

Cuantificación de biomasa mediante el estudio dendrométrico en el cultivo de duraznero (*Prunus persica* L.) en el sector el Chapi, parroquia Pimampiro, cantón Pimampiro

C. Cazco¹, R. Chandi¹, B. Velázquez Martí²

¹Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Técnica del Norte. Avenida 17 de Julio 5-21 y J. M. Córdova. Ibarra (Ecuador)

²Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n. 46022 Valencia (España)

Autor: C. Cazco Logroño: carlosczcol@yahoo.com , ccazco@utn.edu.ec

Coautor: B. Velázquez Martí: borvemar@dmta.upv.es

RESUMEN

Esta investigación generó información científico-técnica sobre la cantidad de biomasa obtenible del duraznero (*Prunus persica* L.) a partir del análisis dendrométrico, en una plantación ubicada en el sector el Chapi del Cantón Pimampiro, Imbabura, cuyos objetivos fueron: analizar y determinar el factor de forma y las funciones de volumen en las ramas; analizar la distribución de la biomasa en las ramas de la copa; definir un factor de ocupación y calcular modelos de regresión. La predicción de la biomasa residual de la poda, el análisis dendrométrico de ramas, análisis dendrométrico de la planta entera y análisis de la caracterización de la planta fueron las variables en estudio, por lo cual, se seleccionaron treinta árboles en los que se midieron el diámetro de tronco, diámetro de copa, altura del suelo a la copa y la altura del árbol. Se realizaron las podas de las ramas y el material cortado fue pesado. Para el análisis dendrométrico de ramas se seleccionaron 30 ramas, a las que se realizaron mediciones del diámetro de la base, longitud de la rama, diámetros a cada 10 cm, para obtener el volumen real de la rama. La biomasa residual media disponible fue de 3,15t/ha de materia seca en un marco de plantación de 4 x 4m con una desviación típica de 1,58t/ha. La forma real de las ramas se ajustó al modelo geométrico paraboloide con un coeficiente de 0.76. El muestreo de la distribución de la biomasa determinó que la mayor cantidad se encontró en los estratos tres (32%) y cuatro (29%) seguido de los estratos uno (9%) y dos (22%) de la planta. Finalmente, la caracterización energética de la biomasa leñosa señaló el contenido del 46,9% de humedad, 0,91 g/cm³ de densidad en seco, 1,1 g/cm³ densidad en húmedo, 8,8% de cenizas y 91,1% de volátiles, parámetros que indicaron la aptitud del material leñoso para la combustión directa en caldera o para procesos de gasificación.

ABSTRACT

The study's research generated technical and scientific information regarding the amount of biomass obtained from the Peach Tree (*Prunus persica* L) crop by performing

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

1. Introducción

La contaminación y el incremento de la concentración de CO₂ en la atmósfera está cambiando progresivamente el clima mundial provocando el aumento de la temperatura y la frecuencia de fenómenos climáticos extremos. Las plantas agrícolas contribuyen a la captación de CO₂ de la atmósfera a través de la fotosíntesis almacenándolo en sus estructuras vegetales. La valoración de las distintas especies como sumideros de dióxido de carbono es algo de momento desconocido y supone un reto científico. Esta investigación pretende desarrollar métodos para valorar este proceso de captación en especies frutales ecuatorianas. Por otra parte, debido al posible agotamiento de los combustibles

fósiles en un plazo cercano, el ser humano busca fuentes de energía alternativa para satisfacer sus necesidades básicas, llamadas Energías Renovables, dentro de las cuales se encuentra la biomasa. Los distintos cultivos producen residuos de poda que podrían aprovecharse desde el punto de vista energético como recursos renovables. Actualmente en la mayoría de las plantaciones los restos son amontonados, siendo quemados no produciendo ningún beneficio directo, desperdiciando una posible fuente de energía, a partir del calor desprendido de la combustión. En Ecuador se realizan podas de varios cultivos agrícolas, de los cuales se producen grandes cantidades de biomasa.

2. Materiales y métodos

La presente investigación se realizó en un lote con el cultivo de duraznero, de propiedad del señor Roberto Narváez, ubicado en el sector el Chapi, vía a Pimampiro de la provincia de Imbabura, UTM X: 840965, Y: 10044442 (WGS 84), 2400 msnm de altura, donde se contrastó y validó los modelos de cuantificación obtenidos. La localidad se caracterizó por tener una temperatura media de 14.8°C, 70% de humedad relativa y una pluviometría de 1100 mm/año.

En el proceso de toma de datos en campo y laboratorio se utilizaron materiales como cinta métrica, eslingas, libreta de campo, pértiga, recipientes plásticos y equipos como la balanza digital, balanza electrónica, dinamómetro, estufa, GPS, pie de rey, segueta y tijera de podar.

2.1. Característica de la unidad experimental

La unidad experimental fue un árbol de duraznero, distribuidos en un marco de plantación de 4 x 4m. Se utilizaron treinta unidades experimentales (30 árboles) y el factor en estudio fue la biomasa.

La estadística aplicada a los datos obtenidos tuvo que ver con el 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; el 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; el análisis de la influencia de los factores cualitativos a través del ADEVA de los

mismos y el desarrollo de modelos de regresión para predecir las variables respuesta, en base a las mediciones dendrométricas realizadas.

2.2. Características del manejo del experimento

2.2.1. Análisis dendrómetro de planta entera.

El trabajo de campo inició con la selección al azar (zig-zag) de 30 árboles de duraznero en reposo vegetativo, identificados con pintura blanca y numerada del 1 al 30. En ellos 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.

El análisis dendrométrico permitió medir en forma sencilla el volumen de las ramas, teniendo en cuenta dos enfoques: la determinación de factores de forma y la obtención de funciones de regresión.

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

2.2.2. Análisis dendrómetro de ramas

Se muestrearon 30 ramas, una por cada árbol. En cada rama se midió su diámetro con el pie de rey digital y la longitud total con la 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 (ecuación 2). Cada porción fue considerada como un tronco de cono, cuyo volumen se calculó con la

ecuación (3). El cálculo del volumen modelo de rama se realizó aplicando la fórmula (4) a partir del diámetro de la base (d) y la longitud (L) de la rama.

$$V_{branch} = \sum_{i=1}^n V_i \quad (2)$$

$$V_{branch} = \sum_{i=1}^i V_i \quad (3)$$

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

Donde R es el radio de la sección mayor, r es el radio de la sección menor, Vi es el volumen de una porción de rama, Vbranch es el volumen real de la rama, VMODEL el volumen de revolución tomado como modelo, k=1 para el cilindro, k=1/2 para el paraboloides, k=1/3 para el cono, k=1/4 para el neiloide, d es el diámetro de la base y L la longitud de la rama.

2.2.3. Análisis dendrómetro de planta entera

Para el cálculo del volumen de la biomasa leñosa de la planta entera, se tomó en cuenta el cálculo del factor de ocupación y la aplicación de modelos de regresión para la predicción del volumen a partir del diámetro de copa, diámetro del tallo y altura de la planta.

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 4 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 cubió el tercero y cuarto estratos siguiendo la

metodología descrita para el segundo estrato. Después de haber determinado el coeficiente de forma de las ramas del duraznero, se calculó el volumen real de todas las ramas existentes en cada estrato y se estimó el volumen real que ocupó todo el árbol.

El factor de ocupación (5), fue la relación entre el volumen real de las ramas existentes en el ciruelo y volumen aparente de la copa obtenido como un volumen de revolución a partir del diámetro de copa y la altura media de las mismas que va desde la base al ápice. Fueron analizados como modelo la semielipse, el cilindro, el paraboloides y el cono, que contienen tanto las ramas de la copa como los espacios entre ellas.

$$FO = \frac{\text{Volumen real de copa}}{\text{Volumen aparente de copa}} \quad (5)$$

A los 30 árboles de duraznero se realizaron las podas de fructificación, fitosanitarias y de formación, eliminando ramas que impedían el adecuado paso de luz al interior de la copa para inducir una nueva brotación.

El material cortado de cada árbol se recogió y ató cuidadosamente formando gavillas, las mismas que fueron pesadas utilizando un dinamómetro o balanza.

Todas las ramas se desojaron y se obtuvieron pesos del follaje y del material leñoso. Posteriormente, se desarrollaron modelos de regresión para relacionar la cantidad de residuos obtenidos, y los tiempos de recogida en función del tamaño de la planta.

2.2.4. Análisis del material vegetal en laboratorio.

Los Análisis del material vegetal en laboratorio se refirió a obtener datos de densidad, cenizas, humedad, volátiles y curva de desecación, de acuerdo con los estándares de la tabla 1.

Tabla 1. Normas utilizadas en la caracterización de la biomasa

Referencia de la norma	Título
CEN/ S 14778-1	Biocombustibles sólidos – Muestreo – Parte 1: Métodos de muestreo
CEN/TS 14779	Biocombustibles sólidos – Muestreo – Métodos para la preparación de los planes de muestreo y toma de muestras de certificados
CEN/TS 14780	Biocombustibles sólidos – Métodos para la preparación de la muestra
EN 14774-2	Biocombustibles sólidos – Determinación del contenido de humedad – método de secado en estufa. Parte 2. Método simplificado: Total de humedad
EN 14918	Biocombustibles sólidos – Determinación del valor calorífico
EN 15148	Biocombustibles sólidos – Determinación del contenido de materia volátil
EN 14775:2009	Biocombustibles sólidos – Determinación del contenido de cenizas
CEN/TS 15104	Biocombustibles sólidos – Determinación del contenido total de carbono, hidrógeno y nitrógeno – Métodos Instrumentales

3. Resultados

Los resultados de biomasa residual obtenidos en el cultivo de durazno se estructuró de cuatro partes:

3.1. Análisis dendrométrico de la planta entera.

La media de biomasa residual seca obtenida fue 5.04 kg por árbol; la media del diámetro de copa y diámetro de tronco fue 432.73cm y 11.52cm, respectivamente; como media de la altura de planta se establece 303.8cm; y 17.12cm 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 (Tabla 2), indicó que la biomasa residual obtenida en la poda se relacionó positivamente con el diámetro de copa, diámetro del tronco

y la altura de la planta. Esto significó que cuando aumenta el tamaño de la planta, aumenta la biomasa residual disponible. Sin embargo, se detectó que la relación entre la biomasa residual y la altura de la copa al suelo fue muy débil, porque el coeficiente de Pearson estuvo muy próximo a 0.

También se pudo observar, que el diámetro de la copa (0,63) y la altura de la planta (0,44) estuvieron relacionados positivamente con el diámetro de tronco (0,52), esto significó que cuanto más grande fue el tronco, mayor fue el diámetro de copa y la altura total. Sin embargo, la altura de la planta estuvo menos influenciada por el diámetro de copa ya que el coeficiente de Pearson tuvo un valor relativamente bajo (0,19).

Tabla 2. Análisis de la relación lineal entre las variables a través del coeficiente de Pearson.

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

Se desarrolló un modelo de regresión para predecir la biomasa residual, en base a las mediciones dendrométricas realizadas, (Tabla 3).

Tabla 3. Modelo de regresión para la biomasa residual de la poda de duraznero.

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

En donde: EMA: error medio absoluto, DTE: desviación típica de los errores, r²: coeficiente de determinación, BR: biomasa residual, Dc: diámetro de copa, Dt: diámetro de tronco.

3.2. Análisis dendrométrico de ramas

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 0.76, (Tabla 4).



Figura N° 1. Modelo parabolóide de las ramas

Tabla 4. Cálculo de factores de forma en cada uno de los modelos geométricos estudiados.

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

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

Respecto a la distribución de biomasa lignocelulósica de la planta entera (Figura 2), se obtuvo que en el estrato 1, existió una menor

concentración de biomasa, pues corresponde a los ejes principales, debido al reducido número de ramas (cuatro como máximo); también se pudo observar que la mayor cantidad de biomasa se encontró en los estratos 3 (32,29%) y 4 (28,80%) y posteriormente en los estratos 2 (22,24%) y 1 (8,65%) de la planta.

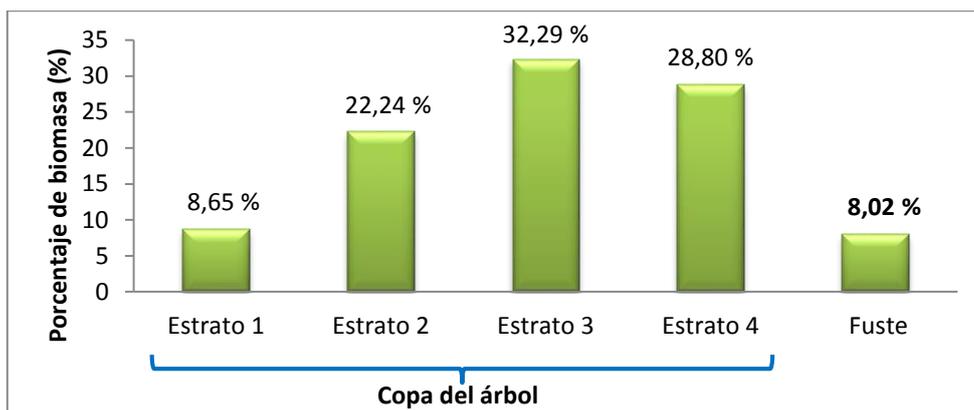


Figura N° 2. Diagrama de distribución de la biomasa por estratos y fuste en durazno.

4.4. Análisis del material vegetal en laboratorio.

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% fue de 10 días.

Después de los análisis de laboratorio se resumieron los parámetros físicos del material lignocelulósico del árbol de duraznero (Tabla 5).

Tabla 5. Valores promedios de los parámetros físicos del material lignocelulósico del duraznero.

	Promedios (X)
Humedad %	46,92
Cenizas %	8,81
% Volátiles + Carbono fijo	91,19

Densidad Húmeda g/cm ³	1,18
Densidad Seco g/cm ³	0,91

4. Conclusiones

La biomasa residual obtenida en la poda está relacionada positivamente con el diámetro de copa, diámetro del tronco y la altura de la planta. Esto significa que cuando aumenta el tamaño de la planta, aumenta la biomasa residual disponible.

La biomasa residual media de las plantas de duraznero es de 5,95 kg de materia seca por planta. Teniendo en cuenta que el marco de plantación más común es de 4 x 4 m este valor supone una biomasa potencial disponible de 3,71 toneladas de materia seca por hectárea.

Se ha caracterizado la forma y el volumen de las ramas en cada uno de los estratos, la forma de las ramas se ajusta bien a una forma paraboloide.

Las funciones de volumen calculadas poseen coeficientes de determinación altos (87%), por lo que se consideran cálculo del volumen de cualquier rama de duraznero a partir del diámetro de su base y su longitud.

La biomasa de la planta entera se distribuye de forma irregular, siendo el estrato tres (32%) y cuatro (28%), donde se concentra la mayor parte de la biomasa de la planta, los estratos uno y dos contienen 8% y 22%, respectivamente.

Se determinó el modelo de regresión para predecir de forma aproximada el volumen de la biomasa residual contenida en la copa del duraznero a partir de su altura total y diámetro del fuste. Esta función fue de enorme utilidad práctica ya que a través de su aplicación, los técnicos pueden predecir la biomasa lignocelulósica residual obtenible del duraznero al finalizar la cosecha o después de la poda.

Se determinó el factor de ocupación (FO) de la especie, siendo $5,2 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$. Este factor es la relación entre el volumen real del material lignocelulósico de la planta (en cm^3) y su volumen aparente (en dm^3). Este cilindro teórico está formado por las ramas y los huecos existentes entre

adecuadas para su aplicación práctica; es decir, estas ecuaciones pueden ser en el futuro una buena herramienta para ellas. Los valores de FO suponen un factor de conversión para obtener el volumen real a partir del cálculo del volumen mediante el modelo del cilindro.

El material lignocelulósico en base a los parámetros físicos de humedad (46,92%), densidad seca ($0,91\text{g}/\text{cm}^3$), densidad humedad ($1,1\text{g}/\text{cm}^3$), contenido en cenizas (8,81%) y de volátiles (91,19%). El contenido alto en materias volátiles indica que este residuo podría tener buena aptitud para la combustión directa en caldera o para procesos de gasificación.

Los requerimientos para la combustión directa exigen que ésta tenga una humedad máxima del 10%. Tras el corte de la planta se pudo observar que el tiempo necesario para una desecación hasta esta humedad es de 10 días si ésta se almacena en un sitio cerrado con las condiciones ambientales típicas de la provincia de Imbabura.

REFERENCIAS

[1] Biodisol. (2011). La biomasa, una fuente de energía muy utilizada pero mal aprovechada. España.

[2] Camps, M., & Marcos, F. (2002). *Los Biocombustibles*. Ed. Mundi-Prensa. 348 pp.

[3] Estornell, J., & Ruiz, A., & Velázquez, B., & Hermosilla, T. (2012). *Biomass and Bioenerg*. Estimation of biomass and volume of shrub vegetation using LiDAR and spectral data in a Mediterranean environment.

[4] Estornell, J., & Ruiz, A., & Velázquez, B., & Fernandez, A. (2011). Estimation of shrub biomass by air borne LiDAR data in small forest stands. 262: 1697-1703.

[5] INAMHI. (2013). Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

[6] Instituto Geográfico Militar. (2013). Carta topográfica Pimampiro.

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

- [8] 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.
- [9] Salas, C., & Reyes, M., & Bassaber, C. (2005). Medición de diámetros fustales con relascopio y forcípula finlandesa: efectos en la estimación de volumen. *Bosque* 26(2): 81-90.
- [10] Trincado, G., & Gadow, K., & Sandoval, V. (1997). Estimación de volumen comercial en latifoliadas. *Bosque* 18(1), 39-44.
- [11] 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.
- [12] Velázquez, B. (2006). *Aprovechamiento de los residuos forestales para uso energético*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. Ref. 2006-766. 158 pp.
- [13] 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.
- [14] Walpole, E., & Myers, H. (1992). *Probabilidad y Estadística*. Mc Graw Hill. p.
- [15] World Energy Council. (1997). *Survey of Wood Energy Res*