

# MODELOS DE REGRESIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DEL PESO FRESCO Y SECO DE RAMAS DE DURAZNERO (*Prunus persica* L. Batsch).

J.R. Espinoza-Espinoza<sup>1</sup>; J. Ortiz-Cereceres<sup>2</sup>; Ma. del C. Mendoza-Castillo<sup>2</sup>;  
J.A. Villaseñor-Alva<sup>3</sup>; A. Villegas-Monter<sup>4</sup>; C. Peña-Valdivia<sup>5</sup>;  
G. Almaguer-Vargas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. km. 38.5 carretera México-Texcoco. Chapingo, Méx. C. P. 56230. e-mail: respinoz@taurus1.chapingo.mx

<sup>2</sup>Programa de Fisiología Vegetal del Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx.

<sup>3</sup>Programa de Estadística y Cálculo, del Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx.

<sup>4</sup>Programa de Fruticultura del Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx.

<sup>5</sup>Programa de Botánica del Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx.

## RESUMEN

En estudios del crecimiento de las plantas se evalúan variables que requieren de su destrucción; tal es el caso del peso fresco (PF) y, más comúnmente, del peso seco de ramas (PS). En el caso de plantas arbóreas, como el durazno, ese procedimiento resulta en trabajo prolongado y costoso, e implica la eliminación de muchos árboles de alto valor en los huertos, sobre todo si se considera que por la variabilidad de sus componentes (tallos y ramas, principalmente) se requieren muchas repeticiones. En este trabajo se buscaron modelos matemáticos que, con confiabilidad, estimen las variables mencionadas sobre la base de otras que no requieran la destrucción de la planta. Se encontró que el peso fresco (PF) de las ramas se puede estimar sobre la base del volumen calculado por las fórmulas del cono truncado y cono (para las ramas podadas y no, respectivamente), el número de hojas (como indicador del número de yemas) y la relación entre los diámetros basales lateral y adaxial-abaxial, con modelos para ramas de diferente avance de lignificación que tienen R<sup>2</sup> entre 0.9446 y 0.9812 y C(p) muy aceptable (entre 1.299 y 5, para modelos con 1 a 4 variables). Se encontró un modelo general que estima el peso seco (PS = -0.7484 + 0.5804 PF) y uno por cada grado de dureza, todos con R<sup>2</sup> entre 0.9802 y 0.9980 y C(p) de 2.0.

**PALABRAS CLAVE:** Peso fresco, peso seco, coeficiente de determinación, dureza de ramas, C(p).

## REGRESSION MODELS FOR THE ESTIMATION OF THE FRESH AND DRY WEIGHT OF BRANCHES OF PEACH TREES (*Prunus persica* L. Batsch.)

### SUMMARY

In studies of the growth of plants the destruction of the organ is required to evaluate some variables, such as fresh weight (FW) and, more important, dry weight (DW). With fruit trees, like the peach tree, this procedure implies a hard and expensive work, besides the elimination of many valuable trees, considering the abundant replications that must be evaluated because of the variability of the components (twigs and stems, mainly). In this work regression models that estimate the above variables of branches and do not require the destruction of the plant were searched. The FW on branches can be estimated with the base of the volume calculated with the formulas of the cone and the truncated cone, the number of leaves (as indicator of the number of buds) and the relation between the lateral and adaxial-abaxial diameters, and models for different advance of lignification having R<sup>2</sup> between 0.9446 and 0.9812 and C(p) quite acceptable (between 1.299 and 5, for models with 1 to 4 variables) were generated. It was found a general model that estimates the dry weight of branches (DW = -0.7484 + 0.5804 FW) and four more, one for each grade of branch hardness, all with R<sup>2</sup> between 0.9802 and 0.9980 and C(p) of 2.0.

**KEY WORDS:** Fresh weight, dry weight, coefficient of determination, branch hardness, C(p).

## INTRODUCCIÓN

En el estudio del comportamiento y crecimiento de las plantas a menudo es necesario evaluar variables, como

el peso fresco y el peso seco, que involucran la destrucción del material en evaluación. En el caso de gramíneas y otras de porte pequeño, es común que al inicio del estudio se consideren gran cantidad de plantas y en cada

fecha de evaluación se destruya cierto número de ellas para evaluar esas variables, pero en el caso de los frutales ese procedimiento involucra un trabajo y un costo más grandes, ya que se requiere de gran cantidad de plantas grandes y complejas que han de ser destruidas, por la alta variabilidad en sus elementos (tallos, ramas, hojas, frutos, etc.) que dificulta la obtención de resultados consistentes si no se consideran suficientes repeticiones.

Los modelos matemáticos son una herramienta que permite la estimación de una variable (variable dependiente) sobre la base de los valores que tomen otras (variables independientes). Se usan en amplias áreas del conocimiento; en las finanzas y en estudios de población, se hacen "predicciones" a futuro (extrapolaciones) sobre la base del comportamiento de algunos indicadores (Infante y Zárate, 1984); en epidemiología se utilizan para prever el comportamiento de las enfermedades utilizando el comportamiento de variables ambientales y la disponibilidad de inóculo como variables independientes (Dropkin, 1980; Sutton, 1996). Para la estimación de variables fisiológicas también han demostrado su utilidad los modelos matemáticos (Thornley, 1976).

En la fruticultura se usan también ampliamente para la estimación de variables que no fácilmente se miden: para la determinación anticipada del tamaño final del fruto, de la época de cosecha, de las posibilidades de brotación de las plantas en un lugar (Schwartz *et al.*, 1997), entre muchas otras, normalmente dentro de un intervalo usado para la creación del modelo y en el cual éste es válido (intrapolaciones) (Afifi y Clark, 1984).

Para la creación de los modelos es necesario contar con datos de los valores que toman las variables dependientes al variar las independientes y someterlos a un análisis de regresión que permita establecer la relación matemática entre ellas. Los componentes de estos modelos son: la variable dependiente, a la izquierda de un signo igual; a la derecha de éste, el valor de una constante (la interceptada), y los valores de varias constantes (coeficientes de regresión) multiplicando a sendos valores de las variables independientes, lo que en una representación generalizada sería (Myers, 1990):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_n X_{ni} + \epsilon_i$$

donde:  $Y_i$  = valor de la variable dependiente

$\beta_0$  = valor de la interceptada

$\beta_1 - \beta_n$  = valores de los coeficientes de regresión

$X_{1i} - X_{ni}$  = valores de las variables independientes en la observación  $i$

$\epsilon_i$  = error asociado a la observación  $i$

El valor de la interceptada ( $\beta_0$ ) representa el valor de la variable dependiente ( $Y$ ) cuando los valores de las variables independientes son iguales a cero. No se incluye en el modelo cuando de manera natural el valor de  $Y$  debe ser cero cuando los valores de  $X$  son cero o si el modelo obtenido le asigna un valor de cero; por ejemplo, si el modelo usado en la estimación del peso se basa en

el volumen, y el intervalo en que es válido incluye al valor de volumen igual a cero, no incluirá un valor para la interceptada, ya que a un valor de cero para el volumen le corresponde uno de cero para el peso.

En la generación de los modelos, la experiencia del investigador es determinante para la elección de las variables que han de formar parte de ellos. Adicionalmente, los métodos para la creación de modelos por regresión, tanto los manuales como los computacionales, normalmente incluyen un análisis de varianza que permite determinar de manera objetiva si la participación de la interceptada o una variable independiente en el modelo es significativa (pertinente o adecuada) o no y, por tanto, si ha de ser incluida o no en el modelo (Myers, 1990).

La regresión normalmente hace uso del método de mínimos cuadrados para la generación de los modelos, y requiere el cumplimiento de varios supuestos para la obtención de modelos confiables (Afifi y Clark, 1984). Las variables involucradas deben tener una distribución normal; cuando no la tienen, se pueden usar transformaciones de las variables, en sustitución de éstas, que sí la tengan. Deben tener homogeneidad de varianza. No debe existir multicolinearidad, o sea dependencia entre las variables independientes participantes en un modelo; si existe multicolinearidad, el modelo seleccionado puede ser inestable, es decir, no estimar correctamente los valores de la variable dependiente; para solucionar este problema, se hace una prueba que lo detecte y se eliminan las variables involucradas en la multicolinearidad, dejando sólo una, la que tenga una mayor significancia. Además, debe haber independencia en las observaciones usadas.

Aunque se deben cumplir estos supuestos, es común (Myers, 1990) que en estudios que generen modelos mediante el uso de la regresión, no se vigilen estos aspectos. Es más, es fácil encontrar trabajos en los que claramente se viole al menos uno de ellos, propiciado esto por la naturaleza propia de las variables (algunas no se distribuyen normalmente), el descuido del investigador (no realización de pruebas detectoras de violaciones) o por limitaciones en las técnicas de corrección (en algunos casos la normalidad de las variables no se logra aún con transformaciones). Pese a estas violaciones, a veces es posible obtener modelos por regresión que logran un ajuste muy aceptable a los datos reales (Afifi y Clark, 1984).

Por otro lado, existen algunos criterios que permiten establecer que tan confiables son los modelos y permiten elegir entre ellos el mejor; es decir, esos parámetros permiten establecer que tan parecidos son los valores estimados por cada modelo a los reales que sirvieron para generarlo, y se supone que esa misma confiabilidad se tendrá cuando se desee hacer interpolaciones o intrapoliciones, o sea, estimaciones de la variable dependiente sobre la base de valores de las variables independientes. Entre ellos, el más usado es el coeficiente de determinación ( $R^2$  o  $r^2$ ), que toma valores

determinación ( $R^2$  o  $r^2$ ), que toma valores entre cero y uno, y mientras más cerca de uno sea el valor de  $R^2$ , el modelo será más confiable, y un valor de cero para  $R^2$  significa una total independencia entre los valores de la variable dependiente y los de las variables independientes (Infante y Zárate, 1984). En algunos casos se considera a la  $R^2$  ajustada en lugar de la  $R^2$  simple, con lo que se intenta evitar la inclusión de variables de valor marginal en el modelo (Myers, 1990). Otro estadístico,  $C(p)$ , ha sido propuesto como criterio para la selección del modelo adecuado y permite, al igual que la  $R^2$  ajustada, evitar variables de valor marginal en el modelo; se considera (Myers, 1990) que mientras más pequeño, mejor será el modelo e incluso se recomienda (SAS Institute, 1985) que se seleccionen aquellos modelos cuyo  $C(p)$  se acerque a  $p$  (número de variables independientes en el modelo). Aunque se recomienda (Myers, 1990; Thornley, 1976; Afifi y Clark, 1984) que se utilicen, además, otros criterios en la selección de los modelos (análisis de residuales, entre otros), es difícil encontrar trabajos en los que se seleccionen los modelos con base en otro criterio que no sea la  $R^2$  simple; es más, en muchos trabajos se aceptan modelos con  $R^2$  súmamente bajas, en el orden de 0.4 a 0.5 ó menores (Schwartz *et al.*, 1997; Meng y Arp, 1992; Meng *et al.*, 1994; entre muchos otros), que denotan una grande falta de ajuste de los modelos.

El durazno es una especie de amplia distribución en México y el mundo, y su cultivo con bases científicas se está ampliando en ambientes muy variados (Becerril-Román y Rodríguez-Alcázar, 1989), lo que la convierte en un modelo biológico para el estudio de procesos anatómicos, fisiológicos y fisiotécnicos, entre los que se incluyen los relativos al efecto que tiene el ambiente sobre la fotosíntesis, respiración, partición de carbohidratos, crecimiento y otros procesos. En este contexto, la investigación sobre los frutales, y en específico del durazno, se vería facilitada si se incorporara el uso de modelos matemáticos basados en variables no destructivas, para la estimación de variables que normalmente se evalúan usando métodos destructivos, entre las que destaca el contenido de materia seca, a fin de evitar la destrucción de plantas valiosas de difícil recuperación.

El contenido de materia seca se usa ampliamente en el estudio de plantas como indicador de la intensidad de crecimiento y de la producción, gasto y partición de carbohidratos, que, a su vez, sirven de indicadores de los efectos de los factores ambientales como la luz, la humedad ambiental y aspectos relativos al manejo que afectan a los primeros (Zamski y Schaffer, 1996).

El contenido de materia seca de una rama depende de varias de sus características, como su longitud, su diámetro (variable a lo largo de la rama), su forma y su avance en lignificación, por lo que estas características podrían usarse en la estimación de la materia seca de las ramas.

Es fácil comprender que mientras mayores sean las dimensiones de la rama, mayor será su volumen y, si

otras características no cambian, también será mayor el contenido de materia seca. Se puede observar que las ramas de durazno, de manera general, tienen forma de cono: perfil transversal tendiente a ser circular; diámetro basal grueso y terminan más o menos en punta, excepto las ramas podadas, que toman más semejanza al cono truncado, por lo que su volumen aproximado podría estimarse mediante las fórmulas que se usan para esas figuras geométricas. De esta manera, podría usarse el volumen estimado por las fórmulas del cono y del cono truncado como variables independientes en un modelo que estime la materia seca.

Sin embargo, existen algunas características de las ramas que las “deforman” y harían menos confiable la estimación basada en el volumen calculado por fórmulas; entre otras, están las yemas, que en durazno son muy grandes y se presentan varias en cada nudo, lo que aumentaría el volumen de las ramas. Una consideración que se debe hacer es que las ramas jóvenes, de reducida lignificación, tienen mayor cantidad de yemas (y, por tanto, mayor contenido de materia seca), mientras que las más lignificadas (de madera dura) ya han perdido casi todas sus yemas, ya sea porque brotaron o porque se cayeron, por lo que la variable independiente número de yemas podría incorporarse en los modelos que estimen la materia seca de ramas jóvenes pero no en aquellos que lo hagan en ramas duras.

Otro factor que afecta la estimación del peso seco por sesgar del real el volumen de las ramas calculado mediante fórmulas del cono, es el aplanamiento en sentido adaxial-abaxial (arriba-abajo) que se presenta en muchas de las ramas, sobre todo en la base.

Por otro lado, mientras más lignificada sea una rama, mayor será el contenido de materia seca, toda vez que sus células tienen un menor contenido de agua, paredes celulares más engrosadas con lignina y suberina, mayor contenido de sólidos (carbohidratos, lípidos, proteínas, fenoles, etc.) y mayor cantidad de tejidos (colénquima, esclerénquima, xilema y floema) en los que estas características se acentúan más (Esau, 1972). Esta consideración y la relativa al número de yemas (ver arriba) podrían motivar la generación de modelos que estimen el peso seco para las ramas de diferente avance de lignificación.

En este trabajo se plantearon como objetivos encontrar modelos para la estimación de las variables peso fresco y peso seco de ramas de durazno, y evaluar la confiabilidad de los modelos encontrados para la estimación de las variables mencionadas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Material Vegetal.** Se utilizaron plantas de durazno del cultivar Diamante injertadas sobre portainjertos criollos propagados por semilla, de Altotonga, Veracruz, de 14

meses desde la injertación. Fueron manejadas de una manera considerada normal: fueron podadas con una severidad media en el invierno anterior, eliminando la tercera parte de la parte distal de las ramas; fueron fertilizadas con 150 g de urea en febrero (inicios de la brotación) y el 15 de junio, y se mantuvo el suelo libre de malezas.

**Sitio Experimental.** El estudio se realizó en un huerto localizado en las cercanías de Arroyo Colorado, próximo a Altotonga, en el estado de Veracruz, México, que tiene un clima semicálido con lluvias todo el año, y una altitud aproximada de 800 msnm (García, 1988).

**Evaluación.** Se utilizaron seis plantas cuyas ramas se marcaron y se identificaron. Se evaluaron las variables en septiembre de 1996 en todas ellas, incluido el tronco, que fueron las siguientes.

- a) Dureza. Se evaluó sobre la base de la escala presentada en el Cuadro 1.
- b) Diámetro (mm). El diámetro de las ramas no podadas se midió en la base; el de las podadas se midió en la base y en la punta, y en cada uno de esos puntos se hizo en dos sentidos: arriba-abajo (adaxial-abaxial) y lateral, y se calculó el promedio en cada punto. En la base la medición se hizo inmediatamente arriba del hinchamiento de la inserción con la rama madre.
- c) Relación diámetros basales lateral / adaxial-abaxial. Se midieron estas dos dimensiones y se calculó su relación, que se usó como un indicador del aplastamiento en la base de las ramas.

**CUADRO 1. Escala usada para la evaluación de la dureza de las ramas de árboles de durazno.**

Dureza	Descripción de las Ramas
1	Ramas suculentas, recién aparecidas, de color verde, flexibles, foliadas.
2	Ramas jóvenes, con incipiente lignificación, menos flexibles que las recién aparecidas, con una corteza en la base que empieza a perder el color verdoso y adquieren un color café con tonos rojizos.
3	Las ramas tienen poca flexibilidad; la corteza de color café en la mitad basal sustituye a la epidermis.
4	Las ramas son de madera dura, lignificada, suberificada e inflexible; no foliadas; de años anteriores; con corteza bien formada de color café claro a café rojiza.

- d) Longitud (cm). Se midió la longitud de las ramas desde la base hasta la punta.

- e) Número de hojas. Se tomó como un estimador del número de yemas.
- f) Peso fresco (g). A todas las ramas se les pesó con una balanza después de ser cortadas. Para evitar la deshidratación mientras se hacían las mediciones, después de cortadas, se envolvieron en bolsas individuales de polietileno cerradas, a las que se les extrajo el aire y se mantuvieron en refrigeración. El peso fresco de cada rama se tomaba inmediatamente antes que su volumen.
- g) Peso seco (g). Todas las ramas se metieron a una estufa a 70 °C por 3 días, verificando que hasta las más gruesas perdieran toda el agua. Después de eso se les midió el peso.
- h) Volumen fresco calculado por fórmulas (cm<sup>3</sup>). Con los datos de diámetros promedio basal y apical y longitud de las ramas, se calculó para cada rama el volumen usando para ello las fórmulas del cono y del cono truncado, aplicadas a las ramas no podadas y podadas, respectivamente.

**Procedimiento.** Se consideró a la variable peso seco como la de interés principal y se buscó la generación de modelos basados en otras variables que la estimen. Se tuvo la intención de generar:

- a) Un modelo (para cada grado de dureza) que estimase el volumen de las ramas con base en las variables volumen calculado por la fórmulas del cono y del cono truncado, relación de diámetros basales y número de hojas.
- b) Otro modelo (uno por grado de dureza de ramas) que estimase el peso fresco con base en el volumen.
- c) Un modelo (para cada grado de dureza de ramas) que estimase el peso seco de las ramas con base en el peso fresco de las mismas.

Sin embargo, se presentaron serias dificultades en la medición de la variable volumen de ramas por desplazamiento de agua en un recipiente graduado, debido a las burbujas de agua que se adhieren a la rama, que impiden una evaluación correcta del volumen y que fueron muy difíciles de eliminar, lo que hacía esta evaluación sumamente tardada y difícil. Posteriormente, pese a que se solucionó ese problema, se evaluó la posibilidad de no considerar a dicha variable en la ruta de la estimación del peso seco, para lo que se trató de encontrar modelos que estimaran el peso fresco directamente con base en el volumen calculado por fórmulas y se encontraron unos con un excelente ajuste, por lo que los pasos (a) y (b) se condensaron en uno solo. El paso (c) se verificó como se señala arriba.

- a) **Modelo para Estimar el Peso Fresco.** Con los datos de las ramas relativos a las variables volumen calculado por fórmulas, relación de diámetros basales y número de hojas, en forma lineal y cuadrática, y sus interacciones simples, se buscaron modelos que estimaran el peso fresco con ayuda del procedimiento Reg de SAS, usando para ello el método de selección de variables Stepwise, y permitiendo solamente la incorporación de variables que fueran significativas con una probabilidad de 0.05. Se solicitó además una prueba de multicolinealidad de las variables mediante la opción Collin, y una prueba de normalidad con el procedimiento Univariate.
- b) **Modelo para Estimar el Peso Seco.** Para esta variable se hizo lo mismo que para la anterior, utilizando para ello a la variable peso fresco.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Modelos para Estimar el Peso Fresco.** Con el procedimiento indicado arriba se obtuvieron varios modelos, de los cuales el procedimiento REG de SAS eligió uno para cada dureza de ramas, que normalmente tenían las mayores  $R^2$  simple y ajustada, y la menor  $C(p)$ , y se presentan en el Cuadro 2.

**CUADRO 2.** Modelos seleccionados para estimar el peso fresco de ramas de durazno de varios grados de dureza.

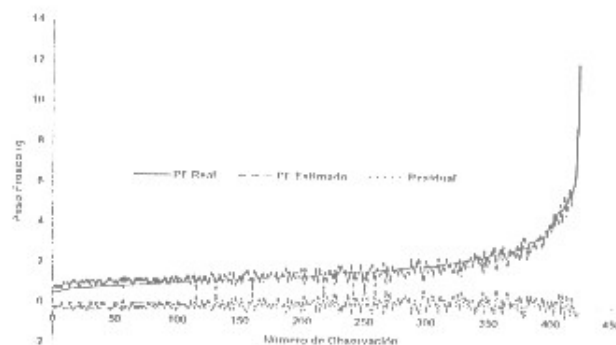
Dureza	Modelo Seleccionado	n	$R^2$	$R^2$ Ajustada	$C(p)$
1	PF = 0.6954 + 0.111 (NH) + 0.0671 (VFFNH)	424	0.9446	0.9443	3
2	PF = 1.3955 + 1.252 (VFF) - 0.0072 (VFF <sup>2</sup> ) + 0.0307 (VFFNH)	103	0.9683	0.9674	4
3	PF = 3.7402 (VFF) - 0.0027 (VFF <sup>2</sup> ) - 2.3545 (VFFRDB) + 0.013 (VFFNH)	142	0.9812	0.9807	5
4	PF = 1.346 (VFFRDB)	20	0.9732	0.9701	1.299

PF = peso fresco; NH = número de hojas; RDB = relación de diámetros basales; VFF = volumen calculado por fórmulas del cono y cono truncado; n = número de observaciones

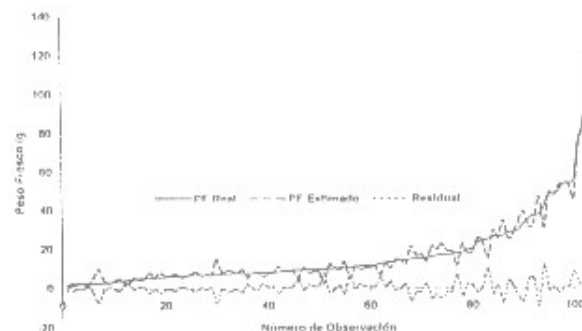
En los modelos obtenidos para obtener el peso fresco se tiene un alto ajuste, indicado por las elevadas  $R^2$ , la  $R^2$  ajustada y las bajas  $C(p)$  que presentaron. Adicionalmente, la prueba correspondiente indicó en todos los casos que no existe multicolinealidad entre las variables independientes, y todas ellas son significativas con una  $p = 0.05$ , por lo que su presencia se justifica en los modelos presentados.

Sin embargo, las pruebas de normalidad indicaron que las variables no se distribuyen de manera normal, violándose así este supuesto. Pese a que se intentó normalizar los datos contras transformaciones (log, log<sub>e</sub>, valores cuadráticos, etc.), no se logró y se decidió utilizar los datos originales. Esta falta de normalidad se debe muy probablemente a la naturaleza misma que las variables toman por tratarse de ramas de dimensiones variables:

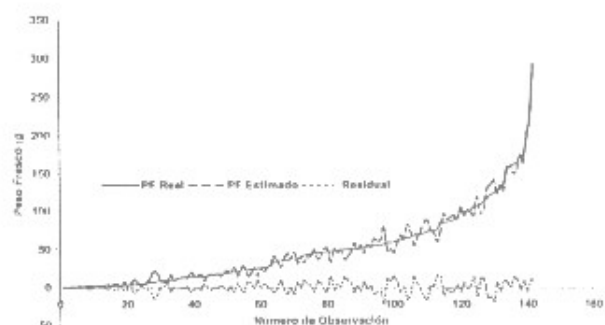
en un árbol son más frecuentes las ramas de menor tamaño que las grandes; esto se nota en el número de observaciones que se tienen para las ramas de diferente dureza: para la dureza 1 se tienen 424 ramas mientras que para la dureza 4, solamente 20, con valores intermedios para las durezas 2 y 3. Adicionalmente, dentro de cada dureza, la distribución tampoco fue normal; las ramas más pequeñas fueron más abundantes, lo cual se nota en las Figuras 1 a 4, en las que se presentan los datos de peso fresco real, el estimado y los residuales. En ellas también se observa que los residuales no siguen una tendencia clara, por lo que tal vez su alejamiento de la normalidad no es tan alto.



**Figura 1.** Pesos frescos real y estimado por el modelo seleccionado para las ramas de dureza 1 de duraznero.



**Figura 2.** Pesos frescos real y estimado por el modelo seleccionado para ramas de dureza 2 de duraznero.



**Figura 3.** Pesos frescos real y estimado por el modelo seleccionado para ramas de dureza 3 de duraznero.

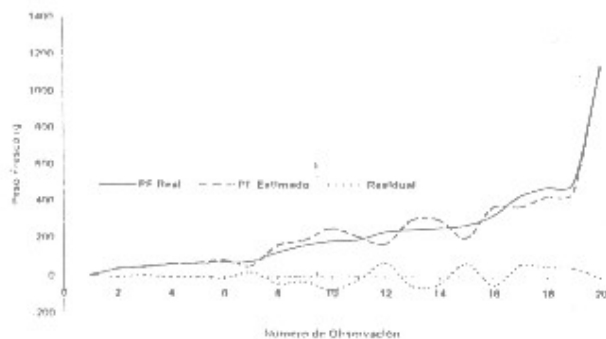


Figura 4. Pesos frescos real y estimado por el modelo seleccionado para ramas de dureza 4 de durazno.

CUADRO 3. Valores de las  $R^2$  parciales de las variables independientes de los modelos seleccionados para estimar el peso fresco de las ramas de durazno de varios grados de dureza.

Dureza de Ramas	Variable	$R^2$ Parcial
1	NH	0.0577
1	VFFNH	0.8869
2	VFF	0.2557
2	VFF <sup>2</sup>	0.4854
2	VFFNH	0.2272
3	VFF	0.8530
3	VFFRDB	0.0649
3	VFFNH	0.0534
3	VFF <sup>2</sup>	0.0099
4	VFFRDB	0.9732

VFF = volumen calculado por las fórmulas del cono; NH = número de hojas  
RDB = relación de diámetros basales

Por otro lado, revisando las variables que participan en los modelos, se nota que la variable volumen calculado por las fórmulas (VFF) tiene una participación primaria en los modelos, en su forma lineal, en la forma cuadrática y en interacción con otras variables, lo cual resulta lógico ya que es de esperarse que el comportamiento de esta variable sea muy similar al del peso fresco; es decir, que una rama de mayores dimensiones tenga un peso fresco mayor. Lo anterior se comprueba con las  $R^2$  parciales para las variables, notándose en el Cuadro 3 que los mayores valores los toman VFF y sus modalidades.

**Modelos para Estimar el Peso Seco.** En la generación de los modelos para estimar el peso seco, fue suficiente la incorporación de la variable peso fresco para obtener modelos aceptables, lo cual resulta un tanto lógico si consideramos la estrecha relación que existe entre estas dos variables.

Sin embargo, resulta un tanto sorprendente que el modelo general para todas las ramas tenga tan alto ajuste; de hecho, su  $R^2$  fue superior a la de los modelos de cada tipo de rama, lo que indica que sería posible usar el modelo general con igual (o superior) confianza que éstos, excepción hecha, tal vez, en el caso de las

ramas que tengan un peso fresco cercano a cero, por los sesgos que el modelo general pudiera propiciar por el valor de su interceptada, que difiere bastante de las de los demás modelos (Cuadro 4). La  $C(p)$ , otro indicador del ajuste de los modelos, resultó aceptablemente baja e igual para todos (2.0). Si consideramos, además, que tanto la interceptada, en su caso, como la variable peso fresco fueron incluidas en los modelos por ser significativas con una  $P \leq 0.05$  podemos decir que los modelos tienen un ajuste aceptable, que se pone de manifiesto en la Figura 5, en la que se presenta la graficación de los valores del peso seco real, del estimado por el modelo general y los respectivos residuales.

CUADRO 4. Modelos seleccionados para estimar el peso seco de ramas de durazno de varios grados de dureza.

Dureza	Modelo	n	$R^2$	$C(p)$
1	PS = $-0.0725 + 0.5307$ PF	712	0.9802	2.0
2	PS = $0.5187$ PF	122	0.9966	2.0
3	PS = $0.7694 + 0.5243$ PF	171	0.9955	2.0
4	PS = $0.5925$ PF	27	0.9980	2.0
General	PS = $-0.7484 + 0.5804$ PF	1031	0.9972	2.0

PS = peso seco; PF = peso fresco, n = número de observaciones

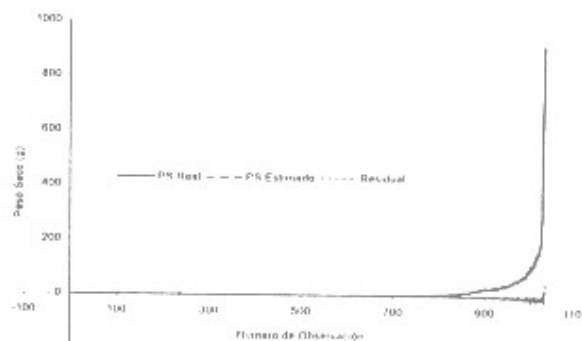


Figura 5. Pesos secos real y estimado por el modelo general seleccionado, y sus respectivos residuales, para ramas de duraznero.

## CONCLUSIONES

De este trabajo se pueden extraer algunas conclusiones. Las variables peso fresco y peso seco de las ramas del durazno pueden ser estimadas por modelos matemáticos sin la necesidad de destruir las ramas, y esos modelos tienen una alta confiabilidad, indicada por los valores de sus coeficientes de determinación ( $R^2$ ) y sus  $C(p)$ . Para la determinación del peso fresco, la principal variable independiente en los modelos generados es el volumen calculado por fórmulas, aunque también intervienen de manera significativa el número de hojas (para los modelos de las ramas de dureza 1, 2 y 3) y la relación de

diámetros adaxial-abaxial y lateral. Para la estimación del peso seco, los modelos generados se basan exclusivamente en la variable peso fresco. Para estimar el peso fresco se debe aplicar el modelo que corresponda al tipo de dureza de las ramas en cuestión, mientras que para la estimación del peso seco se puede aplicar uno específico para la dureza de las ramas, aunque también se puede aplicar uno general, que es igualmente confiable para las ramas que tengan un peso fresco no muy cercano a cero.

### LITERATURA CITADA

- AFIFI, A.A.; CLARK, V. 1984. Computer-Aided Multivariate Analysis. Ed. Lifetime Learning Publications. U S A. pp. 48-67, 142-146.
- BECERRIL-ROMÁN, A.E.; RODRÍGUEZ-ALCÁZAR, J. 1989. Producción forzada en frutales de clima templado. *In: Memorias del Simposium Producción Forzada en Frutales*. Ed. Colegio de Postgraduados. México. pp.13-17.
- DROPKIN, V.H. 1980. Introduction to Plant Nematology. Ed. Wiley-Interscience. U S A. p. 33.
- ESAU, K. 1972. Plant Anatomy. Ed. John Wiley and Sons, Inc. U S A. pp. 46, 78.
- GARCÍA, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Ed. UNAM. México. pp. 27, 35.
- INFANTE G., S.; ZÁRATE DE L., G.P. 1984. Métodos Estadísticos. Ed. Trillas. México. pp. 463-467, 513-515.
- MENG, F.R.; ARP, P.A. 1993. Net photosynthesis and stomatal conductance of red spruce twigs before and after twig detachment. *Canadian Journal of Forest Research* 23(4):716-721.
- MYERS, R.H. 1990. Classical and Modern Regression with Applications. Ed. PWS-Kent Publishing Company. U S A. pp. 3, 26-32, 37, 39, 56, 60-66, 277-367.
- SAS Institute Inc. 1985. SAS/STAT Guide for personal computers, version 6 edition. Ed. SAS Institute Inc. U S A. pp. 280-281.
- SCHWARTZ, M.D.; CARBONE, G.J.; REIGHARD, G.L.; OKIE, W.R. 1997. A model to predict peach phenology and maturity using meteorological variables. *Hortscience* 32(2):213-216.
- SUTTON, T. B. 1996. Changing options for the control of deciduous fruit tree diseases. *Annual Review of Plant Phytopathology* 34:527-547.
- THORNLEY, J.H.M. 1976. Mathematical Models in Plant Physiology. Ed. Academic Press. U S A. 318 pp.
- ZAMSKI, E.; SCHAFFER, A.A. (eds.). 1996. Photoassimilate distribution in plants and crops. Ed. Marcel Dekker Inc. U S A. 904 pp.