

Propiedades físicas y mecánicas de escapos florales de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) en el sureste de Coahuila

Physical and mechanical properties floral sotol scapes (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.)

Juan Manuel Ríos-Camey^{*1}, Bernardo López-López¹, Jorge Méndez-González², José Antonio Ramírez-Díaz², Óscar Alberto Aguirre-Calderón³

¹Universidad Intercultural del Estado de Guerrero (UIEG), Km. 54, Carretera Tlapa-Marquelia. La Ciénega, Malinaltepec, Guerrero, México. Tel.: 52 (757) 102 9723. e-mail: jmrc.x25@hotmail.com [*Autor responsable]. ²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento Forestal. ³Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales.

RESUMEN

En este estudio se realizaron análisis estadísticos para determinar las propiedades físicas y mecánicas por sexo (macho y hembra) de diferentes muestras de escapos florales de la especie *Dasyilirion cedrosanum* Trel., para comprobar si existen diferencias significativas entre ellos; posteriormente, los resultados obtenidos se compararon con las propiedades físicas y mecánicas de la especie *Ochroma* spp. para analizar la posibilidad de dar un uso diferente a los escapos florales del sotol, similar al que se le da a la madera de balsa (*Ochroma* spp.). La metodología que se empleó para este propósito estuvo fundamentada en la Norma Copant (Comisión Panamericana de Normas Técnicas), que contempla los siguientes parámetros físicos: densidad, peso seco volumétrico y contracción. Los ensayos mecánicos que se evaluaron fueron: flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular, rajado o clivaje, tensión paralela, cortante o cizallamiento y dureza Janka. Los resultados mostraron que, estadísticamente, los escapos florales hembra fueron superiores en todas las pruebas físicas y mecánicas a los machos ($\alpha=0.05$), a la vez que superaron a la madera de balsa (*Ochroma* spp.). Por lo tanto, es factible utilizar los escapos florales hembra y machos de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) de forma similar a como se usa actualmente la madera de balsa, pues aunque estadísticamente son mejores los escapos florales hembra para ciertos usos, no se descarta la utilización de los escapos florales macho con otros propósitos.

Palabras clave: maquina universal de ensayos, recursos no maderables, *Ochroma* spp., densidad, flexion, rajado, dureza

ABSTRACT

In this study, statistical analyzes were performed to determine physical and mechanical properties by sex (male and female) from different samples of sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel) floral scapes. Then, these results were compared with the physical and mechanical properties of balsa wood (*Ochroma* spp.) species with the purpose of analyzing the possibility of giving a different use to the sotol floral scapes, similar to that of *Ochroma* spp. The methodology used was based on the Copant (Pan American Technical Standards Commission) Standard, with the following physical parameters: density, dry weight and contraction. The following mechanical tests were evaluated: static bending, parallel compression, perpendicular compression, splitting or cleavage, parallel tension, shear, and Janka hardness. The results showed that female floral scapes exceeded statistically ($\alpha = 0.05$) in all physical and mechanical tests to male floral scapes and exceeded also the same characteristics for balsa wood (*Ochroma* spp.). Therefore, it is feasible to use female and male sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) floral scapes instead of balsa wood (*Ochroma* spp.) because although statistically female floral scapes are better than male scapes for certain uses, the use of male floral scapes are to be considered for other uses as well.

Key words: universal testing machine, no woods resources, *Ochroma* spp., density, flexion, cracking, hardness

INTRODUCCIÓN

Los productos forestales no maderables (PFNM) son recursos muy valiosos porque, además de ser proveedores de satisfactores que cubren necesidades primarias, tienen una función en el bosque como proveedores de otros bienes, tales como: servicios ambientales, protección del suelo, mantenimiento de la biodiversidad animal y vegetal. Uno de los PFNM es el sotol, una planta característica del noreste de México y habitante del matorral desértico rosetófilo, el cual crece en amplias áreas y cuyas poblaciones naturales son abundantes (Semarnat, 2001).

El sotol es una planta perenne, dioica, que se caracteriza por poseer escapos florales delgados con sexo bien definido, que se presentan en la planta como macho o hembra, pero nunca juntos. Los escapos florales del sotol se utilizan para la construcción rústica de cercados, techos de casa-habitación y corrales de animales (López y Portes, 2002). Por otro lado, la madera de balsa (*Ochroma* spp.) se caracteriza por ser liviana, blanda y de muy baja densidad, que se utiliza para trabajos livianos como la elaboración de maquetas arquitectónicas, empaques, aislantes ligeros, juguetes, y modelismo aéreo y naval, lo que hace que aumente su valor, que ha llegado a ser de alrededor de 50.00 dólares estadounidenses por pie-tabla (Madera, 2005).

Con el propósito de comprobar si existen diferencias significativas entre escapos florales masculinos y femeninos de la especie *Dasyllirion cedrosanum* Trel., en este estudio se tomaron diferentes muestras que se colectaron en el sureste de Coahuila, con el propósito de determinar estadísticamente sus propiedades físicas y mecánicas por sexo; posteriormente éstas se compararon con las de la especie *Ochroma* spp. para averiguar si existe la posibilidad de utilizar los escapos florales del sotol de manera similar a como se aprovecha la madera de balsa, lo que podría llevar a su industrialización y, por consiguiente, a un incremento de su valor, pero a un costo muy reducido, lo cual podría beneficiar a quienes poseen terrenos donde se distribuye y aprovecha el sotol.

MATERIALES Y MÉTODOS

La colecta de escapos florales se realizó en el ejido Tanque Nuevo, municipio de Parras de la Fuente, Coahuila, entre las coordenadas 25° 15' 50" latitud

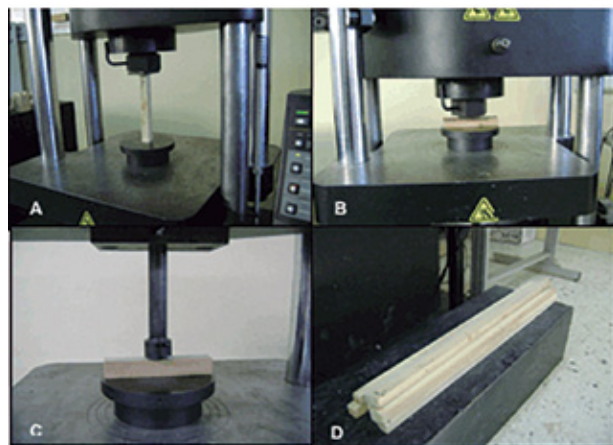
norte y 101° 43' 37" de longitud oeste. El muestreo fue selectivo, ya que los escapos tanto hembras como machos se eligieron y cortaron a partir de su mayor diámetro de base. Esto con la finalidad de adaptarlos y así lograr, de la mejor forma posible, tratarlos como madera al momento de determinar sus propiedades físicas-mecánicas y compararlos con la madera de balsa (*Ochroma* spp.).

Trabajo de campo

Para el análisis de las propiedades físicas se prepararon 60 probetas, de las cuales 40 se utilizaron para determinar estas propiedades en estado verde y anhidro, y el resto se dejaron secar al aire libre para obtener datos sobre el porcentaje de contenido de humedad (Copant, 1972).

Para el análisis de las propiedades mecánicas se utilizaron 280 probetas de diferentes medidas. Se realizaron siete pruebas mecánicas. Para cada prueba mecánica se emplearon 20 probetas por sexo (hembras y machos), que se evaluaron únicamente con muestras en estado anhidro, es decir, secadas artificialmente en la estufa, a una temperatura de 103 + 2 °C, para lograr obtener muestras con un contenido de humedad de 4% (Copant, 1972).

Las pruebas mecánicas de las probetas de sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) se realizaron en el laboratorio de tecnología de la madera del Instituto Tecnológico de El Salto (ITES), Durango, con la máquina universal de ensayos marca INSTRON®, cuya capacidad de presión es de 60 toneladas (Figura 1).



A= compresión paralela; B= Compresion perpendicular; C= Dureza Janka; D= Probetas para flexion estática.

Figura 1. Ensayos mecánicos realizados en escapos florales de sotol [*Dasyllirion cedrosanum* Trel. en el sureste de Coahuila].

Trabajo de gabinete

Para las pruebas físicas: densidad y peso seco volumétrico se realizó un análisis de varianza mediante arreglo factorial 2x3 (Cuadro 1), para comprobar si existen diferencias significativas por sexo entre las densidades a diferentes condiciones de humedad (anhidro, 11% de contenido de humedad y verde). En total se emplearon seis tratamientos con diez repeticiones cada uno. El análisis estadístico se realizó con el paquete de diseños experimentales de la UANL (Olivares, 1994).

Cuadro 1. Diseño experimental factorial 2x3 utilizado para analizar densidad y peso seco volumétrico en escapos flores de sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.).

Factor	A. Condiciones de humedad			
	Nivel	A1	A2	A3
B. Sexo	B1	A1B1	A2B1	A3B1
	B2	A1B2	A2B2	A3B2

A1= Densidad o peso seco volumétrico verde; A2= Densidad o peso seco volumétrico anhidro; A3= Densidad o peso seco volumétrico al 11% de CH; B1= Escapos florales de sotol hembras; B2= Escapos florales de sotol machos

En los casos donde el ANOVA presentó diferencias significativas entre el factor A, factor B o interacción AB, se realizó una prueba de Tukey, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Para las pruebas mecánicas se realizó una comparación de medias con una prueba de "t" student (= 0.05, n-1 gl) a fin de determinar si existen diferencias significativas entre los sexos macho y hembra; asimismo se realizó una comparación de medias de las propiedades físicas y mecánicas de los escapos florales de ambos sexos, respecto a las propiedades físicas y mecánicas de la especie *Ochroma* spp., para lo cual se emplearon los datos de varianza y número de repeticiones reportados por Bárcenas y Dávalos (2001), y el criterio de clasificación para características de especies mexicanas obtenidos por Sotomayor (2002). La prueba de "t" se realizó con el software estadístico info-stat versión 2015e.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para densidad, la mayor es la obtenida en verde, seguida de la de 11% de contenido de humedad y, por último, la densidad anhidra. Se observó que las dos medias por sexo son diferentes, y que la mayor densidad se obtuvo en los escapos florales hembra, seguido de los escapos florales macho (Cuadro 2).

De acuerdo con Monteoliva (2009), la densidad es el atributo universalmente utilizado como índice de calidad de madera en relación a sus usos, donde las dimensiones celulares, la composición química y de las proporciones relativas de los tejidos constitutivos está correlacionada positivamente con la mayoría de las propiedades físico-mecánicas.

Por su parte, García (2001) explica que la variación en la densidad se atribuye a ciertos factores como

Cuadro 2. Densidad promedio por sexo a diferentes contenidos de humedad en escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del sureste de Coahuila.

Contenido de humedad	Media (g/cm ³)		C.V (%)		N	
	Hembras	Machos	Hembras	Machos	Hembras	Machos
Anhidra	0.3478	0.1707	24.81	18.66	20	20
Verde	0.7247	0.2321	6.58	13.65	20	20
11% de CH.	0.5363	0.2014	10.25	10.53	20	20

C.V= Coeficiente de variación; n= Tamaño de la muestra; CH= Contenido de humedad.

son: calidad del sitio, velocidad de crecimiento del árbol, área geográfica, parte del árbol por la cantidad de extractivos presentes en la madera, y finalmente añade que la densidad varía notoriamente cuando la humedad realtiva se expone a diferentes condiciones ambientales; para este estudio, se comprobó que la densidad fue mucho mayor en estado verde, puesto que el aumento de humedad fue directamente proporcional al peso (gr) y volumen (cm³) de la misma.

Para peso seco volumétrico, se encontraron diferencias altamente significativas ($\alpha= 0.05$, n-1 gl) por sexo a diferentes condiciones de humedad, siendo mayor los escapos florales hembra, seguido de los escapos florales macho (Cuadro 3). Respecto a las pruebas mecánicas, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.001$) entre las medias por sexo de escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. en todas las pruebas mecánicas realizadas (Cuadro 4).

Cuadro 3. Peso seco volumétrico promedio por sexo a diferentes contenidos de humedad en escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del sureste de Coahuila.

Contenido de humedad	Media [g/cm ³]		C.V [%]		N	
	Hembras	Machos	Hembras	Machos	Hembras	Machos
PSVo	0.3478	0.1707	10.54	11.18	20	20
PSV ₁₁	0.2580	0.1653	8.54	9.25	20	20
PSVv	0.3029	0.1680	9.18	15.34	20	20

PSVo= Peso seco volumétrico anhidro; PSV11= Peso seco volumétrico al 11% de contenido de humedad; PSVv= Peso seco volumétrico verde. C.V= Coeficiente de variación; n= Tamaño de la muestra.

Cuadro 4. Pruebas mecánicas por sexo en escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del sureste de Coahuila.

Prueba mecánica	Escapos florales hembra [KgF/cm ²]	Escapos florales macho [KgF/cm ²]
Flexión estática: módulo de elasticidad	122,844 A*	41,532 B
Flexión estática: resistencia al límite de proporcionalidad	635.94 A*	261.84 B
Flexión estática: resistencia a la ruptura	741.93 A*	305.48 B
Compresión paralela: módulo de elasticidad	26,783 A*	8,264 B
Compresión paralela: resistencia a al límite de proporcionalidad	361.15 A*	47.06 B
Compresión paralela: resistencia a la ruptura	401.28 A*	107.84 B
Compresión perpendicular: resistencia al límite de Proporcionalidad	36.70 A*	20.34 B
Compresión perpendicular: resistencia a la ruptura	38.632 A*	21.412 B
Cortante o cizallamiento: resistencia a la ruptura	28.98 A*	11.07 B
Dureza janka	187.67 A*	92.52 B
Rajado o hendimiento	24.059 A*	8.618 B
Tensión paralela: resistencia al límite elástico	205.590 A*	94.870 B
Tensión paralela: resistencia a la ruptura	256.987 A*	118.588 B
Tensión paralela: módulo de elasticidad	23,193.6 A*	9,936 B

*Letras distintas indican diferencias significativas ($\alpha= 0.05$).

Cuadro 5. Pruebas mecánicas por sexo en escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del sureste de Coahuila.

Prueba mecánica	Escapos hembra (KgF/cm ²)	Escapos macho (KgF/cm ²)	Ochroma spp. (KgF/cm ²)
Flexión estática: modulo de elasticidad	122,844 A*	41,532 B	42,000 B
Flexión estática: resistencia al límite de proporcionalidad	635.94 A*	261.84 B*	150 C*
Flexión estática: resistencia a la ruptura	741.93 A*	305.48 B*	260 C*
Compresión paralela: modulo de elasticidad	26,783 A	8,264 B*	25,900 A
Compresión paralela: resistencia a al límite de proporcionalidad	361.15 A*	47.06 B*	65 C*
Compresión paralela: resistencia a la ruptura	401.28 A*	107.84 B*	175 C*
Compresión perpendicular: resistencia al límite de proporcionalidad	36.70 A*	20.34 B*	10 C*
Cortante o cizallamiento: resistencia a la ruptura	28.98 A*	11.07 B*	25 A*
Dureza janka	187.67 A*	92.52 B*	50 C*
Prueba física			
Densidad promedio (gr/cm ³)	0.5363 A*	0.2014 B*	0.150 C*
PSV verde (gr/cm ³)	0.2580 A*	0.1653 B	0.160 B
Contracción (%)	3.952 % A	2.874 % A	2.56 % A

*Letras distintas indican diferencias significativas ($\alpha=0.05$).

El resultado de la prueba “t” student ($\alpha=0.05$ n-1 gl) determinó que existen diferencias significativas entre las medias de escapos florales hembra y la madera de *Ochroma* spp. para la propiedad físicas: densidad promedio y peso seco volumétrico verdes, ya que fueron mayores los obtenidos para los escapos florales hembra. Asimismo, en todos los parámetros mecánicos evaluados también existieron diferencias significativas, y fueron mayores los de los escapos florales hembra (Cuadro 5).

Los escapos florales macho fueron superados estadísticamente por la madera de *Ochroma* spp. únicamente en la prueba de compresión paralela, no así en las pruebas restantes.

CONCLUSIÓN

En función de los resultados y los análisis estadísticos, se puede afirmar que existen diferencias significativas por sexo (machos y hembras) para la especie de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. en todas las pruebas

físicas y mecánicas determinadas, y que en todos los casos los escapos florales hembra fueron mejores. Además, también se puede decir que existen diferencias significativas entre los valores de las pruebas físicas y mecánicas de los escapos florales hembra de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. y los valores de *Ochroma* spp., y que los mejores parámetros que se obtuvieron fueron los de los escapos florales hembra. Por lo tanto, se concluye que es factible que los escapos florales hembra de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. puedan utilizarse de manera similar a algunos de los usos que se le da actualmente a la madera de *Ochroma* spp.

No obstante, los valores de los escapos florales macho estadísticamente fueron superados por *Ochroma* spp. únicamente en la pruebas de compresión paralela: resistencia a la ruptura, módulo de elasticidad y resistencia al límite de proporcionalidad. En las pruebas restantes, los escapos florales macho presentaron mejores resultados. Por lo tanto, aunque estadísticamente son mejores los escapos florales hembra, no se descarta la posibilidad de utilizar

los escapos florales macho en algunos de los usos similares que se les da a la madera de *Ochroma* spp., pues en base a sus resultados físicos y mecánicos, se puede afirmar que tiene características muy similares a las de la madera de *Ochroma* spp.

Este trabajo de investigación documenta, por primera ocasión, las propiedades físicas y mecánicas por sexo de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. Estos resultados revelan que, de acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas, puede utilizarse de forma similar a la madera de balsa (*Ochroma* spp.).

Los resultados de esta investigación pueden ayudar de manera directa a los productores rurales que se dedican a la comercialización de esta planta, ya que pueden vender y comercializar los escapos florales con un valor agregado.

LITERATURA CITADA

- BÁRCENAS, P.G.M. y R. Dávalos, S. 2001. Shrinkage values for 106 Mexican woods. Paper accepted to be published in Journal of Tropical Forest Products. pp 15-17.
- COPANT. 1972. Comisión Panamericana de Normas Técnicas. Normas Técnicas 459,460, 461 y 462. Buenos Aires, Argentina. 461 pp.
- GARCÍA, G.N. 2001. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Conzattia multiflora* (Rob.). Standl. Universidad Autónoma de Chapingo. Tesis profesional. 57 pp.
- MONTEOLIVA (2009). Propiedades de la madera y de las pulpas CMP de Salicáceas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata (unlp). La Plata, Argentina. 8 pp.
- LÓPEZ, B. A. y Portes, V.L. 2002. El sotol una planta muy especial. Manual del productor. Proyecto integral del sotol. Secretaría de Fomento Agropecuario - Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (uaaan). Saltillo, Coahuila, México. 38 pp.
- MADERA, P. J. 2005. Descripción de especies. Balso. Boletín Técnico e Informativo sobre Tecnología de Maderas. Laboratorio de productos forestales. Universidad Nacional de Colombia. Seccional Medellín. Vol. VII. N° 1, Medellín, Colombia. pp 20-27.
- OLIVARES, S.E. 1994. Paquete de diseños experimentales fauanl. Versión 2.5. Facultad de Agronomía de la uanl, Marín, Nuevo León, México.
- SEMARNAT. 2001. *Dasyllirion cedrosanum* Trel. recuperado de <http://Semarnat.gob.mx/pfnm3/fichas/dasyllirioncedrosanumTrel.htm> el 13 de noviembre de 2014.
- SOTOMAYOR, C.J. 2002. Tabla FITECMA de clasificación de características mecánicas de maderas mexicanas. FITECMA. UMSNH. Cartel formato: 60 x 90 cm. Morelia, Michoacán, México. 1 p.