la base de la copa (donde se inicia ramificación del árbol).
- C) Altura de copa. La que va desde la base de la copa hasta el ápice de la copa.

2.2.1.5. 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).

2.2.1.6. El factor volumétrico de forma

Según (Lojan, 2005 citado por Toledo, 2011), 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, por eso se distinguen:

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

A este factor se lo conoce con distintos nombres: coeficiente mórfo (CM), factor de forma (FF), coeficiente de forma (CF) etc. El f es una relación de volúmenes. Requiere conocerse el volumen de los fustes o de los árboles.

2.3. 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 dendrométrico.
- Inferencia a la población.

La expresión básica de cuantía de biomasa más empleada es el volumen. Las mediciones necesarias para cubicar directamente un árbol pueden ser costosas y lentas debido a la altura de las distintas estructuras y porque presentan formas irregulares (Prodan, Peters, Cox & Real, 1997). Una posibilidad es el volteo o derribo de los árboles para poder medir diámetros a diferentes alturas (Salas, Reyes y Bassaber, 2005). Pero esto supone un método destructivo. Por ello se han desarrollado métodos para estimar el volumen indirectamente a través de variables fáciles de medir como el diámetro a la altura de 1,3 m (DAP), la altura total (H_T) y altura comienzo de copa (HCC) (García y Arroyo, 2011).

2.3.1. Fórmulas de volumen en especies forestales

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, *et al*, 1997).

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

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

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

Dónde:

V = volumen (m^3)

g_m = área basal (m^2) en el punto medio de la sección

g_s = área basal (m^2) en el punto superior de la sección

g_i = área basal (m^2) 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 (Lencina, Martínez, Cellini, Vukasovic, Peri & Fernández, 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, *et al*, 1997).

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

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 (Higuera, 1994).

2.3.2. Modelos de volumen locales y generales

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 (Lencina, *et al*, 2002). Esto nos motiva 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, Mac, Weber, Figueredo, Gómez y Irschick, 2006). Son de aplicación más amplia que las locales, debido a que la relación de las dimensiones está explícita en el modelo, lo que facilita su uso para diferentes rodales en lugares diferentes (Prodan, *et al*, 1997).

2.3.2.1. Métodos de determinación directo de volumen

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, Burkhart & Max, 1980). Por medio de dos pasos, el primero corresponde a la obtención de una ecuación de volumen para predecir el volumen total del árbol; y el segundo obtener una de transformación para estimar una proporción determinada (Prodan, *et al*, 1997).
- 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 (García y Arroyo, 1995). En la literatura se mencionan tres tipos de funciones de ahusamiento. Las más simples corresponden a:

- I. Funciones polinómicas simples de diferentes grados, entre las cuales se hace diferencia entre las de árbol individual (Cofré, 1983). Y las de una muestra de árboles (Higuera, 1994).
- II. El segundo tipo de funciones corresponde a funciones segmentadas, que se forman de dos o tres expresiones que se activan o desactivan con respecto a la

altura en que se quiera prever el diámetro (Prodan, *et al*, 1997). La primera predice en la parte basal del fuste que se asemeja a un nelóide, la segunda predice para la parte media asemejándose a un parabolóide y la tercera predice en la zona cercana al ápice la cual se asemeja a un cono. Estas funciones están ligadas, en los puntos de inflexión o cambio de forma de la curva que describe el árbol (Higuera, 1994).

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

El siguiente modelo alométrico simple establece un buen ajuste para la estimación de biomasa como ecuación general para diferentes especies arbóreas en España (Moret, Jerez y Mora, 1998; Montero, Ruiz y Muñoz, 2008).

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

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

Esta fórmula 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). Existen metodologías en las que se utilizan funciones de razón y ahusamiento en especies latifoliadas, comprobando que ambos métodos entregan resultados aplicables (Trincado, Gadow y Sandoval, 1997). Una amplia variedad de modelos han sido desarrollados para predecir el crecimiento y la producción de

rodales de distintas edades, tanto en árboles individuales como en rodales a distintas etapas de desarrollo (Peng & App, 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 el análisis del crecimiento y modelos de producción que 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 (Burkhart, 1977; Vanclay, 1994).

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

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

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

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

2.3.3. Obtención de Ecuaciones

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 y Moret, 2001). Los datos que se utilizan en el

análisis de regresión deben cumplir los supuestos de normalidad, independencia y homogeneidad de varianzas (Segura y 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 y 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 y Moret, 2001).

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

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

Los modelos estimativos de la biomasa de un rodal forestal o una parcela agrícola deberían incluir la variable de 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 del sitio (Costas, *et al*, 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, *et al*, 2006).

2.3.4. 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, Hyypä, Leckie, Gougeon, Yu & Maltamo, 2008). Y para la estimación cuantitativa de parámetros de rodales o parcelas (Estornell, Ruiz, & Velásquez, 2011). Los datos multispectrales 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 (Lencina, *et al*, 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, *et al*, 2012).

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, *et al*, 2012). Es por ello que investigaciones orientadas al cálculo de biomasa en las parcelas agrícolas supone una oportunidad científica de enorme interés.

2.4. BIOMASA PROCEDENTE DE PODAS

Las fuentes de biomasa de las plantaciones de árboles frutales son principalmente las podas y la renovación de árboles. Este tipo de operaciones produce materiales leñosos susceptibles de ser transformados en biocombustibles mediante tratamientos físicos o químicos, o en materia prima para la industria maderera (Velázquez & Annevelink, 2009).

2.4.1. Cuantificación de biomasa residual

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 ubicación de una planta energética potencial (Perpiñá, Alfonso, Pérez-Navarro, Peñalvo, Vargas & Cárdenas, 2008).

En la tabla 1, aparecen las cuantificaciones de biomasa en cultivos evaluados en Italia y España.

Tabla Nº 1. Estimaciones de biomasa residual de distintos cultivos según autores.

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

Fuente: (Perpiña, et al, 2008)

La cantidad de biomasa disponible resultante de la investigación realizada en Ambato en el cultivo de duraznero se grafica en la Tabla Nº 2.

Tabla Nº 2. Biomasa de duraznero en Ecuador.

Cultivo	Biomasa (Kg/planta)	Marco de plantación
Duraznero	54.74	4 x 3 m ²

Fuente: (Pacheco, 2014)

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

Según (Velázquez, Fernández, Estornell & Ruiz, 2010), para poder predecir la cantidad de biomasa residual es necesario 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, se considera las siguientes variables.

- Altura del árbol (**h**). Indica la altura del individuo, expresada en metros.
- Altura de la copa (**hc**). Indica la altura desde el inicio de las ramas del árbol hasta el ápice, 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.

Para diseñar la metodología de cuantificación de biomasa se probó un modelo lineal; para mejorar el coeficiente de determinación r^2 , se usaron relaciones no lineales formadas por los cuadrados de las variables independientes o por el producto de éstas. El error medio absoluto que representa el error cometido en la predicción usando las ecuaciones lineales calculadas disminuye considerablemente cuando se utiliza para la predicción un modelo cuadrático (Velázquez, *et al*, 2010).

Se muestra en la tabla 3, las ecuaciones de regresión lineal y cuadrática que se han obtenido para algunos frutales en t/ha.

Tabla Nº 3. Ecuaciones de predicción de la biomasa por hectárea en la poda de frutales.

Frutales

Modelo Lineal BFA (kg árbol) = $-2,512 - 8,717 \cdot r + 0,320 p - + 0,046 \cdot hc$
 $+ 2,284 \cdot h$

Modelo Cuadrático BFA (kg 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: (Velázquez, et al, 2010).

En la tabla 4 se observa la ecuación de regresión para predecir la biomasa total disponible en el cultivo de duraznero realizado en Ambato, Ecuador.

Tabla Nº 4. Ecuación de regresión para predecir la biomasa en duraznero.

Biomasa disponible	
Ecuación	$VT = 3.6929E6 - 2.41186E6 * AT + 359523.0 * AT^2$ $+ 340566.0 * DC * AT - 785863.0 * DC$

Fuente: (Pacheco, 2014)

A continuación, se presenta en la tabla 5 cuantificaciones de materia seca por árbol.

Tabla Nº 5. 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:(Velázquez, et al, 2010).

2.5. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS

En la tabla 6 señalada a continuación se presentan los valores de las propiedades de los residuos estudiados: humedad, cenizas, material volátil en algunas especies europeas.

Tabla Nº 6. 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: (Velázquez, et al, 2010).

Según comenta Velázquez, para que la biomasa sea empleada energéticamente la humedad debe ser menor al 10%, por lo que tiene que someterse a un secado previo antes de ser combustionadas directamente. El contenido de cenizas detectado bajo 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 bastante homogéneo (lo que indica que se podría utilizar una mezcla de residuos para incrementar la disponibilidad de materia prima).

Finalmente, se expone los parámetros físicos de porcentaje de humedad, densidad, porcentaje de volátiles, porcentaje de ceniza del material lignocelulósico del árbol de duraznero realizados en Ecuador. Los datos medios y desviaciones típicas se muestran en la tabla 7.

Tabla Nº 7. Parámetros físicos del material lignocelulósico del duraznero.

	\bar{x}	Σ
Humedad %	51.96	8,56
Cenizas %	15.01	1.37
% Volátiles + Carbono fijo	84.99	1.37
Densidad Húmeda g/cm ³	1.020	0.119
Densidad Seco g/cm ³	0,918	0.273

Fuente: (Pacheco, 2014)

2.6. CULTIVO DE CIRUELO

2.6.1. Origen y distribución

El ciruelo (*Prunus domestica* L.) crece en forma espontánea en el Cáucaso, en toda Anatolia y en Persia (Cepeda, 2001).

El ciruelo se originó por el doblado de cromosomas de un híbrido entre *P. cerasifera* ($2n = 16$) y *P. spinosa* ($2n = 32$) debido a que posee 48 cromosomas. Los cultivares de ciruelo Europeo han sido cultivados en Europa por siglos. Los pioneros españoles en la Costa Pacífica y los colonizadores ingleses en la Costa Atlántica introdujeron estos ciruelos a Norteamérica (Ryugo, 1993). El ciruelo se encuentra distribuido actualmente en las regiones templadas de todo el mundo y en las zonas tropicales montañosas de América Latina y África (Calvo, 2009).

En Ecuador las principales zonas o sectores de cultivo son: Ficoa, Pinillo, Huachi, Tisaleo, Píllaro (Fabara, 2009). A nivel nacional hasta el año 2012 se contabilizaron 38.969 árboles con una producción de 875 Tm. (INEC, 2013).

2.6.2. Taxonomía

(Fabara, 2009), asegura que la clasificación taxonómica del ciruelo (*Prunus domestica* L.), es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Dicotiledóneas

Orden: Rosales

Familia: Rosaceae

Género: *Prunus*

Especie: *Prunus domestica*

Nombre Científico: *Prunus domestica* L.

Los nombres comunes de *Prunus domestica* L. en Ecuador son: Claudia o ciruelo.

2.6.2.1. Variedades

Dentro de la especie conocida como ciruelo existen en realidad gran cantidad de especies botánicas, que vulgarmente reciben el mismo nombre. Todas estas diversas clases de ciruelos pueden quedar comprendidas en dos grupos, de acuerdo a ciertas características (Calderón, 1987).

- Ciruelos japoneses o de crecimiento rápido (Red Beaut, Santa Rosa, Angeleno, Laroda etc.): Se caracterizan por tener una floración bastante precoz, semejante a la del durazno, en ramas más o menos vigorosas. A este grupo pertenecen el ciruelo mirobolano (*Prunus cerasifera*), el ciruelo mariana (*Prunus marianna*), el híbrido *Prunus cerasifera* por *Prunus salicina* y muchos otros híbridos naturales o artificiales.
- Ciruelos Europeos o de crecimiento lento (Claudia, Agen, Felleberg, Stanley, President, etc.): La floración se presenta en forma tardía, en ramas de escaso vigor que aparecen después de transcurridos varios años. A este grupo pertenecen las especies *Prunus doméstica* y *Prunus insititia*.

Las principales variedades de *Prunus domestica* L. cultivadas en el Ecuador son: Reina Claudia, Nelly, Santa Rosa, Satzuma y Corazón de elefante (Fabara, 2009).

2.6.3. Factores de producción

2.6.3.1. Clima y suelo

El ciruelo es uno de los frutales más rústicos y fáciles de cultivar. Resiste bien las bajas temperaturas. Las flores son bastante resistentes a las heladas, prefiere los climas templados, pero se desarrolla bien en climas relativamente fríos. Las variedades europeas son bastante resistentes a las heladas, pero las japonesas y americanas son más exigentes en temperatura y humedad (García y Arroyo, 2011).

El suelo aguanta bien la caliza, la humedad y los terrenos compactos, debido a su sistema radicular superficial, tolera la humedad y puede vivir en terrenos poco profundos mejor que otros frutales, es necesario que el subsuelo sea fresco, pero sin humedad en exceso (García y Arroyo, 2011).

2.6.3.2. Riego

Las necesidades hídricas del ciruelo son muy relativas, y a pesar de ser esta especie muy resistente a la humedad del suelo no debe abusarse de los riegos, que deben suprimirse por completo al entrar el fruto en envero en evitación de un posible agrietamiento (Juscafresa, 1983).

En condiciones normales se dará un riego un mes antes de la movida, como preparación de la misma, completándose con dos-tres riegos en el transcurso de la primavera y verano. Durante el primer año de la plantación los riegos se darán en mayor número, generalmente el doble, con el fin de asegurar el buen prendimiento de los plantones (Bononady Sala, 1970).

2.6.3.3. Altitud

Puede ser sembrado hasta los 700 m.s.n.m en zonas templadas, pero en el caso de latitudes tropicales, el ciruelo se produce en zonas que van desde los 1.500 hasta los 2.300 msnm, además, requiere de bajas temperaturas para establecer la fase de inactividad y llenar su requerimiento de horas frío, lo cual en nuestras condiciones se obtiene a mayores altitudes sobre el nivel del mar (Calvo, 2009).

2.6.3.4. Precipitación

Para el caso de las zonas tropicales, el ciruelo requiere de precipitaciones superiores a los 1.400 mm anuales bien distribuidos. La literatura menciona un requerimiento no menor de 700 mm anuales (Calvo, 2009).

2.6.3.5. Temperatura

La temperatura adecuada varía desde 13- 15° C. Además al régimen de temperatura de un lugar, con sus situaciones positivas o negativas proporciona un resultado que se traduce en el desarrollo y producción de los árboles frutales. Cuando este régimen es óptimo para el tipo de árbol cultivado los rendimientos son buenos tanto en calidad como en cantidad (Isacás y Cuzco, 2009).

2.6.3.6. Horas Frío y heladas

Las variedades de ciruelos japoneses o americanos requieren de 200 a 250 horas de frío y las variedades europeas de 1000 a 1500 horas de frío (Terranova, 1995).

Prunus domestica L. tolera tanto frío como lo hacen la pera y la manzana y requiere casi la misma cantidad de frío (Ryugo, 1993).

El ciruelo al ser un árbol de floración muy temprana, en los climas fríos o relativamente fríos puede verse la flor o el fruto afectado por las heladas tardías y perderse parte de la cosecha, pues en dichos climas únicamente deben cultivarse las razas europeas o americanas, ya que las procedentes de las japonesas se resienten más a consecuencia del frío (Juscafresa, 1983).

Las variedades europeas son más resistentes a las bajas temperaturas que las japonesas. En éstas, los botones florales soportan -3.9° C de temperatura; las flores abiertas -2.2° C y los frutos jóvenes -1.1° C. En las variedades europeas los botones florales soportan -5° C; las flores abiertas -2.8° C, y los frutos jóvenes -3.9°C (Juscafresa, 1983).

2.6.4. PODAS

Se realiza con el objetivo de obtener plantas con ramas fuertes, que le permita al cultivo sostener el peso de los frutos y hacer más fácil el manejo de la plantación y mejorar las condiciones fitosanitarias (aireación, eliminación de material enfermo y aumento de la producción). El ciruelo deberá recibir una poda de formación de Vaso

o Copa Abierta antes de la fructificación con el objetivo de lograr una buena disposición de las ramas principales (Calvo, 2009).

La poda de fructificación o de producción consiste en eliminar chupones y aclarar órganos fructíferos, según el estado de vegetación, eliminando ramas innecesarias, así como ramas muertas y enfermas, refrescar ramilletes si es caso necesario. Una poda muy aconsejable es el recortar ramas de prolongación, terciar ramas de madera y ramas mixtas, con la finalidad de evitar que el árbol se alargue, toda vez que se favorece la emisión de nuevos órganos fructíferos en las ramas principales y se consiguen con ello mayores producciones (Bononad y Sala, 1970).

Por otro lado (García y Arroyo 2011), menciona que una buena poda aporta los siguientes beneficios:

- Controla la altura del ciruelo
- Facilita la iluminación
- Acorta el periodo improductivo del árbol
- Reduce costes (disminuye el tiempo de recolección)
- Mejora la calidad
- Evita el envejecimiento
- Regulariza y mejora las producciones.

2.6.5. PLAGAS Y ENFERMEDADES

Las plagas del ciruelo causan serios problemas en los huertos frutícolas, destacándose los pulgones, mosca de la fruta, ácaros, barrenador del tallo, cochinilla entre otros, entre las principales enfermedades se citan: agalla del cuello, roña, oídio, podredumbre del tallo, antracnosis, carpocapsa del ciruelo (deformación y caída de los frutos), entre otros (Calvo, 2009).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se realizó en un lote con el cultivo de ciruelo, en la Granja Experimental “La Pradera” que se encuentra ubicado en Chaltura, Cantón Antonio Ante. (Anexo N° 1)

Ubicación Geográfica

País:	Ecuador
Zona:	Administrativa 1
Provincia:	Imbabura
Cantón:	Antonio Ante
Parroquia:	San José de Chaltura
Sector:	Granja “La Pradera”
CoordenadasUTM:	X: 810913 Y: 10039425
Datum:	WGS 84
Zona:	17 Sur
Altitud:	2350 msnm

Condiciones climáticas

Temperatura media anual:	17.1 °C
Humedad Relativa:	68.9 %
Pluviosidad:	582.2 mm/año
Viento (velocidad):	3.4 Km/h
Zona de vida:	Bosque seco Montano Bajo

Fuente: Sistema de Información Geográfica (UTN)

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. Materiales

Los materiales utilizados para esta investigación, se muestra en la siguiente lista:

- Cinta métrica
- Eslingas
- Libreta de campo
- Pértiga
- Recipientes plásticos

3.2.2. Equipos

Los equipos utilizados para esta investigación, se indican en la siguiente lista:

- Balanza digital
- Balanza electrónica
- Dinamómetro
- Equipo de filmación
- Estufa
- GPS
- Pie de rey
- Segueta
- Tijera de podar

3.3. MÉTODOS

3.3.1. Factor en estudio

Biomasa

3.3.2. Tratamientos

Árbol de ciruelo

3.3.3. Análisis Estadístico

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 parámetros 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 o negativas.
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.

3.3.4. 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 en laboratorio (volátiles, humedad, densidad, cenizas).

3.3.5. Características del Experimento

Unidades experimentales 30

3.3.6. Características de la unidad experimental

La unidad experimental fue un árbol de ciruelo, en producción con un distanciamiento de 4 x 3 m en la plantación, con una estructura de formación (tronco): Un tronco y dos o más ramas principales y una estructura de formación (copa): Redondeada.

3.4. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

3.4.1. Selección e identificación.

El experimento se ubicó en la plantación de ciruelo de la Granja Experimental “La Pradera”. Se seleccionaron treinta (30) árboles al azar y en zig-zag, bajo un marco de plantación de 4 x 3 m y en estado de receso de producción. Los árboles fueron identificados con 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.

Cuando el cultivo estuvo en receso de producción en los arboles seleccionados se realizó las siguientes mediciones: Diámetro de tronco (cm), Diámetro de copa (m), Altura de la copa al suelo (cm) y Altura del árbol (m), (anexo 2).

Diámetro del tronco: Se realizó la medición con un calibrador pie de rey digital a una altura de referencia, que fue en la parte media del tronco, cuando la forma del

tronco fue irregular se realizó dos mediciones, calculándose después el diámetro medio, obteniendo el dato en centímetros.

Diámetro de la copa: Se tomó la distancia entre el borde externo dominante y su extremo opuesto medido sobre la superficie del suelo, después se calculó el diámetro medio, la medida se realizó con flexómetro, la unidad fue el metro.

Altura de la copa al suelo: Es la distancia que existe desde el suelo hasta el punto donde inicia la copa (primera bifurcación fuerte de ramas). La medida se realizó con flexómetro, la medida fue registrada en centímetros.

Altura del árbol: Se midió con dos personas, el operario y el ojeador con un instrumento llamado pértiga, para esto el operario se colocó en el centro del árbol junto al tronco y el ojeador observó que la pértiga alcance el ápice de la rama más sobresaliente del árbol, luego, se ubicó la pértiga a nivel del suelo, en donde se tomó la medida con un flexómetro, la medida se registró en metros.

3.4.3. Poda del cultivo.

Se realizó prácticas de poda de producción, fructificación y fitosanitarias para lo que se utilizó tijera de podar y segueta.

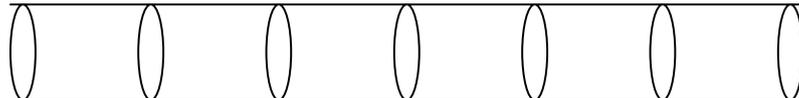
3.4.4. Pesaje de los residuos de poda

Los residuos de poda de cada árbol fueron atados con eslingas formando paquetes, los mismos que se pesaron utilizando un dinamómetro, la unidad de peso fue el kilogramo, después se desojaron las ramas para determinar el peso de las hojas sin ramas en kilogramos, (anexo 2).

3.4.5. Análisis dendrométrico de las ramas.

Se seleccionaron 30 ramas de entre los residuos de la poda, una por cada árbol o unidad experimental, a las que se realizaron las mediciones del diámetro de la base

con un pie de rey digital, y longitud total de la rama con una cinta métrica en centímetros para obtener el volumen modelo de la rama, el volumen modelo se calculó con la fórmula del cilindro, (ecuación 12). Para el cálculo del volumen real de la rama, se dividió la rama en partes iguales (10 cm), tal como se indica en la Figura 1; se midió el diámetro ecuatorial de la sección de forma, obteniendo el diámetro inicial y final de cada intervalo, después se usó la ecuación volumétrica 9.

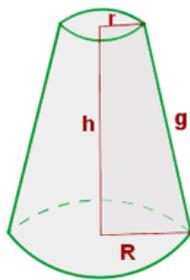


$$d_1 d_2 d_3 d_4 d_5 d_6 d_i \dots$$

Figura N° 1. Medición de diámetros en intervalos.

Fuente: (Velázquez, 2006)

Cada parte fue considerada como un tronco de cono, cuyo volumen se calculó con la ecuación 9 (volumen de cono truncado) o la ecuación 10 (Ecuación de Smalian). La suma de todos los volúmenes de cada una de las porciones calculadas fue el volumen real de la rama (Ecuación 11).



$$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + Rr + r^2) \quad (9)$$

$$V_i = \pi \cdot h \cdot R_a^2 \quad \text{donde } R_a = \frac{R+r}{2} \quad (10)$$

$$V_{real} = \sum_1^i V_i \quad (11)$$

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

Fuente: (Velázquez, 2006)

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

$$V_{cilindro} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L \quad (12)$$

En principio el coeficiente mórfico fue un parámetro característico de la especie y clase diamétrica. 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 (Vi) del ciruelo se determinó a partir de su coeficiente mórfico (f), cociente entre el volumen real y el volumen geométrico modelo, (ecuación 13).

$$f = \frac{\text{Volumen real de la estructura analizada}}{\text{Volumen del modelo}} \quad (13)$$

3.4.6. Análisis dendrométrico de la planta entera.

Se determinó los estratos de las ramas de la planta de ciruelo. 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 - 5 ramas) y de mayor diámetro. El segundo estrato estuvo constituido por las ramas que se ramificaron del primer estrato; se contabilizaron todas ellas (ocurrencias) para determinar el volumen de biomasa; luego, se seleccionó la más representativa, a la que se midió su diámetro y su longitud. Seguidamente se cubió el tercero, cuarto y quinto estratos siguiendo metodología descrita para el segundo estrato, (anexo 4). Después de haber determinado el coeficiente de forma de las ramas del ciruelo, se calculó el volumen real de todas las ramas existentes en cada estrato y se estimó el volumen real que ocupa todo el árbol. Además se determinó el volumen real del árbol entero y por estratos, representando en cuadros y gráficos que muestran la distribución de biomasa por estratos en la copa.

Se calculó el volumen aparente de las copas, determinado por su diámetro y la altura media de las mismas que va desde la base al ápice. La finalidad fue relacionar el volumen aparente con el volumen real del material contenido en la copa (madera,

hojas y frutos). El diámetro de la copa es un promedio de dos segmentos que se intersecan en el centro de la proyección de la copa formando un ángulo de 90°. El diámetro y la altura media de las copas dieron diferentes modelos geométricos de volumen aparente, (figura 3) que se relacionó con el volumen real, y a través de la densidad con la biomasa.

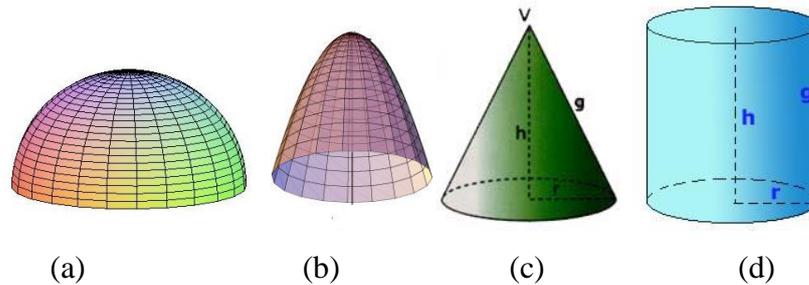


Figura N° 3. Modelos de crecimiento de copas arbóreas en una superficie determinada: (a) semielipse, (b) parabolóide, (c) crecimiento cónico, (d) crecimiento cilíndrico.

Fuente: (Velázquez, 2006)

La relación entre el volumen aparente de la copa y el volumen real de las ramas existentes en el ciruelo se le denominó factor de ocupación (*FO*) que se expresó en la ecuación (14):

$$FO = \frac{\text{Volumen real de copa}}{\text{Volumen aparente de copa}} \quad (14)$$

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 determinó en el laboratorio los parámetros físicos de porcentaje de humedad, densidad, porcentaje de volátiles, porcentaje de ceniza del material lignocelulósico del ciruelo.

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

$$\% \text{Humedad} = \frac{P_h - P_s}{P_h} \cdot 100 \quad (15)$$

Para ello se cortó doce segmentos de ramas de diez centímetros de longitud, se los colocó en un recipiente tapado y se lo llevó al laboratorio. En el laboratorio se enumeró a las muestras y se determinó su peso húmedo utilizando una balanza digital.

A continuación se colocó las muestras en un recipiente con papel aluminio como base y se las introdujo en la estufa por 24 horas a una temperatura de 105°C, pasado el periodo de 24 horas se sacó las muestras y se volvió a tomar el peso de las muestras en seco, después se aplicó la fórmula (15) para determinar el porcentaje de humedad del material, (anexo 16).

La densidad es la relación entre la masa y el volumen, expresado por la ecuación:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \quad (16)$$

Para determinar la densidad en húmedo se tomó doce muestras de diez centímetros de las ramas del ciruelo, se pesó las muestras en una balanza digital para obtener la masa, después, se determinó el volumen húmedo por el método de Arquímedes. A continuación se aplicó la ecuación (16) para obtener la densidad.

El análisis de la densidad en seco se realizó introduciendo las muestras a la estufa a una temperatura de 105°C por 24 horas, pasado este tiempo se sacaron las muestras y se pesó en la balanza digital obteniéndose la masa. El volumen en seco se lo realizó mediante el método de Arquímedes. A continuación se aplicó la ecuación (16) para obtener la densidad, (anexo 16).

Para determinar el porcentaje de ceniza en base seca (A_d) del material lignocelulósico del ciruelo se cortaron segmentos de 10 centímetros de longitud de ramas, que se almacenaron en un recipiente plástico para evitar la pérdida de humedad. En el laboratorio, las muestras se segmentaron en pequeñas porciones. Los crisoles vacíos fueron numerados y pesados. Luego se colocó una cierta cantidad de muestras segmentadas en los crisoles y fueron pesados. Los crisoles con las muestras se colocaron en el horno a una temperatura de 550 °C, por dos a cuatro horas, tiempo en el que se alcanzó la incineración completa del material. Al enfriarse los crisoles con las cenizas en su interior, se procedieron a pesar para obtener los datos correspondientes, finalmente se aplicó la fórmula (17).

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \times \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (17)$$

Donde

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.

La curva de desecación se determinó a partir de una muestra de diez segmentos de tallos de distinto diámetro de diez centímetros de longitud, los cuales fueron llevados al laboratorio donde se pesaron diariamente a la misma hora en una balanza electrónica, los pesos en gramos se anotaron en una tabla para relacionarlo con el porcentaje de humedad y así determinar el día en que el material llegó al 10% de humedad.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El procesamiento estadístico de los datos se realizó con el software Statgraphics plus, el estudio se estructuró en cuatro 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 de la biomasa en laboratorio.

4.1 PREDICCIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL DE PODA

Para validar los procedimientos estadísticos aplicados posteriormente se realizó un análisis unidimensional de los parámetros medidos en los treinta árboles. En la tabla 8, se muestran la media, desviación típica, coeficientes de Curtosis y de asimetría de los parámetros estudiados. Como se puede observar, los coeficientes de asimetría y Curtosis en cada una de las variables presentan una distribución normal, dado que el comportamiento de los datos se ajusta al rango de -2 y +2. Se establece que la media de materia seca es de 2.33 Kg/árbol, valor que supera los 1.845 Kg/árbol obtenidos por (Velázquez, *et al*, 2010), en *Prunus doméstica*, diferencia que pudo deberse al tipo de poda practicada, edad y sitio del cultivo.

Tabla N° 8. Resumen estadístico de los parámetros estudiados

	Media	Desv. Típica	Coef. de Curtosis	Coef. de Asimetría	Máximo	Mínimo
Biomasa resid. seca(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: (Autor)

El coeficiente de asimetría es un indicador que permite establecer el grado de simetría o asimetría que presenta una distribución de probabilidad de una variable, (figura 4); coeficientes positivos como: 1.63 de biomasa residual, 1.35 de diámetro de copa y 0.63 de altura de copa al suelo, corresponden a una asimetría positiva, esto significa que la cola a la derecha de la media es más larga que la de la izquierda, lo que indica que en estas variables existen más valores que se encuentran por encima de la media. Los coeficientes -0.53 y -0.41 del diámetro de tronco y altura de planta respectivamente se ajustan a una asimetría negativa

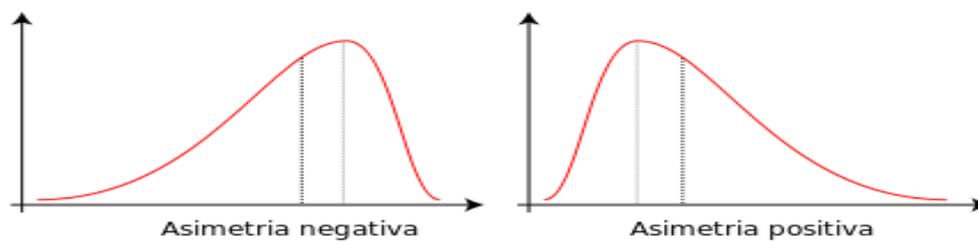


Figura Nº 4. Tipos de Asimetría

Fuente: (Flores, 2014)

El coeficiente de Curtosis analiza el grado de concentración que presentan los valores alrededor de la zona central de la distribución, como se ve en la figura 5; valores positivos que sobrepasan el rango +2, significan una distribución leptocúrtica donde la mayoría de los datos están muy próximos a la media; valores negativos que sobrepasan el rango -2, significan una distribución platicúrtica en la que los datos se distribuyen alejándose de la media; los parámetros medidos presentan una distribución mesocúrtica debido a que los resultados obtenidos se concentran en valores intermedios a -2 y +2, (tabla 8).

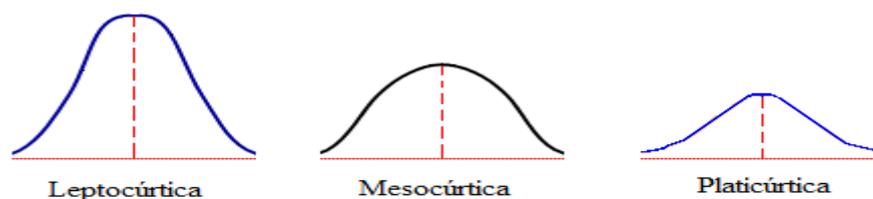


Figura Nº 5. Tipos de distribución de acuerdo al grado de apuntamiento

Fuente: (Flores, 2014)

En la tabla 9, se muestran el coeficiente de correlación de Pearson entre cada par de variables. El rango de los coeficientes de correlación fue de -1 a +1 que midió la fuerza y grado de relación entre dos variables. Los valores negativos indican relaciones lineales inversas, es decir cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante; en cambio los valores positivos indican relaciones lineales directas, cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.

Se detectó que entre el diámetro del tronco y la altura de la copa al suelo existe una relación lineal inversa de -0.15, lo que indica que a mayor diámetro de tronco la altura de la copa al suelo disminuye. Los coeficientes positivos más cercanos a uno, 0.86 y 0.66 resultantes de la comparación de la biomasa residual con el diámetro de copa y la altura de planta respectivamente, indican que existe una relación positiva, esto significa que a mayor diámetro de copa y altura de planta, aumenta la biomasa residual disponible.

Tabla N° 9. 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 de la copa al suelo (cm)
Biomasa residual (kg)	1	0.86	-0.099	0.66	0.029
Diámetro de copa (cm)		1	0.13	0.69	0.037
Diámetro de tronco (cm)			1	-0.015	-0.15
Altura de planta (cm)				1	0.34
Altura de la copa al suelo (cm)					1

Fuente: (Autor)

En la tabla 10, a partir de un proceso de regresión múltiple se obtuvo el modelo de cálculo o ecuación que resume el conjunto de datos obtenidos que permite predecir la biomasa residual de la poda del ciruelo utilizando las cifras de las dimensiones de la planta, señalados en el anexo 6.

En el modelo desarrollado, la variable dependiente, que está ligada a cambios de otras variables fue: BR, biomasa residual por árbol (kg); las variables independientes, cuyos valores no dependen de otras variables fueron: Dc, el diámetro de copa (cm) y Dt, el diámetro de tronco (cm).

La figura 6 indica la relación que existe entre el diámetro de copa y la biomasa residual, pues mientras mayor es el diámetro de copa de un árbol aumenta la presencia de biomasa residual.

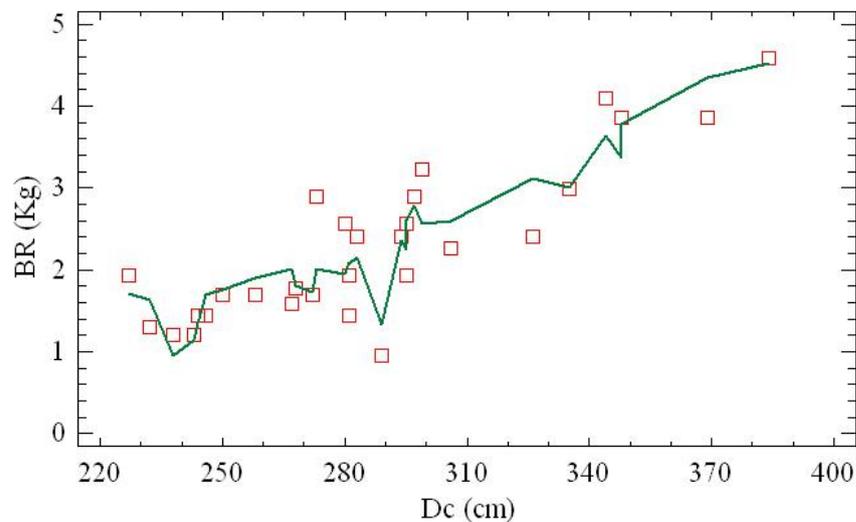


Figura N° 6. Variación de biomasa residual predicha frente al diámetro de copa

Fuente: (Autor)

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 7, las variables de los árboles estudiados varían, pero no se alejan de la línea de tendencia .

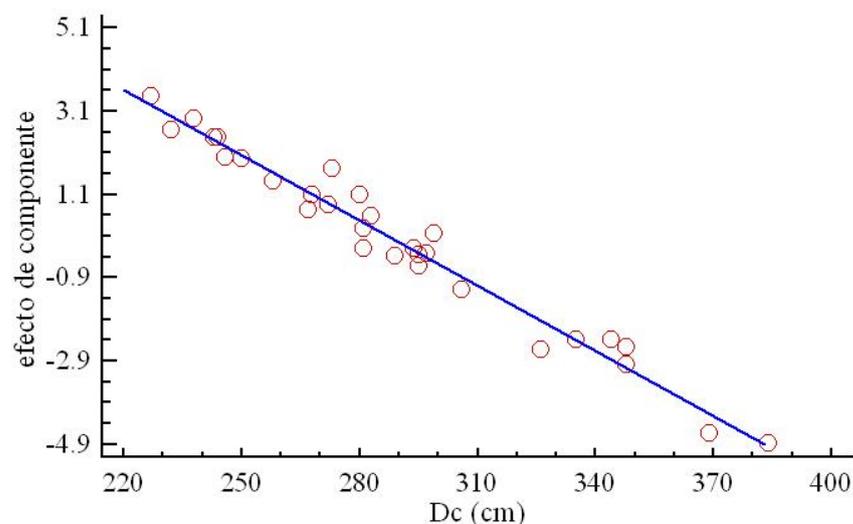


Figura N° 7. Componentes mas residuo para biomasa residual

Fuente: (Autor)

El coeficiente de determinación r^2 indica que el modelo explica un 81.62 % de la variabilidad en BR. Estos valores concuerdan con lo expresado por Pacheco (2014), quien en pruebas similares en *Prunus pérsica* obtiene un coeficiente de determinación de 82%, explicando que estos valores son habituales en la predicción agrícola donde existe una enorme influencia de factores micro climáticos, los suelos, disponibilidad de nutrientes, incluida el agua, y condiciones de manejo, lo que proporciona una gran variabilidad. El error medio absoluto de 0.317 kg es el valor medio de los residuos, y la desviación típica de los errores para la ecuación es de 0.432 kg.

Tabla N° 10. Modelo de regresión para la biomasa residual de la poda de ciruelo

Ecuación	EMA (Kg)	DTE (Kg)	r^2 (%)	p-Valor
$BR = -0.0116981 + 0.0000349778 \cdot Dc^2 - 0,003462 \cdot Dt^2$	0.317	0.432	81.62	<0,05

Fuente: (Autor)

EMA: error medio absoluto

DTE: desviación típica de los errores

r^2 : coeficiente de determinación

BR: biomasa residual

Dc: diámetro de copa

Dt: diámetro de tronco

En el caso de no usar esta ecuación, se podría utilizar el valor medio de la biomasa residual señalado en anexo 5, que equivale a una biomasa residual media disponible de 1.94 toneladas de materia seca por hectárea en plantaciones con un marco de 4 x 3 m, con una desviación típica de 0.81 toneladas por hectárea.

4.2. ESTUDIO DENDROMÉTRICO DE RAMAS

Se determinó las funciones de volumen de las ramas a partir del diámetro y longitud de treinta ramas escogidas del cultivo del ciruelo; con el análisis unidimensional de las variables medidas se estableció la distribución normal de los datos, para la validación de los procedimientos estadísticos aplicados en el estudio.

La tabla 11, muestra un resumen estadístico de los parámetros estudiados, los valores de asimetría y Curtosis de las variables se encuentran dentro del rango de -2 y +2, deduciéndose que siguieron una distribución normal. Se observa coeficientes positivos como: 1.83 del volumen real, 0.40 de diámetro de la base y 1.01 de la longitud de rama, que corresponden a asimetrías positivas, es decir en estas variables hay mayor cantidad de valores que se encuentran por encima de la media. No se observa coeficientes negativos por lo que las variables no se ajustan a una asimetría negativa.

Tabla N° 11. 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)	84.3	25.57	-0.90	1.83	133.15	52.51
Diámetro de la base (Db) (cm)	1.28	0.15	-0.25	0.40	1.61	1.0
Longitud de la rama (L) (cm)	156.03	25.38	-1.13	1.01	203.0	122.0
Factor de forma (f)	0.41	0.06	-0.010	1.47	0.57	0.32

Fuente: (Autor)

El coeficiente de Curtosis indicador del grado de concentración que presentan los valores alrededor de la zona central de la distribución, señala que los parámetros

medidos presentan una distribución mesocúrtica debido a que los resultados obtenidos se concentran en valores intermedios a -2 y +2.

Para el análisis de la forma de la rama se evaluó su factor de forma, que es la relación entre el volumen real obtenido con la ecuación (9) en secciones de 10 cm y los diferentes volúmenes modelos, tales como: el cilindro, el parabolóide, el cono y el neiloide, obtenidos a partir de la base y la longitud de la rama que se presentan en el anexo 8.

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

árbol	f cilindro	f parabolóide	f cono	f neiloide
1	0.35	0.71	1.06	1.42
2	0.34	0.69	1.03	1.37
3	0.49	0.97	1.46	1.94
4	0.38	0.77	1.15	1.53
5	0.37	0.74	1.10	1.47
6	0.44	0.88	1.32	1.75
7	0.35	0.69	1.04	1.39
8	0.48	0.97	1.45	1.94
9	0.43	0.86	1.29	1.72
10	0.40	0.81	1.21	1.62
11	0.42	0.84	1.26	1.68
12	0.45	0.90	1.35	1.80
13	0.37	0.74	1.11	1.48
14	0.40	0.80	1.20	1.60
15	0.39	0.78	1.16	1.55
16	0.42	0.83	1.25	1.66
17	0.48	0.97	1.45	1.93
18	0.44	0.89	1.33	1.77
19	0.39	0.78	1.17	1.57
20	0.35	0.69	1.04	1.38
21	0.54	1.08	1.62	2.17
22	0.50	1.01	1.51	2.01
23	0.36	0.71	1.07	1.42
24	0.57	1.14	1.71	2.27
25	0.48	0.97	1.45	1.93
26	0.33	0.66	0.99	1.31
27	0.32	0.65	0.97	1.29
28	0.41	0.82	1.23	1.64
29	0.39	0.77	1.16	1.55
30	0.42	0.83	1.25	1.66
MEDIA	0.42	0.83	1.25	1.66
DESV. TIPICA	0.06	0.13	0.19	0.25

Fuente: (Autor).

El factor de forma más cercano a uno fue el que mejor representa la forma real de la rama, según muestra la tabla 12; el modelo geométrico que proporcionó el volumen más próximo al real fue el parabolóide (0.83). Pacheco (2014) obtiene la forma parabolóide como modelo geométrico de ramas con un factor de 1.15, para el género *Prunus*; con esto como base la ecuación ($V_{\text{parabolóide}} = \frac{\pi \cdot d^2}{2} \cdot L$), arrojaría resultados más exactos en el cálculo de volumen de ramas.

La tabla 13 presenta el análisis de correlación entre cada par de variables utilizando el coeficiente de Pearson, que calcula el grado de relación lineal a partir del rango -1 a +1; la comparación entre el diámetro de la base y la longitud de la rama da como resultado un coeficiente positivo de 0.63, que indica que existe una relación lineal directa entre las dos variables, sin embargo, es la correlación más débil de las observaciones, esto indica que las ramas con diámetros similares tuvieron longitudes diferentes, lo que explica la variabilidad que puede existir entre los modelos para el cálculo del volumen de ramas.

No se detectaron relaciones lineales inversas; los coeficientes de Pearson más cercanos a uno indican relaciones lineales directas significativas, lo que indica que a mayor longitud de rama, mayor volumen real (0.90); a medida que aumenta el volumen real también aumenta el volumen modelo (0.93).

Tabla Nº 13. 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	0.63	0.80	0.92
Longitud de la rama (cm)		1	0.90	0.86
Volumen real (cm ³)			1	0.93
Volumen modelo (cm ³)				1

Fuente: (Autor)

Se obtuvo un modelo de cálculo del volumen real de la rama a partir de un proceso de regresión múltiple, que sintetiza el conjunto de datos, señalados en el anexo 7. En la tabla 14, se detalla la ecuación; en donde, la variable dependiente fue: VR, volumen real (cm^3); las variables independientes, fueron: Db, el diámetro de la base (cm) y L, Longitud de la rama (cm).

En la figura 8 se aprecia la variación del volumen real de la rama influido por el aumento o disminución del diámetro de la base, su influencia no es decisiva pues algunas ramas presentan un volumen similar pese a existir diferencias marcadas en la dimensión del diámetro de la base.

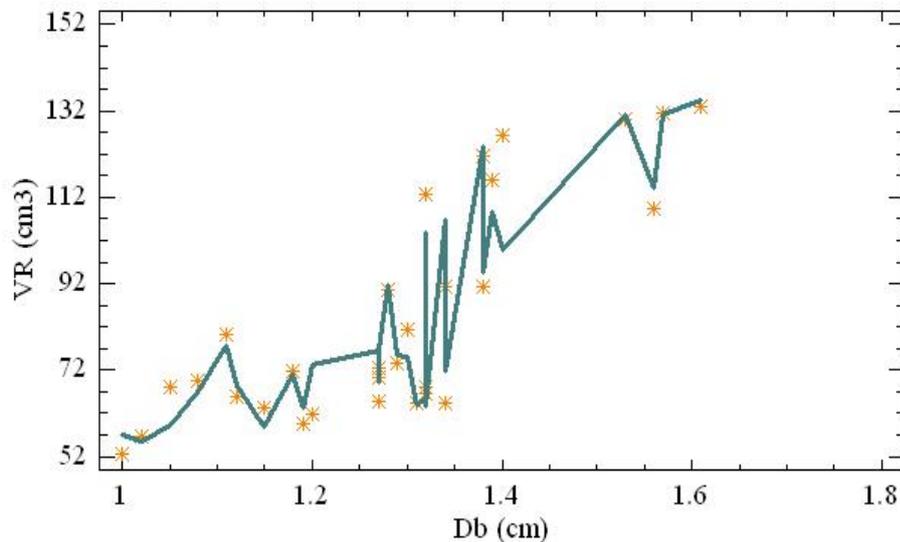


Figura N° 8. Variación del volumen real predicho de ramas frente al diámetro de la base

Fuente: (Autor)

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 aceptación del 99% de la ecuación; como indica la figura 9, las ramas analizadas presentan un comportamiento uniforme ya que se mantienen alrededor de la línea de tendencia, pues al utilizar instrumentos como el pie de rey digital se reduce errores de medición.

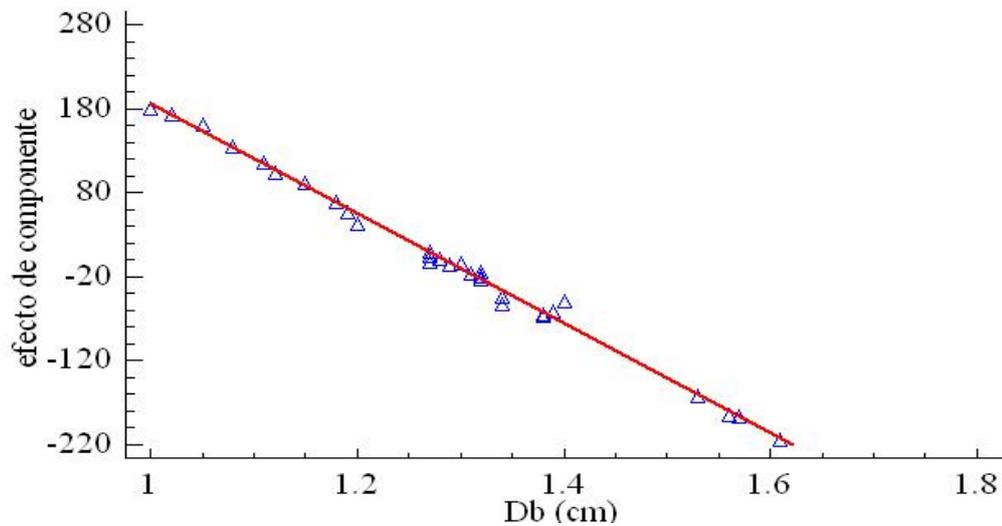


Figura N° 9. Componentes mas residuos para volumen de ramas

Fuente: (Autor)

El coeficiente de determinación r^2 indica que el modelo explica un 90.56 % de la variabilidad en VR, porcentaje considerado alto. Estos resultados son corroborados por Pacheco (2014), quien en el cálculo de modelos volumétricos en *Prunus pérsica* obtiene un coeficiente de determinación de 93%. El error medio absoluto de 5.43 cm^3 fue el valor medio de los residuos, y la desviación típica de los errores para la ecuación fue de 7.99 cm^3 .

Tabla N° 14. Modelo de regresión para las ramas de ciruelo

Ecuación	EMA (cm^3)	DTE (cm^3)	r^2 (%)	p-Valor
$VR = -6.9137 + 0.449413 \cdot Db \cdot L$	5.43	7.99	90.56	<0.05

Fuente: (Autor)

EMA: error medio absoluto
DTE: desviación típica de los errores
 r^2 : coeficiente de determinación
VR: Volumen de la rama
L: Longitud
Db: Diámetro de la base

4.3 ANÁLISIS DE LA BIOMASA LIGNOCELULÓSICA DE LA PLANTA ENTERA

Para calcular el volumen de la parte leñosa de la planta entera se estudió el volumen de las ramas en cada uno de los estratos del árbol de ciruelo. En la tabla 15, se indican el porcentaje de biomasa que ocupa 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 en la tabla 14.

Tabla Nº 15. Ocupación de biomasa por estratos

Estratos	Volumen estratos (%)
Estrato 1	2.785
Estrato 2	22.004
Estrato 3	38.655
Estrato 4	28.381
Estrato 5	6.216

Fuente: (Autor)

En la figura 10, se grafica la distribución de la biomasa en la planta de ciruelo, observándose una baja concentración de biomasa en el estrato 1, por ser ejes principales del árbol y portador de un reducido número de ramas (cinco como máximo), a pesar de que el promedio del diámetro fue el más alto de los estratos; también se pudo observar que la mayor cantidad de biomasa se encontró en el estrato 3 (38%), seguido de los estratos 4 (28%), 2 (22%) y 5 (6%).

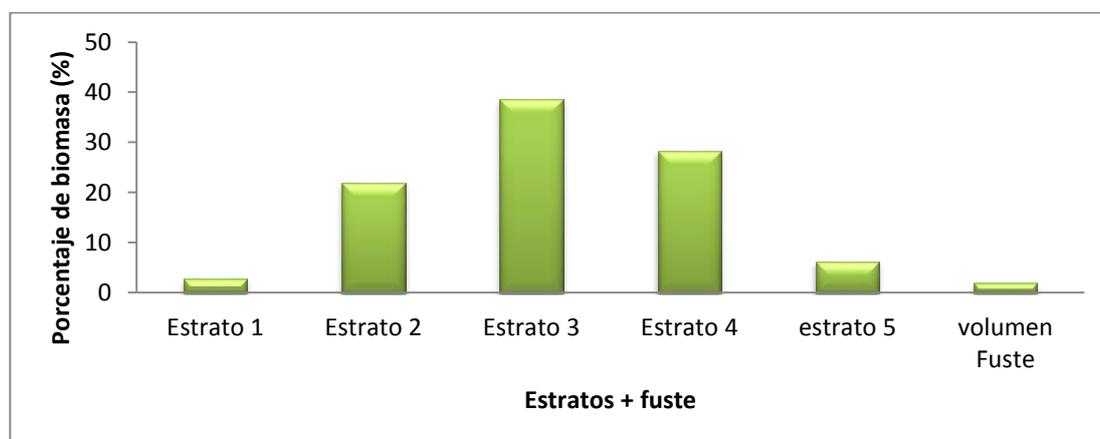


Figura Nº 10. Diagrama de distribución de la biomasa por estratos en ciruelo

Fuente: (Autor)

La tabla 16, muestra un compendio estadístico de los parámetros estudiados en la planta entera. Los coeficientes de asimetría del volumen real de la planta (1.75), el volumen aparente de la planta (1.21) y la altura de copa al suelo (0.63) indicaron una asimetría positiva, es decir, en estas variables existió una mayor cantidad de valores que se encontraron por encima de la media. También se puede observar coeficientes negativos en el diámetro de tronco (-0.53) y en la altura de planta (-0.41) valores que se ajustan a una asimetría negativa.

Tabla Nº 16. 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)	12133.7	5515.6	0.30	1.75	26118.5	3226.1
Volumen aparente de la planta entera (modelo cilíndrico) (cm ³)	43542.8	9126.17	-0.41	1.21	63468.0	29281.5
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
Factor de ocupación	0.27	0.095	-0.35	-0.54	0.46	0.09

Fuente: (Autor)

El coeficiente de Curtosis indicador del grado de concentración que presentan los valores alrededor de la zona central de la distribución, señala que los parámetros medidos presentan una distribución mesocúrtica debido a que los resultados obtenidos se concentran en valores intermedios a 2 y +2. Al encontrarse los valores de asimetría y Curtosis de las variables estudiadas dentro del rango de -2 y +2, se concluye que existe una distribución normal de los datos.

La tabla 17 indica el modelo matemático de predicción del volumen de biomasa de la planta entera (VT) a partir de las variables independientes, diámetro de copa (Dc), diámetro de tronco (Dt) y altura total (Ht), se observa que el p-valor en la tabla ADEVA es inferior a 0.05, existiendo una relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de credibilidad del 99% del modelo presentado,

además en la figura 11 se observa que los individuos estudiados se mantienen alrededor de la línea de tendencia.

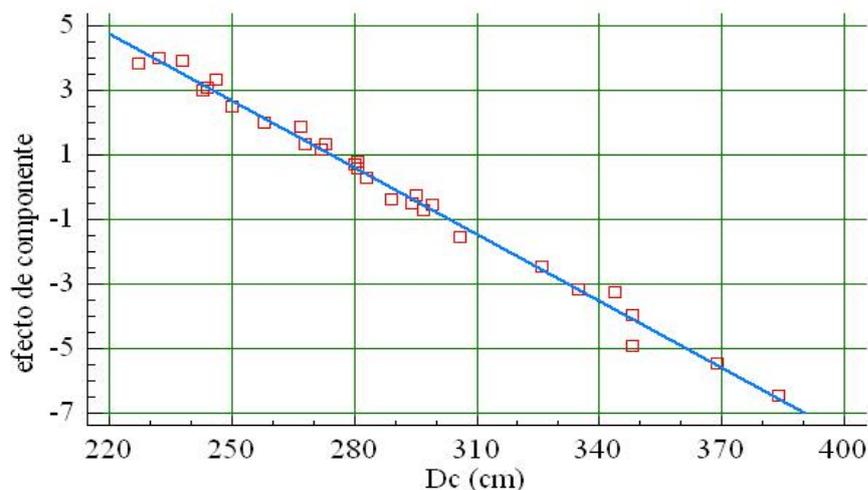


Figura N° 11. Componentes mas residuos para volumen total

Fuente: (Autor)

El coeficiente de determinación r^2 indica que el modelo explica un 86.78 % de la variabilidad en VT, porcentaje considerado alto. El error medio obtenido en la ecuación fue de 1.5 dm^3 , considerado aceptable, lo que supone un error relativo del 12.94%, este porcentaje es común en el calculo de modelos de volumen total, ya que en el mismo procedimiento Flores (2014) en pruebas realizadas en *Cyphomandra betacea* alcanza el 13% de error relativo del modelo.

Tabla N° 17. Modelo de regresión para la predicción de la biomasa de planta entera

Ecuación	EMA (cm^3)	DTE (cm^3)	r^2 (%)	p-Valor
$VT = 259834.0 - 874.212 \cdot Dc + 1.86912 \cdot Dc \cdot Ht - 7816.42 \cdot Dt + 30.962 \cdot Dt \cdot Dc - 577.886 \cdot Ht$	1577.05	2050.79	86.78	<0.05

Fuente: (Autor)

EMA: error medio absoluto
DTE: desviación típica de los errores
 r^2 : coeficiente de determinación
VT: Volumen de la biomasa residual
Dt: Diámetro de tronco

Dc: Diámetro de copa
Ht: Altura total

Se establece el valor medio y desviación típica del factor de ocupación (FO) de la especie, siendo $0.28 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ y $0.10 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ respectivamente, como se muestra en la tabla 18. Este factor es la relación entre el volumen real del material lignocelulósico de la planta y su volumen aparente.

Tabla Nº 18. Factor de ocupación de los arboles estudiados

D. copa	Ht	V. cilindro aparete	FO
268	280	37520.00	0.27
238	265	31535.00	0.31
289	318	45951.00	0.23
281	331	46505.50	0.16
250	282	35250.00	0.19
232	281	32596.00	0.25
297	321	47668.50	0.10
295	307	45282.50	0.25
258	290	37410.00	0.19
273	319	43543.50	0.22
283	307	43440.50	0.17
344	328	56416.00	0.40
348	328	57072.00	0.09
294	297	43659.00	0.28
280	274	38360.00	0.30
227	285	32347.50	0.10
295	270	39825.00	0.38
267	284	37914.00	0.35
326	319	51997.00	0.34
369	344	63468.00	0.31
384	323	62016.00	0.32
306	292	44676.00	0.25
246	286	35178.00	0.30
243	241	29281.50	0.42
244	274	33428.00	0.30
348	323	56202.00	0.46
335	287	48072.50	0.42
272	276	37536.00	0.33
281	311	43695.50	0.28
299	324	48438.00	0.33
Media	289.07	298.90	0.28
Desv. Típ.	41.24	24.50	0.10

Fuente: (Autor).

El volumen aparente es el de un modelo geométrico calculado a partir de su diámetro de copa y su altura total, generalmente el cilindro. Este cilindro teórico está formado por las ramas y los huecos existentes entre ellas. Los valores de FO suponen un factor de conversión para obtener el volumen real a partir del cálculo del volumen modelo del cilindro.

4.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA BIOMASA.

La tabla 18 contiene los datos medios y desviaciones típicas de los parámetros físicos de porcentaje de humedad, densidad, porcentaje de volátiles, porcentaje de ceniza del material lignocelulósico del árbol de ciruelo. Se observa que el contenido de volátiles del material leñoso es de 96,2%; este parámetro es similar al informado por Flores (2014) en *Cyphomandra betacea* donde se alcanzó el 97%; también en *Prunus pérsica*, Pacheco (2014) obtuvo 85%, en ambos casos Velázquez explica que son valores considerados altos, por lo 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; también podría procesarse como pellets que son materiales sólidos densificados por compactación, a los que se les incorpora aditivos como parafinas que mejoran el poder calorífico.

Tabla N° 18. Media y desviación típica de los parámetros físicos del material lignocelulósico del ciruelo

	\bar{x}	Σ
Humedad %	51.76	9.63
Cenizas %	3.8	1.03
% Volátiles + Carbono fijo	96.2	2.76
Densidad Húmeda g/cm ³	1.08	0.125
Densidad Seco g/cm ³	0.78	0.23

Fuente: (Autor)

\bar{x} : Media

Σ : Desviación típica.

Los valores de densidad nos permiten determinar la cantidad de biomasa (kg) a partir de las funciones de volumen anteriormente calculadas. Por ejemplo, si se toma como base el volumen de una planta de 26.1185 dm^3 , el contenido de materia seca por planta es de $26118.5 \cdot 0.78$ (Densidad seca g/cm^3) = 20372.43g , es decir aproximadamente 20.37 kg .

En la Figura 12 se muestra la disminución de humedad durante los primeros días de secado de los materiales leñosos tras el corte de la planta. Realizando una extrapolación de la línea de tendencia se puede observar que el tiempo necesario para una desecación hasta una humedad del 10% es de 7 días y para una desecación completa al aire es necesario esperar 9 días.

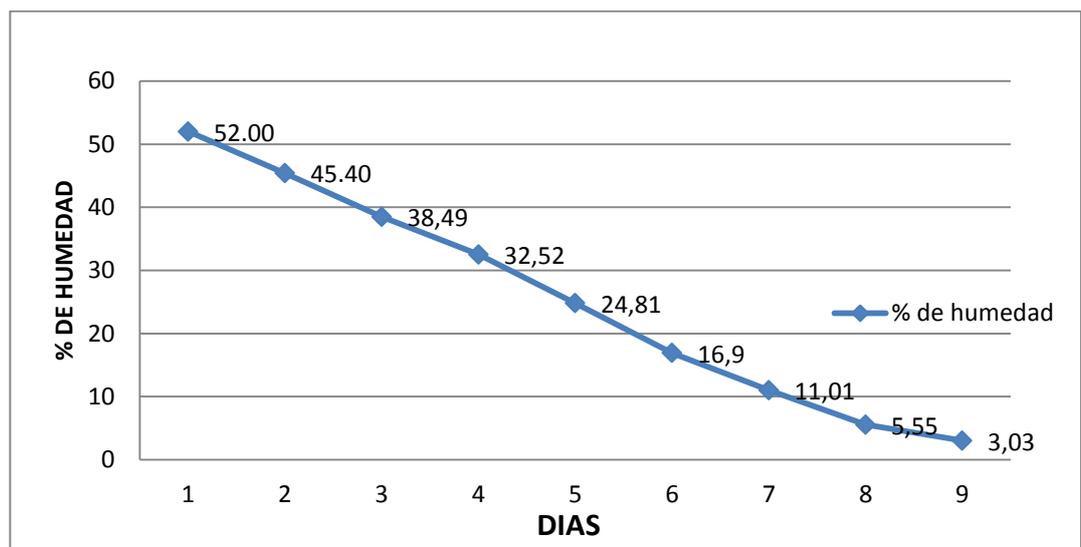


Figura Nº 12. Curva de desecación del material leñoso del ciruelo y extrapolación hasta el 10% de humedad

Fuente: (Autor)

Según Pacheco (2014), 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 51.76%. Esta humedad resulta elevada para los procesos de combustión directa en caldera lo que obliga a realizar un proceso de secado para el aprovechamiento energético de esta biomasa. Los requerimientos para la combustión directa exigen que ésta tenga una humedad máxima del 10%.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se establece que la media de materia seca es de 2.33 Kg/árbol, que equivale a una biomasa residual media disponible de 1.94 toneladas de materia seca por hectárea en plantaciones con un marco de 4 x 3 m, con una desviación típica de 0.81 toneladas por hectárea.

Se ha demostrado que las ramas del ciruelo se ajustan a la forma parabolóide pues la media del factor de forma fue de 0.83, valor más cercano al volumen real en las pruebas realizadas; esto significa que se obtendrían resultados más exactos en el cálculo del volumen de ramas de ciruelo al usar la ecuación volumétrica del parabolóide.

Se determinó el modelo matemático para el cálculo del volumen de ramas de ciruelo, con un coeficiente de determinación (r^2) de 90.56% considerado alto, y con una relación estadísticamente significativa entre las variables que lo componen, por lo que se considera adecuado para su aplicación práctica.

La biomasa lignocelulósica del árbol se distribuye de forma irregular, siendo en el estrato tres (38%) y cuatro (28%), en donde se concentra la mayor parte de la biomasa de la planta, los estratos dos y cinco contienen el 22% y 6% de la biomasa de la planta, respectivamente.

El valor medio del factor de ocupación (FO) es $0.28 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$, este factor es la relación entre el volumen real del material lignocelulósico contenido en la copa y el volumen aparente de la copa.

Se definió el modelo de regresión para el cálculo biomasa contenida en la copa de ciruelo (VT), con un coeficiente de determinación (r^2) de 86.78% considerado alto, y con una relación estadísticamente significativa entre las variables que lo componen, por lo que se considera adecuado para su aplicación práctica.

Las características físicas del material lignocelulósico del ciruelo son: humedad (51.76%), densidad seca (0.78 g/cm^3), densidad humedad (1.08 g/cm^3), el contenido de cenizas en el orden del 3.8% y 96.2% de volátiles. El tiempo medio de desecación de la biomasa residual hasta el 10% de humedad es de 7 días, si ésta se almacena en un sitio cerrado con las condiciones ambientales típicas de la provincia de Imbabura.

El alto contenido de materias volátiles del material leñoso (96.2 %), indica que sería adecuado para un proceso de gasificación, es decir un proceso de calentamiento en ausencia de oxígeno para la obtención de un gas volátil combustible.

5.2. RECOMENDACIONES

Cuantificar la biomasa mediante el estudio dendrométrico en diferentes cultivos para conocer la cantidad y características de la biomasa, a fin de crear un catálogo que permita consultar las características dendrométricos y físicas de los cultivos estudiados.

Ejecutar estudios de cuantificación de biomasa en árboles de ciruelo más jóvenes para analizar las posibles diferencias en cuanto a cantidad de biomasa producida, volumen de la planta y caracterización de estratos.

Implementar una investigación sobre el calibre de frutos para relacionarlo con los datos de estratos, a fin de identificar en que estratos se producen mayor fructificación, frutos de mayor tamaño y determinar la incidencia de las labores de poda en la producción.

Puesto que la Granja “La Pradera” cuenta con una picadora de residuos, sería recomendable procesar la biomasa resultante de la poda del ciruelo, para un aprovechamiento en las composteras de la granja.

CAPÍTULO VI

EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA INVESTIGACIÓN

6.1. TEMA

Cuantificación de biomasa mediante el estudio dendrométrico en el cultivo de ciruelo (*Prunus domestica* L.) en la granja experimental “La Pradera” Parroquia San José de Chaltura, Cantón Antonio Ante, Provincia de Imbabura.”

6.2. OBJETIVOS

6.2.1. General

Evaluar la respuesta del ambiente a la cuantificación de la biomasa obtenible del cultivo de ciruelo (*Prunus domestica* L.) a partir del análisis dendrométrico.

6.2.2. Específicos

Definir el área de influencia directa del proyecto.

Determinar el área de influencia indirecta del proyecto.

Evaluar los impactos ambientales producidos en el campo al realizar el estudio, utilizando la Matriz de Leopold.

Proponer medidas de mitigación para los impactos ambientales negativos producidos en el estudio.

6.3. MARCO LEGAL LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL

Art. 6.- La explotación racional de recursos naturales en ecosistemas frágiles o en áreas protegidas, se realizará por excepción y siempre que se cuente, con la antelación debida, del respectivo estudio de impacto ambiental.

Art. 19 y 20.- Toda acción que represente riesgo ambiental debe poseer la respectiva licencia, por lo que las obras públicas, privadas o mixtas y los proyectos de inversión públicos y privados que puedan causar impactos ambientales serán calificados, previamente a su ejecución, por los organismos descentralizados de control conforme lo establecido por el sistema único de manejo ambiental, cuyo principio rector es precautelarlo.

Art. 21.- Condiciona la emisión de licencias ambientales al cumplimiento de requisitos que constituyen en su conjunto sistemas de manejo ambiental, y que incluyen: estudios de línea base, evaluación de impacto ambiental, evaluación de riesgos, planes de manejo de riesgos, sistemas de monitoreo, planes de contingencia y mitigación, auditorías ambientales y planes de abandono.

Art. 23.- La evaluación de impacto ambiental debe comprender la estimación de los probables efectos sobre la población y el medio ambiente, la identificación de posibles alteraciones en las condiciones de tranquilidad pública, y la detección de las incidencias que la actividad o proyecto puede acarrear sobre los elementos del patrimonio cultural, histórico o escénico.

Art. 24.- En obras públicas o privadas, las obligaciones que se desprenden del sistema de manejo ambiental pasan a formar parte de los correspondientes contratos.

Art. 39.- Las instituciones encargadas de administrar recursos naturales, controlar la contaminación y proteger el medio ambiente, deben de establecer programas de monitoreo sobre el estado ambiental en las áreas de su competencia, que permitan informar sobre las probables novedades a la auditoría ambiental nacional o a las entidades del régimen seccional autónomo.

6.4. TULSMA.

6.4.1. Objetivo de los EsIA.

Art. 13.- El objetivo del proceso de Evaluación de Impactos Ambientales es garantizar que los funcionarios públicos y la sociedad en general tengan acceso, en forma previa a la decisión sobre su implementación o ejecución, a la información ambiental trascendente, vinculada con cualquier actividad o proyecto. Aparte de ello, en el referido proceso de Evaluación de Impactos Ambientales deben determinarse, describirse y evaluarse los potenciales impactos y riesgos respecto a las variables relevantes del medio físico, biótico, socio – cultural, así como otros aspectos asociados a la salud pública y al equilibrio de ecosistemas.

Art. 22.- Ley de Aguas (Registro Oficial N° 333) prohíbese toda contaminación de las aguas que afecte a la salud humana o al desarrollo de la flora o de la fauna.

6.5. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Cuantificación de biomasa mediante el estudio dendrométrico en el cultivo de ciruelo (*Prunus domestica* L.) en la granja experimental “La Pradera” Parroquia San José de Chaltura, Cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura, con el objetivo de predecir la cantidad de residuos que se obtienen de la poda mediante el estudio dendrométrico de la planta.

6.5.1. ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA (AID)

El Área de Influencia Directa es el sitio consignado a la producción de ciruelo con una superficie de 3200 m².

6.5.2. ÁREA DE INFLUENCIA INDIRECTA (AII)

Las Áreas de Influencia Indirecta constituyen las partes más alejadas del proyecto como caminos, vía de acceso secundario a la granja y cultivos aledaños como frutales y gramíneas y leguminosas en un área de 30 m alrededor del ensayo.

6.5.3. LÍNEA BASE

La investigación se estableció en un lote de 3200 m² de superficie, en la granja experimental “La Pradera” Parroquia San José de Chaltura, Cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura.

6.5.4. Características del lote

Cultivo anterior: Ciruelo

Grado de erosión: Moderado

Nivel freático: Medio

Pedregosidad: Baja

Profundidad de la capa arable: 30 – 40 cm

Textura: Franco-Arenosa

6.5.5. Caracterización del ambiente

Clima.

Temperatura media anual: 17.1° C Precipitación media anual: 582.2 mm/año

Fauna.

La fauna predominante la constituyen chucuris, zorrillos, mosca de la fruta, y variedad de especies de aves.

Flora.

Existen poblaciones moderadas de frutales, tales como: durazno, chirimoya, guaba, pero también se cultivan cultivos de ciclo corto como: maíz, frejol, vicia, alfalfa.

6.6. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

La calidad del aire y salud se vieron afectados negativamente, debido a que la eliminación de malezas fue realizada con moto guadaña, lo que genera ruido que puede afectar el sistema auditivo del trabajador. La falta de tratamiento adecuado de los desechos de la poda, causa un impacto negativo en el uso del suelo y en la generación de residuos sólidos, pues los residuos se quedan en el mismo terreno sin aprovechamiento.

La poda tuvo un impacto positivo para el cultivo, pues mejora la nutrición y sanidad del árbol. El aspecto de capacitación se vio afectado positivamente por el presente estudio, pues se capacitó a los estudiantes de Fruticultura en la metodología del análisis dendrométrico para la optimización y tecnificación del manejo de biomasa proveniente de las podas del cultivo de ciruelo (*Prunus domestica* L.).

6.6.1. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

El presente plan de manejo ambiental está orientado principalmente a reducir los efectos adversos que se producen con el manejo de los desechos de las podas.

6.6.2. MEDIDAS DE MITIGACIÓN

El encargado de la manipulación de la moto guadaña debe utilizar tapones para los oídos mientras realiza las actividades de desmalezado, para reducir los efectos del ruido en su salud.

Los desechos de las labores como deshierbas y podas tienen que someterse a un proceso de transformación a materia orgánica a fin de ser aprovechados en el mismo cultivo, los desechos leñosos pueden ser procesados en la picadora de la granja para una transformación más eficiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Biodisol. (2011). La biomasa, una fuente de energía muy utilizada pero mal aprovechada. España. Extraído el 13 de Noviembre de 2013 desde: <http://www.biodisol.com/biocombustibles/la-biomasa-una-fuente-de-energia-muy-utilizada-pero-mal-aprovechada-energias-renovables-cultivos-energeticos/>
- Bononad, S. & Sala, J. (1970). El Ciruelo. Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura. Madrid, España, 2-28.
- Burkhart, H. (1977). Cubic-foot volume of loblolly pine to any merchantable top limit. South J Appl For 1, 7-9.
- Calderón, E. (1987). Manual del Fruticultor Moderno. Vol. 3. Ediciones Ciencia y Técnica, S.A. México D. F. 1987. 636-645.
- Calvo, I. (2009). El Cultivo del Ciruelo (*Prunus doméstica*). Proyecto Micro cuenca Plantón – Pacayas. Boletín Técnico No. 9. San José de Costa Rica.
- Cao, Q., Burkhart, H. & Max, T. (1980). Evaluation of two methods for cubic-foot volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. ForestScience 26, 71-80.
- Cepeda, M. (2001). Nematodos de los frutales. Editorial Trillas. México, D. F. 52-56.
- Cerdá, E., Caparrós, A. y Ovando, P. (2008). Bioenergía en la Unión Europea. Ekonomiaz, 67, 1.er cuatrimestre, pp. 156-181.
- 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. y Irschick, P. (2006). Modelos predictivos de la producción de *Pinustaeda* empleando variables vinculadas con las podas. *Bosque* 27(2): 98-107.
- Di Blasi, C., Tanzi, V. & Lanzetta, M. (1997). A study on the production of agricultural residues in Italy. *Biomass and Bioenergy*. 12(5):321-333.
- Estornell, J., Ruiz, A. & Velásquez, B. (2011). Study of shrub cover and height using LIDAR data in a Mediterranean area. *ForestScience*. 57(3): 171-179.
- Estornell, J., Ruiz, A., Velásquez, B. & Hermosilla, T. (2012). Estimation of biomass and volume of shrub vegetation using LIDAR and spectral data in a Mediterranean environment. *Biomass and Bioenergy* 46: 710 – 721.
- Estornell, J., Ruiz, A., Velásquez, B. & Fernández, A. (2011). Estimation of shrub biomass by air borne LIDAR data in small forest stands. *Forest Ecology and Management* 262: 1697-1703.
- Fabara, J. (2009). *Las Maravillosas Frutas de la Provincia de Tungurahua*. Departamento de información y Bibliotecas. Ambato Ecuador, 2-5.
- Fernández, J. (2011). *Energías Renovables para todos. Energía de la Biomasa*. Haya Comunicación, editora de la revista Madrid, España. 2-19.
- Flores, G. (2014). *Cuantificación y logística de la biomasa disponible en el cultivo de tomate de árbol (Cyphomandra betacea.) var. Grande mora*. Tesis de Grado de Ingeniería Agronómica. Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador.
- García, M. y Arroyo, E. (2011). *Poda e Injerto en el Cultivo del Ciruelo*. Memoria del curso. España. 1-34.

- Gibson, J. & Power, H. (2000). *Introductory Remote Sensing: Digital Image Processing and Applications*. Routledge, 249p.
- 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.
- IDEA. (2007). Instituto para la diversificación y ahorro de la energía. Manual de energías renovables. Energía de la biomasa.
- Imaña, J. (1998). *Dasometría Práctica*. Editora Universidad de Brasíla. Brasíla. Recuperado de: http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/10017/1/LIVRO_DasometriaPractica.pdf
- INEC. (2013). Visualizador de Estadísticas Agropecuarias el Ecuador ESPAC. Extraído el 25 de Noviembre de 2013 desde: http://www.inec.gob.ec/estadisticas/?option=com_content&view=article&id=103&Itemid=75
- Isacás, V. y Cuzco, H. (2009). Comportamiento en campo de cuatro variedades de duraznero y tres variedades de ciruelo con abono químico y orgánico en Picalquí-Tabacundo, Provincia De Pichincha. Tesis de Grado de Ingeniería Agropecuaria. Universidad Técnica del Norte. Ibarra-Ecuador, 13.
- Jaramillo, C. (2001). *Dasometría*. Editorial Universitaria. Ibarra- Ecuador.

- Juscáfresa, B. (1983). Árboles Frutales: Cultivo y Explotación. Editorial Aedos. Barcelona España, 144-154.
- Lencina, 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.
- Montero, G., Ruiz, P. y Muñoz, M. (2008). Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Monografías INIA: Serie Forestal 13-2005.
- Mora, A. y Moret, A. (2001). Evaluación de Métodos de Estimación para Ajustar.
- Moret, A., Jerez, M. y Mora, A. (1998). Determinación de Ecuaciones de Volumen.
- Newham, R. (1992). Variable-form taper functions for Alberta tree species, Can. J. For. Res. 22: 210-223.
- 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-Navarro, 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.
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F. & Real, P. (1997). *Mensura Forestal*. IICA-BMZ/GTZ. San José. Costa Rica. 561p.
- Ryugo, K. (1993). *Fruticultura: Ciencia y Arte*. AGT Editor, SA. México, D.F. 355-359.
- 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. y Bassaber, C. (2005). Medición de diámetros fustales con relascopio y forcípula finlandesa: efectos en la estimación de volumen. *Bosque* 26(2): 81-90.
- 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. Extraído el 14 de Noviembre de 2013 de: <http://www.planetseed.com/es/relatedarticle/fuentes-de-energia-alternativa-biomasa>.
- Segura, M. y 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.
- Terranova. (1995). *Enciclopedia Agropecuaria Producción Agrícola Tomo I*. Editorial Terranova Ltda. Bogotá. 273 - 278.

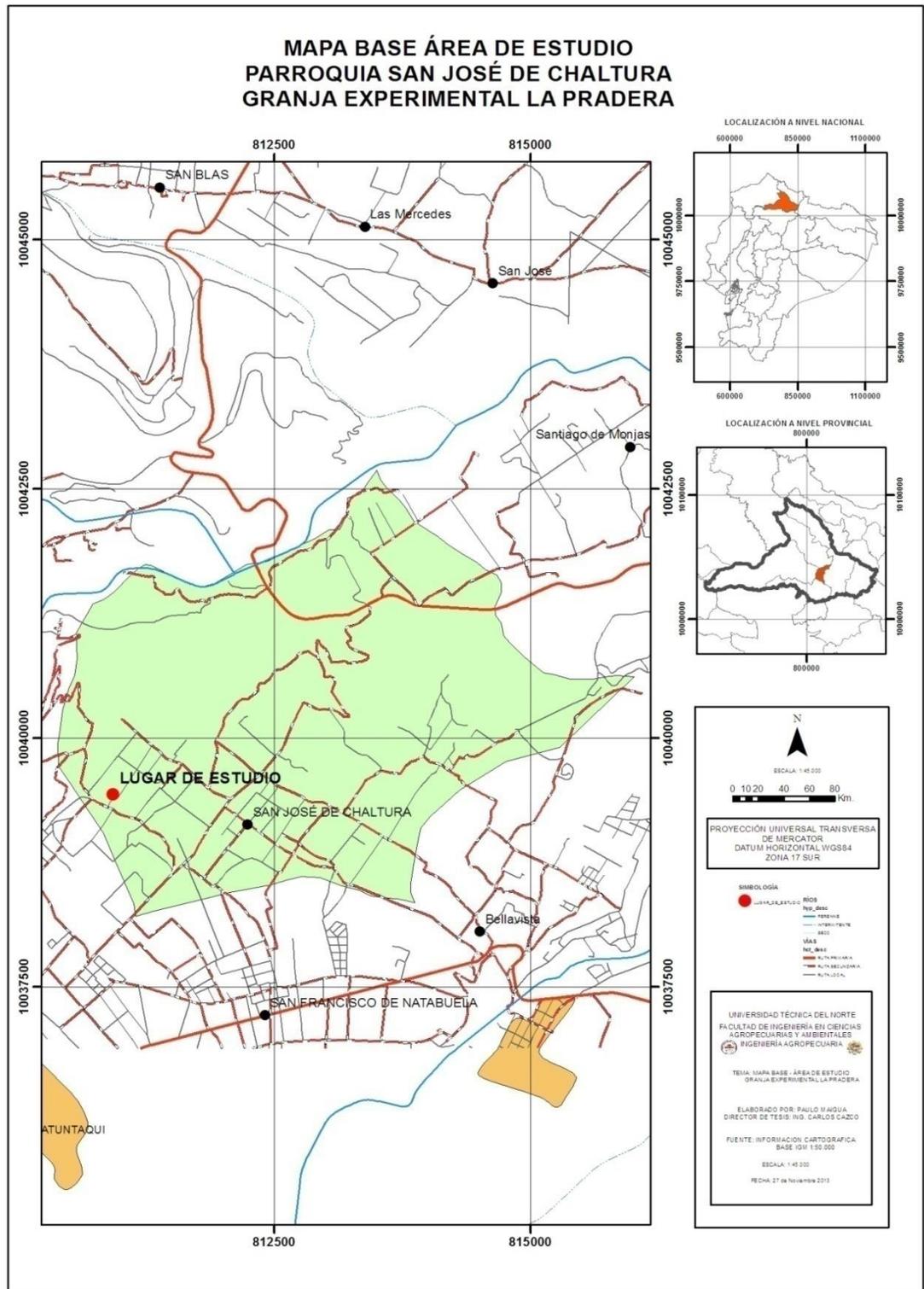
- Theil, H. (1950). "A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis" I, II and III, *Nederl. Akad. Wetensch. Proc.*, 53.
- Toledo, P. (2011). Determinación del factor de forma de Gmelina (*Gmelina arborea* roxb), en la hacienda forestal Libertad Agr de la empresa agrícola ganadera Reysahiwal Agr SA. (Tesis de grado, ESPOCH). Riobamba-Ecuador.
- Trincado, G., Gadow, K. y Sandoval, V. (1997). Estimación de volumen comercial en latifoliadas. *Bosque* 18(1), 39-44.
- Ugalde, L. (1981). *Conceptos Básicos de Dasometría*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Turrialba-Costa Rica. Recuperado de <http://www.sidalc.net/repdoc/a5909e/a5909e.pdf>
- Vanclay, J. (1994). *Modeling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forest*. CAB International, London, England. 312 p.
- Velázquez, B. (2006). Aprovechamiento de los residuos forestales para uso energético. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. Ref. 2006-766, p 158.
- Velázquez, B., Fernández, E., Estornell, J. & Ruiz, A. (2010). Dendrometric and dasometric analysis of the bushy biomass in Mediterranean forests. *Forest Ecology and Management* 259: 875-882.
- Velázquez, B. & 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.
- Walpole, E. & Myers, H. (1992). *Probabilidad y Estadística*". McGraw Hill. p.

Yavuz, H. (1999). Comparison of the Centroid Method and Four Standard Formulas for Estimating Log Volumes. *Tr. J. of Agriculture and Forestry* 23 (1999), 597-602.

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

ANEXOS

Anexo N° 1. Ubicación del área de estudio.



Anexo N° 2. Hoja de campo utilizada, ensayo determinación de biomasa procedente de restos de poda.

DATOS GENERALES FECHA:

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

DATOS DE LA PLANTACIÓN

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

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

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

Anexo N° 3. Hoja de campo, estudio factor de forma y funciones de volumen.

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

Anexo N° 4. Hoja de campo utilizada, determinación volumen total.

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

Anexo N° 5. Datos de árboles de ciruelo.

diám, Tronco (cm) dt	diám, Copa (cm) dc	Altura copa al suelo (cm) Hcs	Altura del árbol (cm) Ht	Estructura formación	Año última poda	Intensidad de la poda	Masa de las ramas (kg)	% a aplicar	Masa seca Br (Kg)	t m,s./ ha
14.24	268	41	280	1	2014	Baja	3.7	51.76	1.78	1.49
17.76	238	30	265	2	2014	Baja	2.5	51.76	1.21	1.01
18.41	289	37	318	3	2014	Baja	2	51.76	0.96	0.80
13.85	281	54	331	4	2014	Baja	3	51.76	1.45	1.21
13.76	250	25	282	5	2014	Baja	3.5	51.76	1.69	1.41
12.24	232	33	281	6	2014	Baja	2.7	51.76	1.30	1.09
10.31	297	41	321	7	2014	Baja	6	51.76	2.89	2.41
11.82	295	34	307	8	2014	Baja	5.3	51.76	2.56	2.13
12.35	258	41	290	9	2014	Baja	3.5	51.76	1.69	1.41
13.88	273	47	319	10	2014	Baja	6	51.76	2.89	2.41
13.37	283	57	307	11	2014	Baja	5	51.76	2.41	2.01
12.87	344	33	328	12	2014	Baja	8.5	51.76	4.10	3.42
11.69	348	35	328	13	2014	Baja	8	51.76	3.86	3.22
14.79	294	28	297	14	2014	Baja	5	51.76	2.41	2.01
11	280	30	274	15	2014	Baja	5.3	51.76	2.56	2.13
9.91	227	33	285	16	2014	Baja	4	51.76	1.93	1.61
13.89	295	19	270	17	2014	Baja	4	51.76	1.93	1.61
12.16	267	30	284	18	2014	Baja	3.3	51.76	1.59	1.33
13.82	326	35	319	19	2014	Baja	5	51.76	2.41	2.01
12.12	369	36	344	20	2014	Baja	8	51.76	3.86	3.22
12.76	384	43	323	21	2014	Baja	9.5	51.76	4.58	3.82
14.49	306	25	292	22	2014	Baja	4.7	51.76	2.27	1.89
8.02	246	37	286	23	2014	Baja	3	51.76	1.45	1.21
15.57	243	25	241	24	2014	Baja	2.5	51.76	1.21	1.01
8.23	244	47	274	25	2014	Baja	3	51.76	1.45	1.21
15.65	348	41	323	26	2014	Baja	8	51.76	3.86	3.22
15.77	335	33	287	27	2014	Baja	6.2	51.76	2.99	2.49
15.03	272	46	276	28	2014	Baja	3.5	51.76	1.69	1.41
14.47	281	43	311	29	2014	Baja	4	51.76	1.93	1.61
14.52	299	20	324	30	2014	Baja	6.7	51.76	3.23	2.69
							4.84	promedio	2.34	1.94836
							2.02	Desv.	0.97	0.8126679

Anexo N° 6. Modelo de Regresión de biomasa residual.

Dt	Dc	Hcs	Ht	Dt2	Dc2	Ht2	DcxDt	DcxHt	DtxHt	BR
14.24	268	41	280	202.78	71824.00	78400.00	3816.32	75040.00	3987.20	1.78
17.76	238	30	265	315.42	56644.00	70225.00	4226.88	63070.00	4706.40	1.21
18.41	289	37	318	338.93	83521.00	101124.00	5320.49	91902.00	5854.38	0.96
13.85	281	54	331	191.82	78961.00	109561.00	3891.85	93011.00	4584.35	1.45
13.76	250	25	282	189.34	62500.00	79524.00	3440.00	70500.00	3880.32	1.69
12.24	232	33	281	149.82	53824.00	78961.00	2839.68	65192.00	3439.44	1.30
10.31	297	41	321	106.30	88209.00	103041.00	3062.07	95337.00	3309.51	2.89
11.82	295	34	307	139.71	87025.00	94249.00	3486.90	90565.00	3628.74	2.56
12.35	258	41	290	152.52	66564.00	84100.00	3186.30	74820.00	3581.50	1.69
13.88	273	47	319	192.65	74529.00	101761.00	3789.24	87087.00	4427.72	2.89
13.37	283	57	307	178.76	80089.00	94249.00	3783.71	86881.00	4104.59	2.41
12.87	344	33	328	165.64	118336.00	107584.00	4427.28	112832.00	4221.36	4.10
11.69	348	35	328	136.66	121104.00	107584.00	4068.12	114144.00	3834.32	3.86
14.79	294	28	297	218.74	86436.00	88209.00	4348.26	87318.00	4392.63	2.41
11	280	30	274	121.00	78400.00	75076.00	3080.00	76720.00	3014.00	2.56
9.91	227	33	285	98.21	51529.00	81225.00	2249.57	64695.00	2824.35	1.93
13.89	295	19	270	192.93	87025.00	72900.00	4097.55	79650.00	3750.30	1.93
12.16	267	30	284	147.87	71289.00	80656.00	3246.72	75828.00	3453.44	1.59
13.82	326	35	319	190.99	106276.00	101761.00	4505.32	103994.00	4408.58	2.41
12.12	369	36	344	146.89	136161.00	118336.00	4472.28	126936.00	4169.28	3.86
12.76	384	43	323	162.82	147456.00	104329.00	4899.84	124032.00	4121.48	4.58
14.49	306	25	292	209.96	93636.00	85264.00	4433.94	89352.00	4231.08	2.27
8.02	246	37	286	64.32	60516.00	81796.00	1972.92	70356.00	2293.72	1.45
15.57	243	25	241	242.42	59049.00	58081.00	3783.51	58563.00	3752.37	1.21
8.23	244	47	274	67.73	59536.00	75076.00	2008.12	66856.00	2255.02	1.45
15.65	348	41	323	244.92	121104.00	104329.00	5446.20	112404.00	5054.95	3.86
15.77	335	33	287	248.69	112225.00	82369.00	5282.95	96145.00	4525.99	2.99
15.03	272	46	276	225.90	73984.00	76176.00	4088.16	75072.00	4148.28	1.69
14.47	281	43	311	209.38	78961.00	96721.00	4066.07	87391.00	4500.17	1.93
14.52	299	20	324	210.83	89401.00	104976.00	4341.48	96876.00	4704.48	3.23

Anexo N° 7. Modelo de regresión de ramas.

Ramas	VR	Db	L	Db2	L2	DbL	Db2*L	VM	f
Rama1	91.40	1.34	183	1.80	33489	245.22	328.59	258.08	0.35
Rama2	131.65	1.57	198	2.46	39204	310.86	488.05	383.31	0.34
Rama3	126.21	1.4	169	1.96	28561	236.60	331.24	260.16	0.49
Rama4	72.37	1.27	149	1.61	22201	189.23	240.32	188.75	0.38
Rama5	61.96	1.2	149	1.44	22201	178.80	214.56	168.52	0.37
Rama6	65.69	1.12	152	1.25	23104	170.24	190.67	149.75	0.44
Rama7	64.93	1.27	148	1.61	21904	187.96	238.71	187.48	0.35
Rama8	52.51	1	138	1.00	19044	138.00	138.00	108.39	0.48
Rama9	81.27	1.3	142	1.69	20164	184.60	239.98	188.48	0.43
Rama10	68.11	1.32	123	1.74	15129	162.36	214.32	168.32	0.40
Rama11	115.95	1.39	182	1.93	33124	252.98	351.64	276.18	0.42
Rama12	112.68	1.32	183	1.74	33489	241.56	318.86	250.43	0.45
Rama13	91.35	1.38	165	1.90	27225	227.70	314.23	246.79	0.37
Rama14	121.40	1.38	203	1.90	41209	280.14	386.59	303.63	0.40
Rama15	73.47	1.29	145	1.66	21025	187.05	241.29	189.51	0.39
Rama16	90.50	1.28	169	1.64	28561	216.32	276.89	217.47	0.42
Rama17	63.29	1.15	126	1.32	15876	144.90	166.64	130.88	0.48
Rama18	71.65	1.18	148	1.39	21904	174.64	206.08	161.85	0.44
Rama19	64.38	1.31	122	1.72	14884	159.82	209.36	164.43	0.39
Rama20	64.35	1.34	132	1.80	17424	176.88	237.02	186.15	0.35
Rama21	56.64	1.02	128	1.04	16384	130.56	133.17	104.59	0.54
Rama22	69.60	1.08	151	1.17	22801	163.08	176.13	138.33	0.50
Rama23	130.07	1.53	199	2.34	39601	304.47	465.84	365.87	0.36
Rama24	67.93	1.05	138	1.10	19044	144.90	152.15	119.49	0.57
Rama25	80.37	1.11	172	1.23	29584	190.92	211.92	166.44	0.48
Rama26	133.15	1.61	199	2.59	39601	320.39	515.83	405.13	0.33
Rama27	109.36	1.56	177	2.43	31329	276.12	430.75	338.31	0.32
Rama28	70.43	1.27	136	1.61	18496	172.72	219.35	172.28	0.41
Rama29	66.74	1.32	126	1.74	15876	166.32	219.54	172.43	0.39
Rama30	59.59	1.19	129	1.42	16641	153.51	182.68	143.47	0.42

Anexo N° 8. Función volumen de ramas.

Cilindro	V paraboloides	V cono	V neiloide	f cilindro	f paraboloides	f cono	f neiloide
258.08	129.04	86.03	64.52	0.35	0.71	1.06	1.42
383.31	191.66	127.77	95.83	0.34	0.69	1.03	1.37
260.16	130.08	86.72	65.04	0.49	0.97	1.46	1.94
188.75	94.37	62.92	47.19	0.38	0.77	1.15	1.53
168.52	84.26	56.17	42.13	0.37	0.74	1.10	1.47
149.75	74.88	49.92	37.44	0.44	0.88	1.32	1.75
187.48	93.74	62.49	46.87	0.35	0.69	1.04	1.39
108.39	54.19	36.13	27.10	0.48	0.97	1.45	1.94
188.48	94.24	62.83	47.12	0.43	0.86	1.29	1.72
168.32	84.16	56.11	42.08	0.40	0.81	1.21	1.62
276.18	138.09	92.06	69.04	0.42	0.84	1.26	1.68
250.43	125.22	83.48	62.61	0.45	0.90	1.35	1.80
246.79	123.40	82.26	61.70	0.37	0.74	1.11	1.48
303.63	151.82	101.21	75.91	0.40	0.80	1.20	1.60
189.51	94.76	63.17	47.38	0.39	0.78	1.16	1.55
217.47	108.73	72.49	54.37	0.42	0.83	1.25	1.66
130.88	65.44	43.63	32.72	0.48	0.97	1.45	1.93
161.85	80.93	53.95	40.46	0.44	0.89	1.33	1.77
164.43	82.22	54.81	41.11	0.39	0.78	1.17	1.57
186.15	93.08	62.05	46.54	0.35	0.69	1.04	1.38
104.59	52.30	34.86	26.15	0.54	1.08	1.62	2.17
138.33	69.16	46.11	34.58	0.50	1.01	1.51	2.01
365.87	182.94	121.96	91.47	0.36	0.71	1.07	1.42
119.49	59.75	39.83	29.87	0.57	1.14	1.71	2.27
166.44	83.22	55.48	41.61	0.48	0.97	1.45	1.93
405.13	202.57	135.04	101.28	0.33	0.66	0.99	1.31
338.31	169.15	112.77	84.58	0.32	0.65	0.97	1.29
172.28	86.14	57.43	43.07	0.41	0.82	1.23	1.64
172.43	86.21	57.48	43.11	0.39	0.77	1.16	1.55
143.47	71.74	47.82	35.87	0.42	0.83	1.25	1.66
			PROMEDIO	0.42	0.83	1.25	1.66
			DESV. TIPICA	0.06	0.13	0.19	0.25

Anexo N° 9. Volumen del Estrato 1.

	numero de ramas	diámetro de la base	longitud	volumen de la rama	volumen del estrato 1	suma volumen
Árbol 1	1	6.38	72.7	201.54	201.54	500.97
	2	6.45	67.5	188.75	188.75	
	3	7.13	36.7	110.68	110.68	
árbol 2	1	8.99	27.3	103.38	103.38	354.43
	2	7.44	44.2	140.87	140.87	
	3	6.82	38.2	110.17	110.17	
árbol 3	1	7.17	34.1	102.97	102.97	303.93
	2	7.38	22.1	66.38	66.38	
	3	6.02	52.3	134.58	134.58	
árbol 4	1	8.4	21.7	75.01	75.01	200.08
	2	5.77	50.9	125.08	125.08	
árbol 5	1	7.21	41.5	127.56	127.56	263.60
	2	7.61	41.8	136.04	136.04	
árbol 6	1	5.54	36.8	84.71	84.71	207.11
	2	5.89	11.5	23.53	23.53	
	3	7.31	32.2	98.87	98.87	
árbol 7	1	6.83	44.5	129.68	129.68	180.73
	2	4.98	25.9	51.05	51.05	
árbol 8	1	5.38	61.7	142.27	142.27	667.12
	2	4.61	91.5	182.66	182.66	
	3	4.91	36.5	73.63	73.63	
	4	5.88	57.5	145.03	145.03	
	5	5.55	52.3	123.54	123.54	
árbol 9	1	5.28	35.9	78.27	78.27	270.33
	2	5.24	30.2	64.21	64.21	
	3	5.04	59.5	127.86	127.86	
árbol 10	1	7.54	16.1	47.64	47.64	229.31
	2	6.54	31.8	86.55	86.55	

	3	6.07	37.4	95.11	95.11	
árbol 11	1	6.03	23.5	56.77	56.77	124.92
	2	6.55	25.5	68.15	68.15	
árbol 12	1	6.05	31.1	77.65	77.65	363.57
	2	8.41	29.4	104.21	104.21	
	3	7.25	46.1	143.29	143.29	
	4	7.76	13	38.42	38.42	
árbol 13	1	7.15	51.2	157.61	157.61	217.63
	2	6.62	22.5	60.03	60.03	
árbol 14	1	7.75	20.9	65.88	65.88	260.18
	2	6.8	37.8	108.60	108.60	
	3	7.18	28.7	85.70	85.70	
árbol 15	1	6.21	47.7	126.21	126.21	560.85
	2	6.43	48.4	132.95	132.95	
	3	5.46	51.3	118.97	118.97	
	4	4.61	48.7	93.98	93.98	
	5	4.5	47.3	88.74	88.74	
árbol 16	1	6.52	40.6	112.05	112.05	154.98
	2	4.68	23.7	42.93	42.93	
árbol 17	1	7.93	61.8	213.33	213.33	435.51
	2	6.03	17.1	39.43	39.43	
	3	6.29	15.2	36.05	36.05	
	4	6.85	49.9	146.70	146.70	
árbol 18	1	6.15	27.1	67.99	67.99	259.79
	2	5.43	26.9	58.73	58.73	
	3	8.07	31.2	106.24	106.24	
	4	6.53	11.5	26.83	26.83	
árbol 19	1	6.98	47.6	142.40	142.40	563.94
	2	6.4	48.1	131.43	131.43	
	3	3.41	40	54.39	54.39	
	4	4.04	89.9	156.31	156.31	

	5	4.79	40.1	79.41	79.41	
árbol 20	1	7.16	31.8	95.41	95.41	266.23
	2	6.63	29.2	80.09	80.09	
	3	7.9	16	49.89	49.89	
	4	7.87	13.5	40.83	40.83	
árbol 21	1	6.23	86.1	234.15	234.15	537.85
	2	7.23	27.9	83.74	83.74	
	3	6.04	44.9	114.97	114.97	
	4	6.64	37.5	104.99	104.99	
árbol 22	1	7.33	70.9	226.64	226.64	398.28
	2	7.65	24.3	76.63	76.63	
	3	8.59	26.4	95.00	95.00	
árbol 23	1	5.81	57.2	142.44	142.44	364.76
	2	6.75	37.2	105.93	105.93	
	3	6.41	42.8	116.38	116.38	
árbol 24	1	5.86	34.3	83.42	83.42	237.84
	2	7.74	20.5	64.39	64.39	
	3	6.3	34.24	90.03	90.03	
árbol 25	1	5.09	32.3	66.97	66.97	226.93
	2	5.28	47.8	106.51	106.51	
	3	4.68	28.7	53.45	53.45	
árbol 26	1	6.85	24.8	69.43	69.43	418.28
	2	7.26	25.7	76.94	76.94	
	3	6.99	54.9	165.55	165.55	
	4	6.03	41.8	106.36	106.36	
árbol 27	1	5.96	43.3	109.07	109.07	478.21
	2	7.46	50.2	161.39	161.39	
	3	7.76	29.8	97.01	97.01	
	4	8.5	30.8	110.74	110.74	
árbol 28	1	7.41	44.8	142.28	142.28	365.17
	2	6.58	23.9	63.76	63.76	

	3	8.79	12	40.49	40.49	
	4	6.1	45.8	118.64	118.64	
árbol 29	1	6.12	24.5	60.47	60.47	249.03
	2	6.24	17.1	41.04	41.04	
	3	6.34	54.2	147.52	147.52	
árbol 30	1	7.8	39.15	130.32	130.32	477.14
	2	6.01	79.1	206.73	206.73	
	3	7.4	44.2	140.08	140.08	

Anexo N° 10. Volumen del Estrato 2.

	Núm. de ramas	Diám. de la base	longitud	volumen de la rama	suma volumen	Ocurrencia	Vol. del estrato 2
Árbol 1	1	4.98	24.5	47.92	339.66	6	2037.93
	2	4.48	42.1	77.85			0.00
	3	5.15	95.4	213.89			0.00
árbol 2	1	6.7	59.3	171.64	361.05	6	2166.31
	2	5.06	34.6	71.77			0.00
	3	4.82	57.5	117.64			0.00
árbol 3	1	5.38	46.2	104.79	402.88	5	2014.41
	2	5.96	62	159.15			0.00
	3	5.89	55.1	138.94			0.00
árbol 4	1	6.49	114.3	326.46	359.09	4	1436.36
	2	3.41	25.8	32.62			0.00
árbol 5	1	5.38	110.8	260.98	358.13	4	1432.51
	2	4.12	56.2	97.15			0.00
árbol 6	1	3.16	60.6	79.15	429.47	6	2576.84
	2	3.98	60.1	100.58			0.00
	3	5.98	95.5	249.74			0.00
árbol 7	1	4.28	69.5	126.77	219.69	3	659.08
	2	3.06	73	92.93			0.00
árbol 8	1	3.63	26.6	36.48	196.72	8	1573.74
	2	2.72	28.2	27.56			0.00
	3	3.26	57.9	77.91			0.00
	4	3.97	16.3	22.17			0.00
	5	3.96	22.2	32.60			0.00
árbol 9	1	3.35	39.7	52.86	303.09	5	1515.45
	2	3.99	68.1	115.20			0.00
	3	3.81	82.9	135.03			0.00

árbol 10	1	5.37	53.8	122.92	379.36	6	2276.17
	2	4.33	39.8	70.54			0.00
	3	4.96	86.5	185.90			0.00
árbol 11	1	4.41	34.8	62.06	153.14	4	612.58
	2	4.62	47.2	91.09			0.00
árbol 12	1	4.96	102.6	221.79	762.44	7	5337.06
	2	6.84	58.2	171.99			0.00
	3	5.12	80.4	178.09			0.00
	4	6.35	69.2	190.57			0.00
árbol 13	1	5.66	38.1	90.00	248.56	3	745.67
	2	4.54	81.1	158.56			0.00
árbol 14	1	5.4	94.3	221.94	558.88	6	3353.28
	2	5.67	29.3	67.75			0.00
	3	6.95	88.4	269.20			0.00
árbol 15	1	4.05	77.2	133.60	515.46	8	4123.67
	2	4.96	54.2	113.90			0.00
	3	3.25	95.7	132.86			0.00
	4	2.09	55.6	45.31			0.00
	5	3.58	60.1	89.78			0.00
árbol 16	1	4.83	63.2	130.27	227.23	3	681.69
	2	3.46	66.8	96.96			0.00
árbol 17	1	6.34	38.7	103.35	527.46	7	3692.24
	2	4.44	86.9	166.49			0.00
	3	3.66	75.1	116.61			0.00
	4	3.98	82.7	141.01			0.00
árbol 18	1	4.28	58.7	106.00	597.63	7	4183.42
	2	3.98	38.8	62.49			0.00
	3	6.12	98.2	263.18			0.00
	4	4.68	82.2	165.97			0.00

árbol 19	1	4.84	6.3	6.79	332.21	9	2989.90
	2	4.85	67.7	140.65			0.00
	3	3.82	41.5	64.33			0.00
	4	3.42	43.7	60.25			0.00
	5	3.78	39.5	60.19			0.00
árbol 20	1	6.52	71.8	203.47	676.56	6	4059.33
	2	5.13	54.2	118.04			0.00
	3	5.85	54.5	136.37			0.00
	4	6.57	76.4	218.67			0.00
árbol 21	1	5.12	60	131.15	746.81	7	5227.69
	2	6.66	90.7	264.56			0.00
	3	5.4	37.8	84.82			0.00
	4	5.13	118.5	266.29			0.00
árbol 22	1	6.43	64.3	178.90	585.60	5	2927.99
	2	4.27	100.9	186.71			0.00
	3	5.53	91.3	219.99			0.00
árbol 23	1	3.09	57.2	72.52	356.73	7	2497.11
	2	4.77	68.7	140.36			0.00
	3	4.82	69.6	143.85			0.00
árbol 24	1	3.45	91.8	135.42	449.54	5	2247.71
	2	5.8	56.2	139.58			0.00
	3	4.3	93.9	174.55			0.00
árbol 25	1	3.98	63.4	106.49	193.60	6	1161.59
	2	3.61	41.2	59.93			0.00
	3	2.09	36.3	27.18			0.00
árbol 26	1	5.26	86.2	196.86	850.33	8	6802.66
	2	5.96	114.1	298.70			0.00
	3	4.66	67.8	135.08			0.00
	4	5.14	98.1	219.70			0.00

árbol 27	1	4.7	58.8	117.29	612.03	8	4896.22
	2	5.03	88.1	192.24			0.00
	3	5.09	69.1	151.15			0.00
	4	5.36	65.7	151.35			0.00
árbol 28	1	5.87	32.3	78.30	275.50	7	1928.52
	2	5	26.8	53.31			0.00
	3	6.12	34.1	86.88			0.00
	4	4.1	34.7	57.02			0.00
árbol 29	1	4.8	92	191.55	413.17	5	2065.87
	2	5.44	47.9	110.19			0.00
	3	4.95	53.2	111.43			0.00
árbol 30	1	5.12	84.8	188.21	575.04	5	2875.21
	2	5.05	66.8	144.69			0.00
	3	6.11	90.7	242.14			0.00

Anexo N° 11.Volumen del Estrato 3.

	Núm. de ramas	diámetro de la base	longitud	Vol. de la rama	suma volumen	Ocurrencia	Vol. del estrato 3
Árbol 1	1	3.31	36.4	47.23	189.47	17	3221.05
	2	2.98	66.9	82.68			
	3	3.59	41.2	59.56			
árbol 2	1	4.21	73.6	132.34	315.96	15	4739.33
	2	4.76	71.2	145.40			
	3	2.33	43.1	38.22			
árbol 3	1	3.73	68.8	108.42	327.25	16	5235.96
	2	4.11	74.6	130.88			
	3	3.34	63.2	87.95			
árbol 4	1	4.64	52.8	103.19	188.50	14	2639.00
	2	2.94	69.8	85.31			
árbol 5	1	4.33	50.6	91.55	174.72	15	2620.83
	2	3.48	57.6	83.17			
árbol 6	1	2.32	42.9	37.82	213.55	14	2989.73
	2	2.2	65.1	57.45			
	3	3.59	77.6	118.29			
árbol 7	1	3.08	63.5	80.98	173.00	13	2248.97
	2	2.87	76.7	92.02			
árbol 8	1	2.39	62.9	60.65	303.43	16	4854.95
	2	2.33	48.3	43.66			
	3	2.69	70.4	78.19			
	4	2.95	63.1	76.74			
	5	2.17	52.4	44.19			
árbol 9	1	2.83	80.1	94.96	228.70	14	3201.85
	2	2.93	41.4	47.60			
	3	2.9	71.4	86.14			

árbol 10	1	5.01	78.1	168.93	287.66	13	3739.57
	2	2.79	71.1	82.24			
	3	2.19	44.1	36.49			
árbol 11	1	2.31	62.3	57.76	94.59	15	1418.89
	2	3.15	30.9	36.83			
árbol 12	1	2.33	48.6	43.98	671.21	13	8725.68
	2	5.34	97.05	225.99			
	3	3.32	102.1	145.42			
	4	4.95	118.1	255.81			
árbol 13	1	3.71	86.9	137.98	167.40	13	2176.17
	2	2.1	38.5	29.42			
árbol 14	1	4.11	52.6	90.24	227.93	19	4330.63
	2	3.85	44.6	70.26			
	3	4.22	39.2	67.43			
árbol 15	1	2.15	34.1	26.04	224.35	17	3813.91
	2	2.05	26.9	17.87			
	3	2.76	73.7	84.50			
	4	1.83	50.9	34.95			
	5	2.51	60.2	60.99			
árbol 16	1	2.78	51.4	57.30	111.11	13	1444.43
	2	2.95	45.8	53.81			
árbol 17	1	4.12	94.5	168.06	359.07	19	6822.26
	2	2.95	52.4	62.56			
	3	2.51	71.9	74.19			
	4	2.69	50.6	54.26			
árbol 18	1	2.49	43.4	41.65	325.19	17	5528.30
	2	2.23	58.3	51.51			
	3	4.85	68.2	141.74			
	4	2.88	75.1	90.29			
árbol 19	1	2.94	73.1	89.67	341.65	22	7516.32
	2	2.32	108.4	106.11			

	3	3.29	63.8	87.42			
	4	2.31	48.7	43.64			
	5	2.86	16.9	14.81			
árbol 20	1	4.38	122.9	235.01	523.40	14	7327.56
	2	3	49.8	60.23			
	3	4.39	51.2	94.10			
	4	4.94	63.5	134.06			
árbol 21	1	3.6	42.8	62.33	464.47	20	9289.42
	2	4.6	87.1	173.15			
	3	3.4	58.7	82.78			
	4	3.79	89.9	146.21			
árbol 22	1	4.33	100.1	187.88	383.63	13	4987.20
	2	2.71	64.9	72.13			
	3	3.26	89.1	123.63			
árbol 23	1	2.48	77.1	79.02	282.78	17	4807.26
	2	2.89	90.2	110.24			
	3	2.62	85.3	93.52			
árbol 24	1	2.56	69.8	73.39	263.80	16	4220.80
	2	3.59	60.6	90.86			
	3	3.21	73.8	99.55			
árbol 25	1	2.98	99.9	126.88	238.89	18	4300.07
	2	2.48	79.1	81.25			
	3	1.88	44.6	30.77			
árbol 26	1	3.8	96.5	157.89	459.10	19	8722.93
	2	3.59	114.9	178.47			
	3	2.19	63.1	55.19			
	4	3.89	42.6	67.56			
árbol 27	1	2.49	86.3	89.66	447.84	16	7165.37
	2	3.15	99.4	133.80			
	3	3.39	77.7	111.46			
	4	3.75	71.1	112.91			

árbol 28	1	3.16	35.4	43.36	338.48	14	4738.70
	2	2.1	64.9	54.34			
	3	4.34	84.9	158.68			
	4	2.62	75.6	82.10			
árbol 29	1	3.37	54.2	75.17	203.66	14	2851.23
	2	3.32	68.1	94.69			
	3	2.27	39.9	33.79			
árbol 30	1	3.6	50.5	74.79	335.58	15	5033.77
	2	3.86	69.2	113.13			
	3	4.58	75.1	147.67			

Anexo N° 12.Volumen del Estrato 4.

	Núm. de ramas	Diam. de la base	longitud	Vol. de la rama	suma volumen	Ocurrencia	volumen del estrato 4
Árbol 1	1	2.86	27.4	28.30	112.20	29	3253.75
	2	1.83	33.1	20.31			
	3	2.7	58.1	63.59			
árbol 2	1	2.45	26.8	22.59	65.47	23	1505.74
	2	2.14	30.1	22.03			
	3	1.9	32.5	20.84			
árbol 3	1	2.15	26.6	18.79	78.34	26	2036.89
	2	2.4	26.5	21.67			
	3	2.53	39.4	37.88			
árbol 4	1	2.08	47.1	37.11	71.42	32	2285.58
	2	2.08	44.1	34.31			
árbol 5	1	2.3	47.1	41.77	80.41	25	2010.26
	2	2.99	33.9	38.64			
árbol 6	1	1.92	29.8	18.80	76.32	22	1679.11
	2	1.67	30.8	16.20			
	3	1.92	55.9	41.32			
árbol 7	1	2.5	20.1	15.67	44.79	25	1119.79
	2	2.03	39.5	29.12			
árbol 8	1	2.04	37.1	27.10	112.35	22	2471.77
	2	1.68	24.8	11.81			
	3	2.21	26.2	19.11			
	4	2.15	50.3	41.69			
	5	1.86	23.4	12.65			
árbol 9	1	2.11	44.8	35.57	70.45	23	1620.38
	2	2.28	31.8	25.67			
	3	1.54	23.3	9.21			
árbol 10	1	2.22	51.2	44.17	85.43	25	2135.66

	2	2.2	38.2	30.85			
	3	1.69	22.8	10.40			
árbol 11	1	3.1	52.8	66.65	148.09	28	4146.48
	2	2.93	67.1	81.44			
árbol 12	1	2.02	54.3	42.38	292.98	25	7324.43
	2	3.02	140.2	183.37			
	3	2.58	34.1	32.62			
	4	2.09	44.2	34.60			
árbol 13	1	2.55	37.2	35.72	46.28	29	1342.24
	2	1.87	20.8	10.57			
árbol 14	1	2.44	50.2	48.13	91.70	38	3484.46
	2	2.53	25.7	22.31			
	3	2.59	24.2	21.25			
árbol 15	1	1.78	39.5	24.68	66.44	31	2059.52
	2	1.36	28.1	10.26			
	3	1.83	17.9	7.81			
	4	1.15	25.1	6.06			
	5	2	27.3	17.62			
árbol 16	1	1.4	19.8	5.54	18.15	26	471.77
	2	1.73	25.1	12.60			
árbol 17	1	2.27	21.7	15.22	65.91	37	2438.56
	2	1.93	33.6	22.23			
	3	1.84	22.9	12.02			
	4	1.72	30.2	16.43			
árbol 18	1	1.44	25.9	9.85	74.50	30	2234.96
	2	1.23	34.6	12.21			
	3	2.75	36.1	37.70			
	4	2.05	23.5	14.74			
árbol 19	1	1.45	47.8	24.24	170.81	31	5294.96
	2	1.58	52.3	30.22			
	3	2.08	70.4	58.89			

	4	1.48	48.5	25.35			
	5	1.74	49.9	32.11			
árbol 20	1	2.75	66.1	74.78	229.21	30	6876.42
	2	2.76	57.2	64.04			
	3	2.53	37.8	36.07			
	4	2.46	55.4	54.33			
árbol 21	1	2.12	38.4	29.67	140.17	28	3924.82
	2	2.01	44.3	33.10			
	3	2.85	36.1	39.32			
	4	2.75	36.4	38.07			
árbol 22	1	1.1	28.8	7.32	83.64	25	2091.09
	2	2.7	26.9	25.73			
	3	2.21	57.9	50.59			
árbol 23	1	1.84	35	22.03	71.99	31	2231.70
	2	1.82	43.1	28.34			
	3	1.93	32.9	21.62			
árbol 24	1	2.14	44.3	35.69	178.67	26	4645.53
	2	2.66	63.2	68.64			
	3	2.1	86.1	74.34			
árbol 25	1	2.12	78.3	67.69	129.94	28	3638.37
	2	1.54	66.8	39.32			
	3	1.23	54	22.94			
árbol 26	1	2.95	81.4	101.00	230.89	37	8542.84
	2	2.78	81.7	95.16			
	3	1.4	44.7	21.21			
	4	1.39	32.7	13.51			
árbol 27	1	1.47	58.7	31.87	213.80	31	6627.72
	2	2.15	73.8	64.39			
	3	2.34	94.7	92.68			
	4	1.44	49.1	24.86			
árbol 28	1	2.15	58.8	49.90	149.65	24	3591.58

	2	1.54	31.8	15.09			
	3	2.43	66.5	65.71			
	4	1.24	46.4	18.94			
árbol 29	1	2.07	87.6	74.58	211.67	28	5926.63
	2	2.37	96.3	95.66			
	3	1.55	69.4	41.43			
árbol 30	1	1.96	53.2	39.95	233.36	27	6300.59
	2	2.66	73.9	81.43			
	3	2.75	96.2	111.98			

Anexo N° 13.Volumen del Estrato 5.

	Núm. de ramas	Diam. de la base	longitud	Vol. de la rama	suma volumen	Ocurrencia	volumen del estrato 4
Árbol 1	1	1.14	18.9	2.77	9.27	70	649.14
	2	1.18	18	2.63			0.00
	3	1.2	20	3.87			0.00
árbol 2	1	1.16	23.8	5.49	13.74	62	852.11
	2	1.19	23.5	5.65			0.00
	3	1.15	18.4	2.60			0.00
árbol 3	1	0.85	20.7	0.99	8.56	69	590.47
	2	1.13	23.6	5.07			0.00
	3	1.15	18.2	2.49			0.00
árbol 4	1	1	24	3.87	9.49	63	597.98
	2	1.12	24.9	5.62			0.00
árbol 5	1	0.9	18.9	0.73	3.25	66	214.70
	2	1.16	18.1	2.52			0.00
árbol 6	1	1.06	21.7	3.42	7.28	64	466.14
	2	1.04	19.6	2.25			0.00
	3	1.02	18.6	1.61			0.00
árbol 7	1	1.11	21.9	4.01	4.53	65	294.61
	2	0.88	18.8	0.52			0.00
árbol 8	1	1.21	21.9	5.00	17.32	85	1471.88
	2	0.96	18	0.85			0.00
	3	1.16	24.7	5.96			0.00
	4	1.14	23	4.87			0.00
	5	1.07	15.7	0.64			0.00
árbol 9	1	0.97	18.9	1.33	4.23	67	283.08
	2	0.95	18.6	1.03			0.00
	3	1.15	17	1.87			0.00
árbol 10	1	1.13	20	3.24	9.88	70	691.45
	2	1.19	16.4	1.86			0.00

	3	1.21	21.5	4.78			0.00
árbol 11	1	1.12	21	3.66	10.18	65	661.72
	2	1.15	26	6.52			0.00
árbol 12	1	1.16	20.6	3.83	8.58	76	652.42
	2	0.99	19.5	1.76			0.00
	3	1.16	17.2	2.05			0.00
	4	0.93	18.8	0.94			0.00
árbol 13	1	1.15	16.3	1.51	3.56	67	238.28
	2	1.12	17.8	2.05			0.00
árbol 14	1	1.05	21	3.00	6.68	80	534.17
	2	1.07	16.7	1.12			0.00
	3	1.11	19	2.56			0.00
árbol 15	1	1.19	20.9	4.26	9.44	84	793.25
	2	1.16	18.5	2.73			0.00
	3	0.96	17.9	0.81			0.00
	4	0.91	18.7	0.73			0.00
	5	0.87	20	0.91			0.00
árbol 16	1	1.14	18.9	2.77	4.92	63	309.70
	2	1.12	18	2.15			0.00
árbol 17	1	1.13	22.7	4.61	20.77	72	1495.69
	2	1.2	22.1	5.00			0.00
	3	1.22	24.3	6.41			0.00
	4	1.19	21.8	4.74			0.00
árbol 18	1	1.17	17.6	2.34	12.11	74	895.99
	2	1.19	19.4	3.46			0.00
	3	1.16	18	2.47			0.00
	4	1.19	20.1	3.84			0.00
árbol 19	1	1.22	20.3	4.22	16.10	81	1304.18
	2	1.17	19.7	3.44			0.00
	3	1.11	18.3	2.22			0.00
	4	1.22	21.7	4.98			0.00

	5	1.08	16.8	1.24			0.00
árbol 20	1	1.21	22.2	5.16	14.84	76	1127.73
	2	1.17	22.8	5.07			0.00
	3	1.05	19.7	2.38			0.00
	4	1.07	19	2.22			0.00
árbol 21	1	1.08	19.6	2.60	9.56	77	736.31
	2	1.15	20.7	3.78			0.00
	3	1.17	17.8	2.45			0.00
	4	0.94	18.1	0.73			0.00
árbol 22	1	1.18	19.9	3.64	9.63	68	654.92
	2	1.12	21	3.66			0.00
	3	1.05	19.6	2.34			0.00
árbol 23	1	1.19	22.9	5.33	8.08	74	597.87
	2	1.12	17.9	2.10			0.00
	3	1.1	15.3	0.65			0.00
árbol 24	1	1.11	16.4	1.27	8.61	73	628.60
	2	1.06	19.4	2.33			0.00
	3	1.12	23.7	5.02			0.00
árbol 25	1	0.88	18.9	0.56	5.33	75	399.87
	2	1.03	16.8	0.86			0.00
	3	1.21	19.9	3.91			0.00
árbol 26	1	1.19	27	7.53	15.99	82	1310.95
	2	1.18	22.8	5.18			0.00
	3	0.96	21.1	2.19			0.00
	4	1.03	17.3	1.09			0.00
árbol 27	1	0.91	18.9	0.82	13.43	73	980.40
	2	1.17	20	3.60			0.00
	3	1	24.6	4.14			0.00
	4	1.15	22.8	4.87			0.00
árbol 28	1	1.2	19.7	3.71	16.44	78	1282.02
	2	1.07	19	2.22			0.00

	3	1.16	24.9	6.07			0.00
	4	1.22	20.7	4.44			0.00
árbol 29	1	1.14	23.9	5.33	11.92	75	894.03
	2	1.08	23.6	4.54			0.00
	3	1.18	16.9	2.05			0.00
árbol 30	1	1.14	18.9	2.77	14.33	71	1017.64
	2	1.19	24	5.92			
	3	1.22	22.9	5.64			

Anexo N° 14. Factor de Ocupación.

	V real planta	D. copa	Ht	V cilin. aparente	FO
Árbol 1	9954.77	268	280	37520.00	0.27
Árbol 2	9884.32	238	265	31535.00	0.31
Árbol 3	10522.24	289	318	45951.00	0.23
Árbol 4	7532.95	281	331	46505.50	0.16
Árbol 5	6713.90	250	282	35250.00	0.19
Árbol 6	8120.89	232	281	32596.00	0.25
Árbol 7	4714.54	297	321	47668.50	0.10
Árbol 8	11240.40	295	307	45282.50	0.25
Árbol 9	7144.26	258	290	37410.00	0.19
Árbol 10	9398.34	273	319	43543.50	0.22
Árbol 11	7345.62	283	307	43440.50	0.17
Árbol 12	22615.50	344	328	56416.00	0.40
Árbol 13	4924.58	348	328	57072.00	0.09
Árbol 14	12169.78	294	297	43659.00	0.28
Árbol 15	11516.20	280	274	38360.00	0.30
Árbol 16	3226.10	227	285	32347.50	0.10
Árbol 17	15016.23	295	270	39825.00	0.38
Árbol 18	13284.86	267	284	37914.00	0.35
Árbol 19	17911.16	326	319	51997.00	0.34
Árbol 20	19875.43	369	344	63468.00	0.31
Árbol 21	19990.42	384	323	62016.00	0.32
Árbol 22	11240.60	306	292	44676.00	0.25
Árbol 23	10647.06	246	286	35178.00	0.30
Árbol 24	12175.11	243	241	29281.50	0.42
Árbol 25	9920.23	244	274	33428.00	0.30
Árbol 26	26118.49	348	323	56202.00	0.46
Árbol 27	20408.12	335	287	48072.50	0.42
Árbol 28	12251.68	272	276	37536.00	0.33
Árbol 29	12297.89	281	311	43695.50	0.28
Árbol 30	15849.55	299	324	48438.00	0.33
Media	12133.71	289.07	298.90	43542.82	0.28
Dts	5515.60	41.24	24.50	9126.17	0.10

Anexo N° 15. Porcentaje de cenizas.

	m1	m2	m3	
humedad	7.66	11.7	9.73	48.7623762
	7.84	12.79	10.31	50.1010101
	16.18	24.06	20.42	46.1928934
	22.49	35.07	29.84	41.5739269
cenizas	10.65	17.79	10.84	5.19357501
	12.16	17.36	12.22	2.31236375
	11.95	17.17	12.02	2.49222873
	10.12	13.97	10.24	5.33474689
				3.83322859

Anexo N° 16. Humedad del material y densidad en seco y en húmedo.

	PESO EN HUMEDO				PESO EN SECO		
MUESTRA	peso (gr)	peso en agua (gr)		MUESTRA	peso (gr)	peso en agua (gr)	
1	12	11		1	6	7	
2	8	7		2	4	5	
3	8	7		3	4	5	
4	8	6		4	4	5	
5	8	7		5	4	5	
6	7	7		6	4	4	
7	6	6		7	3	4	
8	7	7		8	3	5	
9	6	6		9	3	4	
10	5	5		10	2	3	
11	6	5		11	2	3	
12	4	4		12	2	2	
Sumatoria	85	78		Sumatoria	41	52	
densidad H	1.08974359			densidad S	0.78846154		
		H%	44	0.51764706	51.7647059		51.76470588
			85				

Anexo N° 17. Pérdida de humedad.

Día	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 10	Promedio (gr)
Día 1	15.940	14.181	11.918	10.596	10.088	9.553	9.060	9.972	8.390	7.194	10.689
Día 2	14.854	13.361	11.159	9.775	9.666	9.120	8.440	9.219	7.821	6.414	9.983
Día 3	13.896	12.596	10.395	9.043	9.166	8.626	7.867	8.445	7.187	5.706	9.293
Día 4	13.134	11.957	9.777	8.404	8.803	8.218	7.374	7.844	6.696	5.171	8.738
Día 5	12.181	11.175	9.010	7.626	8.306	7.740	6.783	7.142	6.112	4.567	8.064
Día 6	11.289	10.025	8.587	7.129	7.595	7.028	6.068	6.686	5.729	4.128	7.426
Día 7	10.642	9.546	7.763	6.552	7.247	6.821	5.722	6.381	5.329	3.872	6.988
Día 8	10.085	8.878	7.263	6.196	7.056	6.561	5.377	5.790	5.012	3.837	6.606
Día 9	9.863	8.657	7.073	6.029	6.863	6.419	5.218	5.644	4.898	3.729	6.439

FOTOGRAFIAS

Fotografía N° 1. Identificación de árboles.



Fotografía N° 2. Medición de planta entera.



Fotografía N° 3. Labores de poda.



Fotografía N° 4. Pesaje de residuos de poda.



Fotografía N° 5. Deshoje de ramas podadas.



Fotografía N° 6. Visita de campo de asesores y estudiantes.



Fotografía N° 7. Dendrometría de ramas.



Fotografía N° 8. Socialización de método de cuantificación a estudiantes de la UTN.



Fotografía N° 9. Cuantificación de diámetros y longitudes por estratos.



Fotografía N° 10. Determinación de densidad en húmedo.



Fotografía N° 11. Determinación de densidad en seco.



Fotografía N° 12. Medición de curva de desecación



Fotografía N° 13. Preparación de materiales para análisis de cenizas y volátiles.



Fotografía N° 14. Muestras de ciruelo en húmedo y en cenizas.

