

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**



**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL**

**COMPARACION DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE ESCAPOS  
FLORALES DE SOTOL (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) CON LA MADERA DE  
BALSA (*Ochroma spp*).**

**Por:**

**Juan Manuel Ríos Camey**

**TESIS**

**Presentada como requisito parcial para**

**Obtener el título de:**

**INGENIERO FORESTAL**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México**

**Junio de 2011**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

COMPARACION DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE ESCAPOS  
FLORALES DE SOTOL (*Dasyllirion cedrosanum Trel.*) CON LA MADERA DE  
BALSA (*Ochroma spp.*).

TESIS

Como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

PRESENTA:

JUAN MANUEL RÍOS CAMEY

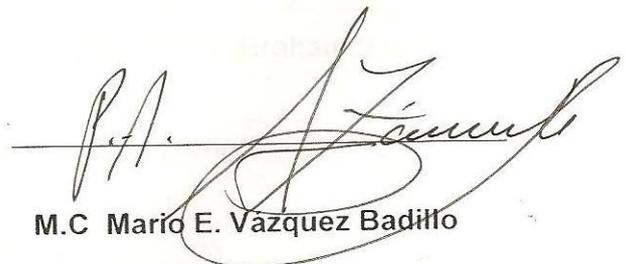
APROBADA

PRESIDENTE DEL JURADO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN  
DE AGRONOMÍA



Departamento  
Forestal  
Ing. José Antonio Ramírez Díaz



M.C. Mario E. Vázquez Badillo

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Junio de 2011.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL

COMPARACION DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE ESCAPOS  
FLORALES DE SOTOL (*Dasyllirion cedrosanum Trel.*) CON LA MADERA DE  
BALSA (*Ochroma spp.*)

TESIS

Por:

Juan Manuel Ríos Camey

Que somete a consideración del H. jurado examinador como requisito parcial  
para obtener el título de:

ING. FORESTAL

Aprobada por el comité de tesis

Asesor Principal.



Ing. José Antonio Ramírez Díaz

Sinodal



M.C. José Aniseto Díaz Balderas



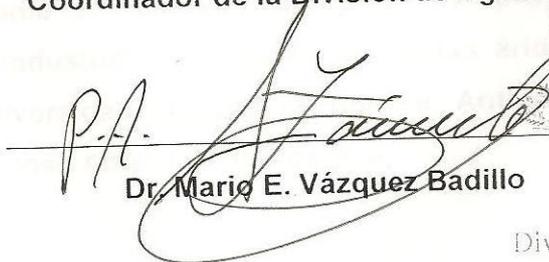
Departamento  
Forestal

Sinodal

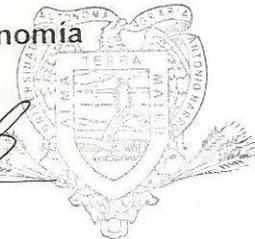


Ing. Sergio Braham Sabag

Coordinador de la División de Agronomía



Dr. Mario E. Vázquez Badillo



Coordinación  
División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Junio de 2011

**El presente estudio se realizó como parte del proyecto de investigación “Diversificación industrial de recursos de zonas áridas” (clave: 02-03-0207-2187) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Del cual es responsable Ing. José Antonio Ramírez Díaz**

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS:**

EN PRIMER LUGAR, SOBRE TODAS LAS COSAS, POR DARME SALUD, POR SER LA GUÍA Y FUENTE DE SABIDURÍA, QUE ME HA LLEVADO A LOGROS IMPORTANTES COMO LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO.

### **A MIS PADRES:**

***ANTONIO RÍOS GRANADOS Y FLORIBERTA CAMEY LÓPEZ.***

QUE CON SU CARIÑO Y APOYO INCONDICIONAL ANTE SITUACIÓN BUENAS Y ADVERSAS, SIEMPRE ME APOYARON EN TODO MOMENTO, DESDE MI EDUCACIÓN BÁSICA HASTA MI FORMACIÓN PROFESIONAL. GRACIAS

### **A MIS HERMANOS:**

***ERVIN ANTONIO, EDITH BIANEY, OCTAVIO ISAÍAS, MARIO SANTOS, YESENIA Y ANA YUDELMA***

QUE CON SU CONFIANZA Y APOYO QUE ME HAN MOSTRADO, FUE UNA RAZÓN MAS PARA LA CULMINACIÓN DE MIS ESTUDIOS.

### **A MIS ABUELOS:**

***PABLO CAMEY GÓMEZ (+) Y ROSELIA LÓPEZ VÁZQUEZ  
FRANCISCO RÍOS RIVERA Y FELIPA GRANADOS SAMAYOA (+)***

QUE ME APOYARON CON MUCHÍSIMOS Y SABIOS CONSEJOS PARA APLICARLOS A LA VIDA DIARIA Y ASÍ TERMINAR MIS ESTUDIOS.

### **A MIS TÍOS, PRIMOS, SOBRINOS Y AMIGOS:**

CON QUIENES COMPARTÍ GRANDES MOMENTOS DE ALEGRÍA

## **AGRADECIMIENTOS**

➤ **A DIOS**

➤ **A MIS PADRES**

➤ **A MI ALMA TERRA MATER**

➤ **A MIS ASESORES DE TESIS:** *Ing. José Antonio  
Ramírez Díaz, M.C Aniseto Díaz Balderas e Ing.  
Sergio Braham Sabag*

➤ **A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE  
GENERACIÓN:**

*Eddy Ake, Eddy F. Roblero, Alejandro Roblero,  
Eduardo de León, José Isabel, Bernardo López,  
Abelardo Reyes, Antonio P. Alfaro, Mario Raya,  
Edilberto Hernández, Deysi López, Jeiver Díaz,  
Marisela Benítez, Alejandro López, Zenón Ugarte,  
etc.*

**...Y DEMÁS PERSONAS QUE ME APOYARON INCONDICIONALMENTE EN MI  
FORMACIÓN ACADÉMICA...**

**iiii GRACIAS !!!!!**

## INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS .....	v
INDICE DE CUADROS .....	vii
RESUMEN .....	xiii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Importancia del estudio .....	1
1.2 Planteamiento del problema .....	3
1.3 Objetivo .....	3
1.4 Hipótesis.....	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1 Generalidades del sotol ( <i>Dasyllirion Cedrosanum</i> ) .....	4
2.1.1 Descripción de la especie.....	4
2.1.2 Clasificación Botánica .....	4
2.1.3 Características morfológicas .....	5
2.1.4 Distribución geográfica.....	6
2.1.5 Escapos florales de sotol ( <i>Dasyllirion cedrosanum Trel.</i> .....	7
2.1.6 Usos de los escapos florales de sotol ( <i>Dasyllirion cedrosanum Trel</i> ).....	8
2.2 Generalidades de la madera de balsa ( <i>Ochroma spp</i> ).....	9
2.2.1 Clasificación Botánica .....	9
2.2.2 Características morfológicas .....	9
2.2.3 Área de distribución natural.....	10
2.2.4 Hábitat.....	10
2.2.5 Clima .....	11
2.2.6 Usos de la Madera de balsa ( <i>Ochroma spp</i> ).....	11
2.3 Propiedades de la madera en general.....	12
2.3.1 Propiedades físicas de la Madera .....	12
2.3.1.1 Densidad y peso específico.....	13
2.3.1.2 Contenido de humedad .....	14
2.3.1.3 Contracción .....	15
2.3.1.4 Peso seco volumétrico .....	15
2.3.2 Propiedades mecánicas de la madera .....	16
2.3.2.1 Flexión estática.....	16
2.3.2.2 Compresión paralela a la fibra.....	17
2.3.2.3 Compresión perpendicular a la fibra.....	18
2.3.2.3 Cortante o cizallamiento .....	19

2.3.2.4 Tensión paralela .....	20
2.3.2.5 Rajado o clivaje .....	21
2.3.2.6 Dureza janka .....	22
2.3.3 Tipos de esfuerzos presentes en la madera.....	23
2.4 Trabajos a fines.....	24
3 MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
3.1 Descripción del área de estudio .....	27
3.1.1 Clima .....	27
3.1.2 Orografía .....	28
3.1.3 Edafología .....	28
3.1.4 Vegetación .....	28
3.1.5 Fauna .....	28
3.2 Selección de escapos florales .....	29
3.3 Preparación y procesamiento de las muestras.....	30
3.4 Determinación de propiedades físicas.....	31
3.4.1 Contenido de humedad .....	31
3.4.2 Densidad y Peso seco volumétrico a diferentes condiciones de contenido de humedad.....	32
3.4.3 Contracción .....	33
3.5 Determinación de las propiedades mecánicas .....	34
3.5.1 Flexión estática.....	35
3.5.2 Compresión paralela .....	36
3.5.3 Compresión perpendicular .....	36
3.5.4 Cortante o cizallamiento .....	37
3.5.5 Tensión paralela.....	38
3.5.6 Rajado o clivaje .....	39
3.5.7 Dureza Janka .....	39
3.6 Análisis estadístico .....	40
3.6.1 Densidad .....	40
3.6.2 Peso seco volumétrico .....	41
3.6.3 Contracción .....	42
3.6.4 Propiedades mecánicas .....	42
3.6.5 Comparación de escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel. con la madera de <i>Ochroma spp</i> .....	42

4 RESULTADOS Y DISCUSION .....	44
4.1 Pruebas físicas .....	44
4.1.1 Densidad .....	44
4.1.3 Contracción .....	48
4.1.4 Peso seco volumétrico .....	48
4.2 Propiedades mecánicas .....	50
4.2.1 Flexión estática.....	50
4.2.2 Compresión Paralela .....	51
4.2.3 Compresión Perpendicular .....	52
4.2.4 Cortante o cizallamiento .....	53
4.2.5 Tensión paralela.....	53
4.2.6 Rajado o clivaje .....	54
4.2.7 Dureza Janka .....	55
4.3 Comparación de las propiedades físico – mecánicas de escapos florales hembra de <i>Dasyllirion cedrosanum trel.</i> y la madera de <i>Ochroma spp.</i>	55
4.3.1 Propiedades físicas .....	55
4.3.2 Propiedades mecánicas .....	56
4.3.2.1 Flexión estática.....	56
4.3.2.2 Compresión paralela .....	57
4.3.2.3 Compresión perpendicular .....	59
4.3.2.4 Cortante o cizallamiento .....	59
4.3.2.5 Dureza Janka .....	60
4.4 Comparación de las propiedades físico- mecánicas de escapos florales macho de <i>Dasyllirion cedrosanum trel.</i> y la madera de <i>Ochroma spp.</i>	60
4.4.1 Propiedades físicas .....	60
4.4.2 Propiedades mecánicas .....	61
4.4.2.1 Flexión estática.....	61
4.4.2.2 Compresión paralela .....	62
4.4.2.3 Compresión perpendicular .....	64
4.4.2.4 Cortante o cizallamiento .....	64
4.4.2.5 Dureza Janka .....	65
4.5 Clasificación de escapos florales por sexo de <i>Dasyllirion cedrosanum</i> <i>Trel.</i> en base a las características físico-mecánicas determinadas.....	65
5 CONCLUSIÓN .....	68
6 RECOMENDACIONES .....	70

7 LITERATURA CITADA.....	71
8 ANEXOS .....	75

## INDICE DE FIGURAS

1. <i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel. en el ejido Tanque Nuevo, Coahuila. -----	5
2. Distribución geográfica del género <i>Dasyllirion spp</i> , según Villareal (2001) -----	7
3. Escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel. cortados en el ejido Tanque Nuevo (macho izquierda y hembra derecha).-----	7
4. Mangos de escobas de escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel. elaborados en ejidos de Zacatecas -----	8
5. Escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel. usados en cercas y techos en el ejido tanque Nuevo, Coahuila. -----	8
6. Árbol de madera de balsa ( <i>Ochroma spp</i> ) -----	10
7. Distribución potencial de la madera de balsa, según el departamento de Agricultura y Servicio Forestal, New Orleans, USA.-----	11
8. Madera de <i>Ochroma spp</i> . utilizada para construcción de aeromodelismo -----	12
9. Probetas preparadas para el ensayo de Flexión estática en escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel. -----	17
10. Probetas para ensayo de compresión paralela, según norma COPANT (1972)-	18
11. Probetas preparadas para ensayo de compresión perpendicular en escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel. -----	19
12. Probetas preparadas para ensayo de cizallamiento en escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel. -----	20
13. Probetas preparadas para ensayo de tensión paralela en escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel. -----	21
14. Medidas especificadas para el ensayo de clivaje, según la norma COPANT 741 (Método de determinación de la resistencia al clivaje o desgarre).-----	22
15. Probetas preparadas para ensayo de dureza Janka en escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel. -----	23
16. Diagrama general de carga-deformación para cualquier tipo de madera, según Karsulovic (1982). -----	24
17. Localización geográfica del ejido Tanque Nuevo, Coahuila (INEGI 2010). -----	27
18. Corte de escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel. en el ejido Tanque Nuevo, Coahuila. -----	29
19. Procesamiento de escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel. -----	30
20. Probetas elaboradas de escapos florales de sotol ( <i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel.)-- -----	30

21. Xilohigrómetro eléctrico utilizado para medición de contenido de humedad en escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum Trel.</i> -----	32
22. Maquina universal de ensayos utilizada en el instituto Tecnológico del Salto (ITS), Durango. -----	34
23. Ensayo de flexión estática en probetas de <i>Dasyllirion cedrosanum Trel.</i> -----	35
24. Ensayo de compresión paralela en probetas de <i>Dasyllirion cedrosanum Trel.</i> ---	36
25. Ensayo de compresión perpendicular en probetas de <i>Dasyllirion cedrosanum Trel.</i> -----	37
26. Ensayo de Cizallamiento en probetas de <i>Dasyllirion cedrosanum Trel.</i> -----	38
27. Ensayo de Tensión Paralela en probetas de <i>Dasyllirion cedrosanum Trel.</i> -----	38
28. Ensayo de rajado o clivaje en probetas de <i>Dasyllirion cedrosanum Trel.</i> -----	39
29. Ensayo de Dureza Janka en probetas de <i>Dasyllirion cedrosanum Trel.</i> -----	40
30. Densidad por sexo a diferentes contenidos de humedad en escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum Trel.</i> del ejido Tanque Nuevo, Coahuila. -----	47
31. Peso seco volumétrico por sexo a diferentes contenido de humedad en escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum Trel.</i> del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.-----	50

## INDICE DE CUADROS

1. Arreglo factorial 2x3 para densidad a diferentes condiciones de humedad por sexo -----	40
2. Arreglo factorial 2x3 para peso seco volumétrico a diferentes condiciones de humedad por sexo -----	41
3. Análisis de varianza mediante arreglo factorial 2x3 para densidad de fibras de escapos florales de <i>Dasyilirion cedrosanum Trel.</i> del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	44
4. Prueba de comparación de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) para densidad a diferentes contenidos de humedad en escapos florales de <i>Dasyilirion cedrosanum Trel.</i> del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	45
5. Prueba de comparación de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) para densidad por sexo en escapos florales de <i>Dasyilirion cedrosanum Trel.</i> del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	45
6. Prueba de comparación de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) para densidad a diferentes contenidos de humedad de escapos florales hembras de <i>Dasyilirion cedrosanum Trel.</i> del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	46
7. Prueba de comparación de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) para densidad de escapos florales machos de <i>Dasyilirion cedrosanum Trel.</i> a diferentes contenidos de humedad del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	46
8. Densidad promedio por sexo a diferentes contenidos de humedad en escapos florales de <i>Dasyilirion cedrosanum Trel.</i> del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	47
9. Prueba “t” de student ( $\alpha= 0.05$ , n-1 gl) por sexo para contracción en porcentaje en escapos florales de <i>Dasyilirion cedrosanum Trel.</i> del ejido Tanque nuevo, Coahuila-----	48

10. Análisis de varianza factorial 2x3 para peso seco volumétrico en escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum Trel.</i> del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	48
11. Prueba de comparación de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) para peso seco volumétrico por sexo de escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum Trel.</i> del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	49
12. Peso seco volumétrico promedio por sexo a diferentes contenidos de humedad en escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum trel.</i> del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	49
13. Prueba de “t” de student ( $\alpha= 0.05$ n-1 gl) por sexo para prueba de flexión estática: resistencia al límite de proporcionalidad en escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum Trel.</i> del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	50
14. Prueba de “t” de student ( $\alpha= 0.05$ , n-1 gl) por sexo para prueba de flexión estática: resistencia a la ruptura de escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum Trel.</i> del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	51
15. Prueba de “t” de student ( $\alpha= 0.05$ , n-1 gl) por sexo para prueba de flexión estática: módulo de elasticidad de escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum Trel.</i> del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	51
16. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$ , n-1 gl) por sexo para compresión paralela: resistencia al límite de proporcionalidad, en escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum Trel.</i> del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	51
17. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$ , n-1 gl) por sexo para compresión paralela: resistencia a la ruptura, en escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum Trel.</i> del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	52
18. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$ n-1 gl) por sexo para compresión paralela: módulo de elasticidad, en escapos florales de <i>Dasyllirion cedrosanum Trel.</i> del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	52

19. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$ n-1 gl) por sexo para compresión perpendicular: resistencia al límite de proporcionalidad, en escapos florales de <i>Dasyilirion cedrosanum</i> Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	52
20. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$ ) por sexo para compresión perpendicular: resistencia a la ruptura, en escapos florales de <i>Dasyilirion cedrosanum</i> Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	53
21. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$ n-1 gl) por sexo para cizallamiento: resistencia a la ruptura, en escapos florales de <i>Dasyilirion cedrosanum</i> Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	53
22. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$ n-1 gl) por sexo para tensión paralela: resistencia al límite de proporcionalidad en escapos florales de <i>Dasyilirion cedrosanum</i> Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	54
23. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$ n-1 gl) por sexo para tensión paralela: resistencia a la ruptura en escapos florales de <i>Dasyilirion cedrosanum</i> Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	54
24. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$ n-1 gl) por sexo para tensión paralela: módulo de elasticidad en escapos florales de <i>Dasyilirion cedrosanum</i> Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	54
25. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$ ) por sexo para rajado: resistencia a la ruptura en escapos florales de <i>Dasyilirion cedrosanum</i> Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	55
26. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$ n.1 gl) por sexo para dureza Janka: carga máxima en escapos florales de <i>Dasyilirion cedrosanum</i> Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila -----	55
27. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$ n-1 gl) para densidad básica en escapos florales hembra de <i>Dasyilirion cedrosanum</i> Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de <i>Ochroma</i> spp. -----	56

28. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para peso seco volumétrico verde (PSVv) en escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*----- 56
29. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para flexión estática: resistencia al límite de proporcionalidad en escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.* ----- 57
30. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para flexión estática: resistencia a la ruptura en escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.* ----- 57
31. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para flexión estática: módulo de elasticidad en escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.* ----- 57
32. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para compresión paralela: resistencia al límite de proporcionalidad en escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.* ----- 58
33. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para compresión paralela: resistencia a la ruptura en escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.* ----- 58
34. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para compresión paralela: módulo de elasticidad en escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.* ----- 58
35. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para compresión perpendicular: resistencia al límite de proporcionalidad en escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.* ----- 59
36. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para cizallamiento: resistencia a la ruptura en escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*----- 59

37. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para dureza Janka: carga máxima en escapos florales hembra de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.* ----- 60
38. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para densidad básica en escapos florales macho de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.* ----- 60
39. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para peso seco volumétrico verde (PSVv) en escapos florales macho de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.* ----- 61
40. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para flexión estática: resistencia al límite de proporcionalidad en escapos florales macho de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*----- 61
41. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para flexión estática: resistencia a la ruptura en escapos florales macho de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*----- 62
42. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para flexión estática: módulo de elasticidad en escapos florales macho de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*----- 62
43. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para compresión paralela: resistencia a la ruptura en escapos florales macho de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.* ----- 63
44. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para compresión paralela: módulo de elasticidad en escapos florales macho de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*----- 63
45. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para compresión paralela: resistencia al límite de proporcionalidad en escapos florales macho de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.* ----- 63

46. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para compresión perpendicular: resistencia al límite de proporcionalidad en escapos florales macho de *Dasyllirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*----- 64
47. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para cizallamiento: resistencia a la ruptura en escapos florales macho de *Dasyllirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*----- 64
48. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para dureza Janka: carga máxima en escapos florales macho de *Dasyllirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*----- 65
49. Criterio de clasificación propuesto por Sotomayor (2002) para peso seco volumétrico verde para la especie *Dasyllirion cedrosanum Trel.* y madera de *Ochroma spp.* ----- 66
50. Comparación de propiedades mecánicas de *Dasyllirion cedrosanum Trel.* con el criterio de clasificación para especies mexicanas propuesto por Sotomayor (2002) para la especie *Ochroma spp.*----- 66

## RESUMEN

En este estudio se determinaron propiedades físicas y mecánicas por sexo (macho y hembra) de diferentes muestras de escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum Trel.*, se realizaron análisis estadísticos para comprobar diferencias significativas por sexo de la especie, posteriormente las propiedades físicas y mecánicas determinadas por sexo, se compararon con las propiedades físicas y mecánicas de la especie *Ochroma spp.*, todo esto con la finalidad de analizar la posibilidad de dar un uso diferente a los escapos florales del sotol (*Dasyilirion cedrosanum Trel.*) similares a los usos que se le dan a la madera de “balsa” (*Ochroma spp.*) a un costo muy reducido; lo que podría llevar a su industrialización y a un aumento en su valor, esto le permitirá obtener mayores ingresos a los productores que se dedican al aprovechamiento de esta planta. La metodología empleada para el estudio de las propiedades físicas y mecánicas se fundamentó en la norma COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas), siendo estos: densidad, contracción y peso seco volumétrico. Los ensayos mecánicos evaluados fueron: flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular, rajado o clivaje, tensión paralela, cortante o cizallamiento y dureza Janka. Los resultados mostraron que los escapos florales hembra superaron en todas las pruebas físicas y mecánicas a los escapos florales macho, así mismo también superan a la madera de balsa (*Ochroma spp.*), por lo tanto es factible utilizar los escapos florales hembra de sotol (*Dasyilirion cedrosanum Trel.*) de forma similar al uso que se le da actualmente a la madera de “balsa” (*Ochroma spp.*). Los escapos florales macho estadísticamente fueron superados por *Ochroma spp.* únicamente en las pruebas de cizallamiento: resistencia a la ruptura, compresión paralela: resistencia a la ruptura y compresión paralela: módulo de elasticidad. En las pruebas restantes, los escapos florales macho presentaron mejores resultados. Por lo tanto, aunque estadísticamente son mejores los escapos florales hembra para ciertos usos, no se descarta la utilización de los escapos florales macho a los usos similares que se le da a la madera de *Ochroma spp.*

**Palabras clave:** *Dasyilirion cedrosanum Trel.*, propiedades físico-mecánicas de escapos de sotol, *Ochroma spp.*

# I INTRODUCCIÓN

## 1.1 Importancia del estudio

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, por ejemplo: los servicios ambientales, la protección del suelo, el mantenimiento de la biodiversidad animal y vegetal. De igual forma la vegetación que crece en los climas secos ofrece importantes bienes, dentro de los que se incluyen plantas comestibles, medicinales, frutos, semillas, resinas, fauna silvestre y madera de pequeñas dimensiones para la manufactura de productos como carbón o artesanías (López *et al*, 2005)

En el caso del semidesierto del noreste del estado de Coahuila, uno de los PFNM es el sotol (*Dasyllirion cedrosanum*), el cual crece en amplias áreas y cuyas poblaciones naturales son abundantes. Es una planta característica del noreste de México y habitante del matorral desértico rosetófilo; existen 16 especies de las cuales *Dasyllirion cedrosanum Trel.*, es la más importante en el sureste de Coahuila y regiones aledañas (SEMARNAT, 2001).

El sotol (*Dasyllirion cedrosanum Trel.*) es una planta perenne dioica, se caracteriza por poseer escapos florales delgados con sexo bien definido, es decir, pueden presentarse en la planta como macho o hembra, pero nunca juntos. Los escapos florales de sotol son muy utilizados en construcción rústica de cercados, techos de casa-habitación y para corrales de animales (López y Portes, 2002).

Por otro lado, la madera de balsa (*Ochroma spp.*) se caracteriza por ser la madera comercial más liviana, blanda y de muy baja densidad; es utilizada para trabajos livianos como la elaboración de maquetas arquitectónicas, empaques, aislantes ligeros, juguetes y modelismo aéreo y naval, aumentando potencialmente así su valor, llegando a costar alrededor de \$50.00 US dll. por pie-tabla (Madera, 1988).

En este estudio se determinaron propiedades físicas y mecánicas por sexo (macho y hembra) de diferentes muestras de escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum Trel.*, se realizaron análisis estadísticos para comprobar diferencias significativas por sexo de la especie, posteriormente las propiedades físicas y mecánicas determinadas por

sexo, se compararon con las propiedades físicas y mecánicas de la especie *Ochroma spp*, todo esto con la finalidad de analizar la posibilidad de dar un uso diferente a los escapos florales del sotol (*Dasyilirion cedrosanum Trel.*) similares a los usos que se le dan a la madera de “balsa” (*Ochroma spp.*) a un costo muy reducido; lo que podría llevar a su industrialización y a un aumento en su valor, esto le permitirá obtener mayores ingresos a los productores que se dedican al aprovechamiento de esta planta.

El estudio de propiedades físicas y mecánicas es necesario para evaluar de manera individual cada una de las propiedades de la madera, proporcionando así valores para su correcto manejo y utilización. La evaluación se hace más importante en aquellas especies en las que aún se desconocen sus características tecnológicas para su adecuado uso (García, 2001).

Es importante destacar que los escapos florales de sotol, no son considerados como madera, debido que únicamente pueden alcanzar longitudes de 3 metros y sus diámetros son reducidos, de hasta de 2 ½ pulgadas; no obstante las modernas técnicas de ensamblados y encolados con adhesivos especiales nos permiten tener piezas de 8 a 10 pulgadas de ancho y desde 1/16 pulgadas hasta 1 pulgada de espesor.

Actualmente no se tiene ningún trabajo relacionado con la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* para su utilización como “madera” y usos similares al de la especie *Ochroma spp*. Es por ello que este trabajo de investigación es uno de los primeros que se realiza para verificar la factibilidad de utilizarlo y de esta manera contribuir más al conocimiento tecnológico de especies mexicanas.

## 1.2 Planteamiento del problema

En México no se tienen registros de trabajos relacionados con el análisis de propiedades físicas y mecánicas por sexo de escapos florales de sotol (*Dasyilirion cedrosanum Trel.*) para que puedan ser comparados con las propiedades de la madera de balsa (*Ochroma spp.*) y analizar la posibilidad de utilizarla de forma similar al uso que se le da actualmente a esta última; esta nueva forma de utilización podría convertirse en otra opción de ingresos a los poseedores de terrenos donde se distribuye y aprovecha el sotol.

## 1.3 Objetivo

### General

- Generar información de las propiedades físicas y mecánicas por sexo (macho y hembra) de escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum Trel.*

### Específico

- Comparar las propiedades físicas de los escapos florales por sexo (machos y hembras) de *Dasyilirion cedrosanum Trel.*
- Comparar las propiedades mecánicas de los escapos florales por sexo (machos y hembras) de *Dasyilirion cedrosanum Trel.*
- Comparar las propiedades físicas y mecánicas por sexo (machos y hembras) de escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* con las propiedades físicas y mecánicas de la madera de balsa (*Ochroma spp.*).

## 1.4 Hipótesis

**Ho:** No existen diferencias significativas entre las propiedades físico-mecánicas de los escapos florales machos y hembras de sotol (*Dasyilirion cedrosanum Trel.*), ni entre estos y la madera de balsa (*Ochroma spp.*).

**Ha:** Existen diferencias significativas entre las propiedades físico-mecánicas de los escapos florales machos y hembras de sotol (*Dasyilirion cedrosanum Trel.*), ni entre estos y la madera de balsa (*Ochroma spp.*).

## II REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Generalidades del sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.)

La palabra sotol viene del náhuatl “tzotolin “, que significa “palma de hojas largas y angostas”, esta planta es característica del matorral desértico rosetófilo, propio de las regiones áridas. Se pueden encontrar diversas especies, de las cuales se obtiene la bebida alcohólica del mismo nombre (Órnelas, 2004).

Esta planta es un recurso natural, que se reproduce rápidamente y con precipitaciones pluviales escasas, invasora de terrenos agrícolas y ganaderos (Benson y Darrow, 1944).

Molina (1983) menciona que esta planta, en periodos desfavorables, es capaz de almacenar agua y nutrientes en bulbos u otros tallos subterráneos, como tuberobulbos, rizomas y tubérculos. Las hojas, tallos y otras estructuras aéreas pueden también actuar como órganos de almacenamiento. A menudo tiene la corteza o las capas epidérmicas engrosadas para evitar la pérdida de agua.

#### 2.1.1 Descripción de la especie

El sotol es una planta perenne dioica, perteneciente a la familia nolinácea, las cuales se clasifican en árboles y arbustos, aunque algunas son escasamente reminiscentes de las liliáceas. Son propias de los desiertos o de climas cercanos al tipo desértico. Su apariencia puede ser la de palmeras medianas o de hierbas con grandes inflorescencias de sólidas y finas flores. El grupo demuestra alguna similitud con los agaves o plantas crasas, las cuales son consideradas entre las amarilidaceas. En épocas anteriores ambas familias eran consideradas bajo una sola denominación por algunos botánicos (Benson y Darrow, 1944).

#### 2.1.2 Clasificación Botánica

Phila: Spermatophyta

División: Anthophyta

Clase: Angiospermae

Subclase: Monocotiledónea

Orden: Liliales

Serie: Choripelalae

Familia: Nolinaceae

Género: *Dasyilirion*

### 2.1.3 Características morfológicas

El sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) se caracteriza por tener una raíz fibrosa poco profunda ramificada y extendida de 2 a 8 milímetros de diámetro, las cuales surgen del tronco, el cual es grueso, llegando a medir hasta 1.5 m de alto; las hojas son persistentes y numerosas, formando rosetas extendidas de 2 cm de ancho y de hasta 1 m de largo, ligeramente laciniadas, glaucas, rugosas, opacas y con espinas amarillas, generalmente separadas de 1 a 1.5 cm y de 2 a 5 mm de largo, haciéndose rojas hacia arriba (Velásquez, 1983).

Los tallos o escapos florales pueden ser son cortos o alargados de hasta 3.5 m de alto (Figura 1), a menudo elevado y recostado hacia el lado de más peso, presenta la base del tallo más amplio que la parte alta del mismo, con márgenes fuertes, con púas curvas y ápice fibroso (Velásquez, 1983).



Figura 1. *Dasyilirion cedrosanum* Trel. en el ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Presenta inflorescencias paniculadas, con las panículas estrechas a lo largo y con los tallos leñosos; brácteas casi en forma de hojas, distal estramíneo, lanceoladas; fascículos de racimos densos en axilas de brácteas. Tiene flores pequeñas, funcionalmente unisexuales. Algunas plantas sólo tienen flores masculinas, otras sólo femeninas. Las brácteas florales son laciniadas, membranosas, con seis tépalos

distintos, con blanco verde y púrpura, en forma ahuevada, con márgenes denticulados; seis estambres, rudimentarios en el pistilado de las flores. El ovario superior presenta tres ángulos con estaminados abortivos en las flores; pistilo corto, más o menos en forma de correa, ligeramente ampliado en la punta; tres estigmas lobulados, con los lóbulos en forma de tubo, y con el pedicelo de las flores con pistilo articular. (INIFAP, 2005).

En la flor el pericarpio es de 2 a 2.5 mm de largo; sépalos y pétalos finos, blanquecinos, los estambres más largos que el pericarpio, de filamentos delgados; frutos alados y la semilla encerrada en la parte central. El fruto es muy estrechamente elíptico, de 4-9 mm, el estilo apenas de la mitad de largo de la muesca y el tamaño de las semillas es de 2 x 3.5 mm (García, 1952).

#### **2.1.4 Distribución geográfica**

Las regiones donde el sotol crece naturalmente se encuentran entre los 1,000 a 2,200 msnm. De acuerdo con Velásquez (1983), en México se han identificado alrededor de 16 especies repartidas principalmente en terrenos pedregosos, cerriles, calizos y rocosos, con precipitaciones mínimas de 250 mm anuales y la máxima de 700 mm con inviernos secos y veranos suaves.

Los Estados más representativos en su distribución son: Durango, Tamaulipas, Chihuahua, San Luis Potosí, Querétaro, Zacatecas y Nuevo León (García, 1979).

Para el Estado de Coahuila, Villarreal (2001) reporta cuatro especies del genero *Dasyllirion* (Figura 2).

- *D. cedrosanum* Trel. Para los municipios de Castaños, Cuatrociénegas, Monclova, Ocampo, Parras de la Fuente, Ramos Arizpe y Saltillo.
- *D. heteracanthum* en Ocampo.
- *D. leiophyllum* Engelm. Oeste de Coahuila
- *D. texanum* Scheele, para Monclova y Ocampo.



Figura 2. Distribución geográfica del género *Dasyilirion*, según Villareal (2001).

### 2.1.5 Escapos florales de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.)

Se le denomina escapos florales o “quiotos”, al tallo que brota de la base de la planta la cual tiene la inflorescencia, polen, estambres y que están presentes en cualquier planta del género Agavaceae y Nolinaceae. El escapo floral de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) se caracteriza por ser un tallo delgado, con sexo bien definido, es decir, por ser una planta dioica los escapos florales pueden presentarse en la planta como macho o hembra, pero nunca juntos (Figura 3). Los escapos machos tienen los estambres y el polen, mismos que son necesarios para la fecundación del óvulo y con ello formar las semillas de la planta. Los escapos hembras tienen los pistilos por donde el macho dejara el polen y fecundará el óvulo para formar la semilla (López y Portes, 2002).



Figura 3. Escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. cortados en el ejido Tanque Nuevo (macho izquierda y hembra derecha).

### 2.1.6 Usos de los escapos florales de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.)

La parte más aprovechable de esta especie es el tronco o base para la elaboración de bebidas alcohólicas; no obstante, el escapo floral de sotol tiene la característica de ser duro y firme, comparado con otras plantas del mismo género, característica que la hace muy importante para este estudio. El escapo floral de sotol es muy utilizado en diversos ejidos y comunidades rurales en la elaboración de mangos de escobas, construcción de cercas (Figura 5) y construcción de techos (López y Portes, 2002).



Figura 4. Mangos de escobas elaborados en ejidos de Zacatecas con escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum* Trel.



Figura 5. Escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. usados en cercas y techos en el ejido tanque Nuevo, Coahuila.

## **2.2 Generalidades de la madera de balsa (*Ochroma spp*)**

La balsa (*Ochroma spp.*) es un árbol con madera extremadamente liviana, densidad que va desde 0.10 a 0.20 gr/cm<sup>3</sup>; sin embargo es resistente y estable. La albura es blancuzca, amarillenta o rosada y el duramen marrón pálido. No tiene olor o sabor distinguibles. Tiene textura fina, grano recto y buen lustre. La madera es tan fácil de trabajar que requiere las cuchillas bien afiladas para que no se produzcan desgarraduras en el corte (Butterfield, 1995).

Por ser un árbol de madera no durable, permite la entrada de clavos y tornillos fácilmente pero no los retiene bien. El encolado es bueno y el cepillado satisfactorio. No es buena para moldeado, taladrado y torneado. La sección del fuste por encima de la primera rama no produce madera aprovechable (Madera, 1988).

### **2.2.1 Clasificación Botánica**

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Dilleniidae

Orden: Malvales

Familia: Malvaceae

Subfamilia: Bombacaceae

Género: *Ochroma*

### **2.2.2 Características morfológicas**

La balsa (*Ochroma spp.*) es un árbol perennifolio que alcanza una altura hasta de 30 m y un diámetro hasta de 0.70 m, tronco liso de color gris, que se ramifica a unos 10 m de altura. Las hojas son alternas, pecioladas, y de base cordada (Figura 6). Las flores son grandes, de color blanco y campanuladas. El fruto es una cápsula que se abre por varias valvas y contiene una lana llamada "lana de balsa" (Betancourt, 1968).

Es una especie de rápido crecimiento, forma parte del grupo de especies pioneras o colonizadoras. Es abundante en las vegas de los ríos y que invade terrenos recién

perturbados, especialmente en los claros de los bosques donde se han talado árboles (Butterfield, 1995).



Figura 6. Árbol de madera de balsa (*Ochroma spp.*) Tomado de: [http://www.semarnat.gob.mx/pfnm2/fichas/ochroma\\_pyramidale.htm](http://www.semarnat.gob.mx/pfnm2/fichas/ochroma_pyramidale.htm)

### 2.2.3 Área de distribución natural

La madera de balsa (*Ochroma spp.*) es originaria de América, restringida a zonas tropicales. Se extiende a través de toda América, en México se encuentra la madera de balsa (*Ochroma lagopus sw.*) en los estados de Oaxaca, sur de Tabasco, centro de Veracruz y sur de Chiapas. En Centroamérica la especie (*Ochroma pyramidale*) es la que mayor domina, principalmente en los países de Colombia, Venezuela, Brasil, Ecuador, Perú, Bolivia y en las Antillas (Figura 7), encontrándose en regiones de bosques lluviosos entre 300 y 1,000 msnm de altitud (John, 1991).

### 2.2.4 Hábitat

Se desarrolla en laderas y en sitios abiertos como claros de bosques y orillas de caminos. Crece a lo largo de las riveras de los ríos y en zonas de litoral húmedo. Especie indicadora de climas Af o Am muy húmedo, clima tropical muy uniforme. En su hábitat natural la temperatura máxima es de 27 °C y la mínima de 22 °C. Precipitación anual de 1,300 mm aproximadamente. Prospera en terrenos no muy profundos, en suelos derivados de materiales calizos, metamórficos e ígneos. Crece en rocas arcillosas y húmedas. Se desarrolla muy bien en suelos que han sido sometidos a quemadas (Bisee, 1981).

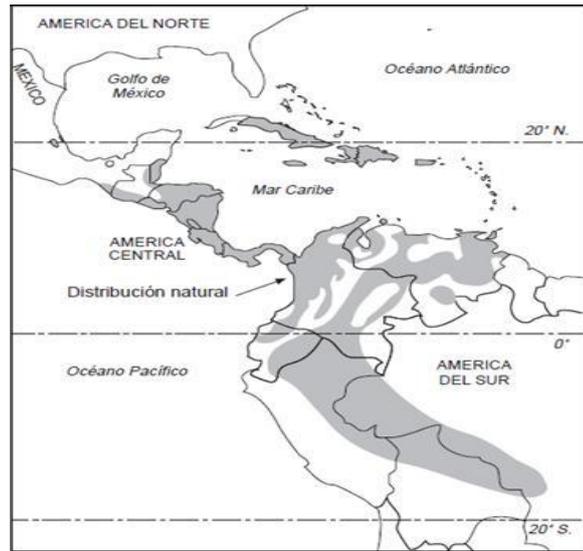


Figura 7. Distribución potencial de la madera de balsa, según el departamento de Agricultura y Servicio Forestal, New Orleans, USA.

### 2.2.5 Clima

La balsa (*Ochroma spp.*) requiere de un clima cálido y húmedo. La cantidad mínima de precipitación que tolera es de alrededor de 1500 mm anuales, excepto a lo largo de corrientes de agua, en donde el nivel del agua subterránea se encuentra cerca de la superficie y puede ser absorbida por las raíces. Los árboles de balsa crecen ocasionalmente en áreas con una precipitación de hasta 3000 mm anuales. La estación seca deberá ser de menos de 4 meses de duración. La temperatura promedio del mes más frío varía entre 20 y 25 °C y la temperatura promedio del mes más cálido varía entre 24 y 30 °C. Requiere obligatoriamente la plena exposición al sol y no es resistente a las heladas (Mora, 1974).

### 2.2.6 Usos de la Madera de balsa (*Ochroma spp.*)

Esta planta por poseer madera extremadamente liviana, es fuente ideal en la fabricación de artículos atlético-deportivos, deslizadores o surfing, maquetas navales y aeromodelismo (Figura 8), revestimiento interior de habitaciones para amortiguar sonidos, decoración de interiores, planchas aisladoras, también se utiliza en la elaboración de artesanías y juguetes. Por su ligereza, su madera se utilizó en la fabricación de aviones bombarderos ingleses durante la Segunda Guerra Mundial. Por su rápido crecimiento y condiciones, resulta un recurso maderable susceptible de explotación inmediata (Butterfield, 1995).



Figura 8. Madera de *Ochroma spp.* utilizada para construcción de aeromodelismo.

Tomado de: [http://www.fundecor.org/bd\\_maderas/](http://www.fundecor.org/bd_maderas/).

### **2.3 Propiedades de la madera en general**

La realización de pruebas físicas y mecánicas es necesaria para evaluar de manera individual cada una de las propiedades de la madera, proporcionando así valores para su correcto manejo y utilización. La evaluación se hace más importante en aquellas especies en las que aún se desconocen sus características tecnológicas para su adecuado uso (García, 2001).

De todas las propiedades tecnológicas de las maderas, las propiedades físico-mecánicas son las más importantes, pues se utilizan índices para evaluar si las características o calidad de una madera son adecuadas para un uso en particular (Panshin y Dezeew, 1980).

#### **2.3.1 Propiedades físicas de la madera**

Se llaman propiedades físicas de la madera a aquellas que para manifestarse no requieren de la aplicación de una fuerza externa sobre la muestra y pueden determinarse sin alterar la integridad de la muestra sometida a ensayo, es decir, que pueden definirse mediante la inspección, la pesada, la medida y el secado. Entre las propiedades físicas más importantes figuran la densidad, peso específico, peso seco volumétrico, contracción, contenido de humedad y estabilidad dimensional (Fuentes, 1970).

##### **2.3.1.1 Densidad y peso específico**

La densidad se define como la relación de la masa de un cuerpo por unidad de volumen. Dado que en el sistema métrico decimal (SMD) tanto la masa, como el peso, se expresan en kilogramos o gramos, para casos prácticos se puede tomar la densidad como sinónimo de peso específico (Cuevas, 2003).

Es en la densidad o peso específico donde mejor se puede ver la calidad de la madera, de él dependen en gran medida su resistencia mecánica en general, su trabajabilidad, la extensión de los cambios dimensionales, calidad de acabados y poder calorífico principalmente (Dávalos y Bárcenas, 1998).

La densidad puede medirse en diferentes porcentajes de contenido de humedad de la muestra de madera, por lo tanto los resultados obtenidos serán muy variables, por lo que es necesario estandarizarlo para propósitos de comparación. Las condiciones más comunes son:

- $DE_0 = P_0/V_0$

Donde:

$DE_0$  = Densidad anhidra o Peso específico anhidro

$P_0$  = Peso anhidro

$V_0$  = Volumen anhidro

- $DE_h = P_h/V_h$

Donde:

$DE_h$  = Densidad al h% de contenido de humedad.

$P_h$  = Peso al h% contenido de humedad

$V_h$  = Volumen con h% contenido de humedad.

El valor más común de  $h = 12\%$  de contenido de humedad.

- $DE_v = P_v/V_v$

Donde:

$DE_v$  = Densidad verde o Peso específico verde.

$P_v$  = Peso verde

$V_v$  = Volumen verde

La razón anterior de tomar la densidad a diferentes contenidos de humedad, es el siguiente: La densidad anhidra ( $DE_0$ ), es la más utilizada para estudios técnicos ya que nos elimina la influencia del agua en la madera; en la densidad verde ( $DE_V$ ) el volumen no presenta cambios y permite utilizarlos para el manejo y transporte de la madera. En el caso de la densidad a 12 % de contenido de humedad ( $DE_h$ ), aunque no tiene las condiciones de los anteriores, se utiliza para determinar el peso que tendrá la madera en condiciones normales de uso, pues normalmente se estabiliza alrededor de este valor (Díaz, 2005).

### **2.3.1.2 Contenido de humedad**

Se define como la cantidad de agua que existe en una pieza de madera, expresada como un porcentaje del peso de ésta, en condición totalmente seca o anhidra (Fuentes, 1970).

Existen varios métodos para la determinación del contenido de humedad de una madera, sin embargo, no todos tienen una aplicación generalizada debido a que algunos requieren equipos especializados, son complicados en su procesamiento o presentan más desventajas (Bárcenas y Dávalos, 1998).

El método por pesadas sucesivas y secado en horno, es de los más exactos y por lo mismo el más utilizado, aunque un poco más tardado. Consiste en cortar una pieza pequeña de madera con un espesor no mayor de 25 mm y de preferencia que no sea de los extremos de la misma. La muestra se pesa inmediatamente obteniendo así su peso húmedo. Posteriormente se introduce a una estufa a una temperatura de  $103 \pm 2$  °C, hasta obtener peso constante en dos o tres pesadas consecutivas, con intervalos de 24 hrs, en el que se registra como peso anhidro ( $P_0$ ).

Por otra parte, el xilohigrómetro eléctrico permiten calcular contenido de humedad sin cortar o mutilar la pieza de madera, son fáciles de manejar y se obtienen lecturas rápidas; están diseñados con dos electrodos del tipo aguja; las agujas o electrodos se encajan en la madera a una profundidad de una quinta o una cuarta parte de su espesor, la lectura que resulta es el promedio del CH de la pieza, debido al normal gradiente que suele tener. Estos aparatos tienen la desventaja de tener errores de cálculo de hasta 10 % en maderas con contenido de humedad mayor al 30 % (Cuevas, 2003).

### 2.3.1.3 Contracción

Se entiende por contracción, a la disminución o pérdida de volumen de la madera y se expresa como porcentaje de la dimensión de la madera en estado verde y estado anhidro (Fuentes, 1970).

La contracción es una de las características más indeseables de la madera y es la responsable en gran medida, de los inconvenientes y dificultades que se encuentran con ella en la construcción (Pérez, 1983).

### 2.3.1.4 Peso seco volumétrico

El peso seco volumétrico se define como las diferentes formas de relacionar el peso anhidro de la madera entre las diferentes condiciones húmedas en que se puede presentar el volumen de la misma, es decir, indica la proporción real de la madera seca que existe en la unidad de volumen para cualquier contenido de humedad, las principales son las siguientes:

$$a) \text{PSV}_o = \frac{P_o}{V_o}$$

Donde:

PSVo = Peso seco volumétrico anhidro

Po = Peso anhidro en gramos

Vo = Volumen anhidro

$$b) \text{PSV}_v = \frac{P_o}{V_v}$$

Donde:

PSVv = Peso seco volumétrico verde

Po = Peso anhidro en gramos

Vv = Volumen verde

$$c) \text{PSV}_{12} = \frac{P_o}{V_{12}}$$

Donde:

PSV<sub>12</sub> = Peso seco volumétrico al 12% de contenido de humedad

Po = Peso anhidro en gramos

V<sub>12</sub> = Volumen al 12 % de contenido de humedad

### 2.3.2 Propiedades mecánicas de la madera

Las propiedades mecánicas son aquellas que para su determinación se requiere utilizar aparatos y aditamentos específicos, los cuales a la vez que proporcionan la carga o fuerza requerida y registran la magnitud de las mismas. Es un proceso que requiere de equipo, personal calificado, un programa de ensayos, material y tiempo para realizarlos (Bárcenas, 2005).

La utilización apropiada de la madera requiere del conocimiento de sus propiedades mecánicas. Para ello se debe centrar en la elaboración de metodologías que permitan, en base a las propiedades mecánicas, poder estimar con facilidad y confiabilidad las condiciones de utilización y procesamiento adecuado de las especies forestales (Rosas, 2010).

Las propiedades mecánicas más importantes son: flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular, rajado o clivaje, tensión paralela, tensión perpendicular, cortante o cizallamiento y dureza janka. Para evaluar dichas propiedades, se utiliza la maquina universal de ensayos, este aparato cuenta con un computador, el cual registra de manera automática la carga y esfuerzo a la cual se somete la probeta de madera, de esta manera se obtienen valores muy precisos para cada ensayo realizado (COPANT, 1972).

### **2.3.2.1 Flexión estática**

Es una de las pruebas a las que se ve sometida la madera comúnmente. La forma de cómo se mide la resistencia a la flexión es aplicando una carga concentrada en el centro de la longitud de una viga apoyada en sus extremos (Torelli, 1982).

Las generalidades para el ensayo de flexión estática, son las siguientes:

- Los ensayos de flexión estática se realizan sobre probetas de 2 pulgadas de ancho por 2 pulgadas de espesor.
- Alternativamente, se pueden usar probetas de 1 pulgada por una pulgada de espesor cuando provengan de especies de diámetros menores de 30 cm y presenten torceduras, grano inclinado y nudos.
- La longitud para ambos casos será de 15 veces la altura de la probeta, es decir, 76 cm aproximadamente (Figura 9).

- El número de probetas a ensayar es de 20 probetas como mínimo, y está determinado por el grado de precisión que se desea lograr, según la norma COPANT (1972).



Figura 9. Probetas preparadas para el ensayo de Flexión estática en escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum* Trel.

### 2.3.2.2 Compresión paralela a la fibra

Se define como la aplicación de cargas contrarias en el plano paralelo de la probeta de madera (Torelli, 1982).

Las generalidades para el ensayo de compresión paralela son las siguientes:

- Se realizan en probetas de 20 cm de longitud y con sección transversal consistente en un cuadro de 5 cm de lado (Figura 10).
- Las medidas de las probetas deben ser comprobadas en el momento del ensayo, con la precisión requerida y de acuerdo con la finalidad del mismo.
- Se verifican que las superficies de los extremos sean paralelas entre sí y en ángulo recto al eje longitudinal. El eje longitudinal de la probeta debe ser paralelo a la dirección general del grano.
- El número de probetas a ensayar es de 20 probetas como mínimo y está determinado por el grado de precisión que se desee lograr en el ensayo, según la norma COPANT (1972).

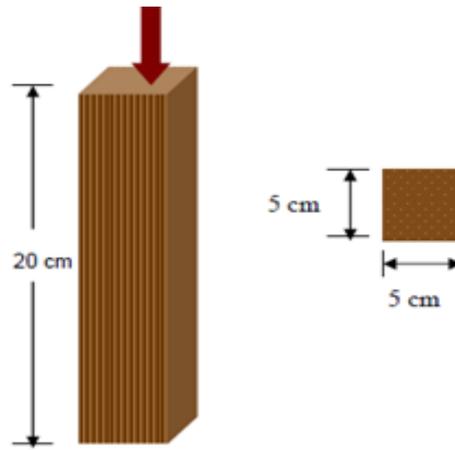


Figura 10. Probetas para ensayo de compresión paralela, según norma COPANT (1972).

### 2.3.2.3 Compresión perpendicular a la fibra

Se define como la aplicación de cargas contrarias en un mismo plano de forma perpendicular a la muestra de madera (Figura 11). La resistencia a la compresión perpendicular es de 3-5 veces menor que la carga en la compresión paralela (Torelli, 1982).

Las generalidades para el ensayo de compresión perpendicular, son las siguientes:

- Se realiza en probetas con forma de prismas rectos de 15 cm de longitud, con sección transversal consistente en un cuadrado de 5 cm de lado.
- Las medidas se comprueban en el momento del ensayo con la precisión requerida, de acuerdo con la finalidad del mismo.
- El número de probetas a ensayar es de 20 como mínimo y está determinado por el grado de precisión que se desee lograr en el ensayo, según la norma COPANT (1972).



Figura 11. Probetas preparadas para ensayo de compresión perpendicular en escapos florales de *Dasyliirion cedrosanum* Trel.

### 2.3.2.3 Cortante o cizallamiento

Se define como la aplicación de cargas contrarias convergentes o divergentes, pero que actúan en planos diferentes, se le denomina también cizallamiento (Vargas, 1987).

Las generalidades para el ensayo de cortante o cizallamiento son las siguientes:

- Se realizan en probetas de 5 cm X 5 cm X 6, 5 cm, recortadas en una de sus caras en la forma indicada cuidando que las superficies A, B y C sean paralelas entre sí (Figura 12).
- Las medidas de la probeta se comprueban en el momento del ensayo, con la precisión requerida de acuerdo con la finalidad del ensayo.
- El número de probetas a ensayar es de 20 como mínimo y está determinado por el grado de precisión que se desee lograr en el ensayo, según la norma COPANT (1972).



Figura 12. Probetas preparadas para ensayo de cizallamiento en escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum* Trel.

#### 2.3.2.4 Tensión paralela

Se define como la aplicación de cargas divergentes en un mismo plano a una muestra de madera, ocasionado la separación de las fibras de la muestra hasta romperlas completamente (Figura 13). La resistencia de la madera a la tensión paralela es de 20 a 30 veces mayor que la tensión perpendicular (Vargas, 1987).

- Se realiza en probetas elaboradas de acuerdo con la forma y dimensiones indicadas por la norma. La probeta se elabora de tal forma que la dirección de anillos de crecimiento en la zona de sección reducida sea perpendicular a la mayor dimensión de la sección.
- Las dimensiones de las probetas en la sección reducida se comprueban en el momento del ensayo con la precisión de  $\pm 0,3\%$ .
- La cantidad de probetas a ensayar es de 20 como mínimo y está determinado por el grado de precisión buscado, según la norma COPANT (1972).



Figura 13. Probetas preparadas para ensayo de tensión paralela en escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum* Trel.

### 2.3.2.5 Rajado o clivaje

Se define como la aplicación de fuerzas de tensión perpendicular en un extremo de la muestra de madera, hasta ocasionar el rompimiento o rajado de las mismas (Torelli, 1982).

- El ensayo del clivaje se realiza en probetas elaboradas de acuerdo con la forma y dimensiones indicadas en la norma COPANT 741 (Figura 14).
- Las dimensiones de las probetas se comprueban en el momento del ensayo con una precisión de  $\pm 0,3$ .
- La cantidad de probetas a ensayar es de 20 como mínimo y está determinado por el grado de precisión buscado, según la norma COPANT (1972).

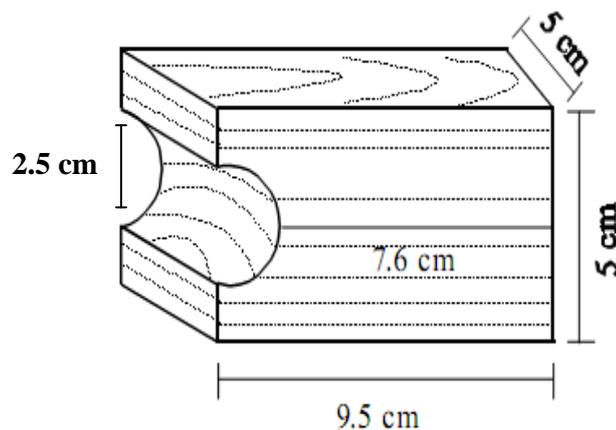


Figura 14. Medidas especificadas para el ensayo de clivaje, según la norma COPANT 741 (Método de determinación de la resistencia al clivaje o desgarre).

### 2.3.2.6 Dureza janka

Se define como la resistencia que opone un cuerpo a ser penetrado por otro sólido. El método janka, que consiste en medir el esfuerzo necesario para introducir en las caras transversales y en las caras laterales (tangencial y radial) de una probeta, una semiesfera de acero de un centímetro cuadrado ( $1\text{cm}^2$ ) de área hasta una profundidad igual a su radio (Vargas, 1987).

Las generalidades para el ensayo de Dureza Janka, son las siguientes

Se efectúa sobre probetas con forma de prismas rectos de 15 cm de longitud, con sección transversal consistente en un cuadrado de 5 cm de lado y preparadas de manera que una de dos caras opuestas entre sí sea una superficie tangencial a los anillos de crecimiento, con lo cual las otras dos caras resultan superficies radiales (Figura 15).

- El número de probetas a ensayar es de 20 como mínimo y está determinado por el grado de exactitud que se desee lograr en el ensayo, según la norma COPANT (1972).

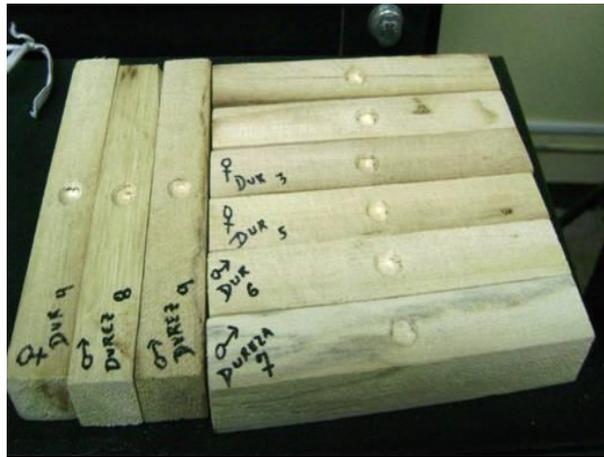


Figura 15. Probetas preparadas para ensayo de dureza Janka en escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum* Trel.

### 2.3.3 Tipos de esfuerzos presentes en la madera.

Cuando se aplican diferentes tipos de cargas en la realización de pruebas mecánicas a cualquier muestra de madera, ésta comúnmente se someten a 3 tipos de esfuerzos o resistencias: esfuerzo o resistencia unitaria al límite de proporcionalidad (RLP), esfuerzo o carga máxima y esfuerzo o resistencia de ruptura (Cuevas 2003).

Según Karsulovic (1982), cuando a un cuerpo de madera se le aplica un carga, este llega hasta un límite llamado límite de proporcionalidad, hasta este punto el cuerpo puede volver a recuperar su estado original cuando la carga es suprimida, ésta zona es denominada con el nombre de zona elástica. Si se sigue aumentando la carga el material quedará permanentemente deformado, a esta zona se le denomina, zona plástica. En la figura 16, se observa que en la zona plástica la carga y la deformación unitaria siguen creciendo, pero ahora la deformación sigue creciendo con mayor rapidez, (parte A – B de la curva), hasta alcanzar un esfuerzo máximo llamado también resistencia, esfuerzo o carga máxima. El punto C del mismo gráfico, corresponde a la tensión máxima o de ruptura del material.

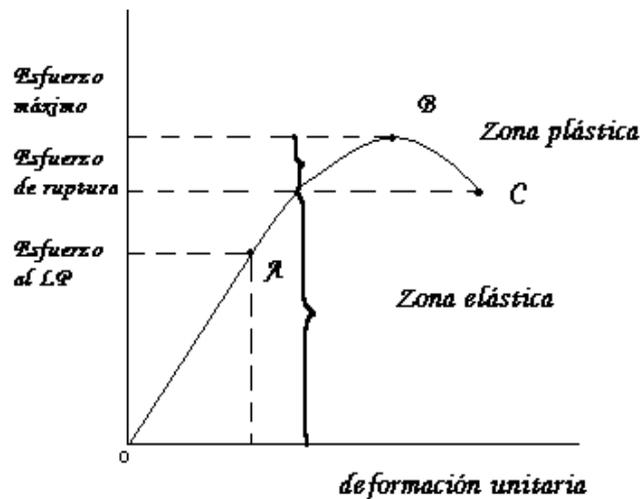


Figura 16. Diagrama general de carga-deformación para cualquier tipo de madera, según Karsulovic (1982).

De lo anterior, se deriva el cálculo del módulo de elasticidad (ME), el cual es una medida de la rigidez de un material. Es aquella propiedad de la materia que le permite resistir una fuerza que tiende a cambiar su forma o volumen y que es responsable de la recuperación de su forma o volumen original cuando dicha fuerza deja de actuar (Karsulovic, 1982).

Cabe destacar la importancia de considerar los conceptos de Rigidez y Elasticidad. Rigidez es la característica de un cuerpo que solicitado por cargas externas mantiene su tamaño y su forma natural o resiste a la deformación. Por el contrario, elasticidad es la característica de ciertos materiales sólidos, los cuales admiten deformaciones mientras permanezca la sollicitación externa (Cuevas, 2003).

## 2.4 Trabajos a fines

Kribs (1968), presentó información de algunas propiedades de 77 especies vegetales en México, dentro de estas especies señala a la madera de *Ochroma lagopus* sw como la más suave y liviana con una densidad que oscila entre 0.12 y 0.20 g/cm<sup>3</sup> (secada en estufa). De igual forma Butterfield (1995), realizó un estudio en Colombia para especie *Ochroma spp*, la densidad básica obtenida fue 0.15 g/cm<sup>3</sup>, la cual se ubica dentro del rango presentado por Kribs (1968). Posteriormente, Bárcenas y Dávalos (1998), realizaron un estudio en 60 especies tropicales de México, para la especie *Ochroma spp*. obtuvieron una densidad básica de 0.15 gr/cm<sup>3</sup>, valor que coincide con el obtenido por Butterfield (1995), así mismo

obtuvieron valores para contracción radial de 2.90 %, contracción volumétrica 10.28%, contracción tangencial 7.60% y punto de saturación de la fibra de 33.3%. Los valores más altos la obtuvieron para la especie *Swartzia cubensis* con una densidad básica de 0.989 g/cm<sup>3</sup>, contracción radial de 7.60 %, tangencial de 10.45 %, volumétrica de 17.26 % y un punto de saturación de la fibra de 24.5 %.

Butterfield (1995) y Kribs (1968), mencionaron que de acuerdo a sus propiedades físicas, los principales usos de la madera de balsa (*Ochroma spp.*) son los siguientes: fabricación de artículos atlético-deportivos, juguetes, deslizadores o surfing, maquetas navales, aeromodelismo, aislantes de sonido en casas habitación, decoración de interiores y en la elaboración de artesanías.

Bárceñas y Dávalos (2001), realizaron un estudio de las propiedades físicas y mecánicas para la especie *Ochroma spp.* Para ello utilizaron un tamaño de muestra de 25 probetas para cada prueba física y mecánicas, los resultados que obtuvieron son los siguientes: densidad de 0.16 gr/cm<sup>3</sup>, para el parámetro de flexión estática módulo de elasticidad (MOE) 42,000 kg/cm<sup>2</sup>, resistencia o esfuerzo al límite de proporcionalidad (ELP) 150 kg/cm<sup>2</sup> y resistencia a la ruptura 260 kg/cm<sup>2</sup>; para el parámetro de compresión paralela MOE 25,900 kg/cm<sup>2</sup>, resistencia al límite de proporcionalidad (ELP) 65 kg/cm<sup>2</sup> y resistencia a la ruptura 175 kg/cm<sup>2</sup>; para el parámetro de compresión perpendicular (ELP) 10 kg/cm<sup>2</sup>; para el parámetro de cortante o cizallamiento resistencia a la ruptura 25 kg/cm<sup>2</sup> y dureza janka con una carga máxima de 50 kg.

García (2001), indicó que los resultados de los estudios sobre maderas en México indican que existe un rango amplio en el nivel de sus propiedades físicas y mecánicas. Así es posible encontrar maderas que tienen una densidad básica de 0.150 g/cm<sup>3</sup> como es el caso de *Ochroma spp.*, como maderas con densidades de 1.203 g/cm<sup>3</sup> como lo es la especie *Guaiacum officinale*. Además añade que este rango tan amplio de propiedades permite utilizar las maderas en diferentes usos específicos.

Sotomayor (2002), propuso la tabla FITECMA (Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera) de clasificación de características mecánicas de maderas mexicanas; de esta forma, clasificaron a la especie *Ochroma logopus sw* en base a sus características físico-mecánicas dentro de los valores bajos y muy bajos.

Sotomayor (2005), mencionó que las características de las propiedades mecánicas de la madera de especies mexicanas son necesarias en el diseño de estructuras y productos de madera. En México, esta información se encuentra dispersa y no uniformizada, como consecuencia, la madera no es apreciada como material estandarizado de construcción o de fabricación.

### III MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción del área de estudio

La colecta de escapos florales, se realizó en el ejido Tanque Nuevo, municipio de Parras de la Fuente, Coahuila. Este ejido se localiza al suroeste del municipio de General Cepeda y al sureste del municipio de Parras de la Fuente (Figura 17). Está situado a una altitud de 1,950 metros sobre el nivel del mar, entre las coordenadas 25° 15' 50" latitud norte y 101° 43' 37" de longitud oeste (INEGI, 2010).

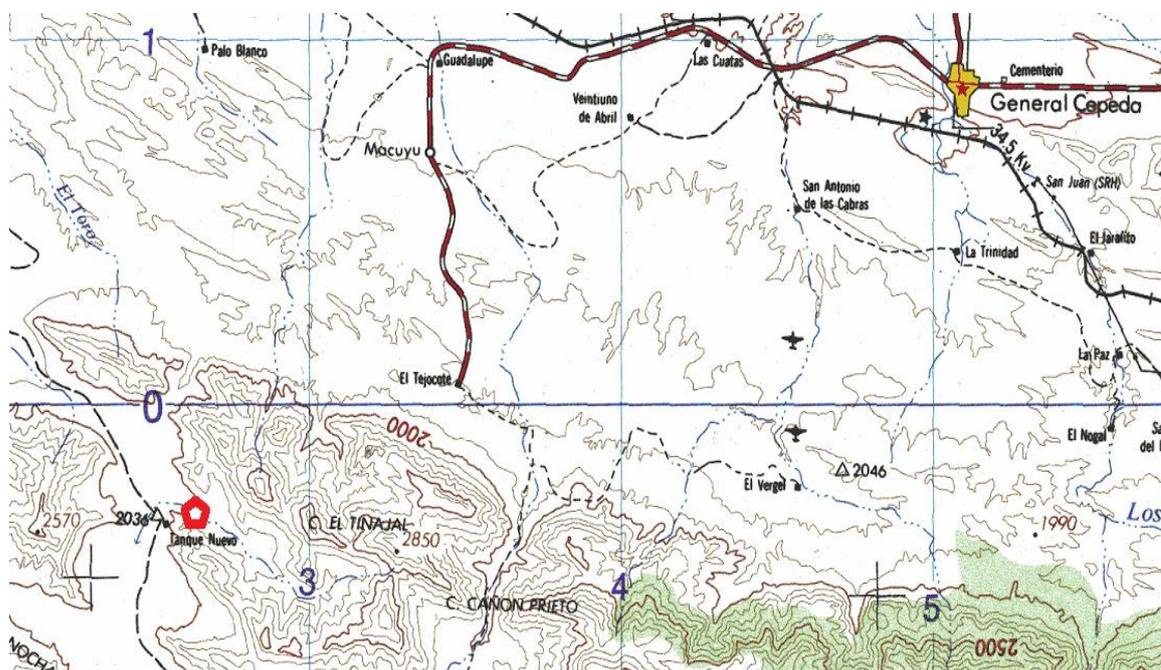


Figura 17. Localización geográfica del ejido Tanque Nuevo, Coahuila (INEGI 2010)

#### 3.1.1 Clima

En el ejido Tanque Nuevo, predominan 2 tipos de climas:

- Desértico (BW) con inviernos frescos y lluvias en verano (BWhw), el cual cubre el 58.83 % del área.
- El clima semicálido con lluvias en verano (Bsohw), el cual cubre 30% del área, se presenta cada temporada de lluvias (INEGI,2010).

### **3.1.2 Orografía**

El área de estudio, presenta geformas bien definidas, compuestos principalmente de llanuras y sierras (La Panocha y el Laurel) ocupando el 19 % del territorio municipal (INEGI, 2010).

### **3.1.3 Edafología**

Los suelos dominantes son el Xerozem y Cherozem, de profundidad somera (0 a 5 cm), con textura franco-arcillosa a franco-arenosa, estructura granular a blocoso subangular, y laminar, de color gris, café y rojo tanto en seco como en húmedo, drenaje interno de regular a bueno, con escurrimiento superficial, los suelos denominados de montaña, calcáreos, de origen in-situ, en general; de profundidad somera (0 a 25 cm), con textura de franco a franco-arcillosa y de estructura granular (INEGI, 2010)

### **3.1.4 Vegetación**

La vegetación predominante es matorral desértico rosetófilo. Las especies dominantes son *Agave lechuguilla*, *Opuntia microdasys*, *Jatropha dioica*, *Dasyllirion cedrosanum*, *Agave americana*, *Parthenium argentatum*, entre otras. También existen pequeñas zonas con vegetación arbórea de *Prosopis glandulosa*, *Acacia farnesiana*, *Chilopsis linearis*, *Celtis leavigata*, *Fraxinus americana*, *Pinus cembroides*, *juniperus spp.* y cactáceas de diferentes especies (INEGI, 2010).

### **3.1.5 Fauna**

Existe gran diversidad faunística, entre los cuales se encuentran los siguientes: *Puma concolor*, *Pecari tajacu*, *Lepus californicus*, *Odocoileus virginianus*, *Ursus americanus*, *Canis latrans*, *Linx rufus*, *Meles meles*, *Crotalus durissus*, *Zenaida macroura*, entre otras (INEGI, 2010)

### 3.2 Selección de escapos florales

Los escapos florales se eligieron y se cortaron de acuerdo a un muestreo selectivo, para ello se utilizó el siguiente criterio:

- Plantas de sotol de mayor calidad, es decir, se buscó escapos florales del mayor diámetro de base, tanto para hembras, como para machos. Esto con la finalidad de adaptarlos y así lograr de la mejor forma posible que esta fuera tratada como madera al momento de determinar las propiedades físicas-mecánicas por sexo y pueda ser comparada con la madera de balsa (*Ochroma spp*).
- Plantas en etapa de término de floración, con la finalidad de no afectar ni alterar la etapa de reproducción.
- Elección de escapos florales macho y hembras (50 % - 50 %), en total se cortaron 200 escapos florales, 100 de plantas macho y 100 de plantas hembra.
- Escapos florales sanos (que no presentan pudriciones o algún daño por plagas).
- Escapos florales jóvenes, en la etapa de desarrollo en curso, es decir, se evitó la elección de escapos florales viejos.
- El corte del escapo floral, se efectuó desde la base sin afectar la planta y hojas (Figura 18).



Figura 18. Corte de escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. en el ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

### 3.3 Preparación y procesamiento de las muestras

Los escapos florales recién recolectados, se llevaron al taller-carpintería y con ayuda de la sierra circular se procesaron (Figura 19) y se obtuvieron las probetas o muestras (Figura 20), mismas que sirvieron para realizar las diferentes pruebas físicas y mecánicas. En total se elaboraron 60 probetas para la determinación de las propiedades físicas y 280 probetas para realizar los ensayos mecánicos, es importante destacar que la elaboración de probetas para el estudio de las propiedades físicas y mecánicas, se fundamentó en la norma COPANT 459 (Comisión Panamericana de Normas Técnicas), mediante el método de acondicionamiento de las maderas destinadas a ensayos físicos y mecánicos (COPANT, 1972).



Figura 19. Procesamiento de escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum* Trel.



Figura 20. Probetas elaboradas de escapos florales de sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.)

### 3.4 Determinación de propiedades físicas

Para la ejecución y determinación de las propiedades físicas, se empleó la metodología sugerida por las normas COPANT 459, COPANT 460 (método de determinación del contenido de humedad en maderas, COPANT 461 (cálculo del peso específico en maderas) y COPANT 462 (determinación de las contracciones en maderas) (COPANT, 1972).

En total se elaboraron 60 probetas para el análisis de las propiedades físicas, de las cuales 40 probetas se utilizaron para determinar propiedades físicas en estado verde y anhidro, el resto se dejaron secar al aire libre para obtener datos de porcentaje de contenido de humedad.

#### 3.4.1 Contenido de humedad

De acuerdo con la norma COPANT 460 (Método para determinación del contenido de humedad en maderas), 40 probetas recién procesadas y enumeradas se pesaron en la balanza analítica, esto con la finalidad de obtener el peso verde, posteriormente las probetas se metieron a la estufa de secado a una temperatura  $103 \pm 2$  °C por un periodo de 1 semana, esto con la finalidad de eliminar humedad y hongos.

Antes de sacar las muestras de la estufa se pesaron en repetidas ocasiones, hasta obtener pesos constantes en la misma muestra. Para el cálculo, se utilizó la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{Ph - Po}{Po} (100)$$

Donde:

CH= contenido de humedad en porcentaje

Ph = peso de la probeta verde

Po= peso de la madera en estado anhidro (secada en la estufa)

Para obtener el contenido de humedad en las 20 probetas restantes secadas al aire libre, se procedió a utilizar el xilohigrómetro eléctrico (Figura 21), el cual es un aparato que mide la resistencia eléctrica al paso de una corriente, se compone de

dos electrodos del tipo aguja que se introducen en la muestra de madera, dando lecturas rápidas y directas del contenido de humedad de la muestra.



Figura 21. Xilohigrómetro eléctrico utilizado para medición de contenido de humedad en escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum* Trel.

### 3.4.2 Densidad y Peso seco volumétrico a diferentes condiciones de contenido de humedad

De acuerdo con la norma COPANT 461 (Cálculo del peso específico en maderas) antes de ingresar 40 probetas a la estufa de secado, con la ayuda de un vernier calibrado, se les midieron las dimensiones del largo, ancho y espesor de cada una de las probetas. Estas dimensiones, posteriormente servirán para determinar el volumen verde. Después de secadas las muestras, se midieron nuevamente las dimensiones de cada una de las probetas, esto con la finalidad de obtener el volumen anhidro. El procedimiento anterior también se aplicó para obtener el volumen de las probetas secadas al aire libre.

Una vez obtenido los pesos y volúmenes a diferentes condiciones de contenido de humedad, se procedió a obtener el Peso seco volumétrico y Densidad. Para obtener la densidad de las probetas, se utilizó la siguiente fórmula:

$$D = P/V$$

Donde:

D= Densidad

P = Peso de la probeta en gramos a diferentes contenidos de humedad.

V = Volumen de las probeta en  $\text{cm}^3$  a diferentes contenidos de humedad.

Para determinar el Peso seco volumétrico a diferentes condiciones de contenido de humedad, se utilizaron las siguientes formulas:

$$d) \text{ PSV}_o = \frac{P_o}{V_o}$$

Donde:

PSVo = Peso seco volumétrico anhidro

Po = Peso anhidro en gramos

Vo = Volumen anhidro

$$e) \text{ PSV}_v = \frac{P_o}{V_v}$$

Donde:

PSVv = Peso seco volumétrico verde

Po = Peso anhidro en gramos

Vv = Volumen verde

$$f) \text{ PSV}_{12} = \frac{P_o}{V_{12}}$$

Donde:

PSV<sub>12</sub> = Peso seco volumétrico al 12% de contenido de humedad

Po = Peso anhidro en gramos

V<sub>12</sub> = Volumen al 12 % de contenido de humedad

### 3.4.3 Contracción

Para el cálculo de la contracción, se utilizaron los datos del volumen verde y volumen anhidro, previamente obtenidos y se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\% C = \frac{D_i - D_f}{D_i} (100)$$

Donde:

% C = Contracción en porcentaje.

D<sub>i</sub> = Dimensión inicial o volumen verde (cm<sup>3</sup>).

D<sub>f</sub> = Dimensión final o volumen anhidro (cm<sup>3</sup>).

### 3.5 Determinación de las propiedades mecánicas

Para el análisis de las propiedades mecánicas se utilizaron 280 probetas de sotol (*Dasyllirion cedrosanum Trel.*) de diferentes medidas. Se realizaron 7 pruebas mecánicas empleando 20 probetas por sexo (hembras y machos) para cada prueba mecánica, éstas únicamente se evaluaron con muestras en estado anhidro, es decir, secadas artificialmente a la estufa a una temperatura de  $103 \pm 2$  ° C, lográndose obtener muestras con un contenido de humedad del 4 %.

Las pruebas mecánicas de las probetas de sotol (*Dasyllirion cedrosanum Trel.*) se realizaron en el laboratorio de tecnología de la madera del Instituto Tecnológico del Salto (ITES), Durango, utilizando la máquina universal de ensayos marca INSTRON® con capacidad de 60 toneladas de presión (Figura 22).

Para la realización de los ensayos, se respetó la metodología recomendada en las normas COPANT 459 (acondicionamiento de las maderas destinadas a ensayos físicos y mecánicos); COPANT 463 (método para la determinación del cizallamiento paralelo al grano); COPANT 464 (método para la determinación de la compresión axial o paralela al grano); COPANT 465 (método para la determinación de la dureza); COPANT 466 (método para la determinación de la compresión perpendicular al grano); COPANT 555 (método de determinación de la flexión estática); COPANT 741 (método de determinación de la resistencia al clivaje o desgarre); COPANT 742 (método de determinación de la tensión paralela al grano) y COPANT 743 (método de ensayo de tracción perpendicular al grano).



Figura 22. Máquina universal de ensayos utilizada en el instituto Tecnológico del Salto (ITS), Durango.

### 3.5.1 Flexión estática

De acuerdo con la norma COPANT 555 (método para la determinación de la flexión estática). El procedimiento general de realización fue el siguiente:

- 1.- Se midió el ancho (b) y la altura (h) de la probeta en el centro de su longitud.
- 2.- La luz (L) de ensayo fue de 14 veces la altura (h) de las probetas, este procedimiento se hace tanto para las probetas de 5 cm x 5 cm como para las de 2 cm x 2 cm
- 3.- Se colocó la probeta sobre los apoyos, de modo que la carga fue aplicada mediante el cabezal, con el punto medio de la luz.
- 4.- Se aplicó la carga en forma continua, con una velocidad del cabezal de 2.5 mm/min (Figura 23).
- 5.- Se hizo una descripción de la falla de la probeta y de la forma como ella fue progresando, es decir, el gráfico que se generó automáticamente en el computador.
- 6.- Se anotó la carga del límite de proporcionalidad expresado en KgF.
- 7.- Se anotó la carga máxima, expresada en KgF
8. – Se anotó el valor de la deformación de la carga de la probeta en milímetros al límite de proporcionalidad (KgF)
- 9.- Se guardaron los datos en la computadora obtenidos de las probetas sometidas a este ensayo.

Para esta prueba se determinó esfuerzo unitario al límite de proporcionalidad (ELP), módulo de ruptura y módulo de elasticidad (Anexo I, Formula 1).



Figura 23. Ensayo de flexión estática en probetas de *Dasyliirion cedrosanum* Trel.

### 3.5.2 Compresión paralela

De acuerdo con la norma COPANT 464 (método para la determinación de la compresión axial o paralela al grano), la aplicación de la carga se hace sobre las bases del prisma, es decir, sobre las caras de 5 cm x 5 cm, en forma continua a todo lo largo del ensayo, a razón de 0,6 mm/min. Para esta prueba se utilizaron prismas de 2.5 x 2.5 cm x 20 cm (Figura 24). Los datos para la curva de fuerza-deformación se toman hasta después de la rotura de la probeta.

Para obtener resultados uniformes y satisfactorios, es necesario que las roturas se produzcan en el cuerpo de la probeta. Con las probetas de sección transversal uniforme, este resultado se obtiene mejor cuando los extremos de la probeta, tiene un contenido de humedad algo menor que el resto de la probeta.

Para esta prueba se calculó el módulo de ruptura, módulo de elasticidad y resistencia unitaria en el límite de proporcionalidad (Anexo I, Fórmula 2).



Figura 24. Ensayo de compresión paralela en probetas de *Dasyllirion cedrosanum* Trel.

### 3.5.3 Compresión perpendicular

De acuerdo a la norma COPANT 466 (método para la determinación de la compresión perpendicular al grano), se colocó la probeta centrada sobre la base del aparato, de tal manera que la fuerza se aplicó sobre la cara perpendicular de la muestra. Cabe señalar que se tomó como lado perpendicular, el lado longitudinal de la probeta, esto es debido a que en las probetas de sotol a simple vista no se distinguen ningún plano.

Sobre la probeta se colocó una pieza cuadrada de metal de 5 cm de lado, esta pieza se colocó perfectamente centrada con la probeta y se hizo descansar sobre su cilindro basculante en el extremos del brazo (Figura 25).

Posteriormente se acciona la prensa a la velocidad de ensayo de 0,3 mm/min. Esta velocidad debe mantenerse constante a lo largo del ensayo. El ensayo finaliza al conseguir que la pieza de presión penetre en la probeta una profundidad de 2,5 mm, en ese instante automáticamente cesa el ensayo.

Para esta prueba se calculó de la resistencia unitaria en el límite de (ELP) proporcionalidad y módulo de Ruptura (Anexo 3, Fórmula 3).



Figura 25. Ensayo de compresión perpendicular en probetas de *Dasyllirion cedrosanum Trel.*

#### **3.5.4 Cortante o cizallamiento**

De acuerdo con la norma COPANT 463 (método para la determinación del cizallamiento paralelo al grano), se colocó la probeta en el dispositivo de cizallamiento de manera que la cara de 5 cm y 6.5 cm queden paralela a la pieza móvil y que su superficie B reciba la presión de la cizalla (Figura 26).



Figura 26. Ensayo de Cizallamiento en probetas de *Dasyilirion cedrosanum Trel.*

La probeta debe quedar ajustada al accesorio, de modo a asegurar que la carga aplicada sobre la probeta produzca un esfuerzo de cizallamiento puro y dejando entre la probeta y la cizalla una separación de 3 mm.

Para este ensayo únicamente se determinó el esfuerzo unitario máximo (Anexo I, Fórmula 4)

### 3.5.5 Tensión paralela

De acuerdo con la norma COPANT 742 (método de determinación de la tensión paralela al grano), la probeta se colocó en una cruceta móvil que se desplaza con una velocidad de  $1.00 \text{ mm/min} \pm 0.25 \text{ mm/min}$ , de modo que las mordazas, con la probeta montada, separó las fibras que ocasionó la rotura de la probeta (Figura 27).



Figura 27. Ensayo de Tensión Paralela en probetas de *Dasyilirion cedrosanum Trel.*

Para este ensayo se determinó el esfuerzo unitario máximo, esfuerzo unitario al límite de proporcionalidad (ELP) y módulo de elasticidad (Anexo I, Formula 5).

### 3.5.6 Rajado o clivaje

De acuerdo con la norma COPANT 741 (Método para la determinación de la resistencia al clivaje o rajado), la probeta se colocó en la cruceta móvil la cual se desplazó con una velocidad de 2.5 mm/min ( $\pm$ ) 0.6 mm/min, continuando el ensayo hasta que se produzca la rajadura de la probeta (Figura 28). Si no puede obtener la velocidad especificada, la velocidad usada deberá registrarse en el informe.

En este ensayo, se determina únicamente la resistencia unitaria al límite de proporcionalidad (Anexo 3, Formula 6).

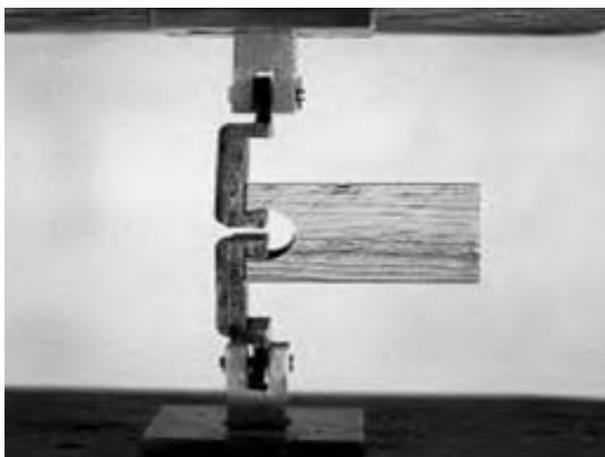


Figura 28. Ensayo de rajado o clivaje en probetas de *Dasyllirion cedrosanum* Trel.

### 3.5.7 Dureza Janka

De acuerdo con la norma COPANT 465 (Método de determinación de la dureza), se hizo penetrar una semiesfera de 1 cm<sup>2</sup> de diámetro en la cara o plano de la muestra; dado que las probetas de sotol elaboradas no presentan caras o planos bien definidos, nada más se determinó la dureza Janka en la sección paralela de la muestra (Figura 29).

Colocada la probeta inmediatamente debajo de la semiesfera, se accionó la prensa, de manera que la semiesfera se aproxime a la probeta a una velocidad de 6 mm/min y se mantiene esa velocidad constante durante todo el ensayo hasta conseguir la penetración total de la semiesfera; en ese momento se detiene la prensa y se retira

la probeta. Para este ensayo, los valores de la penetración se expresan directamente en kilogramos fuerza.

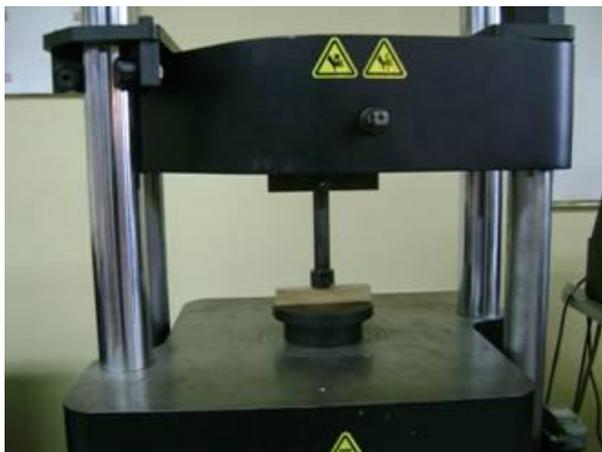


Figura 29. Ensayo de Dureza Janka en probetas de *Dasyllirion cedrosanum* Trel.

### 3.6 Análisis estadístico

Con los datos obtenidos en cada una de las pruebas, se calcularon los valores promedio por sexo (macho y hembra) para cada una de las propiedades físicas, así como los diferentes parámetros por sexo para las pruebas mecánicas.

#### 3.6.1 Densidad

Se realizó un análisis de varianza mediante arreglo factorial 2x3 con un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ , esto con la finalidad de comprobar si existen diferencias significativas por sexo entre las densidades a diferentes condiciones de humedad. En total se emplearon 6 tratamientos, con 10 repeticiones cada uno (Cuadro 1). El análisis estadístico se realizó con el paquete de diseños experimentales de la UANL (Olivares, 1994).

Cuadro 1. Arreglo factorial 2x3 para densidad a diferentes condiciones de humedad por sexo.

FACTOR	A. CONDICIONES DE HUMEDAD			
	NIVEL	A1	A2	A3
B. SEXO	B1	A1B1	A2B1	A3B1
	B2	A1B2	A2B2	A3B2

Factor A: Condiciones de humedad

A1= Densidad verde

A2= Densidad anhidra

A3= Densidad al 11% de CH

Factor B: Sexo

B1= Escapos florales hembras

B2= Escapos florales 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  $\alpha= 0.05$ .

### 3.6.2 Peso seco volumétrico

Se realizó un análisis de varianza mediante arreglo factorial 2x3, con un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ , esto con la finalidad de comprobar si existen diferencias significativas por sexo entre el peso seco volumétrico a diferentes condiciones de humedad. En total se emplearon 6 tratamientos, con 10 repeticiones cada uno (Cuadro 2). El análisis estadístico se realizó con el paquete de diseños experimentales de la UANL (Olivares, 1994).

Cuadro 2. Arreglo factorial 2x3 para peso seco volumétrico a diferentes condiciones de humedad.

FACTOR	A. CONDICIONES DE HUMEDAD			
	NIVEL	A1	A2	A3
B. SEXO	B1	A1B1	A2B1	A3B1
	B2	A1B2	A2B2	A3B2

Donde:

Factor A: Condiciones de humedad

A1= Peso seco volumétrico verde

A2= Peso seco volumétrico anhidro

A3= Peso seco volumétrico al 11% de CH

Factor B: Sexo

B1= Escapos florales hembras

B2= Escapos florales machos

En los casos donde el ANOVA presentó diferencias significativas entre el factor A, factor B e interacción AB, se realizó un análisis de comparación de medias mediante la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de  $\alpha= 0.05$ .

### **3.6.3 Contracción**

Para esta variable, se realizó una prueba de comparación de medias a través de una prueba de “t” de student ( $\alpha= 0.05$ , n-1 gl) para determinar si existen diferencias significativas en porcentaje de contracción por sexo. Para éste análisis estadístico se utilizó el software Info-stat versión 2011e.

### **3.6.4 Propiedades mecánicas**

Se realizó una comparación de medias a través de una prueba de “t” de student ( $\alpha= 0.05$ , n-1 gl) para determinar si se existen diferencias significativas entre los sexos (macho y hembra) de *Dasyllirion cedrosanum Trel.* para cada una de las 7 pruebas mecánicas determinadas (flexión estática, rajado, tensión paralela, cizallamiento, compresión paralela, compresión perpendicular y dureza Janka). El software estadístico utilizado para éste análisis fue el Info-stat versión 2011e.

### **3.6.5 Comparación de escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum Trel.* con la madera de *Ochroma spp.***

Se realizó un análisis de comparación de medias a través de una prueba de “t” de student ( $\alpha= 0.05$ , n-1 gl) de cada una de las propiedades físicas y mecánicas obtenidas de los escapos florales hembra y machos de *Dasyllirion cedrosanum Trel.*, dicha comparación se realizó con respecto a las propiedades físicas y mecánicas de la especie *Ochroma spp.* Para ello se emplearon los datos de varianza y numero de repeticiones reportados por Bárcenas y Dávalos (2001) y el criterio de clasificación para características de especies mexicanas obtenidos por Sotomayor (2002) para la

especie *Ochroma spp.* (Anexo II); y mediante la fórmula de Cochran, publicada por Ostle (1974), se determinó el valor de “t”:

$$t = \frac{\frac{\delta_1}{n_1}(t_1) + \frac{\delta_2}{n_2}(t_2)}{\frac{\delta_1}{n_1} + \frac{\delta_2}{n_2}}$$

Dónde:

t = valor de “t” calculada

$\delta_1$  = varianza de la muestra 1

$\delta_2$  = varianza de la muestra 2

$n_1$ = número de repeticiones de la muestra 1

$n_2$ = número de repeticiones de la muestra 2

$t_1$ = valores de “t” de tablas (student) con  $n_1-1$  grados de libertad

$t_2$ = valores de “t” de tablas (student) con  $n_2-1$  grados de libertad.

## IV RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 Propiedades físicas

#### 4.1.1 Densidad

De acuerdo al análisis de varianza ( $\alpha= 0.05$ ), se encontró que existen diferencias altamente significativas entre las densidades a diferentes contenidos de humedad (Factor A) ( $P\leq 0.0001$ ), entre las densidades por sexo (Factor B) ( $P\leq 0.0001$ ) y en la interacción de ambos factores ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza mediante arreglo factorial 2x3 para densidad de fibras de escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Análisis de varianza					
FV	GL	SC	CM	F	P>F
Factor A	2	0.494108	0.247054	96.4923	0.0001
Factor B	1	1.651037	1.651037	644.8481	0.0001
Interacción AB	2	0.239382	0.119691	46.7479	0.0001
Error	54	0.138259	0.00256		
Total	59	2.522786			

A= Contenidos de humedad; B= sexo

La prueba de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ), determinó que las tres medias del factor A (densidad a diferentes condiciones de contenido de humedad) son diferentes; la mayor densidad es la obtenida en verde, seguida de la 11% de contenido de humedad y por último la densidad anhidra (Cuadro 4).

Cuadro 4. Prueba de comparación de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) para densidad a diferentes contenidos de humedad en escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Nivel	Media	Agrupación Tukey
A1	0.4815	A *
A3	0.3754	B *
A2	0.2593	C *

\* Letra diferente indica que son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ ).

A1= Verde; A2= Anhidra; A3= 11 % de contenido de humedad

Por otra parte, en la prueba de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) para el factor B (densidad por sexo), se observa que las dos medias son diferentes; la mayor densidad es la obtenida en los escapos florales hembra, seguido de los escapos florales macho (Cuadro 5).

Cuadro 5. Prueba de comparación de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) para densidad por sexo en escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Nivel	Media	Agrupación Tukey
B1	0.5379	A *
B2	0.2062	B *

\* Letra diferente indica que son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ ).

B1= Escapos florales hembras; B2= Escapos florales machos.

Con respecto a la interacción de medias de ambos factores (contenidos de humedad por sexo), la prueba de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ), determinó que la densidad verde y anhidra dentro del nivel B1 (escapos florales hembras) son diferentes, donde la mayor densidad obtenida es en verde, seguida de la densidad anhidra. No obstante, la densidad anhidra y densidad al 11% de contenido de humedad son estadísticamente iguales (Cuadro 6); de igual forma, la densidad al 11% de contenido de humedad y la densidad verde tienen la misma condición de igualdad (Cuadro 6).

Cuadro 6. Prueba de comparación de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) para densidad a diferentes contenidos de humedad de escapos florales hembras de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

NIVEL	MEDIA	AGRUPACION TUKEY
A1	0.2382	A*
A3	0.2095	A B
A2	0.1707	B *

\* Letra diferente indica que son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ ).

A1= Verde; A2= Anhidra; A3= 11 % de contenido de humedad

Por otra parte en la densidad de los escapos florales macho (B2) a diferentes contenidos de humedad, la prueba de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ), determinó que las tres medias del factor A (densidad verde, densidad anhidra y al 11 % de contenido de humedad) son diferentes; donde la mayor densidad obtenida es en verde de escapos florales macho, seguida de la densidad al 11% de contenido de humedad y por último la densidad anhidra (Cuadro 7).

Cuadro 7. Prueba de comparación de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) para densidad de escapos florales machos de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. a diferentes contenidos de humedad del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Nivel	Media	Agrupación Tukey
A1	0.7247	A*
A3	0.5413	B*
A2	0.3478	C*

\* Letra diferente indica que son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ ).

A1= Verde; A2= Anhidra; A3= 11 % de contenido de humedad

La densidad en sus diferentes condiciones de humedad es mayor en los escapos florales hembra que en los escapos florales macho (Cuadro 8).

Al momento de realizar la colecta de escapos en campo, se observó que los escapos florales hembra cargan más peso en la inflorescencia del escapo floral, ya que estas reciben el polen de los escapos florales macho y así formar las flores, frutos y semillas. Es por ello, que esto pueda ser un factor para que los escapos florales hembra tenga mayor densidad que los escapos florales macho. En cambio, los escapos florales macho solamente emiten el polen para fecundar la hembra, por lo tanto llevan consigo menos peso. Es por ello, que esto también puede ser un factor

para que el quiotte de sotol macho presente menor densidad y por lo tanto menor resistencia.

En la figura 30, se observa que en las probetas de escapos florales hembra hay una relación directamente proporcional entre la densidad y las diferentes condiciones de contenido de humedad; mientras que en las probetas de los escapos florales machos se observa la misma tendencia pero con una línea con menor pendiente.

Cuadro 8. Densidad promedio por sexo a diferentes contenidos de humedad en escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Contenido de humedad	Media (g/cm <sup>3</sup> )		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

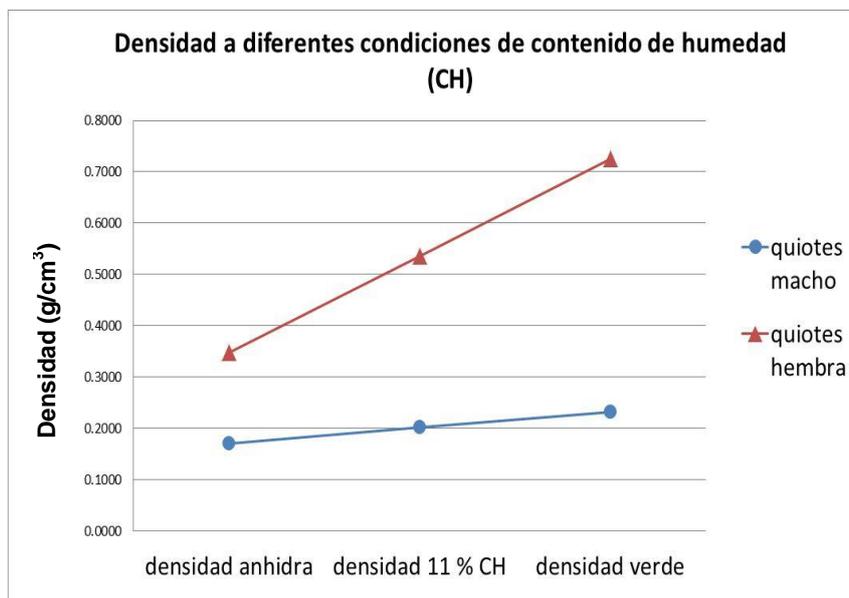


Figura 30. Densidad por sexo a diferentes contenidos de humedad en escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

### 4.1.3 Contracción

De acuerdo a la prueba “t” de student ( $\alpha= 0.05$ , n-1 gl), no existen diferencias significativas por sexo en la especie *Dasyilirion cedrosanum Trel.* para esta variable (P= 0.4153), por lo tanto, estadísticamente la contracción es igual en los escapos florales hembra y en los escapos florales macho (Cuadro 9).

Cuadro 9. Prueba “t” de student ( $\alpha= 0.05$ , n-1 gl) por sexo para contracción en porcentaje en escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque nuevo, Coahuila.

Contracción	N	Media	Varianza	CV (%)	Phomvar	T	p-valor
<b>Hembras</b>	20	3,94 A*	1.01	25.50	0,5411	-0,83	0,4153
<b>Machos</b>	20	3,11 A*	0.57	24.27			

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ ).

CV= Coeficiente de variación; Phomvar= Prueba de homogeneidad de varianzas.

### 4.1.4 Peso seco volumétrico

De acuerdo al análisis de varianza ( $\alpha= 0.05$ ), no se encontraron diferencias significativas, entre el peso seco volumétrico a diferentes contenidos de humedad (Factor A) (P= 0.895) ni en la interacción de ambos factores (interacción AB) (P = 0.980). Sin embargo, para el peso seco volumétrico por sexo (Factor B), las diferencias son altamente significativas ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis de varianza factorial 2x3 para peso seco volumétrico en escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Análisis de varianza						
FV	GL	SC	CM	F	P>F	
<b>FACTOR A</b>	2	0.000915	0.000457	0.1105	0.895	
<b>FACTOR B</b>	1	0.448623	0.448623	108.4257	0.000	
<b>INTERACCION AB</b>	2	0.000176	0.000088	0.0213	0.980	
<b>ERROR</b>	54	0.223431	0.004138			
<b>TOTAL</b>	59	0.673144				

A= Contenidos de humedad; B= sexo

La prueba de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ), determinó las dos medias del factor B (peso seco volumétrico por sexo) son diferentes; el mayor peso volumétrico es la obtenida en los escapos florales hembra, seguido del peso seco volumétrico en escapos florales macho (Cuadro 11).

Cuadro 11. Prueba de comparación de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) para peso seco volumétrico por sexo de escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Nivel	Media	Agrupación Tukey
<b>B1</b>	0.3410	A *
<b>B2</b>	0.1680	B *

\* Letra diferente indica que son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ ).

B1= Hembras; B2= machos

Por lo tanto, el peso seco volumétrico en sus diferentes condiciones de humedad es mayor en los escapos florales hembra que en los escapos florales macho (Cuadro 12). En la figura 31, se observa que en las probetas de escapos florales hembra hay una relación inversamente proporcional entre el peso seco volumétrico y los diferentes contenidos de humedad, mientras que en las probetas de los escapos florales macho se observa la misma tendencia pero con una línea con menor pendiente.

Cuadro 12. Peso seco volumétrico promedio por sexo a diferentes contenidos de humedad en escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum trel* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Contenido de humedad	Media (g/cm <sup>3</sup> )		C.V (%)		N	
	Hembras	Machos	Hembras	Machos	Hembras	Machos
<b>PSVo</b>	0.3478	0.1707	10.54	11.18	20	20
<b>PSV<sub>11</sub></b>	0.2580	0.1653	8.54	9.25	20	20
<b>PSVv</b>	0.3029	0.1680	9.18	15.34	20	20

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

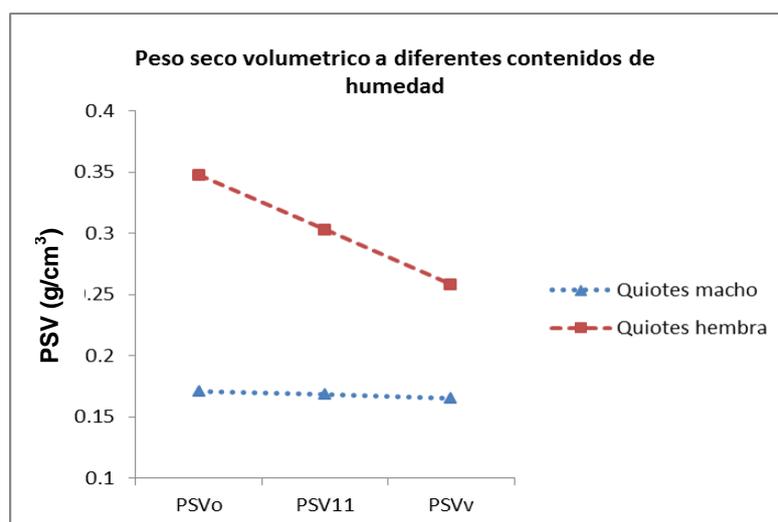


Figura 31. Peso seco volumétrico por sexo a diferentes contenido de humedad en escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

## 4.2 Propiedades mecánicas

### 4.2.1 Flexión estática

De acuerdo a la prueba “t” de student ( $\alpha= 0.05$ , n-1 gl), se encontraron diferencias altamente significativas entre las medias por sexo de escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum* en la prueba de flexión estática para los esfuerzos de resistencia al límite de proporcionalidad ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 13), resistencia a la ruptura ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 14) y módulo de elasticidad ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 15), siendo mayor en todos los esfuerzos los obtenidos para los escapos florales hembra.

Cuadro 13. Prueba de “t” de student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) por sexo para prueba de flexión estática: resistencia al límite de proporcionalidad en escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Especie	n	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	C.V (%)	Phomvar	T	p-valor
<b>Dasyllirion Hembra</b>	20	635.94 A*	4507.33	10	0,7448	11.7	<0,0001
<b>Dasyllirion Macho</b>	20	261.84 B*	3381.19	22			

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ ).

CV= Coeficiente de variación; Phomvar= Prueba de homogeneidad de varianzas

Cuadro 14. Prueba de “t” de student ( $\alpha= 0.05$ , n-1 gl) por sexo para prueba de flexión estática: resistencia a la ruptura de escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Especie	n	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	C.V (%)	Phomvar	T	p-valor
<b>Dasyilirion hembra</b>	20	741.93 A*	3680.99	9	0,7448	11.7	<0,0001
<b>Dasyilirion macho</b>	20	305.48 B*	4602.30	22			

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ ).

C.V= Coeficiente de variación; Phomvar= Prueba de homogeneidad de varianzas.

Cuadro 15. Prueba de “t” de student ( $\alpha= 0.05$ , n-1 gl) por sexo para prueba de flexión estática: módulo de elasticidad de escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Especie	n	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV (%)	Phomvar	T	p-valor
<b>Dasyilirion hembra</b>	20	122843 A*	2097372378	37	0,0034	4.1	<0,0001
<b>Dasyilirion Macho</b>	20	41532 B*	238818559	37			

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ ).

CV= Coeficiente de variación; Phomvar= Prueba de homogeneidad de varianzas.

#### 4.2.2 Compresión Paralela

Para esta propiedad, la prueba “t” de student ( $\alpha= 0.05$ , n-1 gl), determinó diferencias altamente significativas entre las medias por sexo para la prueba de compresión paralela para los esfuerzos de resistencia al límite de proporcionalidad ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 16), resistencia a la ruptura ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 17), y módulo de elasticidad ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 18), siendo mayor en todos los parámetros los valores obtenidos en los escapos florales hembra.

Cuadro 16. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$ , n-1 gl) por sexo para compresión paralela: resistencia al límite de proporcionalidad, en escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Especie	n	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV (%)	Phomvar	T	p-valor
<b>Dasyilirion hembra</b>	20	361.15 A*	207.15	4.0	0,0892	16.08	<0,0001
<b>Dasyilirion macho</b>	20	97.06 B*	625.67	25.3			

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ ).

CV= Coeficiente de variación; Phomvar= Prueba de homogeneidad de varianzas

Cuadro 17. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$ , n-1 gl) por sexo para compresión paralela: resistencia a la ruptura, en escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Especie	n	Media	Varianza	CV	Phomv	T	p-valor
---------	---	-------	----------	----	-------	---	---------

		(KgF/cm <sup>2</sup> )		(%)	ar			
<b><i>Dasyllirion</i> hembra</b>	20	401,28 A*	2557,39	12.60	0,0892	16.8	<0,0001	
<b><i>Dasyllirion</i> macho</b>	20	107,84 B*	772,44	25.77				

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ ).

CV= Coeficiente de variación Phomvar= Prueba de homogeneidad de varianzas;

Cuadro 18. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) por sexo para compresión paralela: módulo de elasticidad, en escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Especie	N	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV (%)	Phomvar	T	p-valor
<b><i>Dasyllirion</i> hembra</b>	20	26783.27 A*	15776633	14.83	0.129	7.70	<0,0001
<b><i>Dasyllirion</i> macho</b>	20	8264.22 B*	4894502	26.77			

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ ).

CV= coeficiente de variación; Phomvar= Prueba de homogeneidad de varianzas;

#### 4.2.3 Compresión Perpendicular

De acuerdo a la prueba “t” de student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl), se encontraron diferencias altamente significativas entre las medias de compresión perpendicular por sexo para los esfuerzos de resistencia al límite de proporcionalidad ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 19) y resistencia a la ruptura ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 20), siendo mayor en todos los esfuerzos los valores obtenidos en los escapos florales hembra.

Cuadro 19. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) por sexo para compresión perpendicular: resistencia al límite de proporcionalidad, en escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Especie	N	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV (%)	Phomvar	T	p-valor
<b><i>Dasyllirion</i> hembra</b>	20	36.70 A*	43.01	17.86	0.1370	6.78	<0,0001
<b><i>Dasyllirion</i> Macho</b>	20	20.34 B*	15.19	19.16			

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ ).

CV= Coeficiente de variación; Phomvar= Prueba de homogeneidad de varianzas.

Cuadro 20. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$ ) por sexo para compresión perpendicular: resistencia a la ruptura, en escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Especie	n	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Var	CV (%)	Phomvar	T	p-valor
---------	---	------------------------------	-----	--------	---------	---	---------

<b><i>Dasyilirion</i> hembra</b>	20	38.6	A*	47.66	17.88	0.1370	6.78	<0,0001
<b><i>Dasyilirion</i> macho</b>	20	21.41	B*	16.83	19.16			

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ ).

Var= Varianza; CV= Coeficiente de variación; Phomvar=Prueba de homogeneidad de varianzas

#### 4.2.4 Cortante o cizallamiento

El resultado de la prueba “t” de student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl), determinó diferencias altamente significativas entre las medias por sexo para la prueba de cortante o cizallamiento para el esfuerzo de resistencia a la ruptura ( $P\leq 0.0004$ ), siendo mayor los obtenidos para escapos florales hembra (Cuadro 21).

Cuadro 21. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) por sexo para cizallamiento: resistencia a la ruptura, en escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Especie	n	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Var	CV (%)	Phomvar	T	p-valor
<b><i>Dasyilirion</i> hembra</b>	20	28.98 A*	63.82	27.56	0.0009	5.28	0.0004
<b><i>Dasyilirion</i> macho</b>	20	11.07 B*	8.60	26.49			

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )

Var= Varianza; C.V= coeficiente de variación; Phomvar= Prueba de homogeneidad de varianzas.

#### 4.2.5 Tensión paralela

De acuerdo a la prueba “t” de student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl), se encontraron diferencias altamente significativas entre las medias por sexo para esta propiedad mecánica de tensión paralela, estas diferencias se presentaron en los esfuerzos de resistencia al límite de proporcionalidad ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 22), resistencia a la ruptura ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 23) y módulo de elasticidad ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 24), siendo mayor en todos los esfuerzos los determinados para los escapos florales hembra.

Cuadro 22. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) por sexo para tensión paralela: resistencia al límite de proporcionalidad en escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Especie	N	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV (%)	Phomvar	T	p-valor
<b><i>Dasyilirion</i> hembra</b>	20	205.59 A*	1637.65	19.68	0.0809	7.6	<0.0001
<b><i>Dasyilirion</i> macho</b>	20	94.87 B*	478.03	23.04			

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )

C.V= coeficiente de variación; Phomvar= Prueba de homogeneidad de varianzas.

Cuadro 23. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) por sexo para tensión paralela: resistencia a la ruptura en escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Especie	N	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Var	CV (%)	Phomvar	T	p-valor
<b>Dasyilirion hembra</b>	20	256.99 A*	2555.80	19.67	0.0809	7.6	<0.0001
<b>Dasyilirion macho</b>	20	118.59 B*	746.92	23.04			

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )

Var= Varianza; CV=Coeficiente de variación; Phomvar= Prueba de homogeneidad de varianzas

Cuadro 24. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) por sexo para tensión paralela: módulo de elasticidad en escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Especie	n	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV (%)	Phomvar	T	p-valor
<b>Dasyilirion hembra</b>	20	23193.60 A*	27281624	22.51	0.062	7.1	<0.0001
<b>Dasyilirion macho</b>	20	9936 B*	7288139	27.17			

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )

CV= Coeficiente de variación; Phomvar= Prueba de homogeneidad de varianzas.

#### 4.2.6 Rajado o clivaje

La prueba “t” de student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl), determinó diferencias altamente significativas entre los valores por sexo para la prueba de rajado o clivaje para el esfuerzo de resistencia a la ruptura ( $P\leq 0.0001$ ), siendo mayor el obtenido para escapos florales hembra (Cuadro 25)

Cuadro 25. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$ ) por sexo para rajado: resistencia a la ruptura en escapos florales de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Especie	n	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV (%)	Phomvar	T	p-valor
<b>Dasyilirion hembra</b>	20	24.06 A*	20.31	18.73	0.001	10.4	<0.0001
<b>Dasyilirion macho</b>	20	8.62 B*	1.72	15.21			

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )

CV= Coeficiente de variación; Phomvar= Prueba de homogeneidad de varianzas.

#### 4.2.7 Dureza Janka

De acuerdo a la prueba “t” de student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl), se encontraron diferencias altamente significativas entre las medias por sexo para la prueba de dureza Janka para el esfuerzo de carga máxima ( $P\leq 0.0001$ ), siendo mayor en los obtenidos para escapos florales hembra (Cuadro 26).

Cuadro 26. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n.1 gl) por sexo para dureza Janka: carga máxima en escapos florales de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila.

Especie	n	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV (%)	Phom var	T	p-valor
<i>Dasyllirion</i> hembra	20	187.67 A*	664.31	13.73	0.438	9.3	<0.0001
<i>Dasyllirion</i> macho	20	92.52 B*	389.44	21.32			

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )

CV= coeficiente de variación; Phomvar= Prueba de homogeneidad de varianzas.

### 4.3 Comparación de las propiedades físico – mecánicas de escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. y la madera de *Ochroma* spp.

#### 4.3.1 Propiedades físicas

El resultado de la prueba “t” student ( $\alpha=0.05$  n-1 gl), determinó diferencias altamente significativas entre las medias de escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. y la madera de *Ochroma* spp. para densidad básica ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 27), condiciones similares se presentan para peso seco volumétrico verde (PSVv) donde encontró diferencias altamente significativas ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 28), siendo mayor en los parámetros físicos los obtenidos para los escapos florales hembra.

Cuadro 27. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para densidad básica en escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma* spp.

Especie	N	Media (gr/cm <sup>3</sup> )	Var	CV (%)	T	p-valor
<i>Dasyllirion</i> hembra	20	0.5363 A*	0.0052	13.44	7.67	<0.0001
Madera de <i>Ochroma</i> spp.	25	0.150 B*	0.0006	16.32		

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )

Var= Varianza; CV= Coeficiente de variación.

Cuadro 28. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para peso seco volumétrico verde (PSVv) en escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*

Especie	N	Media (gr/cm <sup>3</sup> )	Varianza	CV(%)	T	p-valor
<i>Dasyllirion</i> hembra	20	0.2580 A*	0.0051	27.67	5.44	<0.0001
Madera de <i>Ochroma spp.</i>	25	0.1600 B*	0.0016	25.1		

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )

CV= coeficiente de variación.

### 4.3.2 Propiedades mecánicas

#### 4.3.2.1 Flexión estática

Según la prueba “t” student ( $\alpha=0.05$  n-1 gl), se encontraron diferencias altamente significativas entre las medias de los escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. y la madera de *Ochroma spp.* en los esfuerzos de resistencia al límite de proporcionalidad ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 29), resistencia a la ruptura ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 30) y módulo de elasticidad ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 31), siendo mayor los obtenidos para los escapos florales hembra en todos los esfuerzos evaluados.

Cuadro 29. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para flexión estática: resistencia al límite de proporcionalidad en escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*

Especie	N	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV (%)	T	p-valor
<i>Dasyllirion</i> hembra	20	635.94 A*	4507.33	10.55	7.63	<0.0001
Madera de <i>Ochroma spp.</i>	25	150 B*	543.5	15.54		

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )

CV= coeficiente de variación.

Cuadro 30. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para flexión estática: resistencia a la ruptura en escapos florales hembra de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*

Especie	N	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV (%)	T	p-valor
<b>Dasyilirion hembra</b>	20	741.93 A*	6134.98	10.55	15.72	<0.0001
<b>Madera de <i>Ochroma spp.</i></b>	25	260 B*	2471.29	19.12		

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )  
CV= coeficiente de variación.

Cuadro 31. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para flexión estática: módulo de elasticidad en escapos florales hembra de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*

Especie	N	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV (%)	T	p-valor
<b>Dasyilirion hembra</b>	20	122844 A*	349562063	15.27	7.63	<0.0001
<b>Madera de <i>Ochroma spp.</i></b>	25	42000 B*	124732108	26.59		

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )  
CV= coeficiente de variación

#### 4.3.2.2 Compresión paralela

De acuerdo a la prueba “t” student ( $\alpha=0.05$  n-1 gl), se encontraron diferencias altamente significativas entre los escapos florales hembra de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* y la madera de *Ochroma spp.* en los esfuerzos de resistencia al límite de proporcionalidad ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 32) y resistencia a la ruptura ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 33), siendo mayor los obtenidos para los escapos florales hembra en los esfuerzos evaluados. No obstante, para el módulo de elasticidad no se encontraron diferencias significativas entre los escapos florales hembra de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* y la madera de *Ochroma spp.* ( $P\leq 0.0820$ ) (Cuadro 34).

Cuadro 32. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para compresión paralela: resistencia al límite de proporcionalidad en escapos florales hembra de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*

Especie	N	Media (gr/cm <sup>3</sup> )	Varianza	CV (%)	T	p-valor
---------	---	-----------------------------	----------	--------	---	---------

<b>Dasyllirion Hembra</b>	20	361.15	A*	2071.49	12.60		
<b>Madera de <i>Ochroma spp.</i></b>	25	65	B*	72.89	13.13	6.08	<0.0001

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )  
CV= coeficiente de variación.

Cuadro 33. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para compresión paralela: resistencia a la ruptura en escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*

Especie	N	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )		Varianza	CV(%)	T	p-valor
<b>Dasyllirion Hembra</b>	20	401.28	A*	2557.39	12.60		
<b>Madera de <i>Ochroma spp.</i></b>	25	175	B*	748.89	15.63	4.08	<0.0001

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )  
CV= coeficiente de variación.

Cuadro 34. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para compresión paralela: módulo de elasticidad en escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*

Especie	N	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )		Varianza	CV(%)	T	p-valor
<b>Dasyllirion Hembra</b>	20	26783.27	A	15776633	14.83		
<b>Madera de <i>Ochroma spp.</i></b>	25	25900	A	13422919	14.14	-3.70	0.0820

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )  
CV= coeficiente de variación

#### 4.3.2.3 Compresión perpendicular

El resultado de la prueba “t” de student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl), determinó diferencias altamente significativas entre los escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum Trel.* y la madera de *Ochroma spp.* para el esfuerzo de resistencia al límite de proporcionalidad ( $P\leq 0.0001$ ), siendo mayor los obtenidos para escapos florales hembra (Cuadro 35).

Cuadro 35. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para compresión perpendicular: resistencia al límite de proporcionalidad en escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*

Especie	N	Media (gr/cm <sup>3</sup> )	Varianza	CV(%)	T	p-valor
Dasyllirion Hembra	20	36.70 A*	43.10	17.88	7.86	<0.0001
Madera de <i>Ochroma spp.</i>	25	10 B*	2.53	15.90		

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )

CV= coeficiente de variación

#### 4.3.2.4 Cortante o cizallamiento

De acuerdo a la prueba “t” de student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl), se encontraron diferencias significativas entre los escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. y la madera de *Ochroma spp.* para el esfuerzo de resistencia a la ruptura ( $P\leq 0.0458$ ), siendo mayor los obtenidos para escapos florales hembra (Cuadro 36)

Cuadro 36. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para cizallamiento: resistencia a la ruptura en escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*

Especie	n	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV(%)	T	p-valor
Dasyllirion Hembra	20	28.98 A*	106.37	35.58	2.32	0.0458
Madera de <i>Ochroma spp.</i>	25	25 B*	13.28	14.57		

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )

CV= coeficiente de variación

#### 4.3.2.5 Dureza Janka

La prueba “t” de student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl), determinó diferencias altamente significativas entre los escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. y *Ochroma spp.* para el esfuerzo de carga máxima ( $P\leq 0.0001$ ), siendo mayor los obtenidos para escapos florales hembra (Cuadro 37).

Cuadro 37. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para dureza Janka: carga máxima en escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma* spp.

Especie	N	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV(%)	T	p-valor
<b>Dasyllirion Hembra</b>	20	187.67 A*	664.31	13.73	6.75	<0,0001
<b>Madera de <i>Ochroma</i> spp.</b>	25	50 B*	42.63	13.05		

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )  
CV= coeficiente de variación

#### 4.4 Comparación de las propiedades físico- mecánicas de escapos florales macho de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. y la madera de *Ochroma* spp.

##### 4.4.1 Propiedades físicas

El resultado de la prueba “t” student ( $\alpha=0.05$  n-1 gl), determinó diferencias significativas entre las medias de escapos florales macho para la propiedad física de densidad básica entre los escapos florales macho de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. y la madera de *Ochroma* spp ( $P\leq 0.0345$ ) (Cuadro 38), siendo mayor los obtenidos para los escapos florales hembra. Sin embargo, para peso seco volumétrico no hay diferencias significativas ( $P\leq 0.8532$ ) (Cuadro 39).

Cuadro 38. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para densidad básica en escapos florales macho de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma* spp.

Especie	n	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV (%)	T	p-valor
<b><i>Dasyllirion</i> macho</b>	20	0.2014 A*	0.0011	16.46	2.31	0.0345
<b>Madera de <i>Ochroma</i> spp.</b>	25	0.1500 B*	0.0006	16.32		

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )  
CV= Coeficiente de variación.

Cuadro 39. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para peso seco volumétrico verde (PSVv) en escapos florales macho de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma* spp.

Especie	n	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV (%)	T	p-valor
<b><i>Dasyllirion</i> macho</b>	20	0.1653 A*	0.0011	20.06	-1.44	0.8532
<b>Madera de</b>	25	0.1600 A*	0.0016	25.1		

---

***Ochroma spp.***

---

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )

PSVv= Peso seco volumétrico verde; CV= coeficiente de variación.

#### 4.4.2 Propiedades mecánicas

##### 4.4.2.1 Flexión estática

Para esta propiedad mecánica, la prueba “t” student ( $\alpha=0.05$ ), determinó diferencias significativas entre los escapos florales macho de *Dasyllirion cedrosanum Trel.* y *Ochroma spp.* en los esfuerzos de resistencia al límite de proporcionalidad ( $P\leq 0.0210$ ) (Cuadro 40) y resistencia a la ruptura ( $P\leq 0.0130$ ) (Cuadro 41), siendo mayor en los escapos florales macho. Sin embargo, para el módulo de elasticidad no existen diferencias significativas ( $P\leq 0.0789$ ) (Cuadro 42).

Cuadro 40. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para flexión estática: resistencia al límite de proporcionalidad en escapos florales macho de *Dasyllirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*

Especie	n	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV (%)	T	p-valor
<b>Dasyllirion macho</b>	20	261.84 A*	747.12	10.43	3.63	0.0210
<b>Madera de <i>Ochroma spp.</i></b>	25	150 B*	543.5	15.54		

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )

CV= coeficiente de variación.

Cuadro 41. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para flexión estática: resistencia a la ruptura en escapos florales macho de *Dasyllirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*

Especie	n	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV (%)	T	p-valor
<b>Dasyllirion macho</b>	20	305.48 A*	4721.41	22.49	1.72	0.0130
<b>Madera de <i>Ochroma spp.</i></b>	25	260 B*	2471.29	19.12		

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )

CV= coeficiente de variación.

Cuadro 42. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para flexión estática: módulo de elasticidad en escapos florales macho de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*

Especie	n	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV(%)	T	p-valor
<b>Dasyilirion macho</b>	20	41532 A*	128553462	27.29	-0.61	0.0789
<b>Madera de <i>Ochroma spp.</i></b>	25	42000 B*	124732108	26.59		

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )

CV= coeficiente de variación.

#### 4.4.2.2 Compresión paralela

De acuerdo a la prueba “t” student ( $\alpha=0.05$  n-1 gl), se encontraron diferencias significativas entre los escapos florales macho de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* y la madera de *Ochroma spp* para el esfuerzo de resistencia a la ruptura ( $P\leq 0.0461$ ) (Cuadro 43), siendo mejor la madera de *Ochroma spp*. Condiciones similares se presentan para el módulo de elasticidad, en donde existen diferencias altamente significativas ( $P\leq 0.0001$ ) (Cuadro 44), siendo mejor la madera de *Ochroma spp*. Para el esfuerzo de resistencia al límite de proporcionalidad, también se encontraron diferencias altamente significativas entre los escapos florales macho de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* y madera de *Ochroma spp* ( $P\leq 0.0001$ ), en éste esfuerzo, los escapos florales macho de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* fueron mejores (Cuadro 45).

Cuadro 43. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para compresión paralela: resistencia a la ruptura en escapos florales macho de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*

Especie	N	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV(%)	T	p-valor
<b>Dasyilirion macho</b>	20	107.84 A*	525.57	21.25	2.08	0.0461
<b>Madera de <i>Ochroma spp.</i></b>	25	175 B*	748.89	15.63		

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )

CV= coeficiente de variación.

Cuadro 44. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para compresión paralela: módulo de elasticidad en escapos florales macho de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma* spp.

Espece	N	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV (%)	T	p-valor
<b>Dasyilirion macho</b>	20	8264 A*	1287853	13.73	7.54	<0.0001
<b>Madera de <i>Ochroma</i> spp.</b>	25	25900 B*	13422919	14.14		

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )  
CV= coeficiente de variación

Cuadro 45. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para compresión paralela: resistencia al límite de proporcionalidad en escapos florales macho de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma* spp.

Espece	n	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV(%)	T	p-valor
<b>Dasyilirion macho</b>	20	97.06 A*	2071.49	12.60	6.08	<0.0001
<b>Madera de <i>Ochroma</i> spp.</b>	25	65 B*	72.89	13.13		

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )  
CV= coeficiente de variación.

#### 4.4.2.3 Compresión perpendicular

Según la prueba “t” de student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl), se encontraron diferencias altamente significativas entre los escapos florales macho de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. y la madera de *Ochroma* spp. para el esfuerzo de resistencia al límite de proporcionalidad ( $P\leq 0.0001$ ), siendo mayor los obtenidos para escapos florales macho (Cuadro 46).

Cuadro 46. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para compresión perpendicular: resistencia al límite de proporcionalidad en escapos florales macho de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*

Espece	n	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV(%)	T	p-valor
<i>Dasyilirion macho</i>	20	20.34 A*	5.35	11.37	4.18	<0.0001
Madera de <i>Ochroma spp.</i>	25	10 B*	2.53	15.90		

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )  
CV= coeficiente de variación

#### 4.4.2.4 Cortante o cizallamiento

La prueba “t” de student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl), determinó diferencias altamente significativas entre los escapos florales macho de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* y la madera de *Ochroma spp.* para el esfuerzo de resistencia a la ruptura ( $P\leq 0.0001$ ), siendo mayor los obtenidos para *Ochroma spp.* (Cuadro 47).

Cuadro 47. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para cizallamiento: resistencia a la ruptura en escapos florales macho de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*

Espece	n	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV(%)	T	p-valor
<i>Dasyilirion macho</i>	20	11.7 A*	4.37	17.86	4.62	<0.0001
Madera de <i>Ochroma spp.</i>	25	25 B*	13.28	14.57		

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )  
CV= coeficiente de variación

#### 4.4.2.5 Dureza Janka

Se encontraron diferencias altamente significativas entre los escapos florales macho de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* y *Ochroma spp.* para el esfuerzo carga máxima ( $P\leq 0.0001$ ) según la prueba “t” de student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl), siendo mayor los obtenidos para escapos florales macho (Cuadro 48).

Cuadro 48. Prueba de “t” student ( $\alpha= 0.05$  n-1 gl) para dureza Janka: carga máxima en escapos florales macho de *Dasyllirion cedrosanum Trel.* del ejido Tanque Nuevo, Coahuila y madera de *Ochroma spp.*

Especie	n	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV (%)	T	p-valor
<b>Dasyllirion macho</b>	20	92.52 A*	221.75	16.09	6.23	<0,0001
<b>Madera de <i>Ochroma spp.</i></b>	25	50 B*	42.63	13.05		

\* Letra diferente son significativamente diferentes ( $\alpha= 0.05$ )  
CV= coeficiente de variación

#### 4.5 Clasificación de escapos florales por sexo de *Dasyllirion cedrosanum Trel.* en base a las características físico-mecánicas determinadas.

Las propiedades físicas y mecánicas determinadas de escapos florales por sexo para *Dasyllirion cedrosanum Trel.*, podrían clasificarse de acuerdo al criterio propuesto por Sotomayor (2002) para características tecnológicas para maderas de especies mexicanas.

Es muy importante destacar que *Dasyllirion cedrosanum Trel.* no se encuentra clasificado como madera, por lo tanto, esta clasificación es únicamente para comparar la diferencias entre las propiedades físicas y mecánicas que existen con la madera de balsa (*Ochroma spp.*).

En el cuadro 49 se observa la clasificación propuesta por Sotomayor (2002) que podría emplearse para seco volumétrico verde en la especie *Dasyllirion cedrosanum Trel.*, en base a dicha clasificación los escapos florales hembras podrían ubicarse dentro de la categoría “bajos” y los escapos florales macho quedarían ubicados en la categoría “muy bajos”, esta clasificación coincide con la clasificación que Sotomayor (2002) determinó para la especie *Ochroma spp.* donde la ubica dentro de la categoría “muy bajos” (Anexo II, Tabla 3).

Cuadro 49. Criterio de clasificación propuesto por Sotomayor (2002) para peso seco volumétrico verde para la especie *Dasyllirion cedrosanum Trel.* y madera de *Ochroma spp.*

Especie	PSvv (Kg/m <sup>3</sup> )	Criterio de clasificación
<b><i>Dasyllirion</i> hembra</b>	250	entre 200 y 400 Bajos
<b><i>Dasyllirion</i> macho</b>	160	< de 200 muy bajos

<b><i>Ochroma spp.</i></b>	160	< de 200	muy bajos
----------------------------	-----	----------	-----------

PSVv= Peso seco volumétrico verde.

En el cuadro 50 se observa el criterio de clasificación propuesto por Sotomayor (2002) que podría emplearse para las principales propiedades mecánicas de los escapos florales hembra y macho de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* La clasificación más alta se encuentra en los escapos florales hembra para la propiedad mecánica de compresión paralela, la cual podría ubicarse dentro de la categoría “muy altos”, seguida de la prueba para flexión estática, la cual se ubicaría en la categoría “medios” y “altos”. Para las propiedades mecánicas restantes el criterio de clasificación, tanto de escapos florales hembra y de escapos florales machos, se ubicarían dentro de la categoría de “bajos” y “muy bajos”. Esta clasificación coincide con la clasificación que Sotomayor (2002) determinó para la especie *Ochroma spp* donde la ubica dentro de la categoría “bajos” y “muy bajos” (Anexo II, Tabla 4).

Cuadro 50. Comparación de propiedades mecánicas de *Dasyilirion cedrosanum Trel.* con el criterio de clasificación para especies mexicanas propuesto por Sotomayor (2002) para la especie *Ochroma spp.*

<b>Prueba Mecánica</b>	<b><i>Dasyilirion</i> Hembra (KgF/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>CC</b>	<b><i>Dasyilirion</i> Macho (KgF/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>CC</b>	<b><i>Ochroma</i> spp. (KgF/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>CC</b>
<b>Flexión estática: Modulo de elasticidad</b>	122,843.93	M	41,532	B	42,000	B
<b>Flexión estática: RLP</b>	635.94	A	261.84	M	150	MB
<b>Flexión estática: resistencia a la ruptura</b>	741.93	M	305.48	MB	260	MB
<b>Compresión Paralela: Modulo de elasticidad</b>	26,783.27	MB	8,264.22	MB	25,900	MB
<b>Compresión Paralela: RLP</b>	361.15	MA	97.06	MB	65	MB
<b>Compresión Paralela: Resistencia a la ruptura</b>	401.28	M	107.84	MB	175	B
<b>Compresión perpendicular: RLP</b>	36.70	MB	20.34	MB	10	MB

<b>Cizallamiento: resistencia a la ruptura</b>	28.98	MB	11.07	MB	25	MB
<b>Dureza Janka</b>	187.67	MB	92.52	MB	50	MB

CC= Criterio de clasificación; RLP= Resistencia al límite de proporcionalidad; M= medio; A= alto; B= Bajo; MB= Muy bajo; MA= Muy alto.

## V 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 *Dasyllirion cedrosanum* Trel. en todas las pruebas físicas y mecánicas determinadas, siendo mejor en todos los casos, los escapos florales hembra. Además también se puede

afirmar que existen diferencias significativas entre los valores de las pruebas físicas y mecánicas de los escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum Trel.* y los valores de *Ochroma spp*, siendo mejor los parámetros obtenidos para los escapos florales hembra. Por lo tanto es factible que los escapos florales hembra de *Dasyllirion cedrosanum Trel.* se utilicen de manera similar al uso 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 las pruebas de cizallamiento: resistencia a la ruptura, compresión paralela: resistencia a la ruptura y compresión paralela: módulo de elasticidad. 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 utilización de los escapos florales macho a los usos similares que se la madera de *Ochroma spp*, pues en base sus resultados físicos y mecánicos, se puede afirmar que tiene características muy similares a las características 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 determinadas pueden utilizarse de forma similar al uso que se le da actualmente a la madera de balsa (*Ochroma spp*).

Las dimensiones de los escapos florales de “soto” en el área de estudio pueden llegar a alcanzar hasta los 2 ½ pulgadas de ancho en la base del escapo y 3 metros de largo, esta condición es una limitante para sacar largos y especialmente gruesos de mayor tamaño. Pero gracias a las modernas técnicas de corte, ensamblados y encolados con adhesivos especiales se pueden obtener piezas de mayores dimensiones.

Los resultados de esta investigación podrían ayudar de manera directa a los pobladores y productores rurales que tienen extensiones grandes de terrenos y se dedican a la comercialización de esta planta, ya que pueden vender y comercializar los escapos florales dándoles un valor agregado.

## **VI RECOMENDACIONES**

- Se propone seguir esta línea de investigación, ya que este estudio por ser uno de los primeros que se realizó, quedaron algunas sub- líneas o áreas por cubrir, tales como:

- 1.- Realizar análisis morfológicos, anatómicos e histológicos del escapo floral o “quioté” de sotol, esto con la finalidad de saber más a detalle las diferencias entre los “escapos florales” macho y los escapos florales “hembra”
- 2.- Realizar los primeros ensayos de determinación de un criterio de clasificación de “calidades” de este material para su utilización.
- 3.- Realizar estudios para proponer la mejor forma de comercialización del escapo floral de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. para su utilización de forma similar a la madera de balsa (*Ochroma spp*). y otros usos.

## VII LITERATURA CITADA

- Bárcenas P.G. 1985. Recomendaciones para el uso de maderas de acuerdo a su estabilidad dimensional. Nota técnica No.11. INEREB-LACITEMA. Xalapa. Veracruz, México. 18 p.
- Bárcenas P.G 2005. Relación estructura- propiedades de la madera de angiospermas mexicanas. Universidad y ciencia. Vol. 21. Número 042. Universidad Juárez Autónoma de tabasco. Villa hermosa, Tabasco. pp 45-55.

- Bárceñas P.G y Dávalos S., R. 1998. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas. *Madera y Bosques*. México. pp 65-70.
- Bárceñas 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.
- Benson.L and Darrow.RA. 1944. Manual of southwestern desert trees and shrubs. *Biological science boletin No. 6*. University of Arizona. USA. 10 pp.
- Betancourt Barroso, S.A. 1968. Monografía de la balsa o lanero. *Técnica Forestal 3*. Instituto Nacional de Desarrollo y Aprovechamiento Forestales. Bogotá, Colombia. 7 pp.
- Bisse, Johannes. 1981. *Arboles de Cuba*.: Editorial Científico-Técnica. Habana, Cuba. 384 pp.
- Butterfield R. 1995. Desarrollo de especies forestales en tierras bajas húmedas de Costa Rica. CATIE, Serie Técnica, Informe Técnico No. 260, Turrialba, Costa Rica. 41 pp.
- Cuevas, E. 2003. Propiedades físicas y mecánicas de la madera. Material de apoyo en propiedades físicas y mecánicas. Universidad de Talca, Escuela de Ingeniería en Industrias de la Madera. Talca, Chile. 41pp.
- COPANT. 1972. Comisión Panamericana de Normas Técnicas. "Normas Técnicas 459,460, 461 y 462". Buenos Aires, Argentina. 461 pp.
- Díaz M.P. 2005. Evaluación de Propiedades Físicas y Mecánicas de madera de *Nothofagus glauca* (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Forestales Escuela de Ingeniería en Industrias de la Madera. Talca-Chile. 117 pp.
- FITECMA 2002. Tabla de clasificación de características mecánicas de maderas mexicanas para la madera de balsa (*Ochroma pyramidale*). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.1 pp.
- Fuentes. S. M. 1970. Apuntes Para el curso de Tecnología de la Madera. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. 150 pp.
- Fuentes S., M. 1998. Propiedades tecnológicas de las maderas mexicanas de importancia en la construcción. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 4(1). Texcoco, Estado de México. pp 221-229.
- García, G. J. 1979. El sotol. Seminario Preparado en el curso de Zonas áridas Chapingo, México. Texcoco, Estado de México, Mexico. 15 pp.
- García S. A. 1952. Comparación del sotol y la alfalfa en la alimentación de vacas lecheras. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila, México. 48 pp.

- García G. N. 2001. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Conzattia multiflora*. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México. 57 pp.
- INIFAP, 2005. Manual que establece los Criterios Técnicos para el Aprovechamiento Sustentable de Recursos Forestales no Maderables de Clima Árido y Semiárido. Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental. Dirección General del Sector Primario y Recursos Naturales Renovables Descripción general de las especies no maderables. Mexico. 110 pp.
- InfoStat 2011. Software estadístico versión 2011e. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 78 pp.
- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e informática (INEGI) 2006. Cartas topográficas G14-C41. México.
- John K. 1991. *Ochroma pyramidale* Cav. Balsa. SO-ITF-SM-41. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. New Orleans, LA, USA. 6 pp.
- Karsulovic, J. 1982. Propiedades mecánicas de la madera. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales, departamento de Tecnología de la Madera. Santiago, Chile. 101 pp.
- Kribs, D. A. 1968. Commercial foreign woods on the american market. Dover Publications, Inc. New York, EUA. 241 pp.
- López B. A y Portes V.L 2002. El sotol una planta muy especial. Manual del productor. Proyecto integral del sotol. Secretaria de fomento agropecuario. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Saltillo, Coahuila, México. 38 pp.
- López, C. y G. S (2005). La riqueza de los bosques mexicanos: más allá de la madera. Experiencias de comunidades rurales. Comisión Nacional forestal-Instituto Nacional de Ecología-Centro de Capacitación para el Desarrollo Sustentable-Programa de Desarrollo Forestal Comunitario-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 200 pp.
- Madera P. J. 1988. 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.
- Molina, G. J. D. 1983. Recursos agrícolas de zonas áridas y semiáridas de México. Ed. Colegio de postgraduados. Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. 159 pp.
- Mora, Juan J. 1974. Características tecnológicas de la balsa. Revista Forestal Venezolana, Caracas, Venezuela. pp 67-71.

- Olivares S.E. 1994. Paquete de diseños experimentales FAUANL. Versión 2.5. Facultad de Agronomía UANL, Marín, Nuevo León, México.
- Órnelas, I.P. 2004. Monografía del sotol. Tesis de Monografía profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 86 pp.
- Ostle, B. 1974. Estadística aplicada. Editorial limusa. México.
- Panshin A.J and Dezeeuw.1980. Textbook of Wood technology. Structure, identification, Properties, and uses of the United States and Canada. McGraw-Hill Book Co. New York, USA. 722 pp.
- Pérez O.C. 1979. Determinación de las características anatómicas y físico mecánicas de la madera de cuatro especies de leguminosas. Boletín Técnico 61. Instituto Nacional de investigación Forestal (INIFAP). México, D. F. 35 pp.
- Rosas G.F. 2010. Manual de prácticas de pruebas físico mecánicas. Instituto Tecnológico del Salto, Durango, México.
- SEMARNAT 2001.<http://Semarnat.gob.mx/pfnm3/fichas/dasyliirion cedrosanum Trel..htm>.
- Sotomayor C.J 2002. TABLA FITECMA de clasificación de características mecánicas de maderas mexicanas. FITECMA. UMSNH. Formato: 60 x 90 cm. Morelia Michoacán, México. 1 pp.
- Sotomayor C.J. 2005. Características mecánicas y clasificación de la madera de 150 especies mexicanas. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Volumen 1, Número 1. Morelia, Michoacán, México. 24 pp.
- Torelli N. 1982. Estudio promocional de 43 especies forestales tropicales Mexicanas. Programa de cooperación científica y técnica México- Yugoslavia. SARH. SFF.. Distrito Federal. Mexico. 73 pp.
- Vargas. J.O.1987. Manual del técnico forestal. Anatomía y tecnología de la madera. Universidad Mayor de San Simón. Escuela Técnica Superior Forestal. Misión Forestal Alemana. Caracas, Venezuela. 119 pp.
- Velásquez, C. R. 1983. El sotol. Agricultura de Zonas Áridas. Boletín informativo. Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. 23 pp.
- Villarreal, Q. J. A. 2001. Listados Florísticos de México. XXIII. Flora de Coahuila. Instituto de biología UNAM. México, D. F.

## **ANEXO I**

### **I. Fórmulas para el cálculo de esfuerzos de propiedades mecánicas de sotol (*Dasyllirion cedrosanum Trel.*) (COPANT, 1972).**

#### **Formula1. Flexión estática**

Según norma COPANT 555 (método para la determinación de la flexión estática), se determinaron 3 tipos de esfuerzos:

a) **Esfuerzo unitario al límite de proporcionalidad (ELP)**, mediante la siguiente fórmula:

$$ELP_f = \frac{3P_2 * L}{2b * h^2}$$

Donde:

$ELP_f$  = El esfuerzo unitario en el límite de proporcionalidad, en kilogramos fuerza por centímetro cuadrado (KgF/cm<sup>2</sup>)

$P_2$  = La carga en el límite de proporcionalidad, en kilogramos fuerza.

$L$  = La luz de la probeta, es decir separación entre apoyos, en centímetros.

$b$  = El ancho de la probeta, en centímetros.

$h$  = La altura de la probeta, en centímetros

b) **Módulo de ruptura**, se utilizó la fórmula siguiente:

$$EM_f = \frac{3P_m * L}{2b * h^2}$$

Donde:

$EM_f$  = Módulo de ruptura (KgF/cm<sup>2</sup>)

$P_m$  = La carga máxima obtenida (KgF).

$L$  = La luz de la probeta, es decir separación entre apoyos (cm).

$b$  = El ancho de la probeta (cm).

$h$  = La altura de la probeta, en centímetros (cm).

c) **Módulo de elasticidad** se utilizó la fórmula siguiente:

$$MOE_f = \frac{P_2 * L^3}{4 * d_1 * b * h^3}$$

Donde:

$MOE_f$  = El módulo de elasticidad (KgF/cm<sup>2</sup>).

$d_1$  = El valor de la deformación o flecha de la probeta en el límite de proporcionalidad (cm).

$P_2$  = Carga en el límite de proporcionalidad (KgF).

$L$  = La luz de la probeta, es decir separación entre apoyos (cm).

$b$  = El ancho de la probeta (cm).

$h$  = La altura de la probeta (cm).

## **Fórmula 2. Compresión paralela.**

Según norma COPANT 464 (método para la determinación de la compresión axial o paralela al grano), se determinan 3 tipos de esfuerzos:

a) **Módulo de ruptura**, en donde se aplicó la fórmula siguiente:

$$RUM = \frac{P}{S}$$

Donde:

$RUM$  = La resistencia a la ruptura (KgF/cm<sup>2</sup>).

$P$  = La carga máxima soportada por la probeta (KgF).

$S$  = La superficie de la sección transversal de la probeta calculada antes del ensayo (cm<sup>2</sup>).

b) **Módulo de elasticidad**, mediante la fórmula siguiente:

$$MOE = \frac{P_1 * l}{S * d}$$

Donde:

$MOE$  = El módulo de elasticidad (KgF/cm<sup>2</sup>).

$P_1$  = La carga en el límite de proporcionalidad (KgF).

$l$  = La distancia de las abrazaderas en donde se encuentra prensada la probeta (cm)

$S$  = La superficie de la sección transversal de la probeta medida antes del ensayo (cm<sup>2</sup>).

$d$  = La deformación sufrida por la probeta bajo la carga (cm).

c) **Resistencia unitaria en el límite de proporcionalidad**, mediante la fórmula siguiente:

$$RLP = \frac{P_1}{S}$$

Donde:

$RLP$  = La resistencia unitaria en el límite proporcional (KgF/cm<sup>2</sup>).

$P_1$  = La carga en el límite proporcional (KgF).

$S$  = La superficie de la sección transversal de la probeta calculada antes del ensayo (cm<sup>2</sup>).

### Fórmula 3. Compresión perpendicular

De acuerdo a la norma COPANT 466 (método para la determinación de la compresión perpendicular al grano), se determinaron 2 tipos de esfuerzos:

a) **Resistencia unitaria en el límite de proporcionalidad**, mediante la fórmula siguiente:

$$RLP = \frac{P_1}{S}$$

Donde:

$RLP$  = La resistencia al límite proporcional (KgF/cm<sup>2</sup>)

$P_1$  = La carga al límite proporcional (KgF)

$S$  = Es la superficie impresa sobre la probeta por la pieza de presión (cm<sup>2</sup>).

b) **Módulo de Ruptura**, mediante la siguiente fórmula:

$$RUM = \frac{P}{S}$$

Donde:

$RUM$  = La resistencia a la ruptura (KgF/cm<sup>2</sup>)

$P$  = La carga utilizada para obtener la penetración (KgF)

$S$  = La superficie impresa sobre la probeta por la pieza de presión (cm<sup>2</sup>)

### Fórmula 4. Cortante o cizallamiento

De acuerdo con la norma COPANT 463 (método para la determinación del cizallamiento paralelo al grano), se determinó el siguiente esfuerzo:

a) **Esfuerzo unitario máximo**, mediante la siguiente fórmula:

$$EUM = \frac{P}{S} \quad \text{siendo:}$$

Donde:

$EUM$  = El esfuerzo unitario máximo (KgF/cm<sup>2</sup>).

$P$  = La carga máxima soportada por la probeta (KgF).

$S$  = La superficie del plano en que se produce el cizallamiento (cm<sup>2</sup>).

### Fórmula 5. Tensión

De acuerdo con la norma COPANT 742 (método de determinación de la tensión paralela al grano), se determinó 3 tipos de esfuerzos:

a) **Esfuerzo unitario máximo**, mediante la siguiente fórmula:

$$EM = \frac{P}{A}$$

Donde:

$EM$  = El esfuerzo unitario máximo (KgF /cm<sup>2</sup>)

$P$  = La carga máxima soportada por la probeta (KgF)

$A$  = El área de la sección mínima de la probeta en (cm<sup>2</sup>).

b) **Esfuerzo unitario al límite de proporcionalidad**, mediante la fórmula siguiente:

$$ELP = \frac{P_1}{A}$$

$ELP$  = El esfuerzo unitario al límite de proporcionalidad (KgF/cm<sup>2</sup>).

$P_1$  = La carga al límite de proporcionalidad en (KgF).

$A$  = El área de la sección mínima de la probeta (cm<sup>2</sup>).

c) **módulo de elasticidad** se determinó mediante la fórmula siguiente:

$$MOE = \frac{P_2 * l}{A * d_1}$$

$MOE$  = Módulo de elasticidad, en KgF/ cm<sup>2</sup>

$P_2$  = la carga en límite de proporcionalidad (Kg F)

$l$  = La distancia entre cuchillas de las abrazaderas del extensómetro (cm)

$A$  = El área de la sección mínima de la probeta (cm<sup>2</sup>).

$d_1$  = La deformación de la probeta (cm).

## Fórmula 6. Rajado o clivaje

De acuerdo con la norma COPANT 741 (Método para la determinación de la resistencia al clivaje o rajado), se determina únicamente un esfuerzo:

a) **Resistencia unitaria al clivaje**, mediante la fórmula siguiente:

$$Rc = \frac{P}{a}$$

Donde:

$Rc$  = La resistencia unitaria al clivaje (KgF/ cm)

$P$  = La carga máxima soportada por la probeta (KgF)

$a$  = El ancho del plano de rajado de la probeta (cm).

## ANEXO II

Tabla 1. Datos reportados por Bárcenas y Dávalos (2001), para las propiedades físicas más importantes para la especie *Ochroma spp.*

Propiedades físicas	N	Media (g/cm <sup>3</sup> )	Varianza	CV
Densidad básica (gr/cm <sup>3</sup> )	25	0.150	0.0006	16.32
Peso seco volumétrico verde (gr/cm <sup>3</sup> )	25	0.160	0.0016	25.1

CV= Coeficiente de variación.

Tabla 2. Datos reportados por Bárcenas y Dávalos (2001), para las propiedades mecánicas más importantes para la especie *Ochroma spp.*

Propiedades mecánicas	N	Media (KgF/cm <sup>2</sup> )	Varianza	CV
<b>Flexión estática: Modulo de elasticidad</b>	25	42000	124732108	26.59
<b>Flexión estática: resistencia al límite de proporcionalidad</b>	25	150	543.5	15.54
<b>Flexión estática: resistencia a la ruptura</b>	25	260	2471.29	19.12
<b>Compresión paralela: resistencia a la ruptura</b>	25	175	748.89	15.63
<b>Compresión paralela: resistencia al límite de proporcionalidad</b>	25	65	72.89	13.13
<b>Compresión paralela: módulo de elasticidad</b>	25	25900	13422919	14.14
<b>Compresión perpendicular: resistencia al límite de proporcionalidad</b>	25	10	2.53	15.90
<b>Cizallamiento: resistencia a la ruptura</b>	25	25	13.28	14.57
<b>Dureza Janka: carga máxima</b>	25	50	42.63	13.05

CV= Coeficiente de variación.

Tabla 3. Criterio de clasificación de características físicas de las propiedades más importantes para la especie *Ochroma spp* reportados por Sotomayor (2002).

Propiedad física	Promedio (g/cm <sup>3</sup> )	Criterio de clasificación
<b>Densidad o PSVv</b> peso seco / volumen verde	0.16	< de 200 muy baja

Tabla 4. Criterio de clasificación de características mecánicas de las propiedades más importantes para la especie *Ochroma spp* reportados por Sotomayor (2002).

<b>Propiedades mecánicas</b>	<b>Promedio (KgF/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Criterio de clasificación</b>	
<b>Flexión estática: Módulo de elasticidad</b>	42,000	entre 40,000 y 80,000	baja
<b>Flexión estática: resistencia al límite de proporcionalidad</b>	150	< de 200	muy baja
<b>Flexión estática: resistencia a la ruptura</b>	260	< de 350	muy baja
<b>Compresión paralela: Módulo de elasticidad</b>	25, 900	< de 50,000	muy baja
<b>Compresión paralela: resistencia al límite de proporcionalidad</b>	65	< de 100	muy baja
<b>Compresión paralela: resistencia a la ruptura</b>	175	entre 100 y 180	baja
<b>Compresión perpendicular: resistencia al límite de proporcionalidad</b>	10	< de 200	muy baja
<b>Cortante o cizallamiento: resistencia a la ruptura</b>	25	< de 160	muy baja
<b>Dureza janka transversal</b>	85	< 200	muy baja
<b>Dureza janka lateral</b>	50	< 200	muy baja