



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

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

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

**ARTÍCULO CIENTÍFICO**

**“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”**

**AUTOR:** Maigua Chancosa Paulo Israel

**DIRECTOR:** Ing. Carlos Cazco L. MSc.

**ASESORES:**

Ing. Telmo Basantes MSc.

Ing. Víctor Nájera

Ing. María José Romero

**BENEFICIARIOS:** Estudiantes de la carrera de Ingeniería Agropecuaria de la UTN.

**Ibarra – Ecuador**

**2014**

## HOJA DE VIDA DEL INVESTIGADOR

**Apellidos:** Maigua Chancosa

**Nombres:** Paulo Israel

**Cédula de identidad:** 1002940847

**Teléfono:** 0986505906

**Email:** israelquilap@hotmail.com

**Dirección:** Juan de Dios Navas 1-125 y García Moreno

**Año:** Octubre de 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. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Universidad Técnica del Norte. 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

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

### “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”

**Autor:** Israel Maigua

**Coautor:** Ing. Carlos Cazco MSc.

## INTRODUCCIÓN

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, la determinación del volumen de la biomasa. La biomasa es la materia orgánica no fosilizada que puede provenir de restos de podas, paja de cereales, purines, aserrín o cultivos energéticos, que mediante varios procesos se puede obtener energía principalmente térmica y eléctrica a partir de ellos. Solo las grandes empresas utilizan actualmente los desechos forestales 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 de podas por desconocimiento o por no poseer la tecnología necesaria. Del sistema de producción agrícola, se obtienen productos alimenticios y residuos de podas que en muchos casos no tienen ninguna utilidad para el agricultor, siendo incinerados o desperdiciados en el campo; sin embargo, estos residuos también son considerados biomasa que puede ser aprovechada como un recurso renovable para producir energía. Los sistemas frutícolas andinos y tropicales del Ecuador han sido poco estudiados mediante métodos dendrométricos, los modelos de cuantificación y caracterización de biomasa elaborados en Europa o Estados Unidos no son aplicables a nuestra realidad, por lo que se tiene la oportunidad de ser pioneros en el análisis de estos ecosistemas para la obtención de bioenergía.

## OBJETIVOS

- 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.
- 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.

## METODOLOGÍA

**MATERIALES:** Cinta métrica, eslingas, libreta de campo, pértiga, recipientes plásticos

**EQUIPOS:** Balanza digital, balanza electrónica, dinamómetro, estufa, GPS, pie de rey, segueta, tijera de podar

## **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, se utilizaron treinta unidades experimentales, el factor en estudio fue la biomasa.

## **ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

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.

## **VARIABLES EVALUADAS**

- Análisis de la 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).

## **MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO**

Se seleccionaron 30 árboles de ciruelo al azar, en zig-zag y en estado de reposo, posteriormente, con pintura blanca se enumeraron los árboles del 1 al 30. En los árboles seleccionados, se tomaron los datos de diámetro de copa, altura del árbol, diámetro y altura del tronco, para cuantificar la biomasa residual procedente de la poda. Luego se procedió a realizar en los árboles podas de fructificación, fitosanitarias y de formación, el material cortado de cada árbol se recogió y ató cuidadosamente formando gavillas, las mismas que fueron pesadas utilizando un dinamómetro. Posteriormente, todas las ramas se desojaron, se formaron nuevas gavillas, se pesó y se obtuvieron nuevos datos.

Para el Análisis dendrométrico de ramas, se seleccionaron 30 ramas muestras provenientes de las podas, una por cada árbol o unidad experimental, a las que se realizaron las mediciones del diámetro de la base con el pie de rey digital y la longitud total de la rama con una cinta métrica, para obtener el volumen modelo. Para el cálculo del volumen real, se dividió la rama en partes iguales cada 10 centímetros de longitud, en cada sección se midió el diámetro ecuatorial de la sección de forma, obteniendo el diámetro inicial y final de cada intervalo. La suma de todos los volúmenes de cada una de las porciones calculadas fue el volumen real de la rama.

Para el Análisis dendrométrico de la planta entera, se tomó en cuenta los estratos de las ramas del árbol 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 de 2 a 5 ramas. El segundo estrato estuvo constituido por las ramas que se ramificaron del primer estrato; se contabilizaron todas las ocurrencias para determinar el volumen de biomasa; luego, se seleccionó la rama más representativa, a la que se midió su diámetro y su longitud. Seguidamente se cubicó el tercero, cuarto y quinto estratos siguiendo la metodología descrita para el segundo estrato. 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.

Los Análisis del material vegetal en laboratorio se refirió a obtener datos de densidad, cenizas, humedad, volátiles y curva de desecación.

## RESULTADOS

La media de biomasa residual seca obtenida fue 2.33 kg por árbol; la media del diámetro de copa y diámetro de tronco fue 289.06 cm y 13.29 cm, respectivamente; como media de la altura de planta se establece 298.9 cm; y 35.96 cm para altura de la copa al suelo, también se probó la normalidad de los datos a partir del análisis de los coeficientes de Curtosis y de asimetría, pues se ajustaron al rango (-2 + 2).

El Análisis multidimensional de las variables cuantitativas, a partir del coeficiente de correlación de Pearson, indicó relaciones estadísticas entre las variables, ya sean positivas o negativas, observándose que los coeficientes 0.86 y 0.66 resultantes de la comparación de la biomasa residual con el diámetro de copa y altura de árbol respectivamente, indican que existe una relación positiva, es decir a mayor diámetro de copa y altura de árbol aumenta la biomasa residual disponible.

Se desarrolló un modelo de regresión para predecir la biomasa residual, en base a las mediciones dendrométricas realizadas, (tabla 1).

**Tabla N° 1.** Modelo de regresión para la biomasa residual de la poda de ciruelo.

Ecuación	EMA (Kg)	DTE (Kg)	r <sup>2</sup> (%)	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).

En donde: EMA: error medio absoluto, DTE: desviación típica de los errores, r<sup>2</sup>: coeficiente de determinación, BR: biomasa residual, Dc: diámetro de copa, Dt: diámetro de tronco.

En el análisis dendrométrico de ramas, el modelo geométrico que proporcionó el volumen más próximo al real fue el parabolóide (figura 1), con un coeficiente de 0.83, (tabla 2).



**Figura N° 1.** Modelo parabolóide de las ramas

**Tabla N° 2.** Cálculo de factores de forma en cada uno de los modelos geométricos estudiados.

	F cilindro	F parabolóide	F cono	F neiloide
Media	0.42	0.83	1.25	1.66
Desviación tip.	0.06	0.13	0.19	0.25

**Fuente:** (Autor).

Respecto a la distribución de biomasa lignocelulósica de la planta entera, se obtuvo que en el estrato 1, existe una menor concentración de biomasa, pues corresponde a los ejes principales, debido al reducido número de ramas (cinco como máximo); también se puede observar que la mayor cantidad de la biomasa se encuentran en el estrato 3, con el 38%, seguido del estrato 4, con el 28%, el estrato 2, con el 22% y el estrato 5 con el 6%.

Después de medir la disminución de humedad durante los primeros días de secado de los materiales leñosos tras el corte de la planta, se concluye 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.

Después de los análisis de laboratorio se resumieron los parámetros físicos del material lignocelulósico del árbol de ciruelo, (tabla 3)

**Tabla Nº 3.** Media y desviación típica de los parámetros físicos del material lignocelulósico del ciruelo

	<b>Media</b>	<b><math>\Sigma</math></b>
Humedad %	51.76	9.63
Cenizas %	3.8	1.03
%Volátiles + Carbono fijo	96.2	2.76
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.08	0.125
Densidad Seco g/cm <sup>3</sup>	0.78	0.23

**Fuente:** (Autor)

## 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 cm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup>, 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<sup>3</sup>), densidad humedad (1.08 g/cm<sup>3</sup>), 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.

## 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.

## BIBLIOGRAFÍA

- Calderón, E. (1987). Manual del Fruticultor Moderno. Vol. 3. Ediciones Ciencia y Técnica, S.A. México D. F. 1987. 636-645.
- 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.
- Jaramillo, C. (2001). Dasometría. Editorial Universitaria. Ibarra- Ecuador.
- Juscafresa, B. (1983). Árboles Frutales: Cultivo y Explotación. Editorial Aedos. Barcelona España, 144-154.
- 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.
- Ryugo, K. (1993). Fruticultura: Ciencia y Arte. AGT Editor, SA. México, D.F. 355-359.
- Velázquez, B. (2006). Aprovechamiento de los residuos forestales para uso energético. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. España.



## 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/cm<sup>3</sup> y 0.78 g/cm<sup>3</sup>, 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 paraboloidal 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/cm<sup>3</sup> and 0.78 g/cm<sup>3</sup>, respectively. The analyses of ashes gave 3.8% and the percentage as a result of volatile and fixed coal settled down in 96.2%.