

MODELOS DE REGRESIÓN PARA ESTIMAR ÁREA DE LA HOJA Y BIOMASA DE ÓRGANOS EN ÁRBOLES JÓVENES DE MANZANO

A. Curiel-Rodríguez; J. R. Espinoza-Espinoza¹;

J. P. Cruz-Hernández; G. Almaguer-Vargas

Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo.

Km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO.

Correo-e: acuriel@correo.chapingo.mx (¹Autor responsable).

RESUMEN

Se generaron modelos matemáticos empíricos de aplicación general con técnicas de regresión lineal múltiple, para estimar el área de la hoja y la biomasa aérea en manzano "Agua Nueva II" / M-7, útiles en estudios de crecimiento, relaciones fuente-demanda y productividad. Los modelos obtenidos tienen alta precisión, ($R^2 > 0.969$). El área (AFE), el peso seco de la lámina de la hoja (PSL) y el peso seco de pecíolo (PSP) pueden ser estimados con los modelos: $AFE = -3.24140(AL) + 0.67616(AL)^2 + 1.63287(AL) (LL/AL)$; $PSL = 0.02699(AFE) + 0.00021917(AFE)^2$; y $PSP = 0.00384(AFE) - 0.04432 (LL/AL) + 0.02291(LL/AL)$, respectivamente, donde AL y LL son ancho máximo y largo de la lámina de la hoja, respectivamente. Se mide la longitud, el diámetro proximal o basal y el diámetro distal o apical de cada rama, tallo y tronco. Estas medidas se utilizan para calcular el volumen en fresco (V) de cada uno de esos órganos como un cono truncado. El volumen se utilizó para los modelos: $PST = 0.6688(V)$, $PSTP = 0.55902(V)$, $\ln PSRG = 0.77462[\ln(V)]$, $PSRM = 0.49349(V)$ y $PSRP = 0.57297(V)$; éstos estiman los pesos secos del tronco (PST), del tallo principal (PSTP), de ramas grandes (PSRG), medianas (PSRM) y pequeñas o dardos (PSRP) de cada planta. EL modelo del peso seco para el sistema radical (PSRZ) está en función de la longitud (LPT) y diámetro distal del tronco: $PSRZ = 10.80747(LPT)(DDT) + (-0.1.37171) (DDT)^2$. Las longitudes y los diámetros se expresan en centímetros, el área en centímetros cuadrados, el volumen en centímetros cúbicos y los pesos en gramos.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Mallus domestica*, "Agua Nueva II", M7, ramas, raíz.

REGRESSION MODELS TO ESTIMATE LEAF SHEET AREA AND BIOMASS OF ORGANS IN YOUNG APPLE TREES

ABSTRACT

In apple trees, leaf sheet area and shoot biomass are basic variables in growth, source-sink relationships and productivity researches. The aim of this studio was to build empirical mathematical models using multiple linear regression techniques to estimate leaf sheet area (LSA) and shoot biomass in "Agua Nueva II" young apple trees. All linear regression models obtained have high precision (R^2 above 0.969). LSA (in square centimeters) was estimated with the model $LSA = -3.24140(MWS) + 0.67616(MWS)^2 + 1.63287(MWS)(LS/MWS)$, where MWS stands for maximum wide of leaf and LS for leaf length. The dry weight of leaf sheet (DWLS) was estimated with the model $DWLS = 0.02699(LSA) + 0.00021917(LSA)^2$. The dry weight of petiole (DWP) was estimated as $DWP = 0.00384(LSA) - 0.04432(LS/MWS) + 0.02291(LS/MWS)$. The dry weights (in g) of radical system (DWRS), of stem (DWS), of principal stem (DWPT), of large branches (DWBL), of medium branches (DWBM), and of short branches (DWBS) are a function of fresh branch volume (FV). The formulae of truncated cone was used to calculate FV (in cubic centimeters); for this, it was required proximal (basal) and distal (apical) diameters of branches, and its length. The branch dry weights were estimated with the following models: $DWP = 0.66882(FV)$, $DWPT = 0.55902(FV)$, $\ln(DWBL) = 0.77462[\ln(FV)]$, $DWBM = 0.49349(FV)$ and $DWBS = 0.57297(FV)$. The model for dry weight of radical system (DWRS) is function of length and distal diameter of trunk: $DWRS = 10.80747(LPT)(DDT) + (-0.1.37171) (DDT)^2$. The length and diameter variables in leaf, trunk, stem and branches were expressed in centimeters.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Mallus domestica*, "Agua Nueva II", M-7, branches, root.

INTRODUCCIÓN

La biomasa es un indicador de los procesos bioquímicos y fisiológicos que se dan en el interior de cada planta, como respuesta a las condiciones de producción prevalecientes en el ciclo de vida de la misma, y de la expresión de portainjertos e injertos en las zonas de producción (Gárate y Bonilla, 2000; Salisbury y Ross, 2000). La evaluación de la biomasa en frutales como el manzano no es fácil, ya que por su alta variabilidad se requiere manejar un número alto de repeticiones para obtener una buena precisión de los indicadores estadísticos que se usan para la selección de variables y de modelos (Steel y Torrie, 1960). Otro inconveniente es que se destruye material vivo en alguna etapa del ciclo de desarrollo de la planta, y que por el tamaño que alcanzan los árboles, conlleva a costos económico y biológicos altos, en comparación a plantas anuales, que pueden producirse sin dificultad en cantidades altas y son de menor tamaño y su destrucción no implica mayor esfuerzo (Espinoza *et al.*, 1998).

Un modelo matemático es la simplificación de un sistema real, generado para entender, explicar, estimar o predecir la realidad. Thornley (1976) menciona dos tipos de modelos para explicar los procesos fisiológicos de las plantas: el tipo “mecanicista” y el tipo “empírico”; para el primero se requiere de un conocimiento profundo de los diversos procesos involucrados (subsistemas) para llegar a un objetivo final, en el que cada proceso se expresa como una ecuación, y cada una de estas ecuaciones se concentran en un sistema de ecuaciones que se simplifican para la obtención de una ecuación final que posteriormente se verifica con datos reales. El segundo tipo de modelo se basa en observaciones de datos experimentales, a los cuales se les hacen ciertos tipos de análisis, tratando de hacer supuestos inteligentes (y arbitrarios) y formular un conjunto de ecuaciones que pueden ser utilizadas como modelos matemáticos (Thornley, 1976).

Los métodos estadísticos de regresión lineal múltiple (modelos estocásticos para los cuales se incluye un término de error experimental) y los datos experimentales de variables asociadas a órganos de la planta, como el área foliar, el peso seco del follaje, de troncos de tallo, de ramas, etc., se pueden emplear para la construcción de modelos matemáticos empíricos, con los cuales se puede estimar la biomasa total en manzano (Drapper y Smith, 1981; Martínez y Castillo, 1987).

Técnicas estadísticas de regresión, como el procedimiento “Stepwise”, se aplican para la elección de variables regresoras, o sea, aquellas que se miden en el estudio y sirven para calcular o estimar alguna otra variable, a la que se nombra “variable dependiente” o “de interés” (Martínez y Castillo, 1987). En la elección de un modelo estadístico adecuado para estimar biomasa, se consideran los valores de indicadores estadísticos, como el coeficiente de determinación (R^2), el cuadrado medio del error experi-

mental y el estadístico de Mallows (Cp) (Drapper y Smith, 1981; Martínez y Castillo, 1987).

Los componentes que se elijan para un modelo matemático en particular, depende de la especie vegetal, del cultivar y del portainjerto que se utilice, y de la relación que pueda detectar el investigador con la variable dependiente (de interés para ser estimada), y se debe evitar, en lo posible, elegir componentes que sean fuertemente influenciados por factores ambientales. Rojo *et al.* (2005) estimaron la biomasa total aérea (BTA) en *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. con un modelo logarítmico ($R^2=0.98$), tomando como base el diámetro normal del árbol; determinaron que el peso seco del follaje fue el 5.4 % de la BTA. Castañeda *et al.* (2005) estimaron la BTA de bambú (*Bambusa oldhamii* Munro) utilizando un modelo exponencial ($R^2>0.70$). Ellos encontraron que la biomasa se acumulaba en un 83.7 % en el tallo, 12.3 % en el follaje y 4 % en las ramas. Espinoza *et al.* (1998) encontraron un modelo general para estimar el peso seco en duraznero (*Prunus persica* L. Batsch) en función del peso fresco ($R^2=0.9972$). Por su parte, Parra *et al.* (2004) calcularon el peso seco estimado del manzano cultivar Golden Delicious para tratamientos con humedad, nutrición y portainjertos, con modelos polinomiales de segundo grado (R^2 entre 0.42 – 0.99) en función del tiempo.

En este trabajo se tuvo como objetivo generar modelos matemáticos empíricos con las técnicas de regresión lineal múltiple, que estimaran el área foliar y la biomasa de órganos de plantas jóvenes de manzano “Agua Nueva II”.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en Chapingo, Estado de México. El material vegetal utilizado fue manzano “Agua Nueva II” sobre portainjerto de manzano M-7 (semi-vigoroso). Las plantas evaluadas tenían dos ciclos de crecimiento (2004 - 2005), con poda en “Líder Central” efectuada al término del letargo del primer ciclo de crecimiento.

Para obtener los modelos empíricos que estimaran el área de la lámina de la hoja y el peso seco de la misma y del pecíolo, se utilizaron 221 hojas maduras y sanas de 42 plantas que se desarrollaban tanto en contenedores (macetas) como en suelo. Las hojas se colocaron en refrigeración inmediatamente después de cortadas. En los tres días posteriores se les midieron las variables siguientes.

- a) El largo de la lámina de la hoja en la nervadura central se midió desde donde se une al pecíolo hasta la punta de la lámina.
- b) El ancho máximo de la lámina de la hoja se midió en sentido perpendicular al largo de la lámina de la hoja, en su parte más ancha.
- c) El largo del pecíolo se midió desde la inserción de

la lámina de la hoja hasta la inserción a la rama en el lado adaxial (arriba).

- d) El diámetro del pecíolo se midió en la parte media del mismo, en el sentido adaxial-abaxial (arriba-abajo).
- e) Para obtener el área de la lámina de la hoja, se escaneó cada hoja y se guardó como fotografía; enseguida, se obtuvo el área de su lámina, utilizando el paquete de cómputo "Image Tool", versión 3.00 para Windows (Wilcox *et al.*; 1995).
- f) Para obtener el peso seco de la lámina de la hoja y del pecíolo, se secaron en estufa a 60 °C, hasta peso constante.
- g) Para obtener la variable índice de la lámina de la hoja, se dividió la longitud máxima de la lámina de la hoja entre su ancho máximo.
- h) La variable índice del pecíolo se obtuvo de dividir su longitud entre el diámetro en su parte central en el sentido adaxial-abaxial.

Para la obtención de los modelos empíricos para estimar la biomasa de troncos y ramas, se cortaron ramas, tallos y troncos de 12 plantas. Se consideró como "tronco" al fragmento de la planta pegada a la raíz, compuesta por el portainjerto más el área de unión del injerto; como "tallo principal", al fragmento adherido por su parte proximal al tronco; y como "rama", a cualquier tallo que no entra en alguno de los dos tipos de estructuras anteriormente mencionadas. Con base en la clasificación de Calderón (1983), las ramas se agruparon, por su longitud, en tres categorías: en la clase "rama pequeña" se incluyeron a todas las ramas que tuvieron menos de 10 centímetros de longitud incluyendo los dardos; en la clase "rama mediana" se incluyeron a las ramas que tuvieron longitudes entre 10 y 30 centímetros, y en la clase "rama grande" se incluyeron a aquellas ramas que tuvieron longitudes mayores de 30 centímetros. Todas las ramas tenían un año de edad, y no se les aplicó la poda (porque fueron ramas de la última estación de crecimiento).

A los troncos, tallos y ramas, se les midieron las siguientes variables:

- a) Diámetros del tronco, medidos en ambos extremos del mismo.
- b) Diámetros proximales, medidos en la parte más angosta y en la más ancha del tronco, un centímetro por encima de la corona.
- c) Diámetros proximales promedio del tronco, que se obtuvieron de promediar los anteriores diámetros.
- d) Diámetros distales del tronco, que se midieron en la parte más angosta y en la más ancha, a un

centímetro por debajo de la inserción con el tallo principal.

- e) Con los dos diámetros anteriores se obtuvo el diámetro distal promedio del tronco.
- f) Los diámetros del tallo fueron medidos en ambos extremos del mismo.
- g) El diámetro proximal del tallo fue medido a un centímetro por arriba del tronco por su lado adaxial (arriba).
- h) El diámetro distal del tallo fue medido a un centímetro por debajo de entrenudo distal.
- i) Los diámetros de ramas fueron medidos en su parte proximal y en la distal.
- j) El diámetro proximal fue medido a un centímetro por arriba del extremo adaxial (arriba) donde estuvo unido con el tallo principal o con alguna rama.
- k) El diámetro distal fue medido en el extremo próximo a la yema apical, considerando la parte más delgada del entrenudo que se encuentra por abajo de ésta.
- l) La longitud del tronco fue medida desde la corona hasta su extremo distal.
- m) La longitud del tallo fue medida desde el punto de unión con el tronco por el lado adaxial (arriba) hasta su extremo distal.
- n) La longitud de ramas fue medida desde el extremo proximal de la rama en su lado adaxial (arriba), hasta la punta de la yema apical.
- o) El peso seco de troncos, tallos y ramas, se obtuvo al secarlos en una estufa a 60 °C, hasta peso constante.
- p) El volumen en fresco de cada una de esas partes de la planta se obtuvo con la fórmula del tronco truncado, utilizando la longitud y los diámetros de troncos, tallos y ramas.
- q) El peso seco del sistema radical se estimó con la longitud y el diámetro distal del tronco.

Los diámetros y longitudes se midieron en centímetros; los pesos secos se midieron en gramos; las áreas, en centímetros cuadrados, y los volúmenes de órganos de las plantas, en centímetros cúbicos. Las variables obtenidas como índices son adimensionales.

En análisis estadístico de las variables consistió en las siguientes técnicas estadísticas: análisis de correlación, análisis de regresión lineal múltiple y pruebas de ji-cuadrada para bondad de ajuste. En todas ellas se usó una $P \leq 0.01$. El análisis estadístico se hizo por etapas.

En la primera etapa se agruparon por separado las variables de lámina de hoja, de pecíolo, de sistema radical, de tronco y de tallo principal para cada tipo de rama. Se identificaron variables que sirvieron en los modelos como “regresoras” (o independientes, con base en las cuales se estima en las “dependientes” o “de interés”). Las variables que se consideraron como regresoras en las etapas posteriores del análisis estadístico fueron: ancho máximo y largo de lámina de la hoja, diámetro y largo del pecíolo, índices de la lámina de la hoja y del pecíolo, área de la hoja estimada, así como las longitudes y los diámetros de las ramas en general. Las variables que se consideraron como dependientes en las etapas posteriores del análisis estadístico fueron: área y peso seco de la lámina de la hoja, peso seco del pecíolo y los pesos secos del sistema radical, tronco, tallos y ramas.

Se obtuvieron los coeficientes de correlación lineal simple de “Pearson” (Martínez y Castillo, 1987) entre todas las variables de cada grupo.

La segunda etapa consistió en elegir dentro de cada grupo de variables a aquellas regresoras que tuvieran valores de correlación cercanas a 1.0 con las variables dependientes. Enseguida se eligieron dentro de cada grupo, y entre las variables regresoras elegidas por el procedimiento anterior, a aquellas que estuvieran débilmente correlacionadas entre sí (correlaciones no significativas o correlaciones con valores significativos pero bajos), para reducir el riesgo de elegir variables con dependencia lineal cercana o “multicolineales” (Myers, 1990).

La tercera etapa consistió en la elaboración de varias funciones matemáticas para cada variable dependiente de cada grupo con sus respectivas variables regresoras elegidas de la etapa anterior.

En la cuarta etapa se ejecutó el procedimiento de selección de variables “Stepwise” para cada función obtenida en la etapa anterior, y así se obtuvieron los valores de los

indicadores estadísticos siguientes: coeficiente de determinación (R^2), cuadrado medio del error (CME) y el coeficiente de Mallows (C_p).

Posteriormente, se eligieron para cada variable dependiente, uno o dos de los modelos de regresión que tuviesen las siguientes características: R^2 cercana a 1.0, CME lo más pequeño posible y C_p igual o cercano al número de componentes del modelo elegido (Drapper y Smith, 1981; Martínez y Castillo, 1987).

La prueba de ji cuadrada se aplicó considerando a los valores estimados por los modelos como valores esperados, y a los valores originales, como valores observados. En la elección de los modelos se consideraron aquellos con pocos componentes, y de fácil manejo de las variables en el campo. Los resultados de Ji^2 permitieron la selección definitiva de los modelos. En la última etapa y para cada modelo elegido se aplicó una prueba de Ji-cuadrada para bondad de ajuste. Con esta prueba, además de verificar que los valores ajustados por los modelos matemáticos fueron similares estadísticamente con los valores reales medidos en el estudio (Scheaffer y McClave, 1993), se seleccionaron los modelos definitivos para los resultados, considerando a aquellos en el que la ji-cuadrada calculada tuviera el menor valor.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las mejores relaciones de la variable dependiente, con las mejores de las variables regresoras encontradas fueron las siguientes (Cuadros 1 y 2). El área de la lámina de la hoja tuvo mayor relación con el ancho máximo de su lámina. El peso seco de la lámina de la hoja y del pecíolo de la misma estuvieron en función del área foliar. Los pesos secos del tronco, del tallo principal y de los tipos diferentes de ramas estuvieron en función del volumen en fresco calculado con la fórmula del cono truncado. Además, se utilizó el índice de lámina de la hoja para mejorar el ajuste del área foliar y

CUADRO 1. Coeficientes de correlación lineal Pearson para variables medidas en hoja, en manzano “Agua Nueva II” sobre portainjerto M-7 EMLA, en el segundo año de crecimiento.

VAR	LL	AL	ILH	LP	DP	INDP	ALH
AL	0.85519**						
ILH	0.25920**	-0.26601**					
LP	0.60862**	0.48355**	0.23249**				
DP	0.86847**	0.80512**	0.10523 ^{NS}	0.58727**			
P	-0.44235**	-0.49262**	0.11008 ^{NS}	0.29364**	-0.57884**		
ALH ^{vd}	0.92218**	0.96172**	-0.05682 ^{NS}	0.51464**	0.85008**	-0.50097**	
PSL ^{vd}	0.90012**	0.92569**	-0.46994**	0.49229**	0.83118**	-0.49179**	0.97758**
PSP ^{vd}	0.88091**	0.80187**	-0.14546 ^{NS}	0.74629**	0.88763**	-0.30741**	0.87433**

VAR: variables; LL: longitud de la lámina de la hoja; AL: ancho máximo de la lámina de la hoja; ALH: área de la lámina de la hoja; ILH: índice de la lámina de la hoja LL/AL; PSL: peso seco de lámina de la hoja; LP: longitud de pecíolo; DP: diámetro de la parte media del pecíolo entre la parte adaxial (arriba) y abaxial (abajo); IP: índice de pecíolo obtenido como LP/DP; PSP: peso seco de pecíolo.

^{vd}: variable dependiente.

^{NS}: no significativo.

** : significativo a una $P \leq 0.01$.

CUADRO 2. Coeficientes de correlación lineal Pearson para las variables medidas en órganos de estructuras aéreas, en manzano “Agua Nueva II” sobre portainjerto M-7 EMLA, en el segundo año de crecimiento.

PRPL	VAR	DPA	DDA	LG	VOL
TRONCO	DDA	0.9053**			
	LG	-0.4548 ^{NS}	-0.6871**		
	VOL	0.4307 ^{NS}	0.1487 ^{NS}	0.5840 ^{NS}	
	PS ^{vd}	0.1577 ^{NS}	-0.0260 ^{NS}	0.6517**	0.8732**
TALLO	DD	0.7656**			
	LG	0.6334**	0.5692 ^{NS}		
	VOL	0.9588**	0.8570**	0.7534**	
	PS ^{vd}	0.9241**	0.8176**	0.7413**	0.9399**
Rm30	DD	0.4652**			
	LG	0.7809**	0.5592**		
	VOL	0.9151**	0.5829**	0.9317**	
	PS ^{vd}	0.7526**	0.5253**	0.9399**	0.9191**
Rm10_30	DD	0.5920**			
	LG	0.6549**	0.3215 ^{NS}		
	VOL	0.8745**	0.6790**	0.8601**	
	PS ^{vd}	0.8316**	0.6308**	0.8488**	0.9650**
Rm10	DD	0.3295 ^{NS}			
	LG	-0.0577 ^{NS}	-0.4815**		
	VOL	0.3923 ^{NS}	0.1064 ^{NS}	0.7672**	
	PS ^{vd}	0.2277 ^{NS}	0.1794 ^{NS}	0.6978**	0.9148**

PRPL: parte aérea de la planta; VAR: variable; DPA: diámetro proximal de la parte aérea; DDA: diámetro distal de la parte aérea; PS: peso seco de la parte aérea; LG: longitud de la parte aérea del tipo de rama; VOL: volumen en fresco de la parte aérea usando la fórmula de un cono truncado; Rm30, Rm10_30 y Rm10: ramas mayores de 30 centímetros, entre 10 y 30 centímetros y menores de 10 centímetros de largo, respectivamente.

^{vd}: variable dependiente.

^{NS}, **: no significativo y significativo a una $P \leq 0.01$, respectivamente.

del peso seco de pecíolo, aunque no hubiese correlación de la primera con las dos últimas. El peso seco del sistema radical estuvo fuertemente correlacionado con la longitud del tallo principal y con el diámetro adaxial del tronco (Cuadro 3).

El modelo matemático elegido para la estimación del área de la lámina de la hoja, obtuvo un valor de la $R^2 = 0.998$, el cual tiene mayor precisión que los modelos utilizados por Parra *et al.* (2004) para estimar área foliar (R^2 entre 0.58 - 0.94) en manzanos cv. Golden Delicious sobre portainjerto M7, considerando como variable regresora el tiempo (días julianos), para manejo de humedad y nutrición (Cuadro 4).

Uno de los mejores modelos para estimar el peso seco de la lámina de la hoja fue el que estuvo en función del área foliar estimada, ya que los parámetros estadísticos R^2 (0.9922) y ji-cuadrada (Cuadro 4) permitieron considerar a dicho modelo como adecuado para la estimación de dicha variable dependiente.

Parte de la biomasa foliar se encuentra en el pecíolo de la hoja, por lo que debe considerarse como parte del peso seco de ésta. Uno de los modelos que mejor estimaron

el peso seco de la hoja, estuvo en función del área foliar estimada y del índice de la lámina de la hoja (Cuadro 4), cuya R^2 fue de 0.9741. La selección de este modelo no implica la necesidad de medir ni la longitud ni el diámetro de la parte media del pecíolo, como sí sucedió con modelos que no fueron elegidos en este estudio.

Los modelos elegidos para la estimación de los pesos secos (biomasa) de troncos, tallos y ramas (Cuadro 4), están asociados con el volumen en fresco estimado con la fórmula de un cono truncado, como sucedió en durazno (Espinoza *et al.*, 1998). Parra *et al.* (2004), utilizando la función logarítmica de la tasa relativa de crecimiento, generó modelos para el cálculo de peso seco total, obteniendo para manzano cv. Golden Delicious sobre el portainjerto M_7, valores de R^2 que oscilan entre 0.42 y 0.94. Casierra *et al.* (2004) utilizó en durazno un modelo polinomial de tercer grado considerando como variable regresora días después de plena floración y como variable dependiente el peso seco de ramas, obteniendo buena precisión ($R^2=0.97$). En especies forestales como *Agnus*, *Clethra*, *Rapanea*, *Quercus*, *Liquidambar* e *Inga* se obtuvieron valores de R^2 de 0.97, 0.99, 0.99, 0.99, 0.99 y 0.97, respectivamente, al estimar la biomasa aérea con una función exponencial linealizada, cuya variable regresora es el diámetro del tronco a la altura del pecho del investigador (Acosta *et al.*, 2002).

CUADRO 3. Coeficientes de correlación lineal Pearson y niveles de significancia observados para peso seco estimado de raíz total con las longitudes, diámetros adaxiales y volúmenes de troncos y de tallo principal, respectivamente, en manzano “Agua Nueva II” sobre portainjerto M-7 EMLA, en el segundo año de crecimiento.

	DAPT	DAT	LPT	LT	VPT	VT
PSRZ	0.68101	0.3062	-0.4550	0.7718	0.1997	0.7039
	0.0148**	0.3330 ^{NS}	0.1373 ^{NS}	0.0033**	0.5337 ^{NS}	0.0106**

^{NS}, **: no significativo y significativo a una $P \leq 0.01$, respectivamente.

PSRZ: peso seco estimado de raíz principal; DAPT: diámetro adaxial promedio del tronco; DAT: diámetro adaxial del tallo principal; LPT: longitud del tallo principal; LT: longitud del tronco; VPT: volumen de tallo principal; VT: volumen de tronco.

CUADRO 4. Modelos de regresión elegidos para estimar área foliar y pesos secos de partes aéreas en manzano “Agua Nueva II” sobre portainjerto M-7 EMLA, para el segundo año de crecimiento.

MODELO ²	R ²	CME	Cp	Ji ² _c ^y	Ji ² _{tab} ^x
ALH = (- 3.24140)(AL) + 0.67616(AL) ² + 1.63287(AL)(ILH)	0.9981	0.8967	2.3	8.6	Ji ² _{217,0.01} = 267.7 ^w
PSLH = 0.02699(AFE) + 0.00021917(AFE) ²	0.9922	0.0038	2.0	1.35	Ji ² _{218,0.01} = 268.8
PSP = 0.00384(AFE) + (-0.04432(ILH) + 0.02291(ILH) ²	0.9741	0.00016	3.0	0.69	Ji ² _{217,0.01} = 267.7
PSPA = 0.66882(VOL)	0.9802	68.169	1.0	18.9	Ji ² _{16,0.01} = 32.0
PST = 0.55902(VOL)	0.9718	125.95	1.0	28.9	Ji ² _{16,0.01} = 32.0
ln(PSRm30) = 0.77462[ln(VOL)]	0.9933	0.0377	1.0	1.05	Ji ² _{70,0.01} = 100.4
PSRm10_30 = 0.49349(VOL)	0.9856	0.0995	1.0	1.3	Ji ² _{40,0.01} = 63.7
PSRm10 = 0.57297(VOL)	0.9693	0.0081	1.0	0.5	Ji ² _{24,0.01} = 43.0
PSRZ = 10.80747(LT)(DAPT) + (-101.37171) (DAPT) ²	0.9867	563.031	3.2	-	-

²Modelos que estiman al área de la hoja (ALH) y a los pesos secos.

^yEstadístico chi-cuadrada.

^xValor tabular de chi-cuadrada.

^wSe usó la fórmula $(0.5)[(2m-1)^{0.5} + 2.33]^2$, donde m: a los grados de libertad indicados en la Ji²_{tab}, la cual se obtuvo de Kreyszig, E. 1973. Introducción a la Estadística Matemática. Ed. Limusa. 488 pp.

R²: coeficiente de determinación; CME: cuadrado medio del error; Cp: estadístico de Mallows; PSLH: peso seco (g) de la lámina de la hoja; PSP: peso seco (g) de pecíolo; PSPA: peso seco (g) de tronco; LT: longitud de tallo principal; DAPT: diámetro distal del tronco; PST: peso seco (g) del tallo principal; PSRm30: peso seco (g) de ramas mayores de 30 cm de largo; PSRm10_30: peso seco (g) de ramas entre 30 y 10 cm de largo; PSRm10: peso seco (g) de ramas menores de 10 cm de largo.

CONCLUSIONES

Con los modelos electos se puede estimar el área de la lámina de la hoja y la biomasa aérea de hojas, pecíolo, troncos, tallos y ramas en manzano “Agua Nueva II” sobre M-7, con una precisión relativamente alta (R² entre 0.9690 y 0.9985), valores bajos en sus cuadrados medios del error, valores de coeficientes de Mallows igual o cercanos al número de componentes del modelo (Cp entre 1 y 3) y no se rechazaron las hipótesis nulas (Ho) en cada uno de los modelos, lo que indica que el modelo es adecuado para estimar las variables “dependientes”, y sólo se utilizaron siete variables, dos de las cuales se generan con variables originales medidas directamente en la planta.

LITERATURA CITADA

- ACOSTA M., M.; VARGAS H., J.; VELÁZQUEZ M., A. ETCHEVERS B., J. D. 2002. Estimación de biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36(6): 2002.
- CALDERÓN A., E. 1983. La Poda de los Árboles Frutales. Ed. LIMUSA S. A. México. 549 p.
- CASIERRA P., F.; BARRETO, V. E.; FONSECA, O. L. 2004. Crecimiento de frutos y ramas de duraznero (*Prunus persica* L. Batsch, cv. ‘Conservero’) en los altiplanos colombianos. *Agronomía Colombiana* 22(1): 40-45.
- CASTAÑEDA M., A.; VARGAS H., J.; GÓMEZ G., A.; VALDEZ H., J. I.; VAQUERA H., H. 2005. Acumulación de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Bambusa oldhamii*. *Agrociencia* 39(1): 107-116.
- DRAPPER, N. D.; SMITH, H. 1981. *Applied Regression Analysis*. Ed. John Wiley & Son. U.S.A. 707 p.
- ESPINOZA E., J. R.; ORTIZ C., J.; MENDOZA C., MA. del C.; VILLASEÑOR A., J. A.; VILLEGAS M., A.; PEÑA V., C.; ALMAGUER V., G. 1998. Modelos de regresión para la estimación de peso fresco y seco de ramas de duraznero (*Prunus persica* L. Batsch). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 4(2): 125-131.
- GÁRATE, A.; BONILLA, I. 2000. Nutrición mineral y producción vegetal, pp. 113-130. *In: Fundamentos de Fisiología Vegetal*. AZCON-BIETO, J; TALÓN, M. (coordinadores). Ed. Edicions Universitat de Barcelona y McGraw-Hill Interamericana. España.
- MARTÍNEZ G., A.; CASTILLO M., A. 1987. Teoría de la Regresión con Aplicaciones Agronómicas. Ed. Colegio de Postgraduados. México. 490 p.
- MYERS, R. H. 1990. *Classical and modern regression with applications*. Ed. PWS-Kent Publishing Co. U S A. 488 p.
- PARRA Q., R. A.; BECERRIL R., E.; CASTILLO M., A. 2004. Crecimiento de manzano [*Malus sylvestris* (L.) Mill. var. *domestica* (Borkh.) Mansf.] cv. Golden Delicious afectado por humedad del suelo, nutrición y portainjerto. *Rev. Fitotecnia Mex.* 27(4): 339-348.
- OJO M., G. E.; JASSO M., J.; VARGAS H., J. J.; PALMA L., D. J.;

- VELÁZQUEZ M., A. 2005. Biomasa aérea en plantaciones comerciales de hule (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) en el estado de Oaxaca, México. *Agrociencia* 39(4): 449-456.
- SCHEAFFER, R. L.; McCLAVE, J. T. 1993. Probabilidad y Estadística para Ingeniería. Ed. Grupo Editorial Iberoamericana. México, 683 p.
- SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. 2000. Fisiología de las Plantas. Ed. Internacional Thomson Editores. Vol. 1 y 2. España. 523 p.
- STEEL, R. G. D; TORRIE, J. H. 1960. Principles and Procedures of Statistics. Ed. Mc-Graw Hill Co. Inc. USA. 481 p.
- THORNLEY, J. H. M. 1976. Mathematical Models in Plant Physiology. Ed. Academic Press. England. 318 p.
- WILCOX C., D.; DOVE, S. B.; DOSS, W. M.; GREER, D. B. 2002. UTHSCSA Image Tool. IT Version 3.0 Ed. Department of Dental Diagnostic Science. Ed. University of Texas Health Science Center. USA. 57 p.