

# ANATOMÍA XILEMÁTICA DE TRONCO Y RAMAS DE *Theobroma cacao* L. (MALVACEAE: BYTTNERIOIDEAE)

*Williams J. León H.*

Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales.  
Departamento de Botánica y Ciencias Básicas. Laboratorio de Anatomía de Maderas. Mérida, Venezuela. wleon@ula.ve

## COMPENDIO

Se presenta un estudio comparativo de la anatomía de la madera en tronco y ramas de *Theobroma cacao* L. (Malvaceae: Byttnerioideae) procedente de una plantación establecida en la finca La Judibana de El Vigía (estado Mérida). Se colectaron muestras en la base del tronco y en la base de dos ramas de la primera ramificación en cuatro individuos. Se preparó material siguiendo las técnicas convencionales de microtecnia xilemática y la descripción se realizó de acuerdo a lo establecido por IAWA. Los caracteres cualitativos mostraron gran similitud entre las porciones de tronco y rama. Las principales diferencias fueron a nivel cuantitativo y se observaron en diámetro de vasos, frecuencia de vasos y longitud de fibras. Los mayores promedios de diámetro de vasos y longitud de fibras se encontraron en las porciones de tronco, mientras que las mayores frecuencias de vasos se presentaron en las ramas. La variación de diámetro y frecuencia de vasos indican la tendencia del sistema de conducción a garantizar una mayor seguridad y menor eficiencia en las ramas en comparación con el tronco.

## PALABRAS CLAVE

Anatomía xilemática, cacao, ramas, *Theobroma cacao*, tronco.

## **XYLEM ANATOMY IN TRUNK AND BRANCHES OF *Theobroma Cacao* L. (MALVACEAE: BYTTNERIOIDEAE)**

### **ABSTRACT**

A comparative study between wood anatomy in trunk and branches of *Theobroma cacao* L. (Malvaceae: Byttnerioideae) from a plantation in the finca La Judibana (El Vigía, Mérida State) is presented. Samples were taken from the trunk base and from two branches at the first branching from four individuals. Histological slides and macerated tissue were prepared according to xylematic microtechnique standards, and descriptions were made according to the IAWA. Qualitative features show high similarities between trunk and branches. The main differences in quantitative features are in vessel diameter, vessel frequency and fiber length. Higher values in vessel diameter and fiber length were found in the trunk and higher values in vessel frequency were found in branches. Variation in diameter and frequency of vessels show the tendency of the vascular system to guarantee a greater security and a lower efficiency in branches compared to trunk.

### **KEY WORDS**

Xylem anatomy, cacao, branches, *Theobroma cacao*, trunk.

### **INTRODUCCIÓN**

Las características anatómicas y morfológicas de la planta son de gran importancia para su crecimiento, desarrollo y reproducción. Las hojas deben estar posicionadas para capturar la luz eficientemente mientras que el tallo principal y ramas deben crecer y actuar como elemento de soporte para asegurar la captura de luz y resistir las diferentes cargas estáticas o dinámicas que puedan presentarse. Por otra parte, las raíces deben penetrar el suelo para proporcionar soporte, agua y nutrientes minerales (Longui *et al.* 2012). Pashin y De Zeeuw (1980) señalan que las porciones de raíces, “tocones” y ramas pueden llegar a representar hasta un 25% del volumen leñoso de un árbol y por lo general, no son aprovechadas. Desde el punto de vista anatómico, la madera de tallo principal, ramas y raíces pueden presentar diferencias, las cuales pueden tener un efecto significativo sobre propiedades físico-mecánicas de la madera o en procesos ecofisiológicos como la eficiencia en la movilización de agua y sales minerales. Según Wheeler y Baas (1998), una considerable variación de los

datos anatómicos en la madera depende de la posición de la muestra en el árbol (raíz, tronco, rama, albura, duramen). En general, la mayoría de los estudios anatómicos del xilema se han centrado en porciones correspondientes al tronco y son pocas las referencias correspondientes a madera de raíces o ramas. En años recientes se han realizado, en el caso de angiospermas, algunos estudios comparativos con la finalidad de conocer las posibles diferencias anatómicas entre porciones de tallo principal y ramas y los efectos sobre aspectos fisiológicos o propiedades de la madera. Por ejemplo, Kotowska *et al.* (2015), realizaron un estudio comparativo entre la anatomía de raíz, tronco y ramas de seis especies: *Theobroma cacao* L. (Malvaceae), *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae), *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. (Fabaceae), *Gnetum gnemom* L. (Gnetaceae), *Erythrina* sub-umbrans (Hassk.) Merrill (Fabaceae) y *Durio zibethinus* Murr. (Malvaceae) y al comparar ramas con tronco encontraron un incremento de la cantidad de vasos y una disminución del diámetro de los mismos en las ramas; pero para cada especie varió la proporción en que aumentaba la frecuencia de vasos y la disminución de su diámetro. En el caso de la frecuencia de vasos, el incremento de tronco a ramas osciló 3 y 25 veces; mientras que el diámetro se redujo entre 33% y hasta cerca del 200%. Yaman (2014), encontró diferencias en diámetro, frecuencia y longitud de elementos de vasos, longitud, diámetro y grosor de paredes de las fibras y ancho de radios entre ramas y tronco en *Ficus carica* L. (Moraceae). Por otra parte, Longui *et al.* (2012), reportan para *Eriotheca gracilipes* (K. Shum.) A. Robyns (Malvaceae), un menor diámetro en las punteaduras intervasculares a nivel de las ramas, pero no encontraron diferencias significativas en la altura de los radios. Samariha *et al.* (2011), estudiaron la madera de *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (Simaroubaceae), encontrando disminuciones significativas en longitud, diámetro y grosor de paredes de las fibras al comparar tronco y ramas; correspondiendo los menores valores a la porción de ramas. Silva *et al.* (2009), estudiaron la anatomía de tronco y ramas de dos procedencias de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (Fabaceae), encontrando un comportamiento irregular: en la procedencia Sertania el tronco presentó mayor proporción de vasos y parénquima, mientras que la proporción de radios y fibras alcanzó los mayores valores en ramas; la procedencia Serra Talhada presentó las mayores proporciones de vasos y parénquima en las ramas, mientras que la proporción de fibras fue notablemente superior en el tronco. En *Quercus velutina* Lam. (Fagaceae), Stokke y Manwiller (1994), encontraron que la proporción de vasos y fibras es mayor en las ramas, mientras que el parénquima axial y radial está en mayor proporción en la zona del tronco. Bhat *et al.* (1989) realizaron

el estudio comparativo de la longitud de fibras entre tronco y ramas de once especies tropicales (*Tectona grandis* L.f., *Lagerstroemia microcarpa* Wight, *Anacardium occidentale* L., *Dillenia pentagyna* Roxb., *Dipterocarpus indicus* Bedd., *Erythrina stricta* Roxb., *Grewia tiliifolia* Vahl, *Hevea brasiliensis* (H.B.K.) Muell. Arg., *Stereospermum chelonoides* DC., *Terminalia paniculata* Roth, *Xylia xylocarpa* (Roxb.) Taub.), en todas ellas encontraron una disminución significativa de ese carácter en las ramas. Para *Theobroma cacao* es muy poca la información existente en relación a la anatomía xilemática y uno de los pocos reportes es el presentado por Gámez (2013), quien estudió aspectos eco-anatómicos de la especie en los bosques de la Reserva Forestal Caparo (Barinas, Venezuela). Con respecto a estudios comparativos de tronco y ramas, Kotowska *et al.* (2015), presentan la anatomía de raíz, tronco y ramas en seis especies tropicales de un sistema agroforestal, incluyendo el primer reporte para *Theobroma cacao* en este tipo de estudios comparativos. Esta especie es de gran importancia desde el punto de vista comercial y según Jaimez *et al.* (2008), se extiende desde México hasta el Amazonas en una gran diversidad de ambientes que han propiciado una alta cantidad de tipos o cultivares, producto de procesos de domesticación y adaptación a condiciones climáticas muy particulares. Hokche *et al.* (2008), señalan que en Venezuela existen dos subespecies: *T. cacao* subsp. *cacao* y *T. cacao* subsp. *sphaerocarpum* (A. Chev.) Cuatrec. La primera se encuentra entre 125 y 1300 msnm y ha sido reportada en los estados Amazonas, Delta Amacuro, Mérida, Miranda, Sucre, Táchira y Zulia; mientras que la segunda se encuentra entre 50 y 200 msnm y ha sido reportada en los estados Amazonas y Bolívar. Tomando en consideración algunas características de frutos y semillas, desde el punto de vista agrícola, las plantas de cacao se clasifican en diferentes tipos de cultivares, siendo el cultivar criollo porcelana uno de los más valiosos del mundo por su sabor y aroma (Chacón *et al.* 2011). En Venezuela no se tiene ningún estudio de anatomía xilemática de ramas y no se han podido establecer comparaciones entre las características del tronco y las ramificaciones que parten de él. En el presente trabajo se tiene como objetivo dar inicio a ese tipo de estudio en el país a través de la descripción y comparación de la anatomía del tronco y ramas en *Theobroma cacao* L. (Malvaceae: Byttnerioideae).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El material de estudio corresponde a muestras de madera de tronco y ramas de cuatro individuos de *Theobroma cacao* L. (Malvaceae: Byttnerioideae) (Tabla I) procedentes de un ensayo agroforestal establecido en la finca La Judibana de la

Universidad de Los Andes, localizada en el municipio Alberto Adriani, El Vigía (estado Mérida), a una altura de 64-73 msnm y con coordenadas geográficas 8°37'26'' N y 71°42'22'' O (Jaimez *et al.* 2013, Araque *et al.* 2009).

Tabla I. Muestras de *Theobroma cacao* L. (Número de xiloteca MERw, diámetro).

Muestra	Xiloteca MERw	Diámetro (cm)
X6785 (Tronco)	X6785-A	8,5
X6785 (Rama 1)	X6785-B	5,9
X6785 (Rama 2)	X6785-C	5,6
X6786 (Tronco)	X6786-A	9,0
X6786 (Rama 1)	X6786-B	5,0
X6786 (Rama 2)	X6786-C	4,8
X6787 (Tronco)	X6787-A	4,9
X6787 (Rama 1)	X6787-B	2,3
X6787 (Rama 2)	X6787-C	2,3
X6788 (Tronco)	X6788-A	4,7
X6788 (Rama 1)	X6788-B	2,2
X6788 (Rama 2)	X6788-C	1,7

La plantación fue establecida en diciembre del 2008, bajo la sombra de las especies forestales *Cedrela odorata* L., *Cordia thaisiana* Agostini, *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia rosea* (Bertol.) A. DC., en filas alternadas con las especies mencionadas y a un distanciamiento de 3 x 3 m (Araque *et al.* 2012). Para el momento de la extracción de muestras, los individuos contaban con cinco años de edad. Según Araque *et al.* (2011), los datos de la Estación Meteorológica de la Fuerza Aérea ubicada en El Vigía, indican que la zona de estudio tiene una precipitación promedio anual de 1836 mm y una temperatura media anual de 28,6°C. Las muestras fueron tomadas en la base del tronco y la base de la primera ramificación de cada individuo; en esta última porción se tomaron las dos ramas de mayor diámetro. El material colectado se incorporó a la xiloteca MERw del Laboratorio de Anatomía de Maderas de la Universidad de Los

Andes (Mérida, Venezuela). De cada muestra se extrajeron pequeños cubos de aproximadamente 1,5 cm<sup>3</sup> y fueron sometidos a un proceso de ablandamiento en agua hirviendo durante 40-60 min para proceder a la realización de cortes con un micrótopo de deslizamiento y obtener secciones transversal, tangencial y radial de 20-30 µm de espesor. Las secciones se tiñeron con safranina y se deshidrataron en baños sucesivos de alcohol al 50, 70 y 75% por 10 min en cada uno y 95% durante 1-2 h, seguida de una mezcla de alcohol-xilol (proporción 1:1, 15 min) y xilol puro (1-2 h). Posteriormente los cortes se montaron con resina sintética. También se preparó tejido disociado sumergiendo astillas de madera en una mezcla de peróxido de hidrógeno y ácido acético glacial (1:1), la cual fue llevada a estufa (12 h, 60°C), los elementos celulares se separaron mediante fricción mecánica y se tiñeron con safranina (30 min); finalmente se montaron con bálsamo de Canadá. La descripción se hizo de acuerdo a lo estipulado por IAWA Committee (1989), tanto en lo relacionado con caracteres cualitativos como cuantitativos, incluyendo lo correspondiente al número de mediciones recomendadas para cada carácter cuantitativo. Se calculó el índice de vulnerabilidad (IV) según Carlquist (1988) y el índice de agrupamiento de vasos (Ivg) con las siguientes fórmulas:

$IV = \text{Diámetro de vasos} / \text{Frecuencia de vasos}$

$Ivg = \text{Número total de vasos} / \text{Número de grupos de vasos}$

En el caso del Ivg, se calculó en cinco áreas diferentes de la sección transversal para obtener el promedio en cada porción estudiada.

Para el análisis estadístico se utilizó el paquete SPSS 22.0 y se determinó la estadística básica (promedio, desviación estándar, coeficiente de variación, valor máximo y mínimo). Se realizó un análisis de varianza y prueba de Tukey ( $\alpha = 0,01$ ) para determinar si existen diferencias significativas entre individuos (porción de tronco) y entre tronco y ramas de cada individuo.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **DESCRIPCIÓN ANATÓMICA**

Madera de color gris rosáceo (7.5YR 7/2), sin transición entre albura y duramen. Olor y sabor indistinto. Lustre bajo. Grano inclinado. Textura mediana. Blanda y liviana.

Anillos de crecimiento definidos a ligeramente definidos. Porosidad difusa (Fig. 1A, 1B). Vasos sin patrón definido de disposición, solitarios y múltiples radiales de 2-4 (-6) (Fig. 1A, 1B), algunos arracimados. Placas de perforación simples. Punteaduras intervasculares alternas, circulares a ovaladas, algunas veces poligonales y alargadas (Fig. 2). Punteaduras de vaso-radio con abertura reducida o aparentemente simples, forma redondeada o alargada. Tíldes presentes. Fibras no septadas, con paredes delgadas a medianas, con punteaduras indistintamente areoladas. Parénquima apotraqueal difuso, en agregados, paratraqueal escaso, vasicéntrico delgado en series de 2-4 (-6-8) células, predominantemente 4 células. Radios homocelulares de células cuadradas o erectas y heterocelulares con dos o más filas de células marginales (Fig. 3), de dos tamaños. Radios agregados (Fig. 4) algunas veces presentes. Células envolventes presentes pudiendo formar envolturas parciales en algunos radios. Células radiales perforadas presentes (X6785-B, X6786-B) (Fig. 5). Cristales prismáticos en células cuadradas o erectas de los radios (Fig. 3), drusas ocasionalmente presentes en los radios (X6787-A, X6788-B) (Fig. 6), 1 (-2) cristal por célula. Conductos gomíferos traumáticos presentes (Fig. 1A, 1B). Máculas presentes (Fig. 1A, 1B).

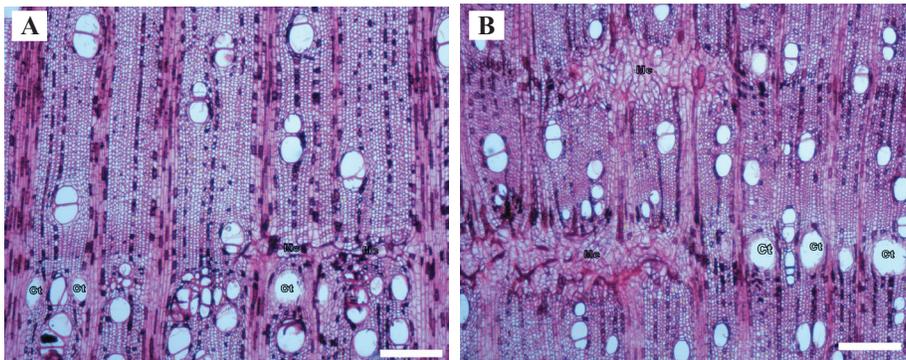


Fig. 1. *Theobroma cacao* L. Sección transversal de tronco (A) y rama (B): Porosidad difusa; poros solitarios y múltiples radiales; conductos traumáticos (Ct), máculas (Mc). Diferencia en tamaño y frecuencia de vasos entre tronco y ramas (Barra = 300  $\mu$ m).

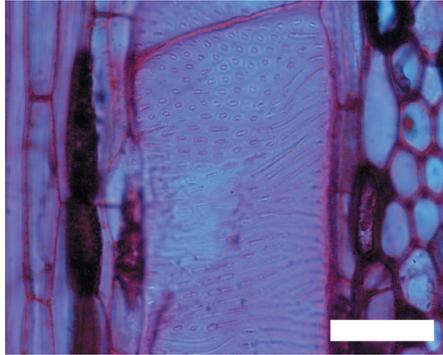


Fig. 2. *Theobroma cacao* L. Radios agregados (Barra = 50  $\mu$ m).

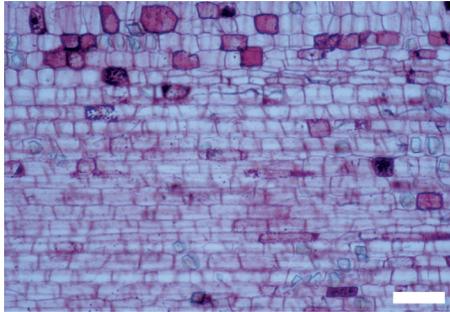


Fig. 3. *Theobroma cacao* L. Célula radial perforada (Barra = 100  $\mu$ m).

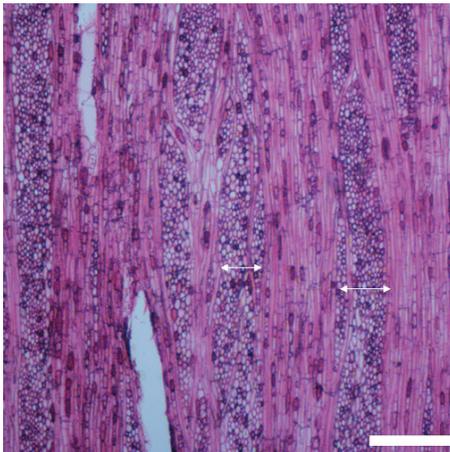


Fig. 4. *Theobroma cacao* L. Radios agregados (Barra = 300  $\mu$ m).

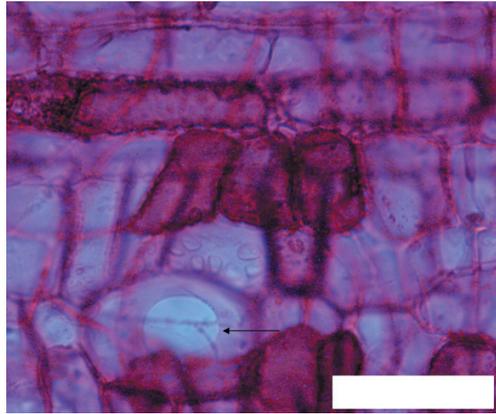


Fig. 5. *Theobroma cacao* L. Célula radial perforada (Barra = 50  $\mu$ m).

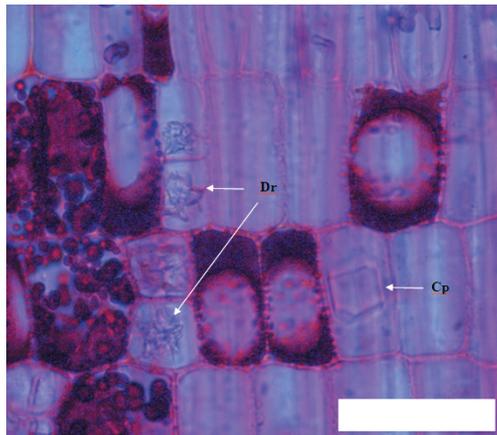


Fig. 6. *Theobroma cacao* L. Drusas (Dr) y cristales prismáticos (Cp) (Barra = 50  $\mu$ m)

En las Tablas II y III se presentan los resultados correspondientes a las características cuantitativas, incluyendo lo correspondiente al análisis de varianza y pruebas de diferencia de medias ( $\alpha = 0,01$ ).

Desde el punto de vista de caracteres cualitativos, se encontró similitud entre las porciones de tronco y ramas. Se debe mencionar que en todas las muestras estudiadas se encontraron conductos traumáticos y máculas, lo que puede ser indicativo de la sensibilidad de *Theobroma cacao* ante la acción de factores

externos y como respuesta se forman los elementos antes mencionados. IAWA Committee (1989), indica que los conductos traumáticos se forman principalmente como respuesta a lesiones y tienden a presentarse formando bandas tangenciales, poseen contorno irregular y se encuentran muy cercanos entre sí. Las máculas observadas coinciden con lo reportado por Cosmo *et al.* (2010), quienes señalan que están constituidas principalmente por células parenquimáticas de forma irregular y con una gran variación en cuanto al grosor de paredes y su origen es una respuesta a lesiones en la zona cambial tanto por factores bióticos como abióticos.

A nivel de caracteres cuantitativos, se encontró lo siguiente:

### DIÁMETRO DE VASOS

En general, el diámetro de vasos (Tabla II) alcanzó sus mayores promedios en la porción correspondiente al tronco, excepto en un individuo donde el mayor valor se observó en la segunda rama estudiada, pero sin mostrar diferencias significativas con respecto al valor promedio de la porción del tronco. La mayor diferencia observada entre tronco y ramas se encontró en un individuo cuyos vasos presentaron un diámetro promedio de 101,4  $\mu\text{m}$  en el tronco y 67,2  $\mu\text{m}$  en una de las ramas, lo que representa una diferencia porcentual de 33,73%. Desde el punto de vista estadístico, en dos individuos existieron diferencias significativas (Tukey,  $\alpha = 0,01$ ) entre el diámetro de los vasos de tronco y ramas, mientras que en los dos individuos restantes no existieron diferencias significativas. Este comportamiento coincide con lo reportado para *Ficus carica* (Yaman 2014) y para *Eriotheca gracilipes* (Longui *et al.* 2012). Con respecto a *Theobroma cacao*, Kotowska *et al.* (2015) reportan una disminución del diámetro de vasos desde aproximadamente 75  $\mu\text{m}$  en el tronco a 50  $\mu\text{m}$  en las ramas, lo que representa una reducción del 33%, valor que coincide con lo encontrado en el presente estudio. Al establecer comparaciones entre individuos, tomando como referencia el diámetro de los vasos en la porción del tronco, no se encontraron diferencias significativas entre los cuatro individuos estudiados.

### FRECUENCIA DE VASOS

La densidad de vasos (Tabla III) mostró sus menores valores en la porción correspondiente al tronco y en dos de los individuos estudiados, el incremento de la cantidad de vasos del tronco hacia las ramas presentó diferencias significativas (Tukey,  $\alpha = 0,01$ ). Yaman (2014) y Longui *et al.* (2012) reportan patrones similares para *Ficus carica* y *Eriotheca gracilipes* respectivamente. En algunos casos se observó que la frecuencia de vasos aumentó en proporciones superiores al 100% al comparar los valores correspondientes al tronco y una de

las ramas (Fig. 6, individuos 3-4). Kotowska *et al.* (2015) reportan incrementos de frecuencia de vasos en ramas de *Theobroma cacao* de hasta cuatro veces superior al valor observado en el tronco. Entre los individuos estudiados no se observaron diferencias significativas al comparar la frecuencia de vasos en las porciones correspondientes al tronco.

#### DIÁMETRO DE PUNTEADURAS

Los valores promedio mostraron un comportamiento irregular en cuanto al patrón de variación en el sentido que en algunos casos los mayores valores se presentaron en el tronco (árbol 4) y en otros casos se observaron en las ramas (árbol 1,2,3); sin embargo, de acuerdo a la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,01$ ), no existen diferencias estadísticamente significativas entre el diámetro de punteaduras de los diferentes individuos estudiados y entre las porciones de tronco y ramas de cada individuo (Tabla II). Esto coincide con lo reportado por Longui *et al.* (2012) para *Eriotheca gracilipes*. En todos los casos, tanto a nivel de tronco como de ramas, las punteaduras se ubican en la categoría de medianas (IAWA Committee 1989).

#### LONGITUD DE ELEMENTOS DE LOS VASOS

Al igual que el diámetro de las punteaduras, los valores promedio mostraron un comportamiento irregular en el sentido que en algunos casos el mayor promedio correspondió a porciones de tronco y en otros a porciones de ramas (Tabla II). Sin embargo, la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,01$ ) indica que no hay diferencias significativas entre individuos a nivel de tronco y entre las porciones estudiadas en cada individuo. Resultados similares reportan Longui *et al.* (2012) para *Eriotheca gracilipes* y Yaman (2014) en *Ficus carica*.

#### LONGITUD DE FIBRAS

En cada individuo, el mayor promedio se observó en la porción de madera correspondiente al tronco (Tabla III). En el 50% de los casos, las diferencias de longitud de fibras entre tronco y ramas fueron estadísticamente significativas; mientras que en el 50% restante mostró diferencia significativa con una de las ramas. Este comportamiento coincide con lo reportado por Longui *et al.* (2012), Samariha *et al.* (2011) y Bhat *et al.* (1989). La mayor diferencia a nivel de individuos entre longitud de fibras en tronco y ramas fue de 24%.

#### ALTURA DE RADIOS

El mayor valor promedio de altura de radios en todos los individuos estudiados se observó en la porción correspondiente al tronco (Tabla III). Sin embargo, la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,01$ ) indica que no hay diferencias entre el tronco y las ramas ni entre las porciones de tronco de los diferentes individuos.

## ÍNDICE DE AGRUPAMIENTO DE VASOS

El comportamiento con respecto a la agrupación de los vasos fue el más constante y todas las porciones estudiadas mostraron similitud entre sí al no encontrarse diferencias estadísticamente significativas (Tabla II). Sin embargo, en el 75% de los individuos, el mayor valor absoluto se presentó en una de las ramas y sólo un individuo mostró mayor valor a nivel del tronco.

## ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

En todos los individuos, los mayores índices de vulnerabilidad (Tabla III) se presentaron en la porción correspondiente al tronco y las diferencias oscilaron entre cerca del 50 hasta más del 300%. Sin embargo, a pesar de esa gran diferencia, todos los valores estuvieron por encima de la unidad lo que indica un comportamiento mesomórfico.

Los elementos anatómicos que muestran mayor diferencia entre tronco y ramas son los destinados a cumplir funciones de conducción (vasos) y soporte (fibras). Con respecto a los vasos, el diámetro y frecuencia de los mismos son los que presentan mayor variación, observándose la tendencia a disminuir el diámetro e incrementar la frecuencia de vasos desde el tronco hacia las ramas. Según Carlquist (1988), la frecuencia y diámetro de vasos tienen una gran influencia sobre el comportamiento conductivo y señala que grandes diámetros y baja frecuencia están relacionados con eficiencia en la conducción mientras que las características opuestas tienden a garantizar mayor seguridad. Kotowska *et al.* (2015), señalan que los vasos de mayor diámetro son más eficientes para el movimiento de líquidos pero, a la vez, son más susceptibles a sufrir daños por embolismo. Estos aspectos indican que en *Theobroma cacao* va a existir tendencia a disminuir la eficiencia y aumentar la resistencia a la vulnerabilidad desde el tronco hacia las ramas. Los valores del índice de vulnerabilidad, tanto del tronco como las ramas, muestran un comportamiento de tipo mesomórfico; sin embargo, las disminuciones del valor de dicho índice en la porción correspondiente a las ramas indican una tendencia a la seguridad en el sistema de conducción y un aumento de la resistencia a la vulnerabilidad. Scholz *et al.* (2013), señalan que un comportamiento verdaderamente mesomórfico se manifiesta cuando  $IV > 3$  y los valores obtenidos en las ramas se encuentran cercanos a lo indicado por Scholz *et al.* (2013) y en uno de los casos es inferior al mismo y se puede tomar como un indicativo de la orientación del sistema de conducción hacia líneas de seguridad en las ramas y mayor tendencia a la eficiencia en el tronco. Con respecto a la longitud de las fibras, las disminuciones entre tronco y ramas no ejercen un efecto importante sobre la eficiencia de soporte o resistencia mecánica ya que el factor que ejerce mayor influencia sobre esta función es el grosor de paredes de las fibras y éste muestra pocas variaciones entre las porciones estudiadas.

Tabla II. Diámetro de vasos, diámetro de punteaduras, longitud de elementos de los vasos e índice de agrupamiento de vasos (mínimo, promedio, desviación, máximo, coeficiente de variación, número de observaciones) en tronco y ramas de *Theobroma cacao* L.

Muestra	Diámetro de vasos (µm)	Diámetro de punteaduras (µm)	Longitud elementos de los vasos (µm)	Ivg
X6785 (Tronco)	(80-) 99,6 <sup>a</sup> ± 15,2698 (-135) CV = 15,33 %. N = 25	(7,5-) 8,625 <sup>ab</sup> ± 0,7096 (-10) CV = 8,23 %. N = 10	(250-) 340 <sup>abc</sup> ± 59,56 (-490) CV = 17,52 %. N = 25	(1,43-) 1,742 <sup>a</sup> ± 0,3749 (-2,35) CV = 21,52 %. N = 5
X6785 (Rama 1)	(65-) 80,2 <sup>bc</sup> ± 7,8369 (-100) CV = 9,77 %. N = 25	(6,25-) 7,75 <sup>a</sup> ± 0,986 (-8,75) CV = 12,72 %. N = 10	(190-) 306,6 <sup>a</sup> ± 49,55 (-420) CV = 16,16 %. N = 25	(1,38-) 1,6 <sup>a</sup> ± 0,2654 (-2,05) CV = 16,59 %. N = 5
X6785 (Rama 2)	(60-) 70,8 <sup>bc</sup> ± 7,5939 (-85) CV = 10,73 %. N = 25	(7,5-) 8,75 <sup>ab</sup> ± 0,5893 (-10) CV = 6,73 %. N = 10	(225-) 315 <sup>ab</sup> ± 67,02 (-450) CV = 21,28 %. N = 25	(1,23-) 1,472 <sup>b</sup> ± 0,2363 (-1,76) CV = 16,05 %. N = 5
X6786 (Tronco)	(75-) 97,40 <sup>bc</sup> ± 13,0799 (-120) CV = 13,43 %. N = 25	(7,5-) 9,125 <sup>ab</sup> ± 1,1858 (-11,25) CV = 12,99 %. N = 10	(215-) 323,2 <sup>abc</sup> ± 65,38 (-420) CV = 20,23 %. N = 25	(1,23-) 1,506 <sup>a</sup> ± 0,1747 (-1,65) CV = 11,6 %. N = 5
X6786 (Rama 1)	(60-) 85,00 <sup>c</sup> ± 12,50 (-110) CV = 14,71 %. N = 25	(8,75-) 9,375 <sup>b</sup> ± 0,6588 (-10) CV = 7,03 %. N = 10	(200-) 308,2 <sup>a</sup> ± 64,55 (-430) CV = 20,94 %. N = 25	(1,22-) 1,482 <sup>a</sup> ± 0,168 (-1,62) CV = 11,34 %. N = 5
X6786 (Rama 2)	(80-) 102,20 <sup>c</sup> ± 11,00 (-130) CV = 10,76 %. N = 25	(7,5-) 8,125 <sup>ab</sup> ± 0,6588 (-8,75) CV = 8,11 %. N = 10	(235-) 337,2 <sup>abc</sup> ± 73,8 (-470) CV = 21,89 %. N = 25	(1,44-) 1,636 <sup>a</sup> ± 0,1824 (-1,93) CV = 11,15 %. N = 5
X6787 (Tronco)	(80-) 101,40 <sup>c</sup> ± 13,7326 (-140) CV = 13,54 %. N = 25	(7,5-) 8,125 <sup>ab</sup> ± 0,8839 (-10) CV = 10,88 %. N = 10	(180-) 329,6 <sup>abc</sup> ± 74,23 (-510) CV = 22,52 %. N = 25	(1,36-) 1,468 <sup>a</sup> ± 0,923 (-1,56) CV = 62,87 %. N = 5
X6787 (Rama 1)	(50-) 67,20 <sup>a</sup> ± 9,1378 (-85) CV = 13,6 %. N = 25	(7,5-) 8,958 <sup>ab</sup> ± 0,941 (-10) CV = 10,5 %. N = 6	(220-) 351,2 <sup>abc</sup> ± 61,09 (-455) CV = 17,39 %. N = 25	(1,45-) 1,628 <sup>a</sup> ± 0,1596 (-1,82) CV = 9,8 %. N = 5
X6787 (Rama 2)	(70-) 84,60 <sup>c</sup> ± 6,6018 (-100) CV = 7,83 %. N = 25	(7,5-) 7,8571 <sup>a</sup> ± 0,6099 (-8,75) CV = 7,76 %. N = 7	(220-) 343,8 <sup>abc</sup> ± 47,46 (-430) CV = 13,80 %. N = 25	(1,48-) 1,732 <sup>a</sup> ± 0,2251 (-1,95) CV = 12,99 %. N = 5
X6788 (Tronco)	(60-) 90,40 <sup>abc</sup> ± 15,8719 (-120) CV = 17,58 %. N = 25	(8,75-) 9,25 <sup>ab</sup> ± 0,6455 (-10) CV = 6,98 %. N = 10	(230-) 358,6 <sup>abc</sup> ± 74,27 (-525) CV = 20,71 %. N = 25	(1,47-) 1,686 <sup>a</sup> ± 0,1888 (-1,89) CV = 11,2 %. N = 5
X6788 (Rama 1)	(65-) 85,20 <sup>cd</sup> ± 12,3727 (-110) CV = 14,52 %. N = 25	(6,25-) 8,125 <sup>ab</sup> ± 1,1573 (-10) CV = 14,24 %. N = 8	(230-) 382,0 <sup>bc</sup> ± 66,77 (-515) CV = 17,48 %. N = 25	(1,60-) 1,86 <sup>b</sup> ± 0,203 (-2,10) CV = 10,91 %. N = 5
X6788 (Rama 2)	(65-) 81,40 <sup>bc</sup> ± 8,9582 (-105) CV = 11,01 %. N = 25	(7,5-) 8,25 <sup>ab</sup> ± 0,6455 (-8,75) CV = 7,82 %. N = 10	(26-) 395,8 <sup>c</sup> ± 63,37 (-575) CV = 16,01 %. N = 25	(1,44-) 1,636 <sup>a</sup> ± 0,1824 (-1,93) CV = 11,15 %. N = 5

NOTA: letras diferentes representan grupos estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,01$ ).

Tabla III. Frecuencia de vasos, altura y ancho de radios, longitud de fibras (mínimo, promedio, desviación, máximo, coeficiente de variación, número de observaciones) e índice de vulnerabilidad (IV) en tronco y ramas de *Theobroma cacao* L.

Muestra	Frecuencia de vasos (vasos / mm <sup>2</sup> )	IV	Altura de radios (µm)	Ancho de radios (número de células)	Longitud de fibras (µm)
X6785 (Tronco)	(6-) 11,92 <sup>ab</sup> ± 5,753 (-18) CV = 48,26 %, N = 5	8,36	(820-) 1772,8 <sup>a</sup> ± 806,54 (-4000) CV = 45,49 %, N = 25	1 y 4-10	(900-) 1147,8 <sup>ef</sup> ± 126,84 (-1460) CV = 11,05 %, N = 25
X6785 (Rama 1)	(9-) 14,15 <sup>ab</sup> ± 3,279 (-16) CV = 23,17 %, N = 5	5,67	(700-) 1358,36 <sup>a</sup> ± 619,93 (-3280) CV = 45,64 %, N = 25	1 y (3-) 6-12 (-13)	(830-) 994,2 <sup>abcd</sup> ± 79,72 (-1235) CV = 8,02 %, N = 25
X6785 (Rama 2)	(11-) 11,94 <sup>ab</sup> ± 0,527 (-13) CV = 4,41 %, N = 5	5,93	(680-) 1415,45 <sup>a</sup> ± 613,76 (-2690) CV = 43,36 %, N = 11	1 y (4-) 8-14	(870-) 1069,6 <sup>cde</sup> ± 107,39 (-1280) CV = 10,04 %, N = 25
X6786 (Tronco)	(6-) 8,99 <sup>a</sup> ± 2,381 (-12) CV = 26,48 %, N = 5	10,83	(820-) 2074 <sup>a</sup> ± 1144,73 (-4630) CV = 55,19 %, N = 25	1 y (3-) 6-10	(910-) 1106,6 <sup>def</sup> ± 122,9 (-1295) CV = 11,11 %, N = 25
X6786 (Rama 1)	(10-) 13,3 <sup>ab</sup> ± 2,923 (-16) CV = 21,98 %, N = 5	6,39	(790-) 1875,29 <sup>a</sup> ± 806,89 (-3250) CV = 43,03 %, N = 17	1 y 6-15	(880-) 1050,4 <sup>bcd</sup> ± 88,22 (-1200) CV = 8,4 %, N = 25
X6786 (Rama 2)	(9-) 14,92 <sup>ab</sup> ± 4,851 (-20) CV = 32,51 %, N = 5	6,85	(620-) 1642 <sup>a</sup> ± 765,72 (-3700) CV = 46,63 %, N = 25	1 y 4-12	(860-) 995,4 <sup>abcd</sup> ± 86,75 (-1230) CV = 8,71 %, N = 25
X6787 (Tronco)	(5-) 10,54 <sup>a</sup> ± 4,906 (-16) CV = 10,17 %, N = 5	9,62	(950-) 1901,4 <sup>a</sup> ± 1147,13 (-4880) CV = 60,33 %, N = 25	1 y 4-15	(940-) 1192 <sup>ef</sup> ± 112,32 (-1400) CV = 9,42 %, N = 25
X6787 (Rama 1)	(15-) 23,61 <sup>b</sup> ± 8,723 (-33) CV = 36,95 %, N = 5	2,85	(710-) 1160,33 <sup>a</sup> ± 362,27 (-1720) CV = 31,22 %, N = 15	1 y 3-11	(820-) 986,8 <sup>abc</sup> ± 68,33 (-1110) CV = 6,92 %, N = 25
X6787 (Rama 2)	(12-) 15,84 <sup>ab</sup> ± 4,234 (-22) CV = 26,73 %, N = 5	5,34	(650-) 1402 <sup>a</sup> ± 628,62 (-3120) CV = 44,84 %, N = 25	1 y 4-12	(800-) 941,2 <sup>ab</sup> ± 74,91 (-1060) CV = 7,96 %, N = 25
X6788 (Tronco)	(6-) 9,46 <sup>a</sup> ± 3,099 (-14) CV = 32,76 %, N = 5	9,56	(980-) 2172,2 <sup>a</sup> ± 1144,07 (-5860) CV = 52,67 %, N = 25	1 y 3-10 (-14)	(830-) 1239 <sup>a</sup> ± 178,83 (-1520) CV = 14,43 %, N = 25
X6788 (Rama 1)	(15-) 24,54 <sup>b</sup> ± 7,478 (-33) CV = 30,47 %, N = 5	3,47	(690-) 1525,91 <sup>a</sup> ± 549,61 (-2390) CV = 36,02 %, N = 11	1 y 4-10	(850-) 980,4 <sup>abc</sup> ± 96,98 (-1240) CV = 9,89 %, N = 25
X6788 (Rama 2)	(17-) 24 <sup>c</sup> ± 6,529 (-35) CV = 13,54 %, N = 5	3,09	(870-) 1450,94 <sup>a</sup> ± 464,54 (-2330) CV = 32,01 %, N = 16	1 y 4-12	(750-) 933 <sup>a</sup> ± 98,76 (-1065) CV = 10,58 %, N = 25

NOTA: letras diferentes representan grupos estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,01$ ).

## CONCLUSIONES

La anatomía del tronco y ramas de *Theobroma cacao* muestra poca variación al hacer comparaciones entre ambas porciones y las principales diferencias se restringen a caracteres cuantitativos de las células de conducción y soporte. En general, existe una tendencia a disminuir el diámetro de vasos y longitud de fibras desde el tronco a las ramas; mientras que la frecuencia de vasos manifiesta un comportamiento inverso.

El patrón de variación del diámetro y frecuencia de vasos desde el tronco hacia las ramas indica la tendencia a incrementar la seguridad de conducción en la zona correspondiente a ramas y esto se refleja con una disminución notable de los índices de vulnerabilidad en la dirección tronco-ramas.

La presencia de conductos traumáticos y máculas en todas las muestras, tanto de troncos como de ramas, es un indicativo de la sensibilidad y el tipo de respuesta que ofrece *Theobroma cacao* ante la acción de agentes externos.

## AGRADECIMIENTOS

A los profesores Osmar Araque y Ramón Jaimez, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IAP) de la Universidad de Los Andes por el suministro del material de estudio, el cual forma parte del proyecto “Combinación de árboles maderables y cacao criollos: un sistema agroforestal potencial para la zona sur del Lago de Maracaibo” (FONACYT-PEI, 2012001369). Al Ing. Agrónomo Julio C. Maldonado por la preparación del material.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araque, O., R. Jaimez, C. Azócar, W. Espinoza y W. Tezara. 2009. Relaciones entre anatomía foliar, intercambio de gases y crecimiento en juveniles de cuatro especies forestales. *Interciencia* 34: 725-729.
- Araque, O., R. Jaimez y W. Tezara. 2011. Anatomía foliar de cuatro especies forestales. *Acta Bot. Venez.* 34: 337-346.
- Araque, O., R. Jaimez, W. Tezara, I. Coronel, R. Urich and W. Espinoza. 2012. Comparative photosynthesis, water relations, growth and survival rates in juvenile criollo cacao cultivars (*Theobroma cacao*) during dry and wet seasons. *Expl. Agri.* 48: 513-522.

- Bhat, K. M., K. V. Bhat and T. Dhamodaran. 1989. Fibre length variation in stem and branches of eleven tropical hardwoods. IAWA Bull. n.s. 10: 63-70.
- Carlquist, S. 1988. Comparative wood anatomy. Springer-Verlag. Springer Series in Wood Science. New York. 436 p.
- Chacón, I., C. Ramis y C. Gómez. 2011. Descripción morfológica de frutos y semillas del cacao criollo porcelana (*Theobroma cacao* L.) en el sur del Lago de Maracaibo. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 28: 1-13.
- Cosmo, N., Y. Kuniyoshi e P. Botosso. 2010. Anatomia da madeira de *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (Euphorbiaceae): aspectos funcionais e ecológicos. Act. Bot. Bras. 24: 747-755.
- Gámez, L. 2013. Estudio ecoanatómico de cuatro especies arbóreas de Malvaceae en la Estación Experimental Caparo, estado Barinas (Venezuela). Pittieria 37: 41-52.
- Hokche, O., P. Berry y O. Huber. 2008. Nuevo catálogo de la flora vascular de Venezuela. Fundación Instituto Botánico de Venezuela. Caracas, Venezuela. 859 p.
- IAWA Committee. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bull. n.s. 10: 220-332.
- Jaimez, R., O. Araque, D. Guzmán, A. Mora, W. Espinoza y W. Tezara. 2013. Agroforestry system of timber species and cacao: survival and growth during the early stages. J. Agr. Rural Develop. Trop. Subtrop. 114-1: 1-11.
- Jaimez, R., W. Tezara, I. Coronel y R. Urich. 2008. Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao*): su manejo en el sistema agroforestal. Sugerencias para su mejoramiento en Venezuela. Rev. Forest. Vzlana 52: 253-258.
- Kotowska, M., D. Hertel, Y. Rajab, H. Barus y B. Schuldt. 2015. Patterns in hydraulic architecture from roots to branches in six tropical species from cacao agroforestry and their relation to wood density and stem growth. Frontiers in Plant Science 6: 1-16 (doi: 10.3389/fpls.2015.00191).
- Longui, E., R. Argosini de Brito, D. Romeiro, I. de Lima, S. Borges and A. Galvao. 2012. Root-branch anatomical investigation of *Eriotheca gracilipes* young trees: a biomechanical and ecological approach. Sci. For. 40 (93): 23-33.

- Pashin, A. and C. de Zeeuw. 1980. Textbook of wood technology. McGraw-Hill Series in Forest Resources. New York. 722 p.
- Samariha, A., M. Kiaei, M. Talaeipour and M. Nemati. 2011. Anatomical structural differences between branch and trunk in *Ailanthus altissima* wood. Indian J. Sci. Technol. 4: 1676-1678.
- Scholz, A., M. Klepsch, Z. Karimi y S. Jansen. 2013. How to quantify conduits in wood?. Frontiers in Plant Sc. 4: 1-11.
- Silva, L. da, F. Ribeiro, P. Gasson e D. Cutler. 2009. Anatomia e densidade básica da Madeira de *Caesalpinia pyramidilis* Tul. (Fabaceae), espécie endêmica da catinga do Nordeste do Brasil. Acta. Bot. Bras. 2: 436-445.
- Stokke, D. and F. Manwiller. 1994. Proportions of wood elements in stem, branch and root wood of black oak (*Quercus velutina*). IAWA J. 15: 301-310.
- Wheeler, E. and P. Baas. 1998. Wood identification – A review. IAWA J. 19: 241-264.
- Yaman, B. 2014. Anatomical differences between stem and branch wood of *Ficus carica* L. subsp. *carica*. Modern Phytomorphology 6: 79-83.