

## **DETERMINACIÓN DE DIMENSIONES MORFOMETRICAS EN ESPECIES ARBÓREAS POR MEDIO DE FOTOGRAFÍAS AISLADAS**

**GARDIOL, Mario Rubén**

Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Dpto. de Cartografía y Agrimensura. - 3000 - Santa Fe - Argentina - TE: (54) (342) 4575234/44-int. 178.

mariogardiol@fich.unl.edu.ar

### **RESUMEN**

Hay situaciones donde las características del entorno físico no permiten realizar mediciones directas sobre las especies arbóreas al fin de establecer sus dimensiones morfométricas. En estos casos es donde la técnica de fotogrametría puede contribuir ya que, analizando la perspectiva que presentan las especies arbóreas registradas en una fotografía, es posible determinar su altura, ancho de copa y ancho de tronco, además de otras dimensiones. En este trabajo se aplicó dicha técnica en una fotografía aislada en la cual se analizaron tres criterios diferentes para establecer los elementos de su perspectiva. Se determinó que el tercer criterio presentó valores más próximos a las mediciones de campo en la altura del árbol y ancho de tronco y el primer criterio en el ancho de copa.

**Palabras clave:** dendrometría - dasometría - fotogrametría terrestre.

### **DETERMINING MORPHOMETRIC DIMENSIONS OF TREE SPECIES BY ANALYSING ISOLATED PHOTOGRAPHS**

#### **ABSTRACT**

In some circumstances, characteristics of the physical environment make it impossible to take direct measurement of tree species while attempting to define its morphometric dimensions. In these cases photogrametric techniques can help, since it is possible to determine the height of a given tree, as well as its top and trunk width, by analysing the perspective in which the tree species appear in a photography. Such technique was applied for this work on an isolated photography in which three different criteria were analysed in order to identify the elements of its perspective. According to our findings, the 3rd criterion reached values which were closer to field measurements for the tree height and trunk width, and the 1st criterion was the closest measurement of the tree top width.

**Key words:** dendrometrics - dasometrics - terrestrial photogrametrics.

## Introducción

La morfometría es un método que se utiliza en varias disciplinas. Aplicada a las disciplinas forestales se denomina dasometría y se ocupa de las mediciones de árboles y masas forestales así como de la evolución de las leyes métricas que rigen su evolución (crecimiento) y dendrometría cuando mide las dimensiones del árbol como ente individual, su forma y determinación de su volumen (López Peña, 2010).

Existen diferentes herramientas que se utilizan para realizar dichas mediciones y se clasifican en instrumentos de medición directa (necesitan hacer contacto con el árbol) o medición indirecta (no necesitan hacer contacto). Según Torres (2010), los instrumentos de medición forestal para establecer el diámetro, altura, área basal y corteza son: cinta de medición, forcípula, pentaprisma de Wheeler, relascopio de Bitterlich, medidores laser, nivel Abney, hipsómetro Blume Leiss, pistola Haga, hipsómetro JAL, varas graduadas, clinómetro Suunto, medidor Vertex, calibrador sueco, sonda de corteza, dendrómetro II y prisma o cuña óptica.

Arias (2005), detalla que las variables más comunes medidas en la práctica forestal son: el diámetro del árbol, el área basimétrica, la altura (total, comercial, dominante), el volumen del fuste y el área de proyección de la copa. Luna y Hernández (2008) especifican que pocos estudios contemplan mediciones detalladas de los parámetros de copa (el porcentaje, la cobertura, el índice, el índice de espacio vital y el manto y la forma de copa) posiblemente por razones del tiempo que es requerido para dichas mediciones. Ante esta situación, la fotogrametría terrestre o a corta distancia es una técnica que puede colaborar en la determinación de diferentes parámetros en especies arbóreas registradas en una fotografía.

En el presente trabajo se planteó como objetivo determinar algunas dimensiones morfométricas en diferentes especies arbóreas a través de procedimientos fotogramétricos que utilizan como base una fotografía aislada.

Haciendo un análisis previo de los conceptos teóricos tenemos que considerar que una fotografía está basada en una proyección central o cónica donde la imagen registrada en el negativo o sensor digital de la cámara fotográfica previamente pasó por un centro de proyección que se encuentra localizado en la lente de la propia cámara. Esto supone que las imágenes registradas en las fotografías presentan deformaciones. En esta situación es cuando tiene participación la técnica fotogramétrica ya que permite extraer la forma, las dimensiones y la posición de un objeto registrado en una fotografía a pesar de sus deformaciones. No obstante, estas deformaciones pueden ser minimizadas según la distancia focal utilizada al registrar la fotografía permitiendo analizar posteriormente la misma como una perspectiva lineal.

Para poder analizar una perspectiva es necesario determinar los elementos principales que integran la misma como ser: a) el cuadro que representa a un plano vertical que se encuentra entre el observador y el objeto (en nuestro caso es la fotografía), b) la línea de horizonte (LH) o línea horizontal trazada sobre el cuadro a la altura de vista del observador, c) el punto de fuga principal (PFP) que se encuentra sobre la línea de horizonte donde concurren todas las rectas horizontales (paralelas al suelo) y perpendiculares al cuadro y d) los puntos de fuga de distancia (PFD) que son puntos de fuga a los cuales se dirigen las rectas en posición horizontal y que forman un ángulo de  $45^\circ$  con respecto al cuadro.

En una fotografía, al ser identificados los elementos principales de una perspectiva lineal y conociendo las dimensiones en sentido horizontal, vertical y en profundidad de un objeto registrado en ella, es posible calcular las dimensiones de cualquier otro objeto registrado en la misma aplicando conceptos de perspectiva inversa. Mayores detalles sobre este procedimiento analítico pueden ser analizados en Quaintenne (1947).

Para desarrollar esta experiencia se seleccionó un grupo de árboles localizados en el predio de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Litoral (Santa Fe, Argentina). El grupo está conformado por 7 árboles: 3 álamos (2 de mediana edad y 1 adulto), 3 pinos adultos y 1 sauce joven (Figura 1, fotografía registrada por el autor en julio 2012).



Fig. 1. Grupo de árboles seleccionados.

## Materiales y métodos

Como primer paso se procedió a analizar el entorno del grupo de árboles seleccionados para materializar con una estaca de madera la localización de la base utilizada para la toma fotográfica y definir la dirección del eje de dicha toma. Las coordenadas adoptadas para la base de la toma fotográfica fueron de 100 m, 100 m y 10 m.

Debido a que no existían elementos físicos que pudieran ser utilizados para la reconstrucción de la perspectiva en dicho sector se decidió colocar jalones (de 1,25 m) al lado de cada tronco en seis de los árboles seleccionados, un jalón aislado en el sector izquierdo y cuatro miras ubicadas en el piso de tal forma que representaran un cuadrado de 3 m x 3 m donde dos de sus lados fueran paralelos a la dirección del eje de la toma fotográfica.

El paso siguiente fue realizar la toma fotográfica (con el eje óptico de la cámara en sentido horizontal) desde la base definida previamente. Esta fue realizada con una cámara fotográfica digital Nikon D60, con una distancia focal de 35 mm (para no generar una gran distorsión) y con una resolución de 2.896 x 1.944 pixel.

A continuación se procedió a realizar las mediciones topográficas para establecer la distribución espacial y dimensiones de los árboles seleccionados y la localización planialtimétrica de los elementos físicos distribuidos en el sector. Para ello se posicionó una estación total sobre la estaca determinada para la toma fotográfica y se realizaron mediciones lineales y angulares (horizontales y verticales) a cada árbol para establecer las cotas de la base y parte superior de la copa y, además, proyectar el ancho de las copas de los mismos. También se midieron con una cinta métrica: a) la altura de los jalones y la distancia entre los vértices del cuadrado originado por las miras dispuestas en el suelo, b) el ancho proyectado de las copas de los árboles, c) el diámetro de cada tronco a una altura de 1,30 m y d) la distancia existente entre cada árbol. A continuación se procesaron todos los datos medidos en campo a fin de obtener las dimensiones morfométricas de cada árbol.

Para hacer el análisis de perspectiva inversa se ingresó la fotografía tomada en el campo a un software de diseño asistido y se demarcaron en cada árbol los puntos que representaban la base, la parte superior de la copa, el ancho de dicha copa y el diámetro de los troncos (la altura de 1,30 m fue definida con las dimensiones del jalón colocado al lado de cada árbol). Fue necesario definir los elementos de la perspectiva basándonos en los elementos físicos colocados en el campo. En este caso, los mismos podían ser definidos utilizando tres criterios diferentes: a) las cuatro miras localizadas en el suelo que forman un cuadrado, b) las cuatro miras localizadas en el suelo y la cota de los vértices de dicho cuadrado y c) las cuatro miras localizadas en el suelo y la cota de los vértices de dicho cuadrado y de dos jalones.

Para utilizar el primer criterio (a) se consideró que el suelo era horizontal, por lo cual, basándonos en los lados paralelos a la dirección del eje de toma fotográfica del cuadrado formado por las cuatro miras en el suelo trazamos líneas auxiliares sobre cada mira extendiéndolas hasta que se interceptaron originando el punto de fuga principal (PFP) de la perspectiva. Luego se trazó por el PFP una línea paralela al borde de la fotografía que representaba la línea del horizonte (LH). En una etapa posterior se extendió una línea auxiliar que uniera los dos vértices opuestos del cuadrado originado por las cuatro miras hasta que interceptase la LH para localizar un punto de fuga de distancia (PFD). De la misma forma se procedió con los restantes vértices opuestos para generar el otro PFD. Definidos los elementos de la perspectiva se aplicó el procedimiento analítico de perspectiva inversa, establecido por Quaintenne (1947) para dimensionar el ancho de la copa, el alto total y diámetro del tronco de cada árbol. Como elemento de dimensión conocida se adoptó la mira más próxima a la toma fotográfica (Figura 2).



Fig. 2. Determinación de los elementos de la perspectiva y de las dimensiones a medir

Para utilizar el segundo criterio (b) se consideró que el suelo no era horizontal, consecuentemente, se analizó la cota de cada vértice del cuadrado formado por las cuatro miras y adoptándose la cota menor se la graficó en los restantes vértices. Uniendo con líneas auxiliares los vértices que presentan la misma cota y que eran paralelos a la dirección del eje de toma fotográfica se extendieron hasta que se interceptaron originando el PFP de la perspectiva. A continuación se procedió como se detalló en el primer criterio para definir la LH y los PFD para, finalmente, aplicar el procedimiento analítico de la perspectiva inversa.

Para utilizar el tercer criterio (c) se tuvieron en cuenta las cotas de los vértices del cuadrado formado por las miras y de dos jalones. Considerando que la toma fotográfica fue realizada en forma horizontal y a una altura de 1,52 m de la estaca de madera se graficó en los dos jalones seleccionados, la cota de 11,52 m para demarcar con una línea auxiliar la LH. Luego se trazó y prolongó otra línea auxiliar por los puntos que representaban la misma cota de la mira paralela y más próxima al eje de toma fotográfica hasta interceptar la LH con el objeto de generar el PFP. Luego se definieron los PFD (como en el segundo criterio) y se aplicó el procedimiento analítico de la perspectiva inversa.

Finalmente se generaron tablas para estimar el promedio de diferencia de las dimensiones obtenidas en relación a la altura, ancho de copa y ancho de tronco de los árboles. Tomando las mediciones topográficas de campo como verdaderas se compararon con los valores obtenidos en las mediciones fotogramétricas en los tres criterios planteados.

## Resultados y discusión

De los trabajos realizados en campo y considerando que el orden de los árboles aumenta de la izquierda a la derecha se concluye que los ejemplares uno y dos se encuentran a un nivel topográfico de 10,16 m, los ejemplares 6 y 7 a 10,20 m y los ejemplares tres, cuatro y cinco están en un área más deprimida (9,93 m, 9,98 m y 9,75 m respectivamente). La cota de la base del jalón aislado fue de 10,085 m y de los vértices del cuadrado formado por las miras presentaron las siguientes cotas: 10,126 m (NO), 10,123 m (NE), 10,191 m (SE) y 10,174 m (SO).

Analizando los valores de la altura de los árboles (Tabla 1) obtenidos por perspectiva inversa (según los tres criterios desarrollados) con los datos obtenidos en campo se puede apreciar que el tercer criterio presentó valores promedio más cercanos a los medidos en campo observándose la mayor diferencia en el árbol cinco (10%). En los ejemplares uno y dos los valores más próximos a los datos de campo corresponden al primer criterio y, la mayor diferencia observada en todas las mediciones corresponde al ejemplar seis también con el mismo criterio (29%).

Al analizar los valores de ancho de copa (Tabla 2) se puede apreciar que el primer criterio presentó valores en promedio más próximos a los medidos en campo observándose la mayor diferencia en el árbol seis (25%). No obstante, en los árboles uno, cinco y seis los valores más próximos a los datos de campo corresponden al tercer criterio y la mayor diferencia observada en todas las mediciones corresponde al árbol tres en el segundo criterio (36%).

Tabla 1. Altura de los árboles.

Árbol	ALTO ARBOL									
	Campo (m)	1º situac. (m)	Dif. (m)	Error (%)	2º situac. (m)	Dif. (m)	Error (%)	3º situac. (m)	Dif. (m)	Error (%)
1	7,81	7,77	0,04	-0,51	7,18	-0,55	-7,11	8,37	0,64	8,28
2	8,23	8,71	0,57	5,83	7,38	-0,76	-9,35	8,87	0,73	8,97
3	12,68	13,16	0,56	3,79	10,10	<b>2,50</b>	-19,84	12,98	0,38	3,01
4	11,78	12,74	1,03	8,15	9,46	-2,25	-19,21	11,67	-0,04	-0,34
5	10,52	11,86	1,42	12,74	8,01	-2,43	-23,27	9,37	<b>1,07</b>	-10,24
6	13,29	17,17	<b>3,96</b>	29,19	11,76	-1,45	-10,97	13,18	-0,03	-0,23

Tabla 2. Ancho de copa de los árboles.

Árbol	ANCHO COPA									
	Campo (m)	1º situac. (m)	Dif. (m)	Error (%)	2º situac. (m)	Dif. (m)	Error (%)	3º situac. (m)	Dif. (m)	Error (%)
1	7,60	6,42	1,18	-15,52	5,93	1,67	-21,97	6,91	0,69	-9,08
2	6,15	6,16	0,01	0,16	5,22	0,93	-15,12	6,27	0,12	1,95
3	9,70	8,00	1,70	-17,52	6,16	<b>3,54</b>	-36,49	7,90	<b>1,80</b>	-18,55
4	7,35	6,50	0,85	-11,56	4,83	2,52	-34,28	5,95	1,40	-19,04

Analizando los valores de ancho del tronco de los árboles (Tabla 3) medidos a una altura de 1,30 m, se puede apreciar que el tercer criterio presentó valores, en promedio, más cercanos a los medidos en campo encontrándose la mayor diferencia en el árbol siete (19%). No obstante, en los ejemplares uno, tres y siete los valores más próximos a los datos de campo corresponden al primer criterio y la mayor diferencia observada, en todas las mediciones, corresponde al árbol seis en el mismo criterio (34%).

Tabla 3. Ancho de tronco de los árboles.

ANCHO TRONCO										
Árbol	Campo (m)	1º situac. (m)	Dif. (m)	Error (%)	2º situac. (m)	Dif. (m)	Error (%)	3º situac. (m)	Dif. (m)	Error (%)
1	17,0	16,5	-0,5	-2,9	15,3	-0,5	-10,0	17,8	0,8	4,7
2	11,0	10,0	-1,0	-9,1	8,5	-2,5	-22,7	10,2	-0,8	-7,3
3	35,0	33,3	-1,7	-4,9	25,7	-9,3	-26,6	32,9	-2,1	-6,0
4	38,0	41,5	3,5	9,2	30,8	-7,2	-19,0	38,0	0,0	0,0
5	24,0	28,3	4,3	17,9	19,1	-4,9	-20,4	22,3	-1,7	-7,1
6	74,0	99,6	25,6	34,6	68,2	-5,8	-7,8	76,5	2,5	3,4
7	8,0	7,1	-0,9	-11,3	6,9	-1,1	-13,8	6,5	-1,5	-18,8

## Conclusiones

De los diferentes criterios adoptados para establecer los elementos de la perspectiva se concluye que los utilizados con el tercer criterio (c) presentaron, en promedio, valores más cercanos a los medidos en campo en lo que respecta a la altura de los árboles y ancho de troncos, y los utilizados con el primer criterio (a) en el ancho de copa.

De los tres criterios analizados, el tercero (c) es el que ofreció mejores datos para determinar con mayor precisión el PFP y la LH. Sin embargo, se aprecia en la Figura 3, que unos pequeños cambios en los criterios adoptados para definir el PFP afecta a la ubicación del mismo en la fotografía y, como consecuencia, a los resultados.

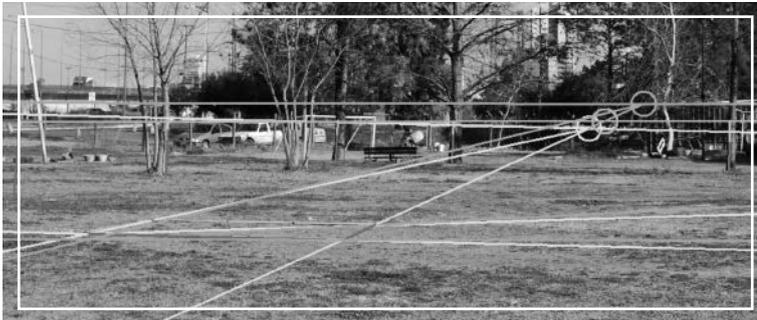


Figura 3. Ubicación del PFP según los criterios analizados.

Como conclusión podemos afirmar que este método es aplicable, fundamentalmente, en los casos donde no es posible hacer un contacto físico con los ejemplares

arbóreos. No obstante, exige que se disponga de elementos físicos para definir con precisión el PFP y establecer magnitudes métricas en sentido horizontal y en profundidad. Sería necesario entonces hacer otros análisis con el fin de evaluar cuáles otros elementos físicos podrían ser utilizados y con qué distribución deberían disponerse para definir con mayor precisión los elementos de la perspectiva y, en consecuencia, tener una mayor precisión en los resultados métricos.

### Agradecimientos

Este análisis corresponde una etapa del proyecto de investigación CAID 2011 “Aplicación de procesos fotogramétricos terrestres en cuencas hidrográficas sin registros hidrológicos sistemáticos, en el contexto de la variabilidad climática” financiado por la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral.

### Referencias

- Arias, D. (2005). Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales. *Kurú: Revista Forestal* 2(5): 1-13.
- Gardioli, M.; Ocampo, C. (2008). Aplicación de técnicas de perspectiva inversa a fotografías aisladas para la reconstrucción de crecidas históricas. En: XIV Congreso Nacional de Fotogrametría (14: 2008: Morón) Anales, Buenos Aires, Argentina.
- Gardioli, M.; Ocampo, C. (2011). Reconstrucción histórica de niveles de la creciente del río Salado de 1914, en Paso Vinal, Esperanza, provincia de Santa Fe. 72° Semana de Geografía – Congreso Nacional de Geografía. Mar del Plata, Buenos Aires, octubre de 2011.
- Lopez Peña, C. (2008). Introducción a la dasometría. Universidad Politécnica de Madrid, España. Consultado 1 nov. 2010. Disponible en <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/dasometria/contenidos-ocw-2008/dendrometria/TEMA1.pdf>.
- Luna, J. y Hernández, E. (2008). Relaciones morfométricas de un bosque coetáneo de la región de El Salto, Durango. *Ra Ximhai: Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 1 (4): 69-81.
- Quaintenne, E. (1947). *Tratado metodológico de perspectiva*. Editorial El Ateneo, 2 edición, Buenos Aires, 450 pág.
- Torres, D. (2006). Evaluación de los recursos forestales. Universidad Autónoma de Chapingo, México. Consultado 1 nov. 2010. Disponible en [http://www.rivasdaniel.com/Articulos/Unidad\\_II\\_Evaluacion.pdf](http://www.rivasdaniel.com/Articulos/Unidad_II_Evaluacion.pdf)
- Torres, D. (2010). Instrumentos. Universidad Autónoma de Chapingo, México. Consultado 1 nov. 2010. Disponible en <http://www.rivasdaniel.com/pdf/Instrumentos.pdf>