

## Biomasa aérea de ejemplares de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) en dos localidades del Parque Chaqueño Seco

*Aerial biomass of individuals of Quebracho blanco (Aspidosperma quebracho-blanco) in two towns  
(localities) of the Dry Chaco Park*

C. Gaillard de Benítez<sup>1</sup>; M. Pece<sup>1</sup>; M. Juárez de Galíndez<sup>1</sup>;  
A. Maldonado<sup>2</sup>; V. H. Acosta<sup>2</sup>; A. Gómez<sup>3</sup>

Recibido en octubre de 2000; aceptado en mayo del 2000

### RESUMEN

Además de la producción de madera y leña, para la valoración del Parque Chaqueño Seco, es importante determinar su capacidad para fijar carbono y ofrecer otros productos no maderables. Un primer paso para ello es la construcción de funciones que permiten estimar la biomasa aérea individual de sus árboles y arbustos. Aquí se presentan los resultados de las determinaciones de biomasa por pesada directa en 30 quebrachos blancos (*Aspidosperma quebracho-blanco*) de dos sitios del Parque Chaqueño Seco en la Provincia de Santiago del Estero, Argentina. Mediante técnicas de regresión (mínimos cuadrados lineales y no lineales y utilizando diversas variables independientes, entre ellas una "dummy" para representar la localidad) se seleccionó una ecuación que permite estimar el peso seco individual total en función del diámetro y el sitio. También se estudiaron relaciones estructurales para describir la forma de la especie en los dos sitios.

**Palabras Clave:** *Aspidosperma quebracho-blanco*, biomasa aérea individual, regresiones de biomasa, relaciones estructurales, Santiago del Estero, Argentina

### ABSTRACT

Further the production of wood and firewood, to value the forest in the Dry Chaco, is important to determinate its capacity to sink carbon and to offer other non-timber products. A first step to this knowledge is to construct functions to estimate the individual over-ground biomass of its trees and shrubs. Here the results of the biomass determinations by complete weight in 30 quebrachos blancos (*Aspidosperma quebracho-blanco*) in two localities of the Dry Chaco Region in Santiago del Estero, Argentina, are presented. A function was selected using regressions methods (lineal and non-lineal least squares with different independent variables, a dummy among them to express the site), to estimate individual total dry weight with diameter and site as independent variables. Structural relations were investigated to describe the trees of the two sites

**Key words:** *Aspidosperma quebracho-blanco*, individual over-ground biomass, biomass regressions, structural relations, Santiago del Estero, Argentina

<sup>1</sup> Cátedra Estadística Forestal, Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (s) 1912. 4200 Santiago del Estero. Argentina. Tel./Fax: (0385)450-9550. E-Mail: benitez@unse.edu.ar

<sup>2</sup> Cátedra de Silvicultura, Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

<sup>3</sup> Ayudante de investigación, CICyT - U.N.S.E.

## 1. INTRODUCCIÓN

El mundo se halla frente a graves problemas de alteración de la naturaleza provocados por el hombre. Entre ellos, el cambio de la composición de la atmósfera, con un aumento de dióxido de carbono y otros gases, que ocasiona el conocido efecto de invernadero. Como aproximadamente el 50% de la materia orgánica vegetal es carbono, el intercambio del mismo con la atmósfera se puede predecir y estimar conociendo la biomasa (cantidad de materia expresada en peso seco a estufa) y su crecimiento.

Carpenter (1984) cita otras causas, además del cambio climático, que motivan la estimación de la biomasa: su uso como fuente renovable de energía y de compuestos químicos orgánicos; su capacidad para cuantificar la productividad biológica de un monte y para la descripción del ciclo de nutrientes.

Por todos estos motivos, en el mundo son numerosos los estudios para la estimación de la biomasa y de su crecimiento en los bosques. El primer paso para ello es la determinación de la biomasa individual de árboles y arbustos.

La determinación por pesada completa es trabajosa, destructiva y consume mucho tiempo, especialmente en árboles. Es por ello que se recurre a la determinación de funciones que permiten estimar la biomasa total y la de sus componentes (fuste, ramas, ramitas, hojas, flores y frutos) utilizando variables independientes de fácil medición como el diámetro a la altura de pecho, la altura total, la altura del fuste, la altura de la copa y el diámetro de la copa.

La determinación de estas funciones por regresión y el estudio de sus errores, ha sido objeto de un taller cuyos trabajos fueron compilados por Wharton y Cunia (1987), en donde también se discutió la optimización de un modelo para submuestrear árboles y evitar la pesada completa (Cunia, 1987). El tiempo y esfuerzo requerido para la determinación directa por pesada de la biomasa de ejemplares de quebracho blanco han sido cuantificados por Gaillard de Benítez et al. (2000).

El submuestreo de árboles permite disminuir el tiempo de pesada de cada individuo pero, en contraposición, solo proporciona una estimación del peso. En nuestro país Vélez et al. (1988), experimentaron el método de submuestreo de Tritón en fuste y ramas de ocho quebrachos blancos y no encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la pesada completa y el submuestreo. Este procedimiento no evita el apeo del árbol.

Los elementos básicos para estimar la biomasa y su cambio en bosques tropicales se encuentran en Brown, 1997. Esta autora presenta, entre otras, dos ecuaciones determinadas para bosques tropicales secos a los que define como de balance hídrico negativo y con una estación seca de varios meses. El primero de ellos con una precipitación de 1200 mm anuales situado en la India y el segundo en México con unos 700 mm anuales (Martínez-Yrizar et al., 1992). Ambos bosques son de follaje caduco.

Los estudios que aquí se presentan se realizaron en el marco de un proyecto subvencionado por Consejo de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Santiago del Estero que comenzó en 1999 y tendrá una duración de cinco años. Anualmente se estudia una especie arbórea y una arbustiva, en dos sitios de Santiago del Estero y se determinan las funciones que permiten estimar la biomasa de sus componentes. Las especies a estudiar son: quebracho blanco, quebracho colorado, algarrobo, mistol y chañar, mientras que las arbustivas son: jarilla, piquillín, tala pispita, atamisquí y garabato.

En este trabajo figuran los resultados de las mediciones de 30 quebrachos blancos (*Aspidosperma quebracho-blanco*), apeados en dos sitios diferentes y la función seleccionada para estimar la biomasa individual. También se dan a conocer algunas relaciones estructurales para describir la forma de los árboles en ambas localidades.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Tamaño de la muestra

Cuando se usa la pesada completa para determinar la biomasa de individuos es necesario su abatimiento. Posteriormente y mediante técnicas de regresión, se seleccionan las ecuaciones que relacionan el peso seco ( $p_s$ ) total y los de sus componentes (fuste, ramas, ramitas, hojas, etc.) con otras dimensiones del árbol, por ejemplo el diámetro a 1,3 ( $d$ ), el diámetro a la base ( $d_b$ ), la altura total ( $h$ ), la altura del fuste ( $h_f$ ), la altura de la copa ( $h_c$ ), el diámetro de la copa ( $d_c$ ), etc. En la revisión de la bibliografía referida a este tema, se encontraron grandes diferencias en el número de árboles que los distintos autores utilizaron: 105 ejemplares de *Quercus pyrenaica* (González Doncel, 1989), 14 distribuidos en cinco especies (Deans et al., 1996). Ter-Mikaelian y Korzukhin (1997) en la recopilación en la que incluyen ecuaciones de biomasa para 65 especies arbóreas en América del Norte, informan que el número de árboles apeados para la obtención de cada función varía desde 4 a 734.

En busca de un número adecuado a los fines prácticos (tiempo y dinero disponibles y protección del bosque) se decidió apea 15 quebrachos blancos en cada uno de dos sitios diferentes la Provincia de Santiago del Estero, ambos pertenecientes al Parque Chaqueño Seco. A pesar de los resultados obtenidos por Vélez et al. (1988), se optó por la pesada completa de los ejemplares abatidos, para lograr mayor calidad en la información obtenida de cada individuo.

### Características de los sitios

Ambos se encuentran en el Parque Chaqueño Seco. La María, a los 28° 01' de latitud Sur y 64° 17' de longitud Oeste, es el campo experimental del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), ubicado a 30 km al sur de la ciudad de Santiago del Estero, en la zona de transición de la llanura aluvial del Río Dulce y la planicie pedemontana de las Sierras de Guasayán (Lorenz, 1995). El segundo sitio, en las proximidades de Monte Quemado a 25° 50' de latitud Sur y 62° 49' de longitud Oeste, se encuentra cerca de la esquina Noreste de la provincia en el denominado paleoabánico aluvial del Río Salado (Thren, 1994).

Ambas localidades forman parte de una planicie loésica. Se trata de suelos ligeramente evolucionados con un perfil típico A-C-AC, poco profundos sin estructura o débilmente estructurados. No presentan un horizonte de acumulación de arcilla, la textura es franco limosa y poseen buen drenaje.

El clima es continental con veranos muy calientes (hasta 45° C) e inviernos fríos (hasta -10° C). Las precipitaciones, dentro de la Provincia de Santiago del Estero, varían de Noreste a Sudoeste (cerca de 800 mm anuales en Monte Quemado a 550 mm anuales en La María) con distribución estacional, comenzando a fines de la primavera y finalizando en el otoño. El balance hídrico es negativo durante todo el año (Boletta, 1988).

La vegetación de la zona es la que corresponde a los bosques de quebracho, donde originariamente predominaban los quebrachos colorados (*Schinopsis quebracho-colorado*) y blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*). La intensa explotación forestal y el pastoreo han transformado los bosques dejándolos empobrecidos, aumentando la importancia de las especies secundarias como mistol (*Zizyphus mistol*), chañar (*Geoffoea decorticans*) y otras que constituían un segundo estrato arbóreo. El estrato arbustivo también aumentó su riqueza y cobertura.

El bosque existente en el paraje Rincón del Valle (a unos 10 km al sur de Monte Quemado sobre la ruta provincial N° 92) corresponde a un monte explotado, que se encuadra en lo que

Thren (1994) clasifica como bosque tipo 2, y al que adjudica un área basal de 7.8 m<sup>2</sup>/ha, una densidad de 237 árboles por ha de los cuales 82 son quebrachos blancos cuya altura media es de 8.5 m. La contribución a la masa de los dos quebrachos es de 53% en cuanto a número de individuos y 51% en área basal.

El bosque de La María tiene 224 árboles por ha de los que 110 corresponden a la especie que es motivo de este estudio, con un área basal de 6.6 m<sup>2</sup>/ha y una altura media de 6.4 m. El 60% de los individuos y el 62% del área basal pertenecen a los dos quebrachos.(Brassiolo et al., 1993).

### **Selección y medición de los árboles**

La selección de los árboles apeados se hizo al azar estratificado. Las clases diamétricas (10 a 20, 20 a 30, 30 a 40, 40 a 50 y 50 ó más) constituyeron los estratos en cada uno de los cuales se eligieron tres individuos. El procedimiento consistió en ubicar al azar un punto en el bosque y buscar en sus alrededor un ejemplar sano de una determinada clase diamétrica. Los rangos de diámetro abarcados por la muestra fueron de 13 a 52,8 cm en Monte Quemado y de 17,1 a 57,6 cm en La María.

En los ejemplares en pie se midieron las siguientes variables:  $d$  en cm,  $h$  en m,  $h_f$  en m,  $h_c$  en m, diámetro mayor de copa y su perpendicular. Los árboles fueron cortados y pesados sus componentes: fuste, ramas (de 5 cm de diámetro ó más), ramitas (de menos de 5 cm), hojas y ramillas (en forma conjunta ya que resulta muy difícil separar las hojas de las ramillas que tienen unos 2 o 3 mm de diámetro) y frutos (verdes y secos).

La altura de la copa ( $h_c$ ) es la altura de copa verde y se calculó por diferencia entre la altura total y la altura de la rama verde más baja. El diámetro de la copa ( $d_c$ ) se obtuvo como la media geométrica de los dos diámetros medidos.

### **Pesada en campo (determinación de peso húmedo)**

Para pesar los distintos componentes en el campo se utilizaron los siguientes elementos:

- Balanza de plataforma (hasta 150 kg con precisión de 100 gramos) en la que se pesó como mínimo 5 kg.
- Balanza tipo pilón (hasta 50 kg con precisión de 250 gramos) para pesos desde 12 kg. Esta balanza permite colgar los elementos a pesar y por ello resulta apropiada para los paquetes de ramas que por su forma y volumen, no se pueden pesar en la balanza de plataforma.

Para los pesos menores de 5 kg, como los de los frutos, se llevó el material al laboratorio y se lo pesó con balanza de precisión.

### Determinación del peso seco

La estimación de los pesos secos de los distintos componentes en cada individuo se hizo utilizando estimadores de razón (R). Para su determinación se tomaron muestras que fueron pesadas con balanza de precisión y secadas hasta peso constante en estufa a 105 °C. La razón  $R_i$  correspondiente al  $i$ ésimo componente, se estimó de la siguiente manera:

$$\hat{R}_i = \frac{P_{smi}}{P_{hmi}}$$

Donde:

$P_{sm_i}$  = peso seco de la muestra del  $i$ ésimo componente,

$P_{hm_i}$  = peso húmedo de la muestra del  $i$ ésimo componente.

Las muestras para el cálculo de los  $\hat{R}_i$  se tomaron como sigue:

Del fuste: un disco a la altura del tocón, otro en la mitad del fuste y el restante en el extremo superior. A diferencia del procedimiento dado por Brown (1997), quien recomienda tomar varias muestras de cada componente, calcular un valor de R en cada una de ellas y utilizar la media aritmética de esas razones, aquí se utilizó un único valor de R para cada componente obtenido mediante el cociente de la suma de los pesos secos entre la suma de los pesos húmedos, por considerar que para esta situación es apropiado el uso de un estimador de razones por darse las condiciones recomendadas por De Vries, 1986: la relación entre peso seco y húmedo es lineal y la ordenada al origen es cero.

De las ramas (de más de 5 cm de diámetro): cinco discos provenientes de ramas de diferentes diámetros.

De las ramitas (de menos de 5 cm de diámetro) se eligieron ramas de los distintos diámetros hasta un peso de aproximadamente 500 gramos.

Del follaje y los frutos: se separaron unos 200 gramos de los mismos.

Una vez obtenido  $\hat{R}_i$ , se procedió a la estimación del peso seco del  $i$ ésimo componente ( $\hat{p}_{s_i}$ ) multiplicando el peso húmedo total de dicho componente ( $p_{h_i}$ ) por la respectiva razón ( $\hat{R}_i$ ):

$$\hat{p}_{s_i} = \hat{R}_i p_{h_i}$$

El peso seco total se obtuvo sumando todos los componentes:

$$\hat{p}_{st} = \sum_i \hat{p}_{s_i}$$

Para describir las características de los árboles de los dos sitios, se calcularon los promedios de las distintas variables y de las contribuciones porcentuales de los componentes para todas las clases diamétricas.

### Determinación de las regresiones del peso seco individual total en función del diámetro a la altura de pecho

Con las distintas variables medidas en campo:  $d$ ,  $h$ ,  $h_f$ ,  $h_c$ ,  $d_c$  y combinaciones y transformaciones de ellas se seleccionaron aquellas que mostraron una alta correlación con el peso seco total ( $p_{st}$  en kg). Utilizando los softwares estadísticos BMDP e INFOSTAT se ajustó por mínimos cuadrados a modelos lineales y no lineales, con y sin ponderaciones.

Se incluyó también a una variable “dummy” que representa a los sitios ( $z = 1$  en La María y  $z = 0$  en Monte Quemado). La incorporación de una variable “dummy” para el sitio es recomendada por van Laar y Akça (1997), quienes al comentar los resultados obtenidos por otros autores advierten que el sitio no fue influyente en presencia del diámetro como variable predictora. Los principales modelos probados son:

$$(1) \hat{p}_{st} = b_0 + b_1 * d + b_2 * d^2 + b_3 * z + b_4 * d * z$$

$$(2) \hat{p}_{st} = b_0 + b_1 * d^2 + b_3 * z + b_4 * d^2 * z$$

$$(3) \hat{p}_{st} = b_0 + b_1 * d^2 * h$$

$$(4) \hat{p}_{st} = b_0 + b_1 * d^2 * h + b_2 * z + b_3 * z * d^2 * h$$

$$(5) \hat{p}_{st} = b_0 * d^{b_1} * e^{b_2 * z}$$

La ponderación usada fue  $\frac{1}{d^2}$ .

Para estudiar la bondad de ajuste de las funciones obtenidas, se examinó la regresión de los pesos secos totales estimados en función de los valores observados. En dicha regresión, previa comprobación del cumplimiento de los supuestos de normalidad y homocedasticidad, se probaron las hipótesis que siguen: ordenada al origen nula y pendiente unitaria. La elección de la “mejor” función se hizo en base al valor medio de los residuos y a la alternancia de los signos en el sentido de las clases diamétricas.

### Estudio de las relaciones estructurales:

Se estudiaron las relaciones de diversas variables respuesta con el diámetro  $d$  como variable explicativa, las que se listan más abajo.

- a)  $h = f(d)$
- b)  $h_f = f(d)$
- c)  $h_c = f(d)$
- d)  $r_c = f(d)$ .  $r_z$  es la razón de copa viva y se calcula como  $h_c/h$ .
- e)  $por_{fs} = f(d)$ .  $por_{fs}$  es el porcentaje del peso seco del fuste con respecto al peso seco total.
- f)  $por_{rs} = f(d)$ .  $por_{rs}$  simboliza al porcentaje del peso seco de las ramas.
- g)  $por_{ras} = f(d)$ .  $por_{ras}$  es el porcentaje del peso seco de las ramitas.

La posible existencia de regresiones diferentes en ambas localidades (lo que podría indicar diferencias en las formas de los árboles) se estudió con:

- el estadístico “F” para probar si se justifica utilizar una ecuación para cada sitio (disponible en el software BMDP).
- la inclusión de una variable “dummy” en las regresiones para representar el sitio.

Las mediciones se efectuaron en diferentes estados fenológicos por lo que el porcentaje de hojas no fue incluido pues, a pesar de tratarse de una especie con follaje persistente, todavía no se ha determinado cómo y en qué medida se renuevan las hojas.

### **Validación**

No se realizó la validación. Por ser destructiva la obtención de los pesos, además de ser cara y trabajosa, se decidió utilizar todos los árboles para la estimación de las funciones de biomasa.

## **3. RESULTADOS**

### **Pesos**

Los valores medios de peso seco y sus porcentajes de participación en total, se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Media aritmética y coeficiente de variación de los pesos secos de quebracho blanco por componente, sitio y clase diamétrica y media del porcentaje de participación del componente con respecto al peso seco total.

| Componente    | Clase<br>diamétrica<br>(cm) | Peso seco<br>Monte Quemado |           |        | Peso seco<br>La María |           |        |
|---------------|-----------------------------|----------------------------|-----------|--------|-----------------------|-----------|--------|
|               |                             | Media<br>(kg)              | CV<br>(%) | %      | Media<br>(kg)         | CV<br>(%) | %      |
| Fuste         | 10 a 20                     | 43,55                      | 18,48     | 46,75  | 62,23                 | 19,38     | 54,73  |
|               | 20 a 30                     | 96,48                      | 32,01     | 28,74  | 88,5                  | 18,48     | 34,11  |
|               | 30 a 40                     | 284,58                     | 49,11     | 38,27  | 161,36                | 35,70     | 22,66  |
|               | 40 a 50                     | 381,16                     | 8,77      | 29,86  | 264,74                | 12,38     | 22,88  |
|               | >50                         | 693,53                     | 12,99     | 34,80  | 450,15                | 21,99     | 19,13  |
| Ramas         | 10 a 20                     | 24,86                      | 76,72     | 21,15  | 19,75                 | 24,45     | 17,28  |
|               | 20 a 30                     | 133,80                     | 63,51     | 37,38  | 104,35                | 73,03     | 32,88  |
|               | 30 a 40                     | 373,87                     | 53,28     | 46,30  | 383,76                | 27,14     | 53,82  |
|               | 40 a 50                     | 787,10                     | 40,61     | 56,35  | 651,91                | 30,63     | 53,59  |
|               | >50                         | 1069,19                    | 12,34     | 53,45  | 1423,32               | 3,83      | 61,58  |
| Ramitas       | 10 a 20                     | 26,40                      | 43,67     | 25,77  | 25,97                 | 23,72     | 22,68  |
|               | 20 a 30                     | 93,56                      | 59,40     | 28,91  | 78,93                 | 31,36     | 27,67  |
|               | 30 a 40                     | 108,05                     | 83,75     | 12,45  | 136,65                | 28,95     | 19,95  |
|               | 40 a 50                     | 149,25                     | 46,92     | 10,52  | 229,39                | 29,07     | 18,89  |
|               | >50                         | 193,67                     | 21,13     | 9,67   | 379,22                | 52,05     | 15,65  |
| Hojas         | 10 a 20                     | 6,08                       | 28,07     | 6,32   | 6,23                  | 74,03     | 5,07   |
|               | 20 a 30                     | 15,91                      | 21,42     | 4,77   | 14,40                 | 28,84     | 5,11   |
|               | 30 a 40                     | 24,59                      | 64,09     | 2,92   | 20,60                 | 69,43     | 3,08   |
|               | 40 a 50                     | 45,00                      | 41,02     | 3,23   | 51,71                 | 15,28     | 4,40   |
|               | >50                         | 36,41                      | 62,26     | 1,87   | 80,95                 | 7,66      | 3,54   |
| Frutos verdes | 10 a 20                     | 0,00                       | 0,00      | 0,00   | 0,35                  | 173,21    | 0,25   |
|               | 20 a 30                     | 0,91                       | 173,21    | 0,20   | 0,58                  | 164,87    | 0,15   |
|               | 30 a 40                     | 0,49                       | 138,98    | 0,05   | 0,20                  | 12,79     | 0,03   |
|               | 40 a 50                     | 0,58                       | 105,46    | 0,04   | 2,47                  | 149,48    | 0,22   |
|               | >50                         | 4,15                       | 82,55     | 0,21   | 2,01                  | 167,75    | 0,09   |
| Frutos secos  | 10 a 20                     | 0,00                       | 0,00      | 0,00   | 0,00                  | 0,00      | 0,00   |
|               | 20 a 30                     | 0,00                       | 0,00      | 0,00   | 0,29                  | 171,24    | 0,07   |
|               | 30 a 40                     | 0,00                       | 0,00      | 0,00   | 2,85                  | 157,32    | 0,45   |
|               | 40 a 50                     | 0,00                       | 0,00      | 0,00   | 0,30                  | 67,36     | 0,03   |
|               | >50                         | 0,09                       | 99,51     | 0,00   | 0,12                  | 87,17     | 0,00   |
| Peso Total    | 10 a 20                     | 100,89                     | 39,36     | 100,00 | 114,54                | 23,26     | 100,00 |
|               | 20 a 30                     | 340,65                     | 27,78     | 100,00 | 287,06                | 32,33     | 100,00 |
|               | 30 a 40                     | 791,59                     | 41,52     | 100,00 | 705,43                | 10,82     | 100,00 |
|               | 40 a 50                     | 1363,09                    | 27,55     | 100,00 | 1200,51               | 20,14     | 100,00 |
|               | >50                         | 1997,04                    | 9,86      | 100,00 | 2335,72               | 14,53     | 100,00 |

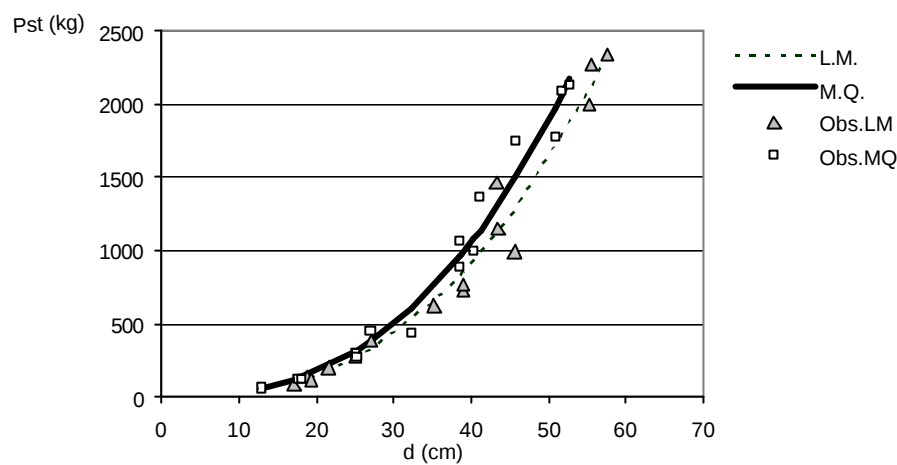
### Determinación de la función para la estimación de peso seco total individual

Los modelos (1) y (2) presentaron problemas de mínimos en el rango o valores negativos. Los modelos (3) y (4) que incluyen a la altura, no justificaron la inclusión del sitio.

La función que se seleccionó por presentar el mayor valor de  $R^2$  (97,09 %) y la mejor alternancia de signos de los residuos según clases de diámetro, fue la obtenida por mínimos cuadrados no lineales utilizando la variable  $z$ :

$$\hat{p}_{st} = 0,0738697 * d^{2,5939} * e^{-0.153009 * z}$$

Esta función presentó un error medio de estimación de  $-1.9$  g y un error medio porcentual de  $-3.1\%$ . La Figura 1 permite observar la diferencia entre los sitios.



**Figura 1.** Pesos secos totales observados y estimados en función del diámetro y el sitio: La María (LM) y Monte Quemado (MQ).

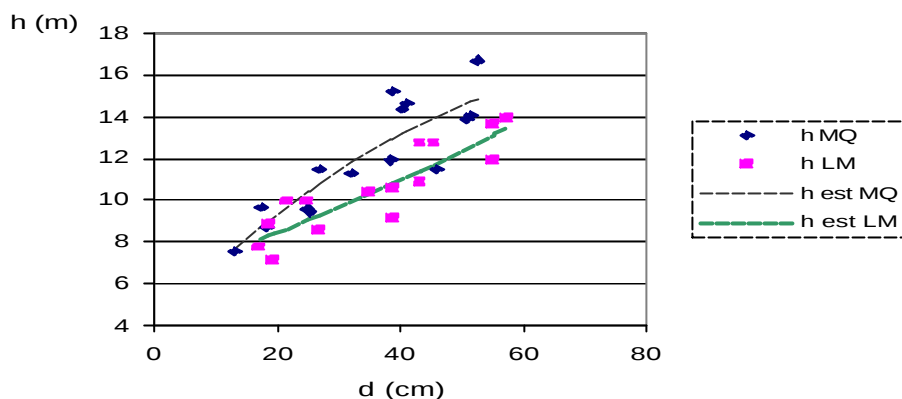
### Relaciones estructurales

El estudio de las relaciones estructurales mencionadas más arriba dio los siguientes resultados.

**a)  $h = f(d)$ .** Se encontró una relación cuadrática diferente para cada uno de los sitios (Figura 2).

Monte Quemado :  $\hat{h} = 3,8952 + 0,3076 * d - 0,0019 * d^2$  ;  $R^2 = 77,6\%$  ;  $p = 0,0001$

La María :  $\hat{h} = 6,4659 + 0,0873 * d + 0,0006 * d^2$  ;  $R^2 = 79,2\%$  ;  $p = 0,0001$



**Figura 2.** Altura total (h) en función del diámetro (d) en La María (LM) y Monte Quemado (MQ). Valores observados (h) y estimados (h est)

En el rango observado las curvas se cortan en un diámetro de aproximadamente 14 cm. Hasta este punto, a igualdad de diámetro, los árboles de Monte Quemado son más bajos que los de La María. A partir de los 14 cm de diámetro, los árboles de Monte Quemado superan en altura a los del otro sitio.

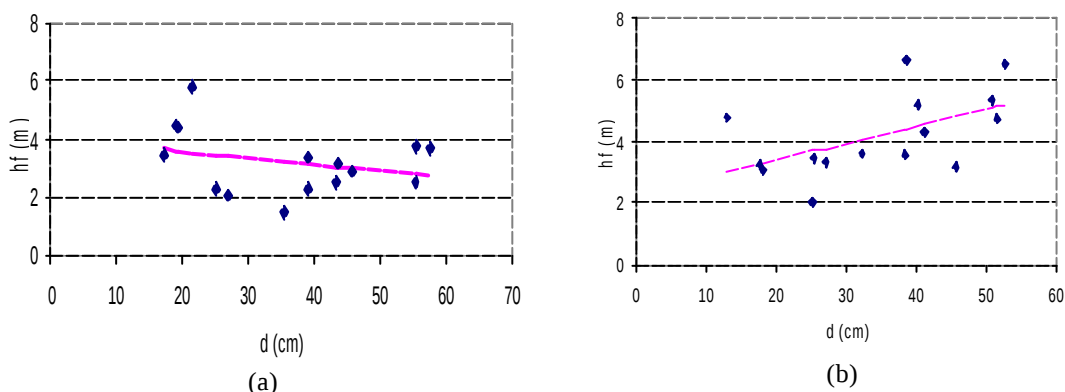
**b)  $h_f = f(d)$ .** En la relación que incluye una variable dummy para el sitio, dio significativa su interacción con el diámetro, pero no lo fue la inclusión del sitio. Sin embargo se dejaron todas las variables independientes en la ecuación para poder ver la tendencia en cada uno de los sitios (Figura 3, a y b).

La ecuación obtenida es:

$$\hat{h}_f = 2,31033 + 0,0545 * d + 1,7436 * z - 0,0779 d * z ; R^2 = 33\% ; p = 0,02$$

En Monte Quemado se nota una tendencia positiva mientras que en La María es decreciente, aunque al analizar los sitios por separado, esta última no es estadísticamente significativa.

A pesar de tener un valor bajo de  $R^2$ , se considera esta función sólo a los fines de orientar la descripción de las relaciones estructurales de los individuos de los dos sitios.

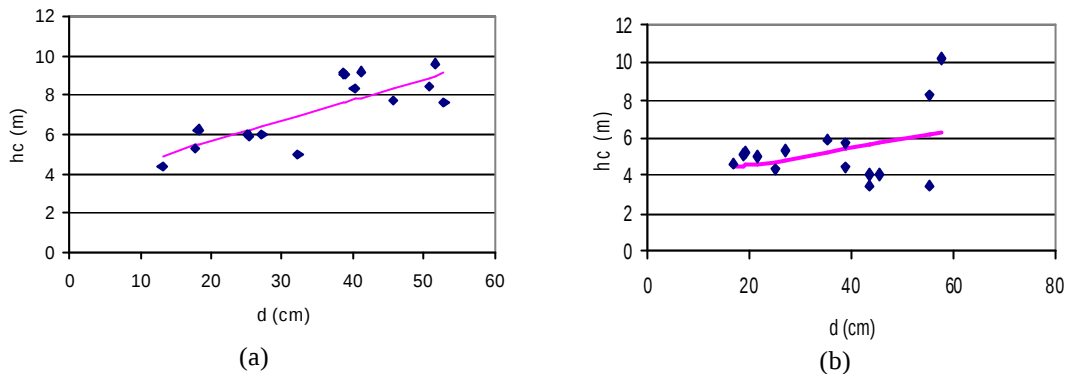


**Figura 3.** Relación entre la altura de fuste y el diámetro en los dos sitios: Monte Quemado (a) y La María (b). Valores observados y estimados.

**c)  $h_c = f(d)$ .** El uso de la variable “dummy” permitió encontrar que las rectas tienen igual ordenada al origen y diferente pendiente, siendo ésta menor en La María.

$$\hat{h}_c = 3,58795 + 0,104403 * d - 0,0577013 * z * d$$

Esta función presentó un  $R^2 = 52.1\%$  y  $p = 0.0000$



**Figura 4.** Relación entre la altura de la copa y el diámetro en los dos sitios: Monte Quemado (a) y La María (b). Valores observados y estimados.

**d)  $r_c = f(d)$ .** No se encontró ninguna relación lineal significativa, o sea que esta se puede considerar constante para todos los diámetros en los dos sitios.

$$\bar{r}_c = 0,56$$

**e)  $por_{fs} = f(d)$ .** Se encontró una única recta para los dos sitios, con pendiente negativa,  $R^2 = 39\%$ ,  $p = 0,0002$ .

$$\hat{por}_{fs} = 56,4849 - 0,6718 * d$$

**f)  $por_{rs} = f(d)$ .** Se aceptó la igualdad de regresiones con pendiente positiva,  $R^2 = 73,8\%$ ,  $p = 0,0000$ .

$$\hat{por}_{rs} = 3,8546 + 1,1264 * d$$

**g)  $por_{ras} = f(d)$ .** Se obtuvieron regresiones lineales iguales con pendiente negativa,  $R^2 = 29,2\%$ ,  $p = 0,002$ .

$$\hat{por}_{ras} = 32,7197 - 0,3779 * d$$

#### 4. DISCUSIÓN

En la construcción de la función para estimar biomasa total, es interesante comentar que cuando se utilizó la variable altura (ya sea como altura total o de copa) además del diámetro, la variable  $z$ , indicadora del sitio, no entró en la ecuación. Esto se debe a que la relación hipsométrica es diferente para las dos localidades y por ello, cuando está presente la altura, no es necesario utilizar el sitio. Este vínculo entre el sitio y la altura es similar al citado por van Laar y Akça (1997) para el diámetro y el sitio.

La comparación de los valores obtenidos con las funciones citadas por Brown (1997) para zonas tropicales secas (para grupos de especies), demostró que para árboles de 10 cm de diámetro los valores de peso seco total son muy parecidos a los calculados con la función que aquí se presentó, pero a los 50 cm de diámetro, los quebrachos blancos, según nuestra función, tienen mayor cantidad de biomasa: 1885 kg en Monte Quemado y 1617 en La María contra 573 (zona seca de México) y 1188 (India). En la ecuación de Martínez-Yrizar et al. no se incluyen ramitas ni hojas. Para hacer comparables estos últimos resultados se descontó en los resultados obtenidos para Monte Quemado y La María, el porcentaje de ramitas, hojas y frutos. Los resultados obtenidos fueron 1664 y 1306 kg respectivamente los que también superan a los de las otras funciones citadas por Brown.

El examen de las relaciones estructurales permite discutir los siguientes aspectos:

A partir de los 14 cm de diámetro, los árboles de Monte Quemado son más altos que los de La María según se desprende de la relación de la altura total con el diámetro. Las causas de la diferencia en alturas podría deberse a la diferencia entre los sitios y también a características genéticas. La diferencia entre las alturas medias de los quebrachos blancos en ambas localidades figura en los antecedentes mencionados por Thren (1994) y Brassiolo (1993).

Idénticas hipótesis explicativas podrían aplicarse a la relación de la altura del fuste con el diámetro: positiva en Monte Quemado y no significativa en La María. En esta zona los individuos desarrollarían ramificaciones a una altura media no influenciada por el diámetro, mientras que en Monte Quemado la altura de fuste aumenta con él. Con respecto a la altura de copa verde con el diámetro, en La María la menor pendiente estaría indicando también menores alturas de las copas a igual diámetro.

Las relaciones con el diámetro de la razón de copa verde (constante), porcentajes de: peso seco de fuste (negativa), ramas (positiva) y ramitas (negativa) son idénticas para las dos zonas e identificarían a la forma característica de la especie. Esto deberá ser probado con comparaciones con otras especies de Parque Chaqueño Seco.

#### 5. CONCLUSIONES

Considerando diámetros iguales, los quebrachos blancos de Monte Quemado son más altos, pesados y con mayor altura de copa que los de La María lo que resulta en dos funciones diferentes para la estimación de la biomasa individual.

En Monte Quemado se comprueba una tendencia positiva en la relación altura de fuste y diámetro.

Las variables razón de copa y porcentaje de fuste, ramas y ramitas tienen igual tendencia en ambos sitios lo que indicaría una característica de la especie y deberá ser probado en estudios posteriores.

## REFERENCIAS

- Boletta, P. E. 1988. In Casas, R. R. Desmonte y habilitación de tierras en la Región Chaqueña Semiárida. FAO Of. Reg. para América Latina y el Caribe. Red de Cooperación Técnica en Uso de los Recursos Naturales en la Región Chaqueña Semiárida, Argentina-Bolivia-Paraguay. Santiago de Chile. p: 7-21.
- Brassiolo, M.; R. Renolfi, W. Gräfe y A. Fumagalli. 1993. Manejo Silvopastoril en el Chaco Semiárido. Quebracho 1: 15 – 28.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest. A primer. FAO Forestry paper 134. Roma. 55 p.
- Carpenter, E. 1984. Brief history and discussion of biomass estimation for timber tree species. In Proceedings – Growth and Yield and Other Mensurational Tricks: A Regional Technical Conference. Logan. Utah. November 6-7. p 72 –78.
- Cunia, T. 1987. An optimización model for subsampling trees for biomass measurement. *In* Estimating Tree Biomass Regressions and Their Error. USDA Forest Service, Northeast Forest Station NE - GRT –117: 15-24.
- De Vries, P. 1986. Sampling Theory for Forest Inventory. Springer Verlag. Berlín-Heidelberg. 399 p.
- Deans, J.; J. Moran and J. Grace. 1996. Biomass relationships for tree species in regenerating semi-deciduos tropical moist forest in Cameroon. *Forest Ecology and Management* 88: 215-225.
- Gaillard de Benítez C.; M. Pece; M. Juárez de Galíndez; H. Acosta; J. Maldonado y A. Gómez. 2000. Determinación de peso húmedo y seco en ejemplares de quebracho blanco. *Revista de Ciencia y Tecnología. Serie Divulgación. Universidad Nacional de Santiago del Estero.*
- Gonzalez Doncel, I. 1989. Tablas ponderales para la estimación de la biomasa de rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd.) en la provincia de León. *Comunicaciones I.N.I.A. Serie: Recursos Naturales. N. 50. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 56 p.*
- Lorenz, G. 1995. Caracterización ecológica de un suelo Eutric Regosol bajo bosque en el Chaco Semiárido, Argentina. *Quebracho* 3:13-23.
- Martínez Yrizar, A.; J. Sarukhan; A. Pérez-Jiménez; E. Rincón; J. Maass; A. Solis-Magallanes and L. Cervantes. 1992. Above-ground phytomass of a tropical deciduous forest on the coast of Jalisco, México. *Journal of Tropical Ecology* 8: 87-96.
- Ter-Mikaelian, and M. Korzukhin. 1997. Biomass equations for sixty-five North American tree species. *Forest Ecology and Management* 97: 1 – 24.
- Thren, M. 1994. Director. Informe del inventario forestal de la Provincia de Santiago del Estero, Departamentos Copo y Alberdi. Facultad de Ciencias Forestales, UNSE. 114 p.
- Van Laar, A. and A. Akça. 1997. *Forest Mensuration*. Curvillier Verlag. Göttingen. 418 p.
- Velez, S.; E. Perpiñal y C. Wottitz. 1988. Nuevo método para la estimación de biomasa aérea y su aplicación en quebracho blanco. *Actas del VI Congreso Forestal Argentino. Santiago del Estero. Tomo I: 188 – 191.*

