

EVALUACIÓN DE RASGOS FUNCIONALES DE *Quercus humboldtii* Bonpl. EN BOSQUE NATURAL Y ARBOLADO URBANO

1. Ana Milena Mejía Hernández - 2. Angie Hasbleidy Montenegro Lozano - 3. Laura Cristina Alzate Vélez - 4. Laura Lorena Sánchez González

Docente Asesor: Esperanza Nancy Pulido

RESUMEN

Se ha observado que las especies forestales desarrollan adaptaciones anatómicas respondiendo a los cambios ambientales, el género *Quercus* especialmente, presenta características de resistencia a las sequías. En este estudio se compararon los rasgos funcionales relacionados con la conducción hidráulica como el diámetro y la frecuencia de poros, diámetro de punteaduras, espesor de la pared de las fibras y la conductividad hidráulica teórica en 16 individuos de bosque natural y arbolado urbano. Se encontraron diferencias significativas en las dos zonas en la mayoría de variables estudiadas, excepto en el diámetro de las punteaduras, estas diferencias responden a condiciones biofísicas propias en cada área de estudio, encon-

trando que de acuerdo a las características anatómicas del xilema, la capacidad de conductividad hidráulica de los individuos es mejor en los árboles de bosque natural que en los árboles de ciudad al igual que la resistencia al embolismo.

PALABRAS CLAVE

Anatomía de la Madera, Conductividad Hidráulica, , Rasgos funcionales, *Quercus humboldtii*.

ABSTRACT

It has been seen that forest species adapted anatomical adaptations responding to environmental changes, especially the *Quercus* genus, presenting characteristics of resistance to droughts. In this study, hydraulic

1. Proyecto Curricular Ingeniería Forestal UDFJC- afuegomilena29@hotmail.com
2. Proyecto Curricular Ingeniería Forestal UDFJC- ahmontenegrol@correo.udistrital.edu.co
3. Proyecto Curricular Ingeniería Forestal UDFJC - lcalzatev@correo.udistrital.edu.co
4. Proyecto Curricular Ingeniería Forestal UDFJC- lore9312@gmail.com

features such as pore diameter and frequency, pit diameter, fiber wall thickness, and theoretical hydraulic conductivity were compared in 16 individuals in natural forest and urban woodland. Differences were found in the two areas in most of the variables studied, except in the diameter of the tips, these differences responded to the climatic conditions of each study area, finding a relationship between the availability of water in the soil and the anatomical characteristics of the xylem that determine a good hydraulic conductivity capacity. Thus, individuals in natural forest have higher conductivity and greater resistance to embolism, compared to trees in the urban area.

KEYWORDS

Anatomy of Wood, Hydraulic Conductivity, Functional traits, *Quercus humboldtii*.

INTRODUCCIÓN

Los robledales son una asociación vegetal dominada por la especie *Quercus humboldtii* Bonpl., característica de los bosques andinos nativos de Colombia y Panamá, distribuida en

las tres cordilleras de los Andes colombianos desde los 750 m hasta los 3450 m de altitud, (Avella, A., & Cardenas, L., 2010). Se dice que la vertiente occidental de la Cordillera Oriental tiene la mayor cobertura de la especie (González, C.E., Jarvis, A., & Placio, J.D., 2006), actualmente los bosques de roble presentan altas presiones antropogénicas debido a la alta densidad demográfica en la región andina (Guerrero, S.B., Paz, E. A., & Parra, A., 2010), actividades que conllevan la expansión de la frontera agrícola y pecuaria, así como también la extracción de madera para cubrir la demanda del sector minero, la extracción selectiva para la comercialización y la fabricación de carbón han contribuido a la afectación del estado de los bosques de roble (Avella, A., & Cardenas, L., 2010).

Los rasgos funcionales de la madera se definen como las características morfológicas, fisiológicas o fenológicas de los organismos relacionados con factores de funcionamiento del ecosistema (Díaz, S., Cabido, M., 2001), es decir que estos determinan la respuesta de

los organismos a los cambios del ambiente, desarrollando una resistencia y resiliencia de los individuos (Luck, G. W., S. Lavorel, R. McIntyre, S., y K. Lumb, 2012), para este caso dichos rasgos están relacionados con el soporte mecánico, la capacidad de conducción hidráulica y almacenamiento de la especie, mediante la anatomía de la madera se identifican las características de los tejidos los cuales cumplen funciones específicas que serán descritas más adelante.

Se han realizado amplios estudios acerca de la anatomía funcional, los rasgos hidráulicos y las condiciones climáticas en variadas especies y algunos géneros *Quercus*, no se evidenció un estudio de análisis cuantitativo de los rasgos hidráulicos de la especie *Q. humboldtii*, tampoco la variación de los mismos ya sea en individuos solitarios o en bosque de asociación de robles, por ello se pretende contribuir al conocimiento de los rasgos funcionales y la influencia de estos sobre el contenido de agua ligado a las condiciones ambientales, plasmando como objetivo identificar la variación en los rasgos

de la madera asociados a la capacidad de conducción hidráulica en el fuste de *Q. humboldtii* de un robledal ubicado en La Uvita Boyacá y en individuos del arbolado urbano en Bogotá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Las muestras fueron recolectadas en dos áreas de estudio, en un bosque natural en robledales ubicados en la vereda San Ignacio en el municipio de La Uvita, Boyacá (6° 21'16.8"N 72°34'28.9"W) y en la zona urbana de Bogotá Localidad de Engativá, pertenecientes al arbolado urbano de la ciudad. El municipio de La Uvita, está ubicado al norte del departamento Boyacá, presenta un rango altitudinal entre los 1600 msnm hasta los 4100 msnm, presenta variedad de climas y pendientes fuertes, la temperatura promedio es de 16°C, precipitaciones con distribución bimodal y registros mensuales entre 30mm y 80mm (Morales A. 2014). La zona de Bogotá donde se tomaron las muestras,

presenta una precipitación de 950mm anuales, temperaturas que oscilan entre 8,4°C y 20,2°C y humedad relativa media de 83% (Alcaldía de Bogotá 2004).

Recolección y procesamiento de muestras

Se obtuvieron muestras cilíndricas de aproximadamente 3cm de longitud y 1cm de diámetro de 8 árboles en cada área de estudio a nivel de 1,30m, se utilizó el barreno de Pressler. Para la evaluación de características anatómicas se realizaron cortes transversales y tangenciales montados posteriormente en láminas de vidrio de acuerdo con el procedimiento del laboratorio de Maderas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas basado en lo descrito por Salgado, B., Pulido, E., Cabrera, M., Ruiz, C. & Paz, H. (2015).

Análisis de la información

Para la medición de las variables se utilizó el software ImageJ, recopilando esta información en un libro de Excel. Para la descripción de las características se siguió el documento de la International Association of Wood Anatomists

(IAWA, 1989), se comprobó la normalidad de los datos con el índice Shapiro Wilksy se realizó un análisis de varianza ANOVA al 0,05 de significancia.

Características empleadas para evaluar los rasgos funcionales

Para el presente trabajo se tomaron como elementos básicos, el diámetro de poros, número de poros por mm², espesor de la pared de la fibra, diámetro de las punteaduras y la conductividad hidráulica (kh) en los rangos descritos a continuación

- **Diámetro de Poros:** Extremadamente pequeños (< 25µm), Muy pequeños (25-50µm), Moderadamente pequeños (50-100µm), medianos (100-200µm), Moderadamente grandes (200-300µm), Muy Grande (300-400µm) extremadamente Grande >400 µm (IAWA Committee, 1939).
- **Frecuencia de poros por mm²:** Muy pocos (>2), Pocos (2-5), Moderadamente pocos (5-10), Moderadamente

numerosos (10-20), Numerosos (20-40), Muy numerosos (>40) (Chattway, M., 1932).

- **Espesor de la pared de la fibra:** Esta variable se basa en la relación del lumen al grosor de la pared, en muchas especies es variable y se puede presentar más de una categoría de espesor por individuo (Wheeler, E., Baas, P., & Gasson, P., 1989). Los valores en los que se presentan son: Fibras con paredes muy delgadas se presenta cuando el lumen es 3 veces o más, ancho que el doble del espesor de sus paredes, Fibras con paredes delgadas a gruesas el lumen es menos de tres veces el ancho del doble del espesor de sus paredes, pero notablemente abierto y finalmente fibras con paredes muy gruesas donde el lumen de la fibra prácticamente no se observa (Wheeler, E., Baas, P., & Gasson, P., 1989).
- **Diámetro de las punteaduras:** diminuto ($\leq 4 \mu\text{m}$), Pequeño (4–7 μm), mediano (7

–10 μm) y grandes $\geq 10 \mu\text{m}$ (Wheeler, E., Baas, P., & Gasson, P., 1989)

- **Conductividad hidráulica (Kh):** La conductividad hidráulica teórica se calculó con base en la ecuación de Hagen–Poiseuille mencionada por Schuldt, B., Leuschner, C., Brock, N. & Horna, V. (2013) y Moglia & Gimenez (1998) para el análisis de las características hidráulicas de plantas.

$$Kh_{teorica} = \frac{d_i^4 \pi \rho}{128 \eta w}$$

Donde d_i es el diámetro del vaso, ρ es la densidad del agua a 25°C (998Kg/cm³ y η es la viscosidad del agua (8,9x10-10MPa).

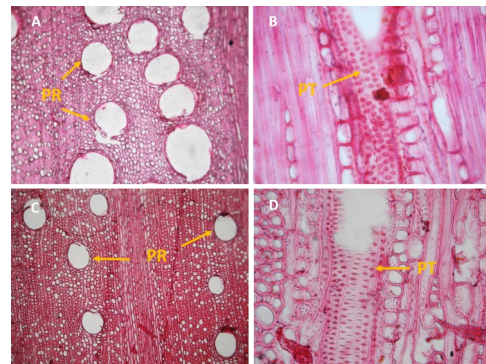


Figura 1. A. Poros de un individuo en condiciones de bosque natural (10X). B. Punteadura de

un individuo en bosque natural (40X). C. Poros de un individuo de arbolado urbano (10X), D. Punteadura de un individuo de arbolado urbano (40X). PR.

Poros. PT. Punteaduras.

RESULTADOS

Las mediciones realizadas a partir de los montajes microscópicos, permitieron observar las diferencias anatómicas de cada individuo respecto al sitio de recolección, las cuales se presentan a continuación.

Diámetro de poros

El 100% de los individuos de arbolado urbano presentan poros moderadamente pequeños con valores entre 56,75 μm y 98,90 μm , en bosque natural el 75% de los individuos presenta poros moderadamente pequeños con valores que oscilan entre 79.33 μm y 98.43 μm , el 25% restante presenta poros medianos entre 102,21 μm y 110.84 μm .

Frecuencia de Poros

Con relación a la cantidad de poros por mm^2 se encontró que el 100% de los individuos del arbolado urbano presenta pocos poros, respecto

al bosque natural el 75% presenta pocos poros y el 25% restante corresponde a moderadamente pocos.

Espesor de la pared de la fibra

De acuerdo con lo planteado en las características empleadas para anatomía, en arbolado urbano el 37.5% de los individuos presentan un espesor de la pared de fibra muy gruesa con valores que oscilan entre 11.53 μm y 24.78 μm , el 62.5% restante presentan paredes delgadas a gruesas con valores entre 7.51 μm y 9.36 μm , en bosque natural el 25% de los individuos tiene el espesor de pared muy grueso con valores de 14.36 μm y 9.48 μm , el 62.5% presentan pared delgada a gruesa con valores entre 10.99 μm y 16.94 μm y el 12.5% restante presenta espesor de pared de fibra muy delgada con un valor de 9.85 μm .

Diámetro de las punteaduras

El 100% de los individuos de arbolado urbano presentan diámetro pequeño con valores que oscilan entre 5.98 μm y 6.73 μm , en

bosque natural el 87.5% de la muestra presenta diámetros pequeños con valores entre 5.50 μm y 6.87 μm y el 12.5% es mediano con 7.34 μm .

Conductividad Hidráulica (Kh)

En arbolado urbano el 50% de la muestra presenta valores entre 2.88⁻⁰⁷ μm y 6.71⁻⁰⁷ μm , el 50% restante muestra valores entre 1.11⁻⁰⁶ μm y 3.04⁻⁰⁶ μm , en bosque natural el 75% de los individuos presenta valores entre 1.53⁻⁰⁶ μm y 2.83⁻⁰⁶ μm , mientras que el 25% restante valores entre 3.60⁻⁰⁶ μm y 4.36^{-0.6} μm

DISCUSIÓN

Los poros de los individuos de bosque natural tienen mayor diámetro, entre 79.33 μm y 98.43 μm , cifras que contrastan con los resultados obtenidos por (Ruiz, F., González, M., Valdez, J., & Romero, A, 2016) donde obtuvo valores entre 90 μm y 100 μm en individuos de la especie *Quercus laurina*. El diámetro de los poros es uno de los parámetros más importantes respecto a la evaluación de rasgos hidráulicos ya que afecta directamente la conductividad (kh) (Zholz, A., Klepsch, M., Karimi, Z

& Jansen, S, 2013), de acuerdo con la ley de Hagen-Poiseuille cuando el flujo se mueve hacia el centro de los poros su velocidad aumenta, el cual es proporcional a la cuarta potencia del radio del poro (Zimmermann, M.H, 1983), esto quiere decir que los diámetros más grandes aumentan la capacidad de transporte de agua disminuyendo la resistencia al flujo generado bajo tensión (Bulfe, N.M., & Fernández, M.E, 2017) esto genera una alta eficiencia en conducción hídrica presentándose una relación directamente proporcional con el aumento del diámetro. La alta eficiencia hidráulica está asociada directamente la alta conductancia estomática e indirectamente con la capacidad fotosintética de una planta (Brodrribb, T. J., & Feild, T. S, 2000).

Los resultados obtenidos muestran diferencias significativas en ambas zonas, observando una tendencia de poros de mayor diámetro en los individuos de bosque natural, indicando una mayor eficiencia en la conducción en el 25% de estos individuos. Esta

característica también se relaciona con la disponibilidad de agua en el suelo, esta está ligada a la ETP y el caudal de flujo base; en bosques naturales la alta densidad de cobertura vegetal evidencia mayores valores de ETP (evapotranspiración potencial), por lo tanto los suelos tiene mayor disponibilidad de agua para suplir las necesidades hídricas de evaporación y transpiración de la biomasa aérea (Torres, J.A., & Velazco, E.A, 2016), estas características no se observan en zonas verdes urbanas.

La densidad de los poros es un mecanismo para compensar la conductancia hidráulica la cual disminuye con el aumento de la frecuencia de los vasos (Schuldt, S., Leuschner, C., Brock, N. & Horna, V, 2012) De acuerdo a lo que plantea (León, W. & Espinoza, N, 2001) el aumento de la sequía o la disminución de la temperatura influyen en el aumento de la frecuencia de los poros, (Zhang, S., Baas, P. & Zandee, M, 1992) en su estudio sobre la anatomía de la madera y la relación de esta con la ecología en la familia Rosaceae, observó que la disminución en la disponibilidad de la humedad

incrementa gradualmente la frecuencia de los poros, es decir que a menor disponibilidad de agua mayor frecuencia de poros (se presenta una relación inversa entre el diámetro de poros y su frecuencia), de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio se demuestra mayor disponibilidad hídrica en bosque natural respecto al de arbolado urbano, pero en general en las dos es buena, hay una leve disminución de humedad en el 25% de los individuos del bosque natural.

La resistencia y densidad de la madera está determinado por el espesor de la pared de las fibras, lo que significa un mayor apoyo mecánico (Niklas, K.J., 1993), en ambientes húmedos las fibras se presentan más largas y con paredes celulares más delgadas (Salgado-Negret, B., 2015). Cuando se presenta déficit hídrico el grosor de la pared de las fibras es mayor (Fritts, H., 1976) lo que significa un incremento en la densidad de la madera (King, D.A., Davies, S.J., Tan, S. & Supardi, N., 2006), se presenta un comportamiento similar en los dos medios, en ambos más del

50% de la muestra presenta espesores de fibra delgado a grueso y un menor porcentaje en categoría muy grueso, lo que permite indicar que la humedad en dichos lugares no presentan valores máximos sino más bien medios y el déficit hídrico no es tan significativo respecto a otro tipo de condiciones ambientales, por lo que la posibilidad de implosión de los vasos en situaciones de alta tensión por sequía disminuye (Barajas-Morales, J., 1985).

La conductividad hidráulica es un parámetro cuantitativo que permitió identificar la eficiencia hídrica en los medios de estudio, en bosque natural se observan valores más altos indicando una mejor conductancia, por consiguiente, un menor porcentaje de pérdida de la conductividad. Con este parámetro se puede identificar la tolerancia a la sequía la cual depende de la continuidad del flujo de agua en condiciones limitadas de disponibilidad en el suelo y la atmósfera generando tensiones elevadas en el xilema la cual requiere un equilibrio entre la demanda y el aporte de agua a los órganos aé-

reos (Aranda, I., Ramírez-Valiente, J.A., Rodríguez-Calcerrada, 2014).

CONCLUSIONES

Las diferencias entre rasgos funcionales relacionados con la conducción hidráulica de *Q. humboldtii* son parcialmente homogéneas, basados en los resultados obtenidos, las diferencias más significativas entre los individuos de bosque natural e individuos del arbolado urbano, se presenta en la conductividad hidráulica la cual es mayor en todos los individuos de bosque natural, se muestra menor diferencia significativa con el diámetro de poros el cual es de mayor magnitud en el robledal de bosque natural.

En las dos áreas estudiadas los individuos presentan características de resistencia a procesos de cavitación y embolismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcaldía de Bogotá, IDEAM. 2004. «Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del Río Tunjuelo».

- Aranda, I., Ramírez-Valiente, J.A., Rodríguez- Calcerrada. (2014). Características funcionales que influyen en la respuesta a la sequía de las especies del género *Quercus*: variación inter- e intraespecífica. *Ecosistemas*, 23, 27-36.
- Avella, A., & Cardenas, L. (2010). Conservación y uso Sostenible de los Bosques de Roble en el Corredor de Conservación Guantiva-La Rusia-Iguaque departamentos de Santander y Boyacá, Colombia. *Colombia Forestal*, 13, 5-25.
- Barajas-Morales, J. (1985). Wood Structural Differences between Trees of Two Tropical Forests in Mexico. *AIWA Bulletin*, 6, 355-364.
- Brodribb, T. J., & Feild, T. S. (2000). Stem hydraulic supply is linked to leaf photosynthetic capacity: evidence from New Caledonian and Tasmanian rain forest. *Plant Cell*, 23, 1381-1388.
- Bulfe, N.M., & Fernández, M.E. (2017). Anatomía funcional del leño juvenil de *Pinus taeda* L: variabilidad genotípica y plasticidad anatómica ante déficit hídrico. *Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad de la Plata*, 116, 225-240.
- Caballé, Gonzalo, y otros. *Técnicas de medición en ecofisiología vegetal: conceptos y procedimientos*. Argentina, 2010.
- Chattway, M. (1932). Proposed Standards For Numerical Values Used In Describing Woods. *Tropical Woods*, 29, 20:28.
- Díaz, S., Cabido, M. (2001). Vive la différence: Plant Functional Diversity Matters to Ecosystem Processes. *Trends in Ecology & Evolution*, 16, 446-455.
- Fahn, A., Werker, & Baas. (1986). *Wood anatomy and identification of trees and shrubs from Israel and adjacent regions*. Jerusalem: The Israel Academy of Sciences and Humanities.
- Fritts, H. (1976). *Tree rings and climate*. New York: Academic Press.
- González, C.E., Jarvis, A., & Placio, J.D. (2006). Biogeography of the Colombian Oak, *Quercus Humboldtii* Bonpl: . *Geo-*

- graphical Distribution and Their Climatic Adaptation*, 1, 10.
- Guerrero, S.B., Paz, E. A., & Parrado, A. (2010). Effect of human disturbance on seed and seedling distribution of the Andean oak (*Quercus humboldtii* Bonpl., Fagaceae) in the Colombian Eastern Cordillera. *Colombia Forestal*, 13, 163-180.
- Herrera B., J. F., W. A. Morales Y., y J. D. Perez S. *Selección de un método para producir carbón activado utilizando cuatro especies forestales*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2004.
- IAWA Committee. (1939). Standard terms of size for vessel diameter and ray width. *Tropical Woods*, 59, 51:59.
- IAWA. 1989. «IAWA List of Microscopic Features for Hardwood Identification».
- King, D.A., Davies, S.J., Tan, S. & Supardi, N. (2006). The role of wood density and stem support costs in the growth and mortality of tropical trees. *Journal of Ecology*, 94, 670-680.
- Lens, Frederic, James L. Luteyn, Erick Smets, y Steven Jansen. «Ecological trends in the wood anatomy of Vaccinioideae (Ericaceae s.l.)» *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* (Elsevier) 199, n° 4 (2004): 309-319.
- León, W. & Espinoza, N. (2001). *Anatomía de la Madera*. Merida: Universidad de los Andes.
- Luck, G. W., S. Lavorel, R. McIntyre, S., y K. Lumb. (2012). Improving the Application of Vertebrate Trait-based Frameworks to the Study of *Ecosystem Services*. *Journal of Animal Ecology*, 81, 1065-1076.
- Moglia, G., y A. M. Gimenez. «rasgos anatómicos característicos del hidrosistema de las principales especies arbóreas de la región Chaqueña Argentina.» *Investigación Agrícola: Sistema de Recursos Forestales* 7, n° 1 y 2 (1998): 53-71.
- Morales A., Mabel C. 2014. «Zonificación ambiental de la microcuenca “Quebrada Negra” en el municipio de La Uvita- Boyacá

- como herramienta de conservación de la biodiversidad».
- Niklas, K.J. (1993). Influence of tissue density-specific mechanical properties on the scaling of plant height. *Annals of Botany*, 72, 173-179.
- Perez O., Carmen de la Paz, Antonio Campos R., Alejandra Quintanar I., y Raymundo Dávalos S. «Estudio anatómico de la madera de cinco especies del genero quercus (Fagaceae) del estado de Veracruz.» *Madera y Bosques* 4, nº 2 (1998): 45-65.
- Ruiz L., Jorge, Mauricio Diaz L., y Francoise Rachez T. «¿Cuánto vale una reserva forestal? el caso de El Robledal.» *Equidad y Desarrollo* 7 (2007): 27-40.
- Ruiz, F., González, M., Valdez, J., & Romero, A. (2016). Estructura Anatómica de la madera de dos Encinos de Oaxaca. *Madera y Bosques*, 22, 177-189.
- Salgado N., Beatriz. *La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2015.
- Schuldt, B., C. Leuschner, N. Brock, y V. Horna. «Changes in wood density, wood anatomy and hydraulic properties of the xylem along the root-to-shoot flow path in tropical rainforest trees.» *Tree Physiology* 33 (2013): 161-174.
- Torres, J.A., & Velazco, E.A. (2016). *Comparación de Rasgos Hidráulicos y de Sopor-te entre Fuste y Rama de un Bosque Seco Tropical (Bs-T)*. Bogotá: Universidad Distrital.
- Wheeler, E., Baas, P., & Gasson, P. . (1989). IAWA List of Microscopic Features for Hardwood Identification. *IAWA Bulletin n.s*, 10, 268 & 250.
- Wiemann, Michael, Elisabeth Wheeler, Steven Manchester, y Kenneth Portier. «Dicotyledonous wood anatomical characters as predictors of climate.» *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (Elsevier) 139, nº 1-2 (1998): 83-100.

Zcholz, A., Klepsch, M., Karimi, Z & Jansen, S. (2013). How to quantify conduits in wood? *Frontiers in Plant Science*, 4, 1-11.

Zhang, S., Baas, P. & Zandee, M. (1992). Wood Estructure of the Rosaceae in Relation to Ecology, Habitat and Phenology. *IAWA Bulletin*, 13, 307-349.

Zimmermann, M.H. (1983). *Xylem structure and the Ascent of Sap*. Berlin: Springer.