

Determinación de las condiciones fotográficas óptimas para la caracterización anatómica de diez especies maderables de Costa Rica

Determination of optimal photographic conditions for anatomical characterization of ten timber species of Costa Rica

Determinação das condições fotográficas ideais para a caracterização anatómica de dez espécies de madeira na Costa Rica

Juan Carlos Valverde^{1*}  <https://orcid.org/0000-0002-3181-1346>

Dagoberto Arias¹  <https://orcid.org/0000-0002-3056-9172>

Erick Mata¹  <https://orcid.org/0000-0001-5471-164X>

Geovanni Figueroa¹  <https://orcid.org/0000-0003-3788-3786>

Nelson Zamora¹  <https://orcid.org/0000-0002-4358-6123>

¹Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

*Autor para la correspondencia: jcvalverde@itcr.ac.cr

Recibido: 14 de junio de 2020.

Aprobado: 13 de julio de 2020.

RESUMEN

Existe una ausencia de estudios en especies maderables tropicales que muestren la optimización en cantidad y dimensiones de fotografía de madera en estudios anatómicos, aspecto que restringe la representatividad estadística en estudios anatómicos en especies tropicales. El estudio presentó como objetivo determinar la dimensiones y cantidad mínima de fotografías macroscópicas representables en especies tropicales y analizar la relación entre dimensiones fotográficas y características anatómicas. Para ello se seleccionaron diez especies arbóreas; de cada especie se colectaron de ocho a quince muestras cilíndricas de madera de 12,5 mm de diámetro y longitud de 75 mm, las cuales se secaron y fotografiaron en la cara transversal. Los resultados mostraron una variación de 19 a 35 fotografías como cantidad mínima por especie, siendo *Spondias mombin* la especie con mayor requerimiento de fotografías con 35, mientras *Caryocar costarricense* la de menor cantidad de fotografías mínimas; además, la dimensión óptima común de fotografías fue de 1,25 x 1,25 mm, siendo *Peltogyne purpurea* la especie que se pudo trabajar con dimensiones todavía más bajas. La combinación de la cantidad de fotografías mínimas y la dimensión óptima permitió tener representatividades y reproducibilidades superiores al 90 %. Finalmente, se halló una correlación entre la dimensión de la imagen y el diámetro de vasos; la relación consistía en que conforme



el diámetro de vasos es menor, es posible trabajar con fotografías de menor dimensión con una relación superior al 70 %.

Palabras clave: anatomía de la madera; microscopia; especies tropicales.

ABSTRACT

There is an absence of studies on tropical timber species that show the optimization in quantity and dimensions of wood photography in anatomical studies, an aspect that restricts the statistical representativeness in anatomical studies in tropical species. The study presented as an objective to determine the dimensions and minimum quantity of macroscopic photographs that can be represented in tropical species and to analyze the relationship between photographic dimensions and anatomical characteristics. Ten tree species were selected for this purpose; eight to fifteen cylindrical wood specimen of 12.5 mm diameter and 75 mm length were collected from each species, which were dried and photographed on the transverse side. The results showed a variation from 19 to 35 photographs as minimum quantity per species, being *Spondias mombin* the species with the highest requirement of photographs with 35, while *Caryocar costarricense* the one with the lowest amount of minimum photographs; furthermore, the optimal common dimension of photographs was 1.25 x 1.25 mm, being *Peltogyne purpurea* the species that could be worked with even lower dimensions. The combination of the minimum number of photographs and the optimal dimension allowed to be representative and reproducible in more than 90 %. Finally, a correlation was found between the size of the image and the diameter of the vessels; the ratio was that as the diameter of the vessels is smaller, it is possible to work with smaller photographs with a ratio greater than 70 %.

Keywords: Wood anatomy; Microscopy; Tropical species.

RESUMO

Há uma ausência de estudos sobre espécies de madeiras tropicais que mostram a otimização em quantidade e dimensões da fotografia em estudos anatômicos de madeira, um aspecto que restringe a representatividade estatística em estudos anatômicos em espécies tropicais. O estudo apresentado como objetivo para determinar as dimensões e quantidade mínima de fotografias macroscópicas que podem ser representadas em espécies tropicais e para analisar a relação entre dimensões fotográficas e características anatômicas. Dez espécies de árvores foram selecionadas para este fim; oito a quinze amostras cilíndricas de madeira de 12,5 mm de diâmetro e 75 mm de comprimento foram recolhidas de cada espécie, que foram secas e fotografadas no lado transversal. Os resultados mostraram uma variação de 19 a 35 fotografias como quantidade mínima por espécie, sendo *Spondias mombin* a espécie com maior exigência de fotografias com 35, enquanto *Caryocar costarricense* a espécie com menor quantidade de fotografias mínimas; além disso, a dimensão ótima comum das fotografias foi de 1,25 x 1,25 mm, sendo *Peltogyne purpúrea* a espécie que poderia ser trabalhada com dimensões ainda mais baixas. A combinação do número mínimo de fotografias e a dimensão ótima permitiu ter representatividades e produtividades superiores a 90 %. Finalmente, foi encontrada uma correlação entre o tamanho da imagem e o diâmetro dos vasos; a razão foi que, como o diâmetro dos vasos é menor, é possível trabalhar com fotografias menores com uma razão superior a 70 %.

Palavras-chave: Anatomia da madeira; Microscopia; Espécies tropicais.



INTRODUCCIÓN

El tallo es un órgano de relevancia para las plantas, permite el transporte y administración de agua, sales y nutrientes, siendo fundamental para el crecimiento, sostén y sobrevivencia de los individuos (Biondi y Rossi, 2015). En el caso específico de las especies leñosas, el tallo tiende a formar los tejidos xilema y floema que cumplen la función de almacenamiento y transporte de agua y nutrientes en el árbol (Sevanto *et al.*, 2008). El xilema es el tejido inactivo del tronco, se encuentra más cercano a la médula del árbol y su función principal es de almacenamiento (Ayala-Usma *et al.*, 2019); comercialmente, al xilema se le conoce como madera y se implementa como un material constructivo en edificaciones inmobiliarias, muebles, leña, entre otros usos (Campelo *et al.*, 2018).

La madera puede variar sus propiedades físicas y mecánicas acorde a su procedencia (características del sitio donde creció el árbol) (Paz Pérez-Olvera y Dávalos-Sotelo, 2008) y genéticas (Biondi y Rossi, 2015); sin embargo, hay aspectos que se mantienen homogéneos dentro de cada especie arbórea que son sus propiedades anatómicas, aspectos como la distribución y forma de vasos, parénquima, fibras, entre otros, tienden a seguir los mismos patrones en las especies indiferentemente al sitio, condiciones de crecimiento y genética (Beyer *et al.*, 2014), aspecto que ha permitido utilizar a la madera como instrumento de identificación de especies y ha generado la creación de colecciones de madera como mecanismo de consulta y comparación de muestras, comúnmente denominadas xilotecas (Machado *et al.*, 2019).

Una de las limitaciones que presentan las xilotecas es su poca accesibilidad por medios digitales como colecciones virtuales (Havinga *et al.*, 2020), aspecto que limita su consulta por parte del público y su implementación en investigaciones debido a la restricción en la cantidad de muestras (Malik *et al.*, 2019). Además, otra limitación en la consulta de xilotecas es definir el tamaño mínimo de la muestra necesaria para poder hacer comparaciones anatómicas (Carlsson y Isaksson, 2018); muchas veces las especies arbóreas a comparar están vivas o son muestra de edificaciones históricas, lo que limita la extracción de muestra tradicionales sin generar daños significativos a la planta u edificación de origen.

De tal manera, se hace necesario empezar a desarrollar pruebas para definir la muestra mínima dimensional que permite hacer análisis anatómicos. Dantas y Cunha (2020) menciona que tradicionalmente se han empleado muestras cúbicas de 10 mm de cara, las cuales se implementan con microscopio a aumentos de 40 y 100 X para análisis anatómicos; por su parte, Sánchez-Costa *et al.*, (2015) destacan el uso de muestras de cúbicas de 20 mm de cara para análisis macroscópico a 10X y microscópico a 100X; Arzac *et al.*, (2018) mencionan que se pueden hacer muestras de distinto tamaño dependiendo del error del tamaño de la muestra, conforme la muestra sea menor el error de representación se incrementará, por lo que no recomienda uso de muestras cubicas menores a 4 mm de longitud. Micco *et al.*, (2008), por su parte, menciona que el tamaño de la muestra dependerá del tipo y diámetro de vaso de la especie en estudio, conforme el vaso sea mayor, el tamaño de la muestra se incrementará debido a que será necesario una mayor área para representar la anatomía de la especie.

Brown (2013) menciona que definir dimensiones óptimas en digitalización de muestras permite no solo optimiza la muestra que se extrae del árbol o madera, generando el mínimo impacto al individuo, sino que también permite mejorar los procesos de entrenamiento y aprendizaje en sistemas de identificación automática de especies mediante algoritmos, debido a que generalmente la fotografía



macroscópica tiende a ser seccionada en fotos más pequeñas para incrementar la cantidad de imágenes en el proceso de entrenamiento (Glabasnia y Hofmann, 2006); pero, si esta segmentación es muy alta se puede perder la representatividad de una especie y caer en errores de tener fotografías que cubran todo un vaso o ausente de vasos, lo cual inducirá a un mayor sesgo en la identificación de la especie (Ma y Huang, 2018).

Stepanova *et al.*, (2013) menciona que, para la creación de colecciones virtuales de especies, se debe tener una muestra significativa de la especie, con imágenes correctas que permitan una identificación real y una selección de imágenes que sean representables o icónica de las especies. En el caso de anatomía macroscópica se hace necesario la determinación de una cantidad de imágenes que permitan dar representatividad mínima de las especies, la determinación de las dimensiones mínimas de la imagen y que permitan la representatividad y reproducibilidad de la especie; sin embargo, la disponibilidad de esos estudios ha sido reducida a nivel mundial.

En el caso de las regiones tropicales, el desarrollo de estudios anatómicos a especies arbóreas es muy limitado debido a la amplia diversidad y variabilidad de las especies, lo que hace necesario, primeramente, la generación de protocolos que sean afines a la región y que permitan un estudio adecuado de las especies (Brownson *et al.*, 2020). Por lo anterior, presente estudio planteó como objetivo: determinar las dimensiones fotográficas mínimas para disponer de representatividad estadística para análisis macroscópicos anatómicos, definir la cantidad mínima de fotografías macroscópicas representables por especie y analizar la relación entre dimensiones fotográficas y características anatómicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Especies y sitios de estudio

En el estudio se emplearon diez especies arbóreas procedentes de bosques de la Costa Pacífica de Costa Rica. Específicamente se recolectaron de cuatro localidades (Figura 1) que se ubicaron en la Estación Forestal Experimental Horizontes ubicada en Guanacaste (10°42'10" N, 85°33'12" O) a una altitud de 120 m, bosques en la región de Miramar, Puntarenas (10°01'29" N, 84°14'04" O) a una altitud de 270 m; en ambas regiones los bosques se caracterizaron por ser de tipo seco con régimen hídrico anual inferior a los 2 000 mm, con temperaturas que oscilaron de 27 a 34 °C y con una estación seca definida de diciembre a mayo. También se colectaron muestras en la Península de Osa, Puntarenas; específicamente en el bosque de los Mogos (8°45'00" N, 83°22'59" O) a una altitud de 40 m y San Juan (8°39'02" N, 83°27'53" O) a una altitud de 35 m, sitios que se caracterizaron por tener una época seca muy reducida (de enero a abril), con una precipitación anual de 4 000 a 4 300 mm y temperatura anual con variación de 27 a 33 °C con una humedad relativa anual de 70 a 90 %.



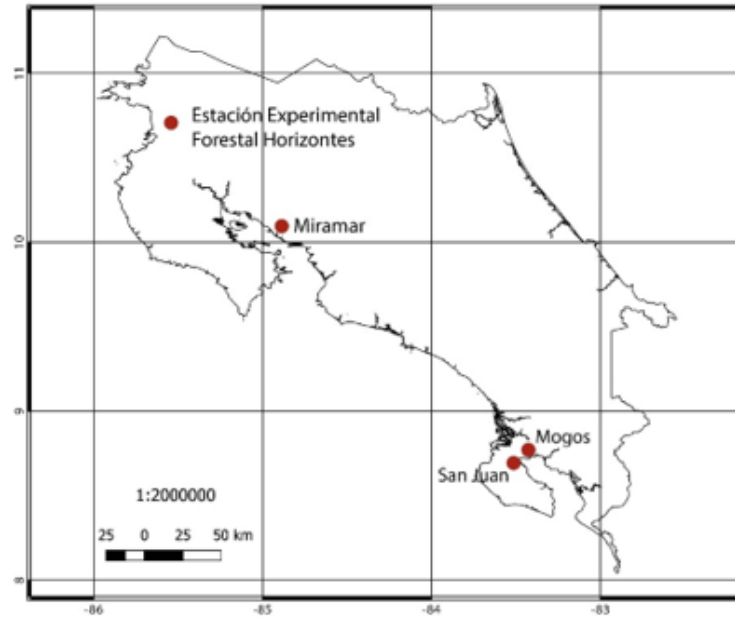


Figura 1. - Localidades de colección de las diez especies arbóreas de estudio en Costa Rica

De cada especie se seleccionaron no menos de ocho individuos (Tabla 1), que presentaron un diámetro a 1,3 m sobre el suelo superior de 30 cm con una distancia entre árboles mayor a los 15 m (esto con el fin de aumentar la representatividad de la especie en el sitio).

Tabla 1. - Nombres científicos de las diez especies maderables en estudio

Familia botánica	Especie	Cantidad de árboles colectados
Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i> L.	12
Bignoniaceae	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	10
Caryocaraceae	<i>Caryocar costarricense</i> Donn. Sm.	12
Fabaceae	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb. 1860	8
Fabaceae	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell). S.F.Black	12
Fabaceae	<i>Peltogyne purpurea</i> Pittier	8
Fabaceae	<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.	8
Malvaceae	<i>Pachira quinata</i> (Jacq.) W.S. Alverson	16
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	15
Vochysiaceae	<i>Vochysia guatemalensis</i> J. D. Smith	10

Proceso de colecta del material

Por cada individuo de estudio se obtuvo una muestra de madera de 75 mm de longitud y 25 mm de diámetro, conseguida mediante un muestreo no destructivo que consistió en el uso de una broca de tipo cortadora de tapones en espiral de



implementada en un taladro de batería de 20 voltios. La perforación se realizó en cada árbol a una altura de 1,3 m sobre nivel del suelo se limpió un área de 4 cm², la cual se liberó de la corteza y se colocó la broca para perforar el fuste, la perforación se realizó con una velocidad de 1 750 RPM; posterior a que se realizara la perforación con toda la broca, la pieza de madera se extrajo con una pinza y se introdujo en una bolsa con una disolución acuosa de alcohol al 15 %.

Procesamiento del material

Cada muestra cilíndrica se segmentó en cinco subcilindros de 13 mm de longitud, proceso en el cual las caras transversales se pulieron para dejarlas lo más lisas posibles; posteriormente, cada subcilindro se convirtió de manera manual en cubos de 12 mm de cara con superficies lo más lisas posibles y libres de defectos. Seguidamente, se secaron a una temperatura de 65 °C por 72 horas, esto con el fin de no tener contracciones drásticas de la madera a ser expuesta en poco tiempo a altas temperaturas. Posterior al secado, los cubos se rectificaron en vías de disponer de una cara transversal lo más limpia posible, libre de torceduras, defectos de secado o marcas del proceso de corte; el tamaño de cada cara fue de 10 mm.

Procedimiento de fotografiado

Las muestras se fotografiaron en su cara transversal en un estereoscopio electrónico marca Celestron, a una resolución de 5 MP y con un aumento de 20X. El material se colocó en una base banca y con una luminosidad estándar LED que dispone el estereoscopio integrado, utilizándose con una intensidad de 150 lux, con una temperatura de la luz de 4 500 K; cada muestra se fotografió cuatro veces, girando la muestra 90° en cada fotografía.

Análisis anatómicos considerados

Cada fotografía se procesó con el programa "Image J" y se estimó la densidad y diámetro promedio de los vasos, además de la relación de vasos-fibras para lo cual se implementó la metodología de Valverde y Arias (2018) para especies arbóreas latifoliadas del trópico.

Análisis estadístico

Primeramente, se realizó un análisis descriptivo de la anatomía de las muestras de madera en cara transversal de las diez especies, analizando densidad de vasos y diámetro de vasos. Posteriormente, se determinó la cantidad óptima de fotografías por especie (implementado por referencia la imagen de 10 x 10 mm), para lo cual se realizó un análisis de Cochran de homogeneidad de valores; hasta que este análisis mostrara una variación superior al 0,05 mostraría que la cantidad de fotografías no sería significativa para el análisis. Seguidamente, se determinó la dimensión fotográfica óptima por especie, a partir de ambas variables anatómicas, para lo cual utilizó la cantidad mínima de fotografías y se seccionaron en imágenes de 10 x 10 mm, 5 x 5 mm, 2,5 x 2,5 mm, 1,25 x 1,25 mm, 0,62 x 0,62 mm, 0,31 x 0,31 mm, 0,17 x 0,17 mm y 0,08 x 0,08 mm (Figura 2). Las imágenes se implementaron para estimar la densidad y diámetro de vasos y con la prueba de Cochran de homogeneidad de valores se estimó el punto de variación.



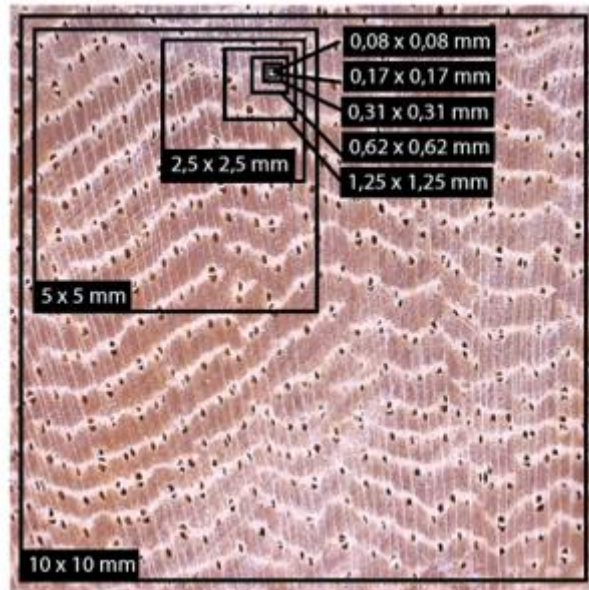


Figura 2. - Ejemplo de las dimensiones fotográficas analizadas para diez especies maderables

Con respecto a la determinación de la repetibilidad se implementó el error de la prueba de Cochran de homogeneidad de valores; se utilizó la fórmula: $(1 - \text{error}) * 100 \%$. Con la reproducibilidad se aplicó la fórmula: $\sqrt{(s^2 + v^2)}$, donde s es la desviación estándar de la muestra analizada y v es el coeficiente de corrección de la prueba de Cochran realizada. Finalmente, se realizó con la cantidad y dimensiones óptimas de las imágenes un análisis de correlación de Pearson para identificar la correspondencia entre la dimensión fotográfica y el diámetro de vasos.

Todos los análisis se realizaron con un nivel de confianza 0,05 y se implementó el programa estadístico Origin Pro versión 2020.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización anatómica inicial de las especies

En la Tabla 2, se presentan los datos de la caracterización macroscópica de las diez especies arbóreas en estudio. La densidad de vasos varió de 3,5 a 20,4 vasos mm^{-2} , siendo la especie *E. cyclocarpum* la que presentó la menor densidad de vasos, mientras *P. purpurea* la de mayor densidad con 20,4 vasos mm^{-2} . Con respecto al diámetro de los vasos, este varió de 119 a 252 μm , siendo la especie *P. quinata* la de menor diámetro de vasos, mientras la especie *E. cyclocarpum* mostró el mayor diámetro.

Los resultados mostrados concuerdan con los estudios desarrollados por De La Paz Pérez-Olvera y Dávalos-Sotelo (2008) para seis especies que determinó rangos de densidad y diámetro de vasos; solo cinco especies se encontraron en dicho estudio y presentaron valores con una similitud al 80 %, las variaciones obtenidas se pueden deber a variaciones climáticas, genéticas y de edad de los individuos analizados (Giachi *et al.*, 2017), aspectos que según Kobayashi *et al.*, (2019) pueden incidir en la diferenciación entre especies.



Tabla 2. - Caracterización macroscópica de ocho especies arbóreas forestales de Costa Rica

Especie	Densidad de vasos (vasos mm ⁻²)	Diámetro de vasos (µm)
<i>S. mombin</i>	8,1 (3,4)	211,3 (58,7)
<i>T. rosea</i>	12,4 (3,9)	180,5 (44,8)
<i>C. costarricense</i>	9,3 (3,8)	176,2 (39,9)
<i>E. cyclocarpum</i>	6,6 (5,6)	251,8 (49,7)
<i>S. parahyba</i>	3,5 (2,1)	246,7 (66,3)
<i>P. purpurea</i>	20,4 (5,6)	102,3 (38,9)
<i>S. saman</i>	6,4 (3,7)	187,8 (62,7)
<i>P. quinata</i>	3,4 (1,9)	119,5 (59,2)
<i>C. odorata</i>	6,3 (2,8)	242,9 (45,6)
<i>V. guatemalensis</i>	3,9 (2,1)	169,7 (56,6)

Nota: valores entre paréntesis corresponden la desviación estándar

Determinación de la cantidad de imágenes mínima para representatividad por especie

En la determinación de la cantidad de imágenes mínimas por especie, en función de la variación de la densidad de vasos (Figura 3), se observaron las siguientes características: conforme el número de imágenes aumentó, la variación en la estimación de vasos disminuyó; los altos valores de la variación de vasos en poca cantidad de imágenes se deben a que muchas imágenes solo cubrían secciones del vaso, lo que hacía que la heterogeneidad de imágenes fuera amplia. La variación de vasos en los muestreos con pocas imágenes incidió que en la mayoría de las especies se tendiera a sobreestimar el diámetro de vasos, variación que disminuyó según se incrementó la cantidad de imágenes.

En el estudio se determinaron tres agrupaciones en cuanto a la cantidad de fotografías. La primera agrupación la conformó *C. costarricense*, *T. rosea*, *P. purpurea*, *S. saman* y *P. quinata*, que mostraron la menor cantidad de imágenes necesarias para obtener una homogeneidad del error. La cantidad mínima varió de 19 a 23 imágenes (Figura 3b, 3c, 3f, 3g y 3h); posterior a dicha cantidad de imágenes no se dieron diferencias estadísticas con el aumento de la cantidad de fotografías. La segunda agrupación se conformó con las especies *E. cyclocarpum*, *C. odorata* y *V. guatemalensis*, que presentaron un número mínimo de significancia de imágenes de 25 a 30, posterior a la cual la variación se estabilizó. Finalmente, la especie *S. mombin* fue la que mostró la mayor cantidad de imágenes (35).



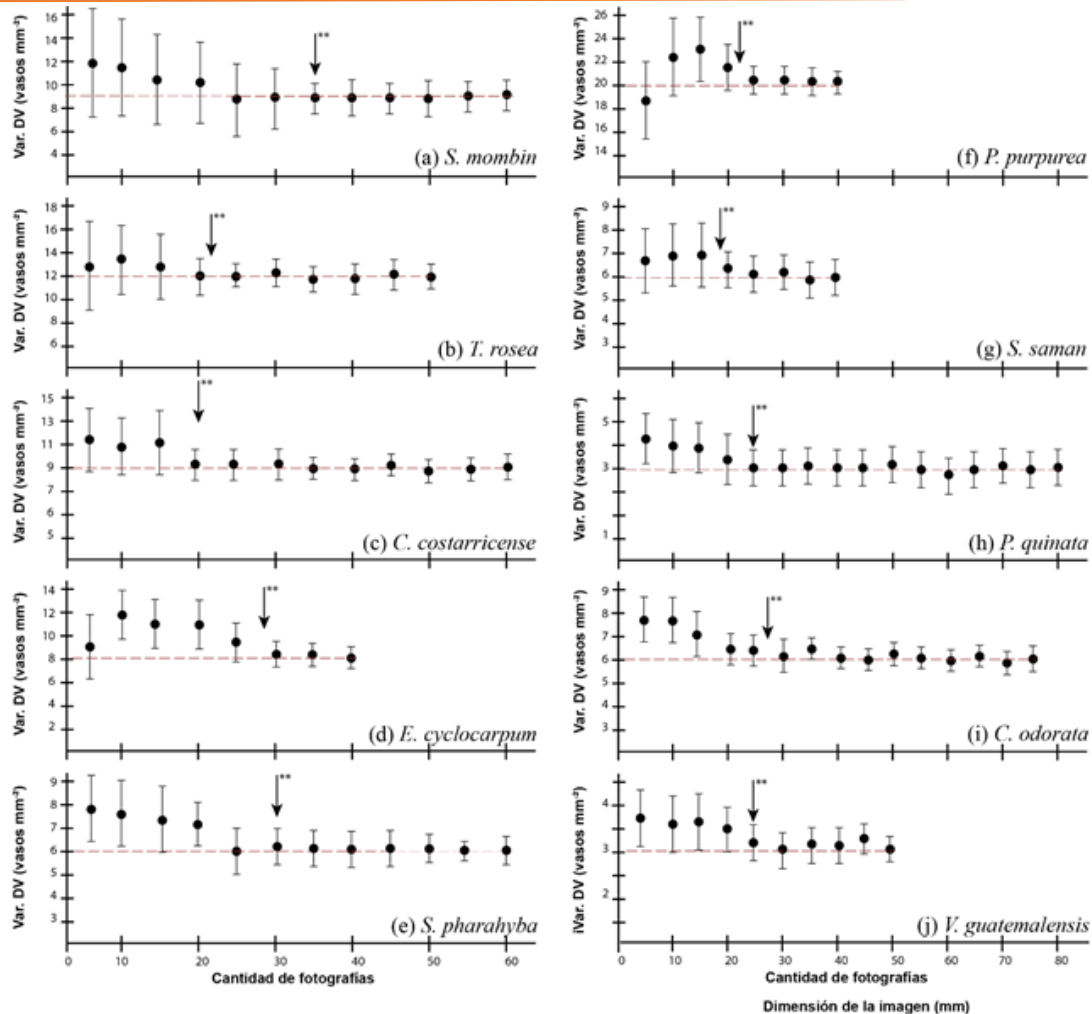


Figura 3. - Determinación de la cantidad mínima significativa de imágenes macroscópicas de madera para diez especies arbóreas de Costa Rica

La poca funcionalidad de la implementación de menos de 19 imágenes por especie se debe a la pérdida de representatividad de la especie. Pacheco *et al.*, (2020) mencionan que pocas imágenes representativas de una especie generan que haya un error en los datos anatómicos, ya que por efectos de aleatoriedad se encuentran distintas partes de la anatomía de la especie y conforme se aumenta la muestra se dará una mayor representatividad de todos los posibles elementos que conforman la madera; con ello se podrá disponer de un set mayor de información. Estudios desarrollados por Andrade Bueno *et al.*, (2020) con especies de *Eucalyptus spp.* determinaron que los análisis anatómicos con menos de cinco imágenes son poco viables, debido a que se pueden cometer errores en cuanto la representatividad de la especie; además, se puede tener únicamente muestras de madera juvenil, o solo secciones de albura o duramen, lo cual inciden en que se den sesgos en la representación de la especie.

Fioravanti *et al.*, (2017) mencionan que una vez determinada la cantidad de imágenes óptimas por especie se debe evitar trabajar con cantidades de imágenes inferiores que pueden generar sesgos en cuanto a los análisis estadísticos o en descripciones representativas de la especie; aspectos como la distribución de la especie, edad, condiciones ambientales de desarrollo deben ser consideradas al momento de tomar la muestra de imágenes, ya que en muchos casos la utilización de una única procedencia o región puede inferir en la representación (Ayala-Usma *et*



al., 2019), por lo cual no solo se debe pensar en la cantidad de muestras mínimas, sino también en la distribución de individuos y sus condiciones de desarrollo.

Determinación del tamaño mínimo de la imagen en función del diámetro de vasos

Con respecto a la determinación del tamaño óptimo de la imagen, en función del diámetro de vasos (Figura 4), se determinó para la mayoría de las especies una dimensión óptima de 1,25 x 1,25 mm, siendo para las especies *T. rosea*, *C. costarricense* y *C. odorata* la dimensión óptima de 0,62 x 0,62 mm, mientras con *P. purpurea* la dimensión fue de 0,31 x 0,31 mm. Además, se determinó que las dimensiones inferiores a la óptima se sobreestimó el diámetro de los vasos en conjunto de un incremento significativo de la desviación estándar, lo cual influye en un incremento de la variación.

La determinación de una dimensión mínima de trabajo es fundamental para tener una representación real de la imagen. *Machado et al.*, (2019) destacan que imágenes con una dimensión muy pequeña pierden la representatividad de los elementos anatómicos; aspectos como vasos, parénquimas o fibras pueden disponer de poca representación en la imagen, generando sesgo al momento de hacer cálculos anatómicos. *Carlsson y Isaksson* (2018) mencionan que en especies latifolias se debe tener cuidado con el tamaño de la imagen; imágenes de tamaño reducido inciden en que la capacidad de identificación de la especie sea baja, debido al corte de vasos y poca presencia de elementos anatómicos dentro de la imagen.

Por su parte, *Brown et al.*, (2020) mencionan que la optimización del tamaño permite el desarrollo de muestreos optimizados en la madera; con ello, definir el tamaño de una muestra permite reducir el problema de hacer muestreos no destructivos o muestreos de bajo impacto al material de estudio.



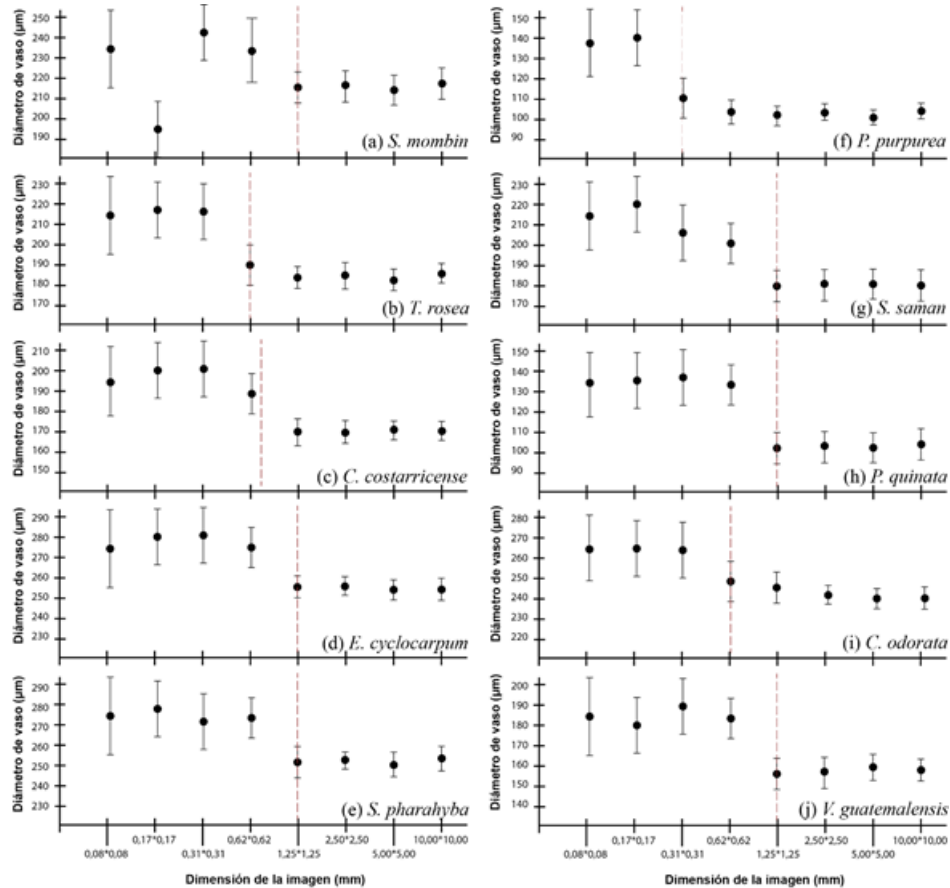


Figura 4. - Determinación de la dimensión óptima de las imágenes macroscópicas de madera en función del diámetro de vasos para diez especies arbóreas de Costa Rica

Determinación del tamaño mínimo de la imagen en función de la densidad de vasos

Con respecto a la determinación de la dimensión fotográfica en función de la densidad de vasos (Figura 5), se según la fotografía disminuyó de dimensiones la densidad tendió a subestimarse, siendo el tamaño óptimo la dimensión de 1,25 x 1,25 mm. Para las especies *T. rosea*, *C. costerricensis* y *C. odorata* la dimensión óptima fue de 0,62 x 0,62 mm; en cambio, para la especie *P. purpurea* la dimensión óptima fue de 0,31 x 0,31 mm. Posterior a la dimensión óptima, los valores de densidad de vasos tuvieron a estabilizarse y el error se mantuvo homogéneo.



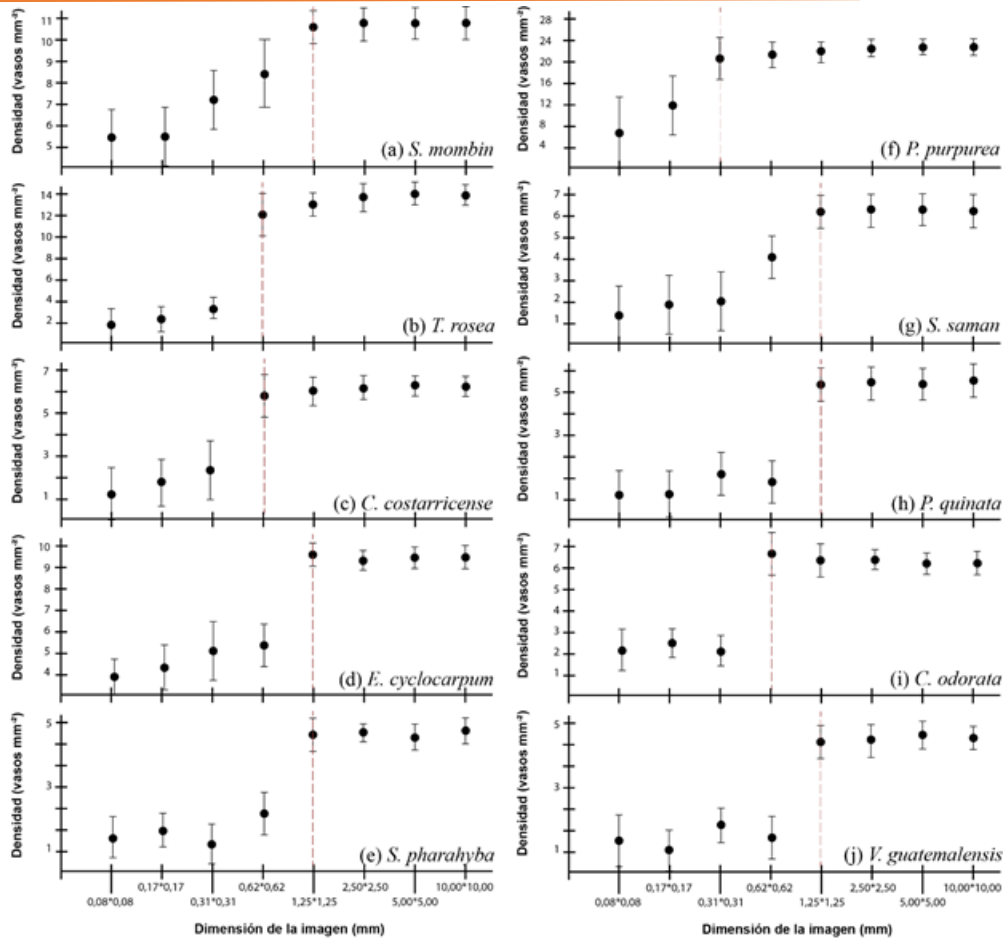


Figura 5. - Determinación de la dimensión óptima de las imágenes macroscópicas de madera en función al diámetro de vasos para diez especies arbóreas de Costa Rica

Repetibilidad y reproducibilidad de las condiciones óptimas de muestreo fotográfico

Al analizar la repetibilidad y reproducibilidad de las dimensiones y cantidad de imágenes óptimas, se obtuvieron valores superiores al 90 % en todas las especies, lo que permitió demostrar la viabilidad de los parámetros seleccionados; cantidades menores de fotografías o dimensiones fotográficas inferiores generaron valores inferiores al 60 %.

Según *Sousa Fernandes et al., (2019)* estos aspectos son de relevancia en estudios de representatividad de una especie. Conforme se dé una capacidad de reproducir un estudio con las mismas condiciones y se den resultados similares, se permitirá disponer de condiciones reales para la comparación de los resultados. *Copini et al., (2015)* mencionan que en muchos casos es complicado, debido a deficiencias en las metodologías, errores en los procedimientos de colecta y manipulación de datos, omisiones de pasos que inciden que la reproducibilidad del experimento sea escasa y la representatividad de los resultados sea posible de realizar.

Los análisis evidenciaron que dimensiones menores a las determinadas hicieron que la variación de resultados fuera amplia, lo que elevó el error y disminuyó la calidad de la información, aspecto que *Marcelo-Peña et al., (2019)* considera deficientes en estudios con especies arbóreas, ya que se pueden generar sesgos en los valores anatómicos (Tabla 3).



Tabla 3. - Repetibilidad y reproducibilidad con la cantidad y dimensiones óptimas de las fotografías obtenidas para diez especies forestales de Costa Rica

Especie	Cantidad mínima de imágenes	Dimensión de la imagen (mm)	Repetibilidad	Reproducibilidad
<i>S. mombin</i>	35	1,25 x 1,25	92,56 (2,65)	91,23 (4,56)
<i>T. rosea</i>	23	0,62 x 0,62	90,58 (3,26)	90,88 (3,86)
<i>C. costarricense</i>	30	0,62 x 0,62	96,50 (4,02)	95,56 (3,69)
<i>E. cyclocarpum</i>	28	1,25 x 1,25	90,25 (3,45)	92,45 (4,02)
<i>S. pharahyba</i>	30	1,25 x 1,25	92,86 (3,75)	96,25 (4,09)
<i>P. purpurea</i>	23	0,31 x 0,31	98,55 (2,98)	91,02 (3,50)
<i>S. saman</i>	18	1,25 x 1,25	91,22 (2,56)	93,25 (3,78)
<i>P. quinata</i>	25	1,25 x 1,25	92,17 (2,77)	92,05 (4,11)
<i>C. odorata</i>	26	0,62 x 0,62	93,35 (3,44)	91,11 (4,03)
<i>V. guatemalensis</i>	24	1,25 x 1,25	94,44 (2,56)	93,33 (3,80)

Nota: Valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar

Relación del diámetro del vaso con la dimensión fotográfica

El análisis mostró una relación entre el diámetro del vaso y la dimensión óptima de la fotografía del 73 %; conforme el vaso es más pequeño, el tamaño óptimo de la fotografía es inferior, aspecto que incidió en que especies de vaso pequeño como *P. purpurea* pudieran funcionar con fotografías con dimensiones inferiores a 1,25 x 1,25 mm (Figura 6). Sin embargo, la gran mayoría de las especies manifestaron que dimensiones inferiores a 1 mm son poco funcionales para que se puedan obtener datos estadísticamente válidos. Esto, debido a la pérdida de representatividad de los datos de los vasos, de ahí que especies con vasos mayores requirieran una imagen mayor. Reinig *et al.*, (2018) encontraron resultados de correlación similares, determinando que la dimensión de las imágenes tenía una correlación del 60 % con respecto al tamaño de vasos, encontrando que en imágenes muy pequeñas en muchos casos se recorta el vaso, generando subestimaciones en su medición; si la imagen es muy pequeña (inferior a 0,5 mm) se corre el riesgo de disponer de imágenes conformadas totalmente por vasos, lo que incide en que la representatividad de la imagen sea nula.



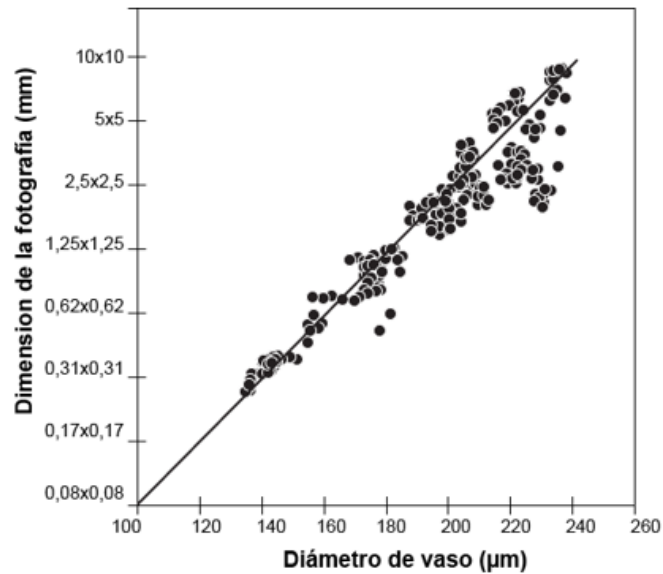


Figura 6. - Relación entre el diámetro de vasos y las dimensiones fotográficas e imágenes macroscópicas de madera en función al diámetro de vasos para diez especies arbóreas de Costa Rica

CONCLUSIONES

Se determinó la cantidad mínima fotografías por especie de 19 a 35, siendo *Spondias mombin* la especie con mayor requerimiento de fotografías con 35 y *Caryocar costarricense* la especie con menor cantidad de fotografías con 19. Con respecto a la dimensión óptima común de fotografías fue de 1,25 x 1,25 mm, siendo *Peltogyne purpurea* la especie que se pudo trabajar con menores dimensiones de 0,31 x 0,31 mm; la combinación de la cantidad de fotografías mínimas y la dimensión óptima permitió tener representatividades y reproducibilidades superiores al 90 %. Finalmente, se halló una correlación entre la dimensión de la imagen y el diámetro de vasos, encontrando que según el diámetro de vasos es menor, es posible trabajar con fotografías de menor dimensión con una relación superior al 70 %.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE BUENO, I. G., PICOLI, E. A. DE T., ISAIAS, R. M. DOS S., BARBOSA LOPES-MATTOS, K. L., CRUZ, C. D., NAOMI KUKI, K., & VALVERDE ZAUZA, E. A. 2020. Wood anatomy of field grown eucalypt genotypes exhibiting differential dieback and water deficit tolerance. *Current Plant Biology*, 22. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2020.100136>

ARZAC, A., LÓPEZ-CEPERO, J. M., BABUSHKINA, E. A., & GOMEZ, S. 2018. Applying methods of hard tissues preparation for wood anatomy: Imaging polished samples embedded in polymethylmethacrylate. *Dendrochronologia*, 51, 76-81. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.08.005>

AYALA-USMA, D. A., LOZANO-GUTIÉRREZ, R. E., & GONZÁLEZ ARANGO, C. 2019. Wood anatomy of two species of the genus *Chrysochlamys* (Clusiaceae: Clusioideae: Clusiaceae) from the northern Andes of Colombia. *Heliyon*, vol 5 no.7, 17. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02078>



BEYER, R., LETORT, V., & COURNÈDE, P. H. 2014. Modeling tree crown dynamics with 3D partial differential equations. *Frontiers in Plant Science*, 5(JUL), 18. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00329>

BIONDI, F., & ROSSI, S. 2015. Plant-water relationships in the Great Basin Desert of North America derived from *Pinus monophylla* hourly dendrometer records. *International Journal of Biometeorology*, 59(8), 939-953. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0907-4>

BROWN, H. R. 2013. The Theory of the Rise of Sap in Trees: Some Historical and Conceptual Remarks. *Physics in Perspective*, vol 15 no.3, 320-358. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00016-013-0117-1>

BROWN, L. A., OGUTU, B. O., & DASH, J. 2020. Tracking forest biophysical properties with automated digital repeat photography: A fisheye perspective using digital hemispherical photography from below the canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 287, 107-944. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107944>

BROWNSON, K., ANDERSON, E. P., FERREIRA, S., WENGER, S., FOWLER, L., & GERMAN, L. 2020. Governance of Payments for Ecosystem Services influences social and environmental outcomes in Costa Rica. *Ecological Economics*, 174, 106-659. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106659>

CAMPELO, F., GUTIÉRREZ, E., RIBAS, M., SÁNCHEZ-SALGUERO, R., NABAIS, C., & CAMARERO, J. J. 2018. The facultative bimodal growth pattern in *Quercus ilex* A simple model to predict sub-seasonal and inter-annual growth. *Dendrochronologia*, 49(March), 77-88. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.03.001>

CARLSSON, J., & ISAKSSON, P. 2018. Dynamic crack propagation in wood fibre composites analysed by high speed photography and a dynamic phase field model. *International Journal of Solids and Structures*, 144145, 78-85. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2018.04.015>

COPINI, P., DECUYPER, M., SASS-KLAASSEN, U., GÄRTNER, H., MOHREN, F., & DEN OUDEN, J. 2015. Effects of experimental stem burial on radial growth and wood anatomy of pedunculate oak. *Dendrochronologia*, 33, 54-60. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2014.12.001>

DANTAS, L. A., & CUNHA, A. 2020. An integrative debate on learning styles and the learning process. *Social Sciences & Humanities Open*, vol 2 no.1, 100-017. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2020.100017>

PAZ PÉREZ-OLVERA, C., & DÁVALOS-SOTELO, R. 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera Bosques*, vol 14 no.3, 43-80. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.21829/myb.2008.1431206>

MICCO, V., ARONNE, G., & BAAS, P. 2008. Wood anatomy and hydraulic architecture of stems and twigs of some Mediterranean trees and shrubs along a mesic-xeric gradient. *Trees - Structure and Function*, vol 22, no. 5, 643-655. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00468-008-0222-y>



SOUSA FERNANDES, D. D., DE ALMEIDA, V. E., FONTES, M. M., DE ARAÚJO, M. C. U., VÉRAS, G., & DINIZ, P. H. G. D. 2019. Simultaneous identification of the wood types in aged cachaças and their adulterations with wood extracts using digital images and SPA-LDA. *Food Chemistry*, 273, 77-84. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.035>

FIORAVANTI, M., DI GIULIO, G., & SIGNORINI, G. 2017. A non-invasive approach to identifying wood species in historical musical instruments. *Journal of Cultural Heritage*, 27, S70-S77. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.05.012>

GIACHI, G., CAPRETTI, C., LAZZERI, S., SOZZI, L., PACI, S., MARIOTTI LIPPI, M., & MACCHIONI, N. 2017. Identification of wood from Roman ships found in the docking site of Pisa (Italy). *Journal of Cultural Heritage*, 23, 176-184. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.07.005>

GLABASNIA, A., & HOFMANN, T. 2006. Sensory-directed identification of taste-active ellagitannins in American (*Quercus alba* L.) and European oak wood (*Quercus robur* L.) and quantitative analysis in bourbon whiskey and oak-matured red wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol 54 no.9, 3380-3390. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1021/jf052617b>

HAVINGA, I., HEIN, L., VEGA-ARAYA, M., & LANGUILLAUME, A. 2020. Spatial quantification to examine the effectiveness of payments for ecosystem services: A case study of Costa Rica's Pago de Servicios Ambientales. *Ecological Indicators*, 108, 105-766. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105766>

KOBAYASHI, K., HWANG, S. W., OKOCHI, T., LEE, W. H., & SUGIYAMA, J. 2019. Non-destructive method for wood identification using conventional X-ray computed tomography data. *Journal of Cultural Heritage*, 38, 88-93. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.02.001>

MA, F., & HUANG, A. MIN. 2018. Rapid identification and quantification three chicken-wing woods of *Millettia leucantha*, *Millettia laurentii* and *Cassia siamea* by FT-IR and 2DCOS-IR. *Journal of Molecular Structure*, 11-66, 164-168. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2018.04.037>

MACHADO, J. S., PEREIRA, F., & QUILHÓ, T. 2019. Assessment of old timber members: Importance of wood species identification and direct tensile test information. *Construction and Building Materials*, 207, 651-660. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.168>

MALIK, I., PAWLIK, £., CELÉZAK, A., & WISTUBA, M. 2019 A study of the wood anatomy of *Picea abies* roots and their role in biomechanical weathering of rock cracks. *Catena*, 173, 264-275. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.10.018>

MARCELO-PEÑA, J. L., SANTINI, L., & TOMAZELLO FILHO, M. 2019. Wood anatomy and growth rate of seasonally dry tropical forest trees in the Marañón River Valley, northern Peru. *Dendrochronologia*, 55, 135-145. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.04.008>



PACHECO, A., CAMARERO, J. J., POMPA-GARCÍA, M., BATTIPAGLIA, G., VOLTAS, J., & CARRER, M. 2020. Growth, wood anatomy and stable isotopes show species-specific couplings in three Mexican conifers inhabiting drought-prone areas. *Science of the Total Environment*, 698, 134055. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134055>

REINIG, F., GÄRTNER, H., CRIVELLARO, A., NIEVERGELT, D., PAULY, M., SCHWEINGRUBER, F., SOOKDEO, A., WACKER, L., & BÜNTGEN, U. 2018. Introducing anatomical techniques to subfossil wood. *Dendrochronologia*, 52, 146-151. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.10.005>

SÁNCHEZ-COSTA, E., POYATOS, R., & SABATÉ, S. 2015. Contrasting growth and water use strategies in four co-occurring Mediterranean tree species revealed by concurrent measurements of sap flow and stem diameter variations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 207, 2437. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.03.012>

SEVANTO, S., NIKINMAA, E., RIIKONEN, A., DALEY, M., PETTIJOHN, J. C., MIKKELSEN, T. N., PHILLIPS, N., & HOLBROOK, N. M. 2008. Linking xylem diameter variations with sap flow measurements. *Plant and Soil*, 305(12), 77-90. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9566-8>

STEPANOVA, A. V., OSKOLSKI, A. A., TILNEY, P. M., & VAN WYK, B. E. 2013. Wood anatomy of the tribe Podalyrieae (Fabaceae, Papilionoideae): Diversity and evolutionary trends. *South African Journal of Botany*, 89, 244-256. [Consulta 1º junio 2020] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2013.07.023>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Copyright (c) 2020 Juan Carlos Valverde, Dagoberto Arias, Erick Mata, Geovanni Figueroa, Nelson Zamora

