

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Propiedades Físicas De La Madera De *Pinus greggii* Engelm. var *greggii* De Una  
Plantación En El CAESA, Arteaga, Coahuila

Por:

**MARÍA DE LOURDES GÓMEZ RUIZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Propiedades Físicas De La Madera De *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii*  
De Una Plantación En El CAESA, Arteaga, Coahuila

Por:

**MARÍA DE LOURDES GÓMEZ RUIZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

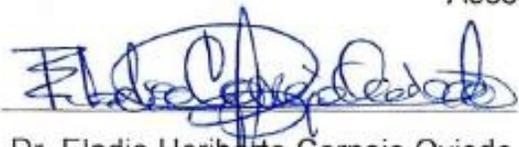
**INGENIERO FORESTAL**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Genaro Esteban García Mosqueda

Asesor Principal



Dr. Eladio Heriberto Cornejo Oviedo

Coasesor



M.C. Salvador Valencia Manzo

Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2021

## Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



---

María de Lourdes Gómez Ruiz

## DEDICATORIA

A mis dos tesoros más preciados, mis padres: Sebastián y Felicita este logro se los dedico especialmente a ustedes, por estar siempre para mí, por poner toda su confianza en mí, por inculcarme siempre los buenos valores y el amor al estudio a nunca darme por vencida. Siempre han sido y serán mi razón de ser para alcanzar mis metas.

A mis queridos hermanos: Miguel, Flavio, Facundo, Mary y Alberto que sería de mi vida sin ustedes, este logro no sólo es para mí, sino para todos como familia. Sé que siempre han querido lo mejor para mí, sus consejos y experiencias me han servido para la vida, que nunca se acabe ese amor y esa unidad que hay entre nosotros.

A mi sobrino Henry (†) que escribiendo estas líneas aún se llenan mis ojos de lágrimas, un día te lo prometí y ahora lo estoy cumpliendo; este logro te lo dedico desde aquí hasta el Cielo. Gracias por enseñarnos tantas cosas y unirnos más como familia en tu paso por la tierra pequeño Ángel.

Y a mis sobrinitos: Kevin Gabriel, Andy de Jesús, Alán Moisés, Ángel Azael, Alexander de Jesús y mi pequeña Fátima Magdalena; a mi tía María, mi prima Isabel, mis primitos-sobrinos Gabriela, Jonathan y Natalia; mi cuñado y mis cuñadas a todos y a cada uno de ustedes se los dedico por que forman parte de mi vida y porque somos los más cercanos como familia.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por su amor y su bondad que no tienen fin, le agradezco a él en primer lugar por todos mis logros que son resultado de su ayuda y no cesan mis ganas de decir que es gracias a él que esta meta está cumplida.

A mis Padres y Hermanos que no tengo las palabras suficientes para agradecerles todo el apoyo brindado, gracias por el apoyo moral, espiritual y económico. Gracias por estar siempre pendiente de mí, por apoyarme siempre en cada decisión que he tomado en mi vida, gracias por su inmenso amor, los amo.

A mi Alma Mater mi agradecimiento eterno a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por todas las oportunidades que me brindó, el conocimiento, las experiencias y los servicios que ofrece, todo me sirvió para mi formación académica y personal.

Al Departamento Forestal por tener docentes muy preparados y ofrecernos las herramientas y equipos necesarios para nuestra formación académica.

Al Dr. Genaro Esteban García Mosqueda por su enseñanza, apoyo, comprensión y paciencia para sacar adelante este trabajo, por sus consejos y por motivarme a seguir aprendiendo y estudiando para mi crecimiento académico.

Al Dr. Eladio Heriberto Cornejo Oviedo y al M.C. Salvador Valencia Manzo por la colaboración en el desarrollo de este trabajo, gracias por sus puntos de vista y sus correcciones.

Al ing. José Antonio Ramírez Díaz por su bondad en facilitarme las herramientas para la elaboración de las muestras.

A todos los demás profesores del Departamento Forestal, infinitas gracias por compartir sus conocimientos, formarnos como profesionistas y prepararnos para la vida.

A mis amigos que la Universidad me regaló: Juan Carlos Rincón, Hanniel Seraias, Catarino, Silverio, Hugo Caralampio y José Gil sin duda grandes personas que han

estado conmigo en los momentos difíciles y me han apoyado siempre, sacándome una sonrisa, por su compañía, sus consejos y por cuidarme. Mil gracias chicos.

A mis amigas Rocío y Fátima por la gran confianza que nos tenemos, por los consejos y por la motivación que me brindan de seguir siempre adelante, gracias por estar conmigo, por escucharme y por demostrarme que si existe la verdadera amistad.

A Adriana Gutiérrez, Nilda Patricia y a Ricardo González por apoyarme en la elaboración de las muestras y obtención de datos del presente trabajo, gracias por la compañía y por la paciencia.

A todos mis demás compañeros de la generación por la convivencia en las aulas, por los trabajos en equipo, intercambio de ideas, conocimientos, por esas prácticas en campo y viajes de estudio donde compartimos momentos muy gratos, sonrisas, miedos y preocupaciones. Gracias por todos esos momentos compartidos.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VII
ÍNDICE DE ANEXOS .....	VIII
RESUMEN .....	IX
ABSTRACT .....	X
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Objetivo general.....	3
1.2 Objetivos específicos .....	3
1.3 Hipótesis .....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Propiedades físicas de la madera.....	4
2.1.1 Densidad básica de la madera (Db) .....	5
2.1.2 Higocontracción volumétrica ( $\beta V$ ).....	8
2.1.3 Punto de Saturación de la Fibra (PSF) .....	9
2.2 <i>Pinus greggii</i> Engelm. ....	9
2.2.1 Distribución y hábitat .....	9
2.3 Importancia económica de la especie.....	11
2.3.1 Área de oportunidad de plantaciones forestales comerciales.....	11
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	12
3.1 Ubicación de área de estudio .....	12
3.2 Descripción de área de estudio .....	13
3.2.1 Fisiografía.....	13
3.2.2 Hidrología .....	13

3.2.3 Geología .....	13
3.2.4 Suelo .....	14
3.2.5 Clima .....	14
3.2.6 Vegetación.....	14
3.3 Trabajo de campo.....	15
3.3.1 Selección de árboles .....	15
3.3.2 Derribo y troceo de árboles .....	15
3.4 Trabajo de laboratorio.....	16
3.4.1 Elaboración y acondicionamiento de probetas .....	16
3.4.2 Cálculo de la densidad básica .....	18
3.4.3 Cálculo de la higocontracción volumétrica .....	20
3.4.4 Cálculo del punto de saturación de fibra.....	21
3.5 Criterios de clasificación de la densidad básica, la higocontracción volumétrica y el punto de saturación de la fibra .....	22
3.6 Análisis estadístico .....	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1 Propiedades físicas de la madera de <i>Pinus greggii</i> Engelm. y su clasificación .....	25
4.2 Densidad básica .....	28
4.2.1 Densidad básica en el eje axial .....	28
4.2.2 Densidad básica en eje radial.....	29
4.2.3 Densidad básica para cada altura con respecto al grupo de muestras de la periferia.....	30
4.2.4 Densidad básica para cada altura con respecto al grupo de muestras del centro.....	31
4.3 Higocontracción volumétrica.....	32

4.3.1 Higocontracción volumétrica en el eje axial.....	32
4.3.2 Higocontracción volumétrica en el eje radial .....	33
4.3.3 Higocontracción volumétrica para cada altura con respecto al grupo de muestras de la periferia .....	34
4.3.4 Higocontracción volumétrica para cada altura con respecto al grupo de muestras del centro .....	34
4.4 Punto de saturación de la fibra .....	35
5. CONCLUSIONES .....	36
6. RECOMENDACIONES .....	38
7. BIBLIOGRAFÍA .....	39
8. ANEXOS .....	48

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Criterios de clasificación de acuerdo a una distribución normal .....	22
Cuadro 2. Datos estadísticos para las variables de densidad básica, higocontracción volumétrica y punto de saturación de la fibra de una plantación de 29 años de <i>Pinus greggii</i> Engelm; en el CAESA, Arteaga, Coah. ..	25

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación del área de estudio de <i>Pinus greggii</i> Engelm. en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah. ....	12
Figura 2. Preparación de rodajas para obtener las muestras.....	17
Figura 3. Mesa de corte para seccionar las muestras.....	17
Figura 4. Probetas seccionadas con sus datos de identificación .....	17
Figura 5. Obtención del volumen verde de las probetas.....	19
Figura 6. Enfriamiento de las probetas en un desecador.....	19
Figura 7. Distribución de valores e intervalos de clasificación para las variables A): Db, B): $\beta V$ y C): PSF, de <i>Pinus greggii</i> Engelm. de una plantación de 29 años en el CAESA, Arteaga, Coah. con base a la metodología propuesta por Sotomayor y Ramírez (2013). ....	26
Figura 8. Comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) en los tres diferentes niveles del eje axial de la madera de <i>Pinus greggii</i> Engelm. de una plantación de 29 años en el CAESA, Arteaga, Coah. ....	28
Figura 9. Comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) en el eje radial de la madera de <i>Pinus greggii</i> Engelm. de una plantación de 29 años en el CAESA, Arteaga, Coah.....	29
Figura 10. Medias de la densidad básica del grupo de muestras del centro de la madera de <i>Pinus greggii</i> Engelm. de una plantación de 29 años en el CAESA, Arteaga, Coah.....	31

Figura 11. Comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) en los tres diferentes niveles del eje axial de la madera de <i>Pinus greggii</i> Engelm. de una plantación de 29 años en el CAESA, Arteaga, Coah. ....	32
Figura 12. Comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) en el eje radial de la madera de <i>Pinus greggii</i> Engelm. de una plantación de 29 años en el CAESA, Arteaga, Coah. ....	33
Figura 13. Medias de la higocontracción del grupo de muestras del centro de la madera de <i>Pinus greggii</i> Engel. De una plantación de 29 años en el CAESA, Arteaga, Coah. ....	35

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Prueba de normalidad de Db .....	48
Anexo 2. Prueba de normalidad de $\beta V$ .....	48
Anexo 3. Prueba de normalidad de PSF .....	48
Anexo 4. Diferencias encontradas en el eje axial y el eje radial.....	50
Anexo 5. Diferencias encontradas en el eje axial con respecto al eje radial .....	50
Anexo 6. Características higroscópicas de maderas mexicanas .....	51
Anexo 7. Nomenclaturas utilizadas en SAS .....	58

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue conocer algunas propiedades físicas de la madera (densidad básica, higrócontracción volumétrica y punto de saturación de la fibra) tanto en el sentido axial como en el radial de *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* se trabajó con muestras de madera provenientes de una plantación de 29 años en el CAESA, Arteaga Coah. Los datos se analizaron con un diseño experimental completamente aleatorio.

Para la densidad básica se encontraron diferencias ( $p = 0.027$ ) en el eje axial. Mediante una comparación de medias de Tukey con un alfa de 0.05 encontró que, la densidad básica de la madera es mayor en la base ( $\bar{X} = 0.433 \text{ g cm}^{-3}$ ) siendo menor a la altura del fuste limpio ( $\bar{X} = 0.413 \text{ g cm}^{-3}$ ). Para el eje radial también se encontraron diferencias altamente significativas ( $p = 0.0001$ ); en el grupo de muestras de la periferia presentó mayor densidad ( $\bar{X} = 0.444 \text{ g cm}^{-3}$ ) con respecto a las muestras del centro ( $\bar{X} = 0.402 \text{ g cm}^{-3}$ ).

La higrócontracción volumétrica indicó la misma tendencia que la densidad básica por lo que el análisis estadístico arrojó diferencias tanto en el eje axial como en el radial; para el eje axial presentó valores menores a la altura del fuste limpio; mientras que para el eje radial los valores más bajos se presentaron en el centro del árbol.

Para el punto de saturación de la fibra no hubo diferencias significativas en el eje axial ni en el eje radial, se presentó una media del 32.38% lo cual puede indicar que no tiene relación con la densidad básica ni con la higrócontracción volumétrica.

**Palabras clave:** *Pinus greggii*, densidad básica, higrócontracción volumétrica, punto de saturación de la fibra, variación radial, variación axial.

## ABSTRACT

The objective of the present study was to know some physical properties of wood (basic density, volumetric hygro shrinkage and fiber saturation point) both in the axial and radial directions of *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii*. We worked with wood samples from a 29-year-old plantation at CAESA, Arteaga, Coah. The data were analyzed with a completely randomized experimental design.

For basic density, differences were found ( $p = 0.027$ ) in the axial axis. By means of a Tukey mean comparison with an alpha of 0.05, it was found that the basic density of wood is higher at the base ( $\bar{X} = 0.433 \text{ g cm}^{-3}$ ) and lower at the height of the clean stem ( $\bar{X} = 0.413 \text{ g cm}^{-3}$ ). For the radial axis, highly significant differences were also found ( $p = 0.0001$ ); in the group of samples from the periphery presented higher density ( $\bar{X} = 0.444 \text{ g cm}^{-3}$ ) with respect to the samples from the center ( $\bar{X} = 0.402 \text{ g cm}^{-3}$ ).

The volumetric hygro shrinkage indicated the same tendency as the basic density, so the statistical analysis showed differences in both the axial and radial axes; for the axial axis it presented lower values at the height of the clean stem; while for the radial axis the lowest values were presented in the center of the tree.

For the fiber saturation point, there were no significant differences in the axial or radial axis, with a mean of 32.38%, which may indicate that it is not related to the basic density or volumetric hygro shrinkage.

**Key words:** *Pinus greggii*, basic density, volumetric hygro shrinkage, fiber saturation point, radial variation, axial variation.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las propiedades físicas de la madera juegan un papel importante en el sector forestal ya que determinan la calidad y usos potenciales del producto final de la madera, a su vez las propiedades físicas también presentan variaciones entre los árboles de la misma especie e incluso en el mismo árbol, puede existir diferencias en el eje axial y en el eje radial dependiendo de dónde se tomen las muestras; dentro de las propiedades físicas se encuentran la densidad básica de la madera, la higocontracción volumétrica y el punto de saturación de la fibra. (Suirezs y Berger, 2009).

La densidad de la madera es una de las propiedades más importantes dentro del sector económico ya que ésta determina en gran medida la calidad que tendrá el producto final (Karsulovic *et al.*, 2005). Tiene efectos sobre una serie de atributos como: la dureza, el peso, la resistencia en la construcción o bien en la elaboración de la pulpa para papel (Mastrandrea, 2017). Por otra parte la densidad básica de la madera presenta variación dentro del mismo árbol, tanto en sus diferentes alturas como en el eje que va de la corteza hacia el centro, esto por diversos factores como: la cantidad de agua en el suelo, la competencia entre las mismas especies y la cantidad de humedad que hay en el ambiente (Parolin, 2002).

Otra propiedad física de la madera es la higocontracción volumétrica, que consiste en la disminución del volumen de una muestra de madera por efecto de pérdida del agua y en consecuencia esto reduce su contenido de humedad. (Spavento *et al.*, 2008; Suirezs y Berger, 2009).

Por último se encuentra el punto de saturación de la fibra, que es un estado de saturación en donde hay ausencia de agua libre y el agua sólo se encuentra concentrado en las fibras o las paredes celulares (Spavento, 2008).

En los últimos años se ha creado programas de plantaciones forestales comerciales que ayuden a incrementar la productividad forestal en regiones prioritarias, utilizando las especies adecuadas para cada región y así obtener aprovechamientos sustentables en el menor tiempo posible o bien para la recuperación de suelos degradados (Musálem, 2006 y Aguirre, 2015).

De acuerdo con Padilla (2017) existen muchas especies de coníferas con alto potencial para las plantaciones forestales, las cuales presentan un porcentaje alto de supervivencia tomando en cuenta la selección de las especies, el objetivo de la plantación, las densidades y sobre todo llevar un buen manejo silvícola.

Martínez (1999) menciona que en plantaciones forestales comerciales de *Pinus greggii* Engelm existe poca información en cuanto al potencial que tiene en reforestaciones con fines de recuperación de suelos. A pesar de ello *Pinus greggii* Engelm ha mostrado altas tasas de crecimiento en diámetro y altura en ensayos de plantaciones (Azamar et al., 2000) y una alta capacidad para adaptarse en terrenos degradados (Vázquez, 2018). Además posee un gran potencial para programas de mejoramiento genético por su rápido crecimiento y abundante producción de semillas a temprana edad (Vela, 2002).

## 1.1 Objetivo general

Estimar la densidad básica, la higocontracción volumétrica y el punto de saturación de la fibra y su nivel de variación en una plantación de *Pinus greggii* Engelm. var *greggii* proveniente de una plantación de 29 años establecida en el CAESA, Arteaga, Coahuila.

## 1.2 Objetivos específicos

Estimar la densidad básica, higocontracción volumétrica y el punto de saturación de la fibra de la especie estudiada y determinar su clasificación.

Conocer la variación axial y radial para la densidad básica de la madera de *Pinus greggii* Engelm. var *greggii*.

Conocer la variación axial y radial para la higocontracción volumétrica.

Conocer la variación axial y radial para el punto de saturación de la fibra.

Conocer la variación radial con relación a las tres diferentes alturas del eje axial.

## 1.3 Hipótesis

**Ho:** La densidad básica de la madera, la higocontracción volumétrica y el punto de saturación de la fibra no presentan variación en el eje axial del árbol.

**Ha:** La densidad básica de la madera, la higocontracción volumétrica y el punto de saturación de la fibra presentan variación en el eje axial del árbol.

**Ho:** La densidad básica de la madera, la higocontracción volumétrica y el punto de saturación de la fibra no tienen variación en el eje radial del árbol.

**Ha:** La densidad básica de la madera, la higocontracción volumétrica y el punto de saturación de la fibra tienen variación en el eje radial del árbol

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Propiedades físicas de la madera**

La madera es un material higroscópico, es decir que absorbe o expulsa la humedad atmosférica o bien la cantidad de humedad o de agua cercano al ambiente donde se encuentre la madera; por lo general la cantidad de agua presente en ella determinará casi todas sus propiedades de resistencia, la estabilidad dimensional, la resistencia al ataque de plagas y enfermedades, entre otras. (León y Millan, 1985).

Así mismo las propiedades físicas afectan de manera directa la respuesta de la madera, dado las cuestiones del ambiente. Estudiar su comportamiento es importante debido a que éste determina en su mayor parte el uso potencial de la madera, existen ciertos factores que influyen en las propiedades físicas como es el porcentaje de material celulósico, el contenido de humedad y la composición química. (Suirezs y Berger, 2009). Dentro de las propiedades físicas se puede encontrar la densidad, el contenido de humedad (punto de saturación de la fibra), estabilidad dimensional (higrocontracción), expansión térmica y la resistencia eléctrica (Winandy, 1994).

### 2.1.1 Densidad básica de la madera (Db)

Navarro (2005) describe que la densidad de la madera en cada grupo vegetal es única ya que depende de las condiciones climáticas que predomina en la región, la cantidad de madera tardía o de verano, el grosor de la pared celular y del tipo y cantidad de elementos celulares que posee la especie; de igual manera también existen variaciones que pueden ser por factores genéticos o bien por los tratamientos silvícolas (Rojas y Espejo, 1990). Así mismo Ordoñez *et al.* (2015) indica que una de las características más importantes de la madera es su densidad ya que tiene una relación directa con su uso final.

La densidad básica (peso anhidro entre volumen húmedo) es una variable propia de la madera (Navar, 2010). Es medido en unidades de  $\text{Kg}\cdot\text{m}^{-3}$  o en  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , por otro lado, la densidad de la madera también posee una gran importancia económica ya que ésta determina la calidad del producto final que se obtenga de la madera (Stanger *et al.*, 2002).

#### Estimación de la densidad de la madera

Existen múltiples métodos para la estimación de la densidad básica de la madera entre ellos está: el método empírico y el método por inmersión en agua que son los más utilizados (ASTM D 2395-02, 2002).

- Método empírico

Este método se utiliza para muestras pequeñas como los que se obtienen con el taladro de Pressler que son pequeños cilindros de madera; para la estimación de la densidad se toma en cuenta el diámetro interior del taladro y con una regla graduada se mide la longitud de la viruta cuando esta se encuentre saturada de humedad, con

estos dos valores se obtiene el volumen de cada sección de las muestras con la siguiente fórmula:  $V_v = 3.1416 D^2 * L/4$  (Valencia y Vargas, 1997).

Donde:

$V_v$ = volumen estimado del cilindro de madera ( $\text{cm}^{-3}$ )

$D$ = diámetro interior del cilindro del taladro de Pressler (0.5 cm)

$L$ = Largo de la muestra de madera (cm).

Valencia y Vargas (1997) proponen que para la determinación del peso anhidro de las virutas primero se deshidrata en una estufa a 105-110 °C por 24 horas y posteriormente se pesa con una balanza analítica una vez obteniendo todos los datos se calcula la densidad de la madera con la fórmula peso anhidro entre volumen verde consiguiendo así el valor de la densidad básica en unidades de ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

- Método por inmersión en agua

Para este procedimiento el tipo de muestras de madera son de forma irregular o con superficie rugosa (ASTM D 2395-02, 2002). Las probetas se acomodan en un recipiente posteriormente se agrega agua suficiente para que todas las muestras queden sumergidas por 7 días y así obtener el contenido de humedad homogénea entre las probetas (Valencia y Vargas, 1997). Señalan que para el cálculo del volumen en verde en una balanza analítica se coloca un contenedor de vidrio con agua suficiente para poder sumergir las muestras, al realizar este paso se tara la balanza para evitar errores al momento de pesar el producto; con la ayuda de una aguja de disección se sumergen las probetas una por una en el contenedor sin tocar las paredes ni el fondo y hacer la lectura de la báscula de manera inmediata, tomando en cuenta que la lectura es en gramos lo que es igual al volumen en  $\text{cm}^3$

de cada muestra (Spavento y Keil, 2008). El peso anhidro se obtiene de la misma manera que en el método empírico y por último se calcula la densidad básica.

#### Variación de la densidad de la madera en el eje axial

Desde el punto de vista de Klepac (1983) en un estudio que realizó sobre el crecimiento e incremento de árboles y bosques describe que a medida que una especie vegetal crece también sus dimensiones cambian como la altura, el diámetro y el volumen. Es probable que esto se deba a que los árboles estén relacionados directamente con el ambiente (Tzab, 2002).

Dentro del tallo se presentan tres zonas de crecimiento: el cambium primario, cambium secundario y los meristemos terminales; este crecimiento se presenta en varias fases: división, crecimiento, diferenciación y maduración de la célula y como efecto se tiene el incremento en altura y diámetro del fuste; durante el crecimiento del individuo, el incremento en todas las partes del árbol no es igual debido a que el crecimiento en diámetro es más lento a comparación del crecimiento en altura (Klepac, 1983).

Así como existe la variación en altura y diámetro dentro del mismo árbol también existe variación en la densidad de la madera en altura o en sentido axial, esto se debe a que la parte distal o de la copa del árbol está compuesta por madera nueva que puede ser de uno o dos años atrás o bien del presente año, mientras que en la parte basal del tallo la cantidad de madera nueva es muy bajo, ya que existe madera vieja que esta desde su germinación (Fearnside, 1997). Como lo afirman Silva y Návar (2012) en una investigación que realizaron encontraron que en algunas especies de *Pinus* la densidad básica se reduce a medida que aumenta la altura del árbol. Yin *et al.* (1996) señalan que esto se debe a las condiciones del ambiente, que tienes relación directa con la tasa de crecimiento de los anillos, lo que hace que

exista una disminución de la cantidad de madera tardía que tiene como efecto el decremento en la densidad básica de la madera.

#### Variación de la densidad de la madera en el eje radial

Así como existe variación en la densidad de la madera en el eje axial, también existe variación en el eje radial, diversos estudios demuestran que se han encontrado diferencias significativas en las muestras de madera en el plano radial colectadas en diferentes posiciones. García (2005) afirma que generalmente la densidad de la madera aumenta de la médula hacia la corteza del árbol. Similar a lo reportado para *Abies religiosa* Kunth Schltl. et Cham (Goche, 2001), *Pinus taeda* L. (Von, 2007) y *Pinus montezumae* Lamb. (Gutiérrez, 2007).

#### 2.1.2 Higrocontracción volumétrica ( $\beta_V$ )

La higrocontracción volumétrica es la disminución de las dimensiones de una probeta o muestra de madera causada por la reducción del contenido de humedad esto a partir del punto de saturación de fibra (ASTM D 9-87, 1999). La higrocontracción en la madera es inherente como material celulósico debido a la reducción del tamaño en las paredes de las fibras; cuando se habla de reducción dimensional se refiere al eje radial, tangencial y/o longitudinal a esto se le conoce como higrocontracción lineal y cuando se trata de una reducción de un determinado volumen se le llama higrocontracción volumétrica, ya sea lineal o volumétrica los valores se expresan en porcentajes (Guzmán, 1973). La importancia de conocer la variación de la humedad en la madera se debe a que hay cambios de peso y volumen que puede repercutir en los costos de transporte, en las deformaciones de la madera, en la inmunización y en el pintado por lo que puede provocar pérdidas para su uso final (León y Millán, 1985). O bien obtener un mejor aprovechamiento

racional de la madera y así adquirir un mayor valor agregado en la calidad del producto (Suirezs y Berger, 2009).

### 2.1.3 Punto de Saturación de la Fibra (PSF)

Fuentes (2001) menciona la importancia de conocer los rangos de contenido de humedad en la madera, ya que éste trae cambios tanto en sus dimensiones como en su peso, lo que puede provocar rajaduras, grietas y deformaciones. Por ello es importante conocer el punto de saturación de la fibra (PSF) que es un estado de saturación en donde hay ausencia de agua libre y el agua sólo se encuentra saturando en las fibras o las paredes celulares (Spavento, 2008).

León y Millán (1985) señalan que el punto de saturación de la fibra oscila entre el 0 hasta el 30% que sería el agua fija conservada en la pared celular y del 30% hasta el total de su saturación el agua se encuentra de manera libre, de igual manera dichos autores mencionan que pueden existir ciertas variantes en las especies pero destacan que el valor de 30% es una buena aproximación para cualquier especie de madera y esto lo confirma Fuentes (1995) quien señala que el punto de saturación de la fibra para coníferas fluctúa entre 26 y 28 %, mientras que para las latifoliadas se encuentran entre 32 y 35%, por lo tanto para fines prácticos se toma el promedio de 30%.

## **2.2 *Pinus greggii* Engelm.**

### 2.2.1 Distribución y hábitat

El área de distribución geográfica de la especie comprende de los 20°00' hasta los 25°40' latitud norte y 97° 40' hasta los 101°20' de longitud oeste (Aguilera, 2001).

Se distribuye en rodales pequeños a lo largo de la Sierra Madre Oriental en el centro y Norte de México (Hernández *et al.*, 2007).

Ramírez *et al.* (2005) deduce que por el sentido latitudinal es posible que se encuentren dos áreas en la distribución natural de *Pinus greggii* Engelm, esto debido a la discontinuidad geográfica que se presenta entre los 21°30' y 24°30' de latitud norte; en la parte norte del país incluye nueve poblaciones naturales conocidas de la variedad *greggii* en los estados de Coahuila y Nuevo León, mientras que en la región sur existen once poblaciones conocidas de la variedad *australis* en los estados de San Luis Potosí, Veracruz, Querétaro, Hidalgo y Puebla. En la porción norte se encuentra en altitudes de 2,130 a 2,613 msnm, mientras que en el centro del país se encuentran en altitudes que van de 1,300 a 2,350.

De acuerdo con Aguilera (2001) *Pinus greggii* Engelm se desarrolla en suelos que son de origen volcánico y se encuentran entre las mesetas altas y pendientes bajas de las montañas, de igual manera se pueden encontrar en sitios áridos o secos. Los suelos son de color café rojizo textura migajón areno-arcillosas, pedregoso, calizo y normalmente pobre en materia orgánica, con pH de 7.0 a 8.0 (Rodríguez *et al.*, 2012).

El tipo de vegetación donde se distribuye esta especie pertenece a bosques de pino y pino-encino, de forma natural se encuentra asociado con *P. patula* Schl. et Cham., *P. teocote* Schlecht. & Cham., *P. cembroides* Zucc, *P. pseudostrobus* Lindl. y *P. arizonica* Engelm. (Vázquez, 2018). También se encuentran asociadas algunas latifoliadas como *Quercus spp.* (Rzedowski, 2006).

## 2.3 Importancia económica de la especie

La madera de *Pinus greggii* Engelm por lo general se destina al aserrío, se utiliza para durmientes, pilotes para minas, vigas y postes para cercas, muebles y leña (Aguilera, 2001).

### 2.3.1 Área de oportunidad de plantaciones forestales comerciales

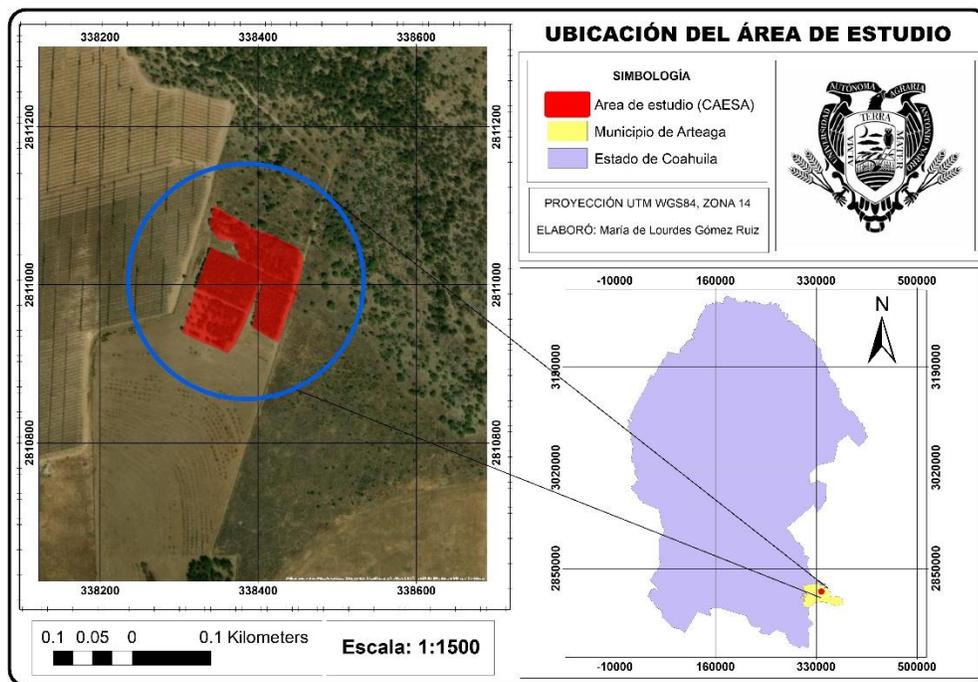
En México la actividad forestal tiene dos retos muy importantes: aumentar la producción de bienes y servicios que provienen de los bosques y al mismo tiempo detener la deforestación (Aguirre, 2015), una solución viable para estos dos retos es el establecimiento de plantaciones forestales ya que permitiría la restauración de la cobertura arbórea e incrementaría la producción maderable más de lo que se puede obtener en los bosques naturales (Musálem, 2006). Muñoz *et al.* (2011) Mencionan que *Pinus greggii* Engelm es propicio para el establecimiento y desarrollo de la misma ya que el presente estudio se realizó en dos pendientes una de 0-15 % para plantaciones mecanizadas y el otro de 15-30 % para las no mecanizadas encontrando así una superficie total de 253,623 ha con potencial para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales de *Pinus greggii* Engelm.

Otros estudios que realizaron López *et al.* (1999) y Azamar *et al.* (2000) sobre ensayos de plantaciones, *Pinus greggii* Engelm refleja altas tasas de crecimiento tanto en altura como en su diámetro. Por lo cual recomiendan su uso en programas de plantaciones forestales, en reforestaciones, programas de protección y áreas degradadas; con base al programa Nacional de reforestación, *Pinus greggii* Engelm ocupa el cuarto lugar de importancia en plantaciones forestales (Ramírez *et al.*, 2005). Otros beneficios que se han encontrado de *Pinus greggii* Engelm es la producción de árboles de navidad ya que presentan una mayor demanda junto con otras especies (Padilla, 2017).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación de área de estudio

El área experimental se encuentra ubicada en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga (CAESA) que pertenece a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, se encuentra entre los 25°24'26.10" latitud norte y 100°36'23.91" longitud oeste a 45 km aproximadamente de Saltillo, Coah. (Cornejo *et al.*, 2009) (Figura 1).



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio de *Pinus greggii* Engelm. en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah.

## **3.2 Descripción de área de estudio**

### **3.2.1 Fisiografía**

El área de estudio se localiza dentro de la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental y subprovincia Gran Sierra Plegada (INEGI, 2010). La Sierra Madre Oriental es una cordillera cuyo relieve se debe a la deformación de rocas mesozoicas y de su complejo basal, que fueron levantados, comprimidos y transportados hacia el noreste, formando pliegues y cabalgaduras durante la orogenia Laramide (Eguiluz *et al.*, 2000).

### **3.2.2 Hidrología**

El área de estudio se encuentra dentro de la región hidrológica RH24 Bravo – Conchos y la cuenca B Rio Bravo –San Juan y la subcuenca RH24Be Rio San Miguel. (INEGI, 2021). Están presentes dos arroyos intermitentes uno en la parte norte y otro en la parte oeste, que nacen en la parte alta de la Sierra Rancho Nuevo (INEGI, 2000).

### **3.2.3 Geología**

La geología del área de interés está conformada por rocas tipo caliza perteneciente a la era geológica mesozoica de la clase sedimentaria (INEGI, 2010). La roca caliza también se le conoce como carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) ya que contiene un alto porcentaje de calcita, de materiales tríticos, como cuarzo y arcilla. El origen de la piedra caliza puede ser químico, bioquímico, mecánico u orgánico (Zemanate y Zapata, 2015).

### 3.2.4 Suelo

El tipo de suelo que se encuentra presente en el área de estudio es el feozem calcárico con una clase textural media y gravosa en su fase física. (INEGI, 2010).

### 3.2.5 Clima

De acuerdo con el conjunto de datos vectoriales del Continuo Nacional de Efectos Climáticos Regionales escala 1: 250,000, en formato digital INEGI (2010), se determinó que el clima presente en el área de estudio es de tipo templado subhúmedo con la clave Cx'. Tomando en cuenta la estación climatológica Jamé de CONAGUA (2010) señala que el clima es templado con verano fresco y largo, con una temperatura media anual de 12.4 °C; la temperatura media del mes más frío es de 8.2 °C que corresponde al mes de enero y la del mes más caliente es de 16.2 °C en el mes de junio; la precipitación media anual es de 410.7 mm; los meses con mayor precipitación son de junio a septiembre y los meses más secos son diciembre y enero, siendo agosto el mes más lluvioso.

### 3.2.6 Vegetación

En el área de estudio se encuentra el tipo de vegetación: agricultura de temporal (INEGI 2010). La agricultura de temporal es un sistema de producción que está sujeto a la temporada de la lluvia y a la capacidad que tiene el suelo para conservar la humedad y captar el agua y con esto garantizar el ciclo de producción que requiere el cultivo (Martínez 2011).

### 3.3 Trabajo de campo

#### 3.3.1 Selección de árboles

En 2020 se realizó el tercer aclareo en la plantación de *Pinus greggii* Engelm establecida hace 29 años en el CAESA. Con base en dicho aclareo se seleccionaron 18 árboles para obtener muestras de madera a tres alturas, tales como: a nivel del tocón o base, a 1.30 m o al diámetro normal y a la altura del fuste limpio.

#### 3.3.2 Derribo y troceo de árboles

Para el derribo de los árboles se utilizó la técnica de derribo direccional, esto para evitar lo mayor posible los impactos a los otros individuos cercanos. El derribo se realizó con una motosierra marca Husqvarna 450 X-Torq a la altura de la base, una vez derribado, cada árbol se marcó en tres alturas diferentes: base a 0.30, diámetro normal a 1.30 y a la primera rama del fuste o diámetro del fuste limpio como se le conoce. Posteriormente, se hizo el desrame y con las marcas previamente señaladas se seccionaron las trozas. Se obtuvieron tres muestras por cada árbol, una por cada altura. Se anotaron los datos de identificación con marcadores indelebles en la parte transversal de las trozas. Los datos comprendieron el número de árbol, la altura del corte y la posición (norte - sur). Las muestras se guardaron ordenadamente en un costal para su traslado al Laboratorio de Ingeniería Forestal del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Con la ayuda de la motosierra se cortó una rodaja de 5 cm en promedio de grosor por cada troza, esto con la finalidad de facilitar la elaboración de las probetas. En cada una de las rodajas se marcaron los datos de identificación (Figura 2). Posteriormente todas las rodajas se marcaron dos líneas paralelas en dirección norte sur, delimitando así la parte central de las mismas.

### **3.4 Trabajo de laboratorio**

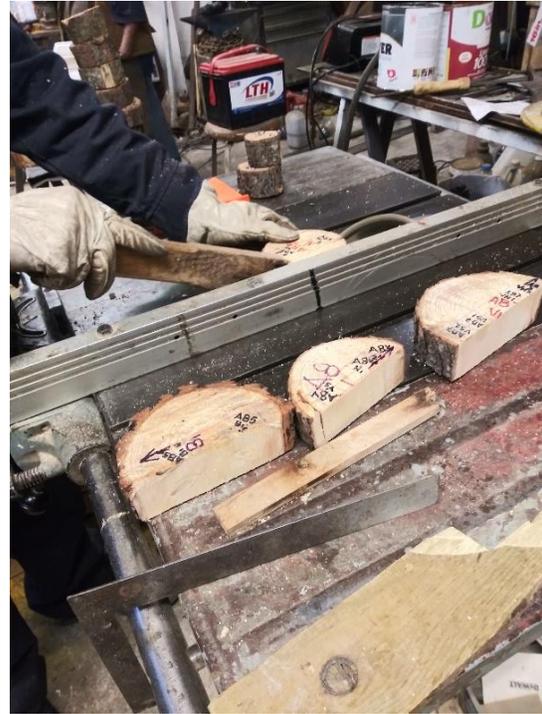
#### **3.4.1 Elaboración y acondicionamiento de probetas**

Mediante una sierra de banco se seccionaron las rodajas obteniendo secciones transversales alineadas norte-sur (Figura 3). En esta etapa se dio especial cuidado al marcar cada muestra para la obtención de las probetas definitivas y facilitar su identificación en la etapa de laboratorio.

Para la obtención de las probetas de laboratorio, se pulieron ambas caras de las secciones transversales con lijadora eléctrica de banda con lijas de 9 pulgadas de ancho, esto con la finalidad de facilitar la identificación de los anillos de crecimiento. Para fines del presente estudio se determinaron nueve anillos de crecimiento. Dichos anillos se contaron de la periferia hacia la médula del árbol, en ambos lados de todas las muestras y a las tres alturas obtenidas (base, diámetro normal y fuste limpio). Una vez realizado esto, los nueve anillos fueron separados del resto hacia la médula, de tal forma que se obtuvieron cuatro probetas por sección transversal, dos de la periferia (grupo de nueve anillos) y dos centrales, esto para las tres alturas. Se mantuvo la identificación de cada probeta de acuerdo a su procedencia: número de árbol, altura de corte, posición (periferia y centro norte o sur). Por cada árbol se obtuvieron 12 probetas de dimensiones irregulares. (Figura 4).



**Figura 2.** Preparación de rodajas para obtener las muestras.



**Figura 3.** Mesa de corte para seccionar las muestras.



**Figura 4.** Probetas seccionadas con sus datos de identificación

### 3.4.2 Cálculo de la densidad básica

Para la estimación de la densidad básica, se utilizó el método de inmersión en agua de acuerdo a la norma ASTM D 2395-02 (2002), ya que sostiene que este procedimiento se adapta especialmente para las probetas con forma irregular o con superficie rugosa.

De acuerdo al procedimiento y para homogenizar el contenido de humedad en todas las probetas, éstas se sumergieron en agua durante tres días garantizando el máximo contenido de humedad en todas las piezas. Posteriormente, se determinó el volumen verde utilizando el método mencionado lo cual se hizo en una balanza analítica marca Electronic Balance, modelo SPX421. Para ello la muestra se colocó en un vaso de precipitado con agua destilada sobre la balanza, con la ayuda de una aguja de disección recta y un soporte universal se hizo la inmersión de cada probeta. Se procuró no tocar el fondo ni las paredes del vaso para no alterar la lectura de la masa del agua desplazada lo que corresponde al volumen de la muestra expresado en  $\text{cm}^3$  (Figura 5), con base en la norma ASTM D 2395-02 (2002).

Después de la estimación del volumen verde, todas las probetas se colocaron en una estufa de secado a  $100\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$  hasta alcanzar el peso constante. Una vez secas, las probetas se colocaron en un desecador durante su enfriamiento evitando así que las probetas absorbieran humedad del ambiente (Figura 6). Mediante una balanza analítica se obtuvo, el peso anhidro de las probetas.

Con los datos de volumen en verde y del peso anhidro se calculó la densidad básica de la madera con la siguiente fórmula presentada por (Kollman, 1959):

$$D_b = P_o / V_v$$

Donde:

$D_b$  = densidad básica ( $\text{g cm}^{-3}$ )

$P_o$  = peso anhidro (g)

$V_v$  = volumen verde ( $\text{cm}^{-3}$ )



**Figura 5.** Obtención del volumen verde de las probetas.



**Figura 6.** Enfriamiento de las probetas en un desecador.

### 3.4.3 Cálculo de la higocontracción volumétrica

Para el cálculo de la higocontracción volumétrica se utilizó la fórmula de Fuentes *et al.* (2002) modificada por Sotomayor y Ramírez (2014).

$$\beta V = \left( \frac{V_{sat} - V_{seco}}{V_{sat}} \right) * 100$$

Donde:

$\beta V$  = Higocontracción volumétrica (%)

$V_{sat}$  = Volumen en estado saturado ( $m^{-3}$ )

$V_{seco}$  = Volumen en estado seco ( $m^{-3}$ )

El cálculo del volumen en estado saturado o verde se realizó anteriormente en la determinación de la densidad básica y para obtener el volumen en estado seco, todas las probetas se colocaron en una estufa de secado a  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$  hasta alcanzar el peso constante, una vez secas se colocaron en un desecador para su enfriamiento evitando así que las probetas absorbieran humedad; sobre una balanza analítica marca Electronic Balance, modelo SPX421 se colocó un vaso de precipitado con agua destilada y con el apoyo de un soporte universal y una aguja de disección recta se realizó la inmersión de cada pieza de madera, procurando hacerlo en el menor tiempo posible y evitando tocar las paredes o el fondo del vaso para un menor error en la lectura que pertenece al volumen de la muestra en seco expresado en  $cm^{-3}$ .

Con los datos del volumen verde y del volumen seco se procedió a calcular la higocontracción volumétrica con la fórmula ya antes mencionada.

#### 3.4.4 Cálculo del punto de saturación de fibra

El punto de saturación de fibra se determinó con la fórmula propuesta por Fuentes (2001).

$$PSF = \beta V_t / (0.9 * D_b)$$

Donde:

PSF = Punto de saturación de fibra (%)

$\beta V_t$  = Higocontracción volumétrica total

$D_b$  = Densidad básica

### 3.5 Criterios de clasificación de la densidad básica, la higrócontracción volumétrica y el punto de saturación de la fibra

Se realizó la clasificación de las propiedades físicas de la madera estudiadas con base en la metodología propuesta por Sotomayor y Ramírez (2013), para la densidad básica y las características higroscópicas de maderas mexicanas. Para lo cual se consideró la media aritmética y la desviación estándar desde una distribución normal (Cuadro 1).

En el anexo 4, se presenta una tabla con 251 datos de 135 especies en total, incluyendo el del presente estudio de *Pinus greggii* Engelm y con base en esos datos se clasificaron las variables de densidad básica, higrócontracción volumétrica y el punto de saturación de la fibra de este estudio, se hace mención que en las gráficas, en el eje de las “y” es la variable a clasificar y en el eje de las “x” son los 251 datos para poder generar la dispersión.

**Cuadro 1. Criterios de clasificación de acuerdo a una distribución normal**

Criterio	Símbolo	Intervalo
Muy bajo	MB	$< \bar{X} - \sigma$
Bajo	BA	$\bar{X} - \frac{\sigma}{2}$ y $\bar{X} - \sigma$
Medio	ME	$\bar{X} - \frac{\sigma}{2}$ y $\bar{X} + \frac{\sigma}{2}$
Alto	AL	$\bar{X} + \frac{\sigma}{2}$ y $\bar{X} + \sigma$
Muy alto	MA	$> \bar{X} + \sigma$

Fuente. Sotomayor y Ramírez, 2013. Densidad y características higroscópicas de maderas mexicanas.

### 3.6 Análisis estadístico

Los resultados que se obtuvieron del cálculo de la densidad básica, de la higrócontracción volumétrica y el punto de saturación de la fibra se concentraron en una hoja de cálculo del programa Excel, que incluyó los datos de identificación (número de árbol, altura de corte, posición). Posteriormente, estos valores se procesaron en el paquete estadístico Statistical Analysis System, versión 9.0 (SAS). Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorio.

El primer procedimiento que se ejecutó en el programa SAS fue PROC VARCOMP que permite realizar un análisis de componentes de varianza para conocer dónde está la máxima variabilidad que puede atribuirse, ya sea al árbol, al eje axial o bien al eje radial.

Una vez que se determinó la máxima variabilidad la cual fue atribuida al árbol, se sometieron los datos a una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Flores *et al.* (2019) recomiendan su uso por ser la prueba con mayor potencia. Para la densidad de la madera y la higrócontracción volumétrica se transformaron con la función inversa y el punto de saturación de la fibra con el logaritmo natural cumpliendo así con el supuesto de normalidad.

Posteriormente, se realizó un análisis de varianza con el procedimiento PROC GLM para cada una de las variables  $Db$ ,  $\beta V$ , PSF. Las alturas de donde se determinaron dichas variables además la posición, centro y periferia, fueron las fuentes de variación.

El modelo estadístico que se utilizó para la evaluación en altura corresponde al diseño completamente aleatorio

$$Y_{ij} = \mu + A_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Observación de la *i-ésima* altura del *j-ésimo* árbol;

$\mu$  = Media general del experimento;

$A_i$  = Efecto de la *i-ésima* altura;

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental (efecto de la interacción entre la *i-ésima* altura y el *j-ésimo* árbol).

Este mismo modelo se utilizó para descartar la influencia de la variación radial en la variación axial, por lo que se analizaron, adicionalmente, por separado las muestras provenientes de los últimos nueve anillos cercanos a la corteza (periferia) y de los anillos cercanos a la médula (centro).

Cuando se encontraron diferencias entre las fuentes de variación al alfa de 0.05, se hizo una comparación de medias de Tukey.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Propiedades físicas de la madera de *Pinus greggii* Engelm. y su clasificación

El valor promedio de la densidad básica de todas las muestras de madera de *Pinus greggii* Engelm. de la plantación del CAESA fue de 0.42 g cm<sup>-3</sup> (Cuadro 2). Con base a la clasificación de Sotomayor y Ramírez (2013), la madera se clasifica con una densidad básica muy baja (Figura 7A).

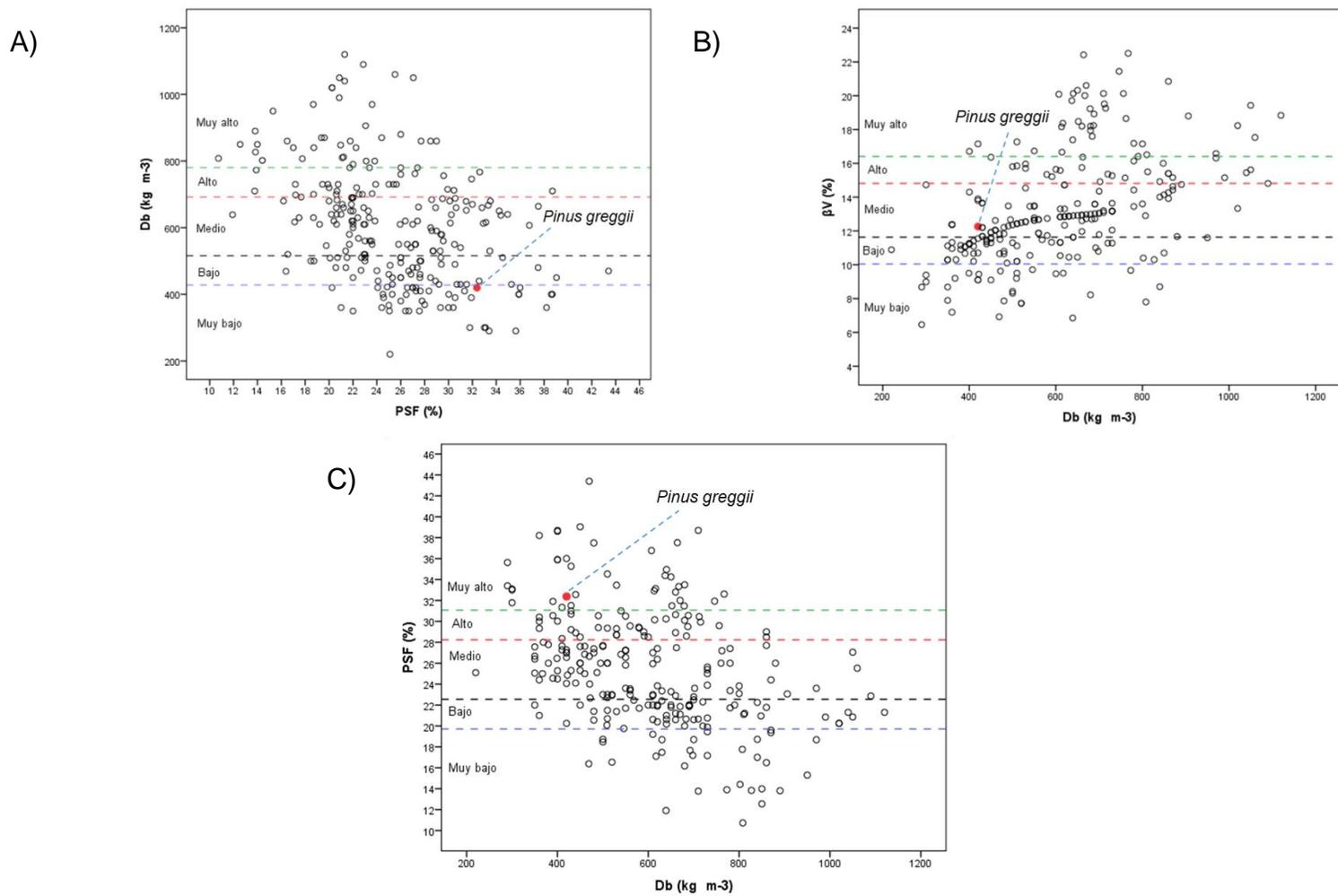
**Cuadro 2. Datos estadísticos para las variables de densidad básica, higocontracción volumétrica y punto de saturación de la fibra de una plantación de 29 años de *Pinus greggii* Engelm; en el CAESA, Arteaga, Coah.**

Variable	n	Media	Valor mínimo	Valor máximo	S $\bar{x}$	CV (%)
Db (g cm <sup>-3</sup> )	202	0.42	0.33	0.58	0.003	10.65
$\beta$ V (%)	198	12.26	7.44	22.07	0.18	21.07
PSF (%)	198	32.38	15.69	56.80	0.50	21.73

Db= Densidad básica,  $\beta$ v=higocontracción volumétrica, PSF= Punto de saturación de fibra n= número de observaciones, S $\bar{x}$ = Error Estándar, C.V.= Coeficiente de Variación

La densidad de la madera en cada grupo vegetal es única, ya que depende de las condiciones climáticas que predominan en la región (Navarro 2005). Por eso mismo el valor promedio reportado en este estudio fue menor al reportado por López y Valencia (2001) en su estudio sobre la densidad relativa en poblaciones naturales de *Pinus greggii* Engelm en el norte de México con una media de 0.47 g cm<sup>-3</sup>. Alba *et al.* (2005) en un ensayo genético establecido en Coatepec Veracruz de *Pinus greggii* Engelm donde la media de las tres procedencias fue de 0.36 g cm<sup>-3</sup>.

La higocontracción volumétrica presentó una media de 12.26 %,  $\pm$ 0.18 de error estándar (Cuadro 2). Sotomayor y Ramírez (2013) clasifican a la madera de *Pinus greggii* Engelm con una higocontracción media (Figura 7B).



**Figura 7.** Distribución de valores e intervalos de clasificación para las variables A): Db, B):  $\beta V$  y C): PSF, de *Pinus greggii* Engelm. de una plantación de 29 años en el CAESA, Arteaga, Coah. con base a la metodología propuesta por Sotomayor y Ramírez (2013).

Muñoz y Moreno (2013) y Sotomayor (2016) afirman que la higocontracción volumétrica está en función de la densidad básica. De acuerdo a la media en este presente estudio, es similar a lo encontrado por García (2005) en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm con un promedio de 12.02%. Riesco y Díaz (2007) en su estudio de tres especies de pino en el Noroeste de España, los autores reportan medias de 13.8 % para *Pinus pinaster* Aiton, 10.7 % para *Pinus radiata* D. Don y 12.3 % para *Pinus sylvestris* L. esos valores se clasifican como una higocontracción volumétrica de tipo medio para esas especies de pino.

Por último, el valor promedio para el punto de saturación de la fibra con 32.38% y  $\pm 0.50$  fue de (Cuadro 2). La madera se clasifica con un PSF muy alto de acuerdo a la clasificación de (Sotomayor y Ramírez, 2013).

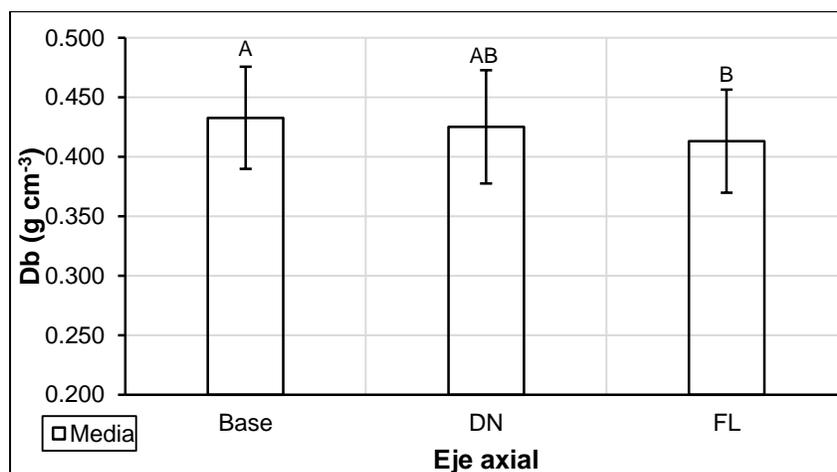
Fuentes (2001) menciona la importancia de conocer los rangos de contenido de humedad en la madera, ya que este trae cambios tanto en sus dimensiones como en su peso. El valor obtenido en el presente trabajo es mucho mayor a lo que reporta Sotomayor *et al.* (2010) con medias de 28, 25 y 24 % para *Pinus michoacana* Lindley, *Pinus douglasiana* Martínez y *Pinus pringlei* Shaw, respectivamente.

## 4.2 Densidad básica

### 4.2.1 Densidad básica en el eje axial

El análisis de varianza encontró diferencias significativas ( $p = 0.027$ ) en el eje axial con respecto a la densidad básica de la madera de *Pinus greggii* Engelm., de la plantación de 29 años en el CAESA. La prueba de medias de Tukey entre las tres alturas, encontró que la densidad básica de la madera disminuye de la base  $\bar{X} = 0.433 \text{ g cm}^{-3}$  hacia el fuste limpio  $\bar{X} = 0.413 \text{ g cm}^{-3}$  (Figura 8).

Dichos resultados pueden deberse a que la madera está influenciado por diversos factores del ambiente o bien se encuentran fuertemente relacionados con la velocidad de crecimiento (Tzab, 2002). Aunado a esto Gutiérrez y Flores (2019) reportan diferencias significativas para *Pinus oocarpa* Shiede en Chiapas en tres rodales semilleros, en todas presentaron diferencias de forma descendente de la base hacia el ápice del árbol que va de  $0.586$  a  $0.423 \text{ g cm}^{-3}$ . De igual manera Von (2007) encontró mayor densidad a la altura de la base en una plantación de *Pinus taeda* L. y conforme aumentaba la altura, la densidad disminuía.



**Figura 8.** Comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) en los tres diferentes niveles del eje axial de la madera de *Pinus greggii* Engelm. de una plantación de 29 años en el CAESA, Arteaga, Coah.

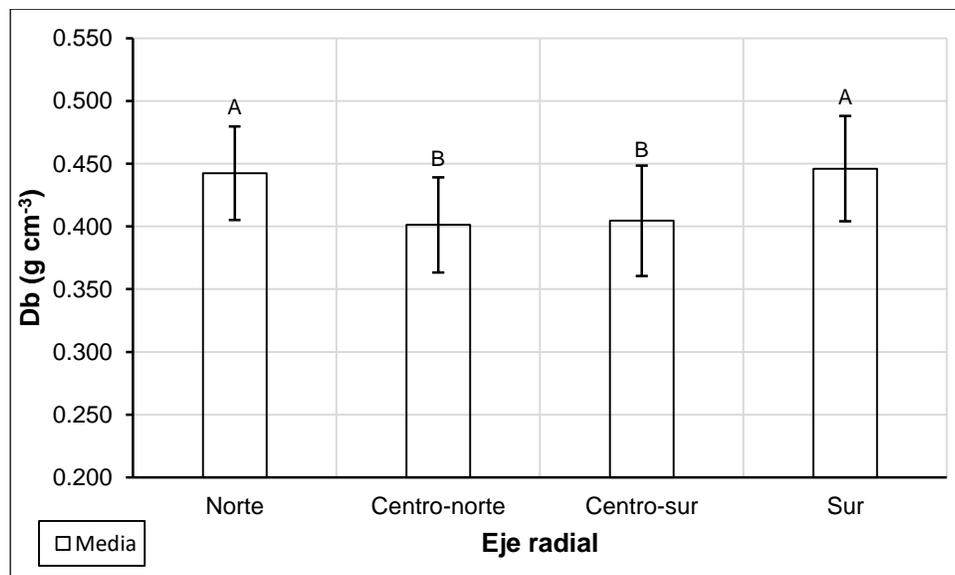
DN= Diámetro normal, FL= Fuste limpio.

\*Letras iguales=estadísticamente iguales.

#### 4.2.2 Densidad básica en eje radial

La densidad básica en el eje radial presentó diferencias altamente significativas ( $p = 0.0001$ ). En la comparación de medias de Tukey se encontró diferencias en el grupo de muestras cercanas a la corteza (periferia) con respecto al grupo de muestras cercanas a la médula (centro) aumentando del centro con una  $\bar{X} = 0.402 \text{ g cm}^{-3}$  hacia la periferia  $\bar{X} = 0.444 \text{ g cm}^{-3}$  (Figura 9).

El incremento en todas las partes del árbol no es igual debido a que el crecimiento en diámetro es más lento a comparación del crecimiento en altura (Klepac, 1983). Hernández (2007) reporta que no encontró diferencias ( $P > 0.16$ ) en las secciones dentro de los árboles de *Pinus herrerae* Martínez en su distribución natural; sin embargo, diversos autores confirman que la densidad básica sigue una variación continua y positiva que aumenta del centro hacia la corteza del árbol, tal es el caso de *Pinus taeda* L. (Goche, 2001), *Pinus montezumae* Lamb. (Gutierrez, 2007) *Pinus taeda* L. (Von, 2007) y *Abies religiosa* Kunth Schltdl. et Cham. (Figuroa, 2007).



**Figura 9.** Comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) en el eje radial de la madera de *Pinus greggii* Engelm. de una plantación de 29 años en el CAESA, Arteaga, Coah.

\*Letras iguales=estadísticamente iguales.

#### 4.2.3 Densidad básica para cada altura con respecto al grupo de muestras de la periferia

De manera general, la densidad básica de la madera de *Pinus greggii* Engelm presentó diferencias significativas en el eje axial y radial, por lo que se realizó otro análisis de varianza para ver donde se encontraba la posible variación significativa, que puede ser atribuida al grupo de muestras de la periferia o al grupo de muestras del centro.

Las muestras de la periferia no presentaron diferencias ( $p > 0.18$ ) para los tres diferentes niveles del eje axial.

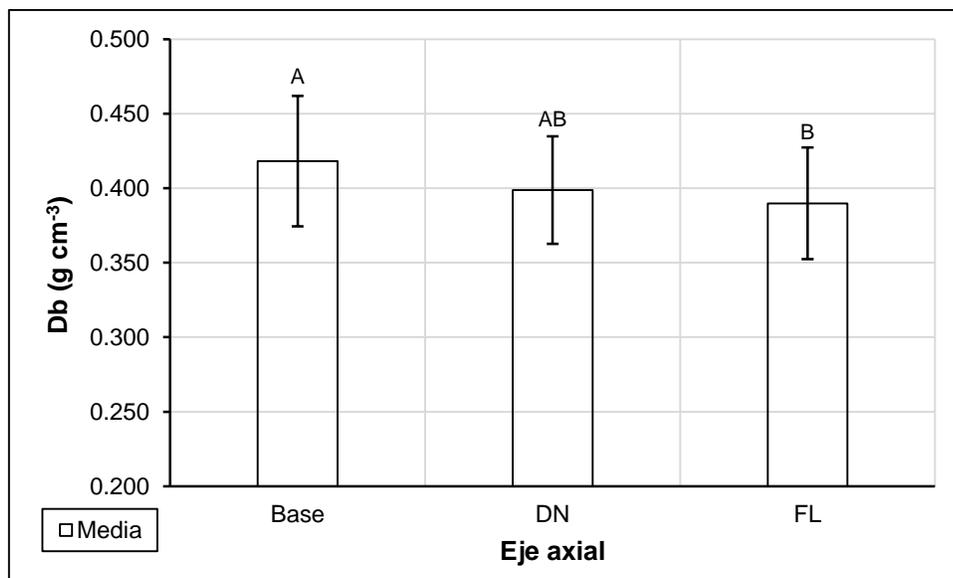
Cabe mencionar que existen muy pocos estudios donde se hace la comparación en el eje axial con respecto al eje radial para la densidad de la madera. Silva y Navar (2012) estudiaron la relación de la densidad básica en diferentes alturas con respecto a la albura de las especies del género *Pinus* (*P. leiophylla* Schl. & Cham, *P. cooperi* Blanco, *P. teocote* Schiede ex Schltdl, *P. engelmannii* Carr, *P. durangensis* Ehren y *P. arizonica* Engelm) encontrando una diferencia significativa ( $p = 0.0001$ ), en la cual se refleja mayor densidad a 1.30 m con una  $\bar{X} = 0.493 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  comparando con una altura de 11.7 m donde la densidad tiende a ser menor ( $\bar{X} = 0.493 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ).

Por otra parte en otros estudios también se han encontrado diferencias significativas en el eje axial, tal como el caso de *Pinus estevezii* Martínez (López 2004), *Pinus taeda* L. (Von, 2007) y para *Pinus oocarpa* Shiede (Flores, 2019). Haciendo hincapié que estos estudios no están relacionados con el eje radial.

#### 4.2.4 Densidad básica para cada altura con respecto al grupo de muestras del centro

Para este grupo de muestras se encontró diferencias altamente significativas ( $p = 0.0088$ ). La comparación de medias de Tukey arrojó que la diferencia fue entre la media de la base ( $\bar{X} = 0.418 \text{ g cm}^{-3}$ ) y a la altura del fuste limpio con  $\bar{X} = 0.390 \text{ g cm}^{-3}$  (Figura 10).

Esta diferencia se le puede atribuir a que las muestras del centro no son de la misma época de crecimiento razón por la cual no se encuentra la misma madera en todas las alturas estudiadas. Así pues Silva y Navar (2012) reportan diferencias altamente significativas ( $p = 0.0001$ ) en la densidad básica del duramen con relación a las diferentes alturas del género *Pinus*, donde a medida que el árbol aumenta en altura la densidad básica disminuye, similar a lo reportado en esta investigación.



**Figura 10.** Medias de la densidad básica del grupo de muestras del centro de la madera de *Pinus greggii* Engelm. de una plantación de 29 años en el CAESA, Arteaga, Coah.

DN= Diámetro normal FL= Fuste limpio.

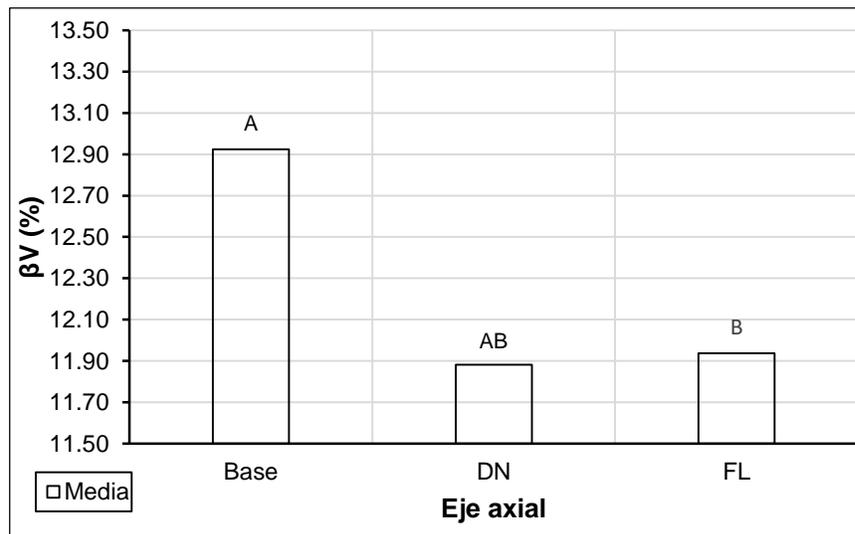
\*Letras iguales=estadísticamente iguales.

### 4.3 Higocontracción volumétrica

#### 4.3.1 Higocontracción volumétrica en el eje axial

La higocontracción volumétrica en el eje axial presentó diferencias significativas ( $p = 0.0109$ ); la comparación de medias de Tukey indicó que la higocontracción volumétrica en la base del árbol tuvo un valor más alto que a la altura del fuste limpio con un valor de 12.92 al 11.94 % (Figura 11).

Conocer la variación de la humedad en la madera se puede tener un mejor aprovechamiento y por ende adquirir un mayor valor agregado en la calidad del producto final de la madera (Suirezs y Berger, 2009). De acuerdo con Goche *et al.* (2001) reportan que para la media de *Pinus ayacahuite* Ehren aumenta hasta un tercio de la altura total del árbol, posteriormente, disminuye en el resto de la altura del fuste, esto concuerda con lo reportado por Schönfelder *et al.* (2018) de *Pinus sylvestris* Linnaeus en Republica Checa donde evaluaron dos rodales diferentes, en el primer rodal con 13.9 % en la base del árbol, disminuyendo hacia la sección del medio con 12.5 % y para el segundo rodal de 13.1 a 11.48 % respectivamente.



**Figura 11.** Comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) en los tres diferentes niveles del eje axial de la madera de *Pinus greggii* Engelm. de una plantación de 29 años en el CAESA, Arteaga, Coah.

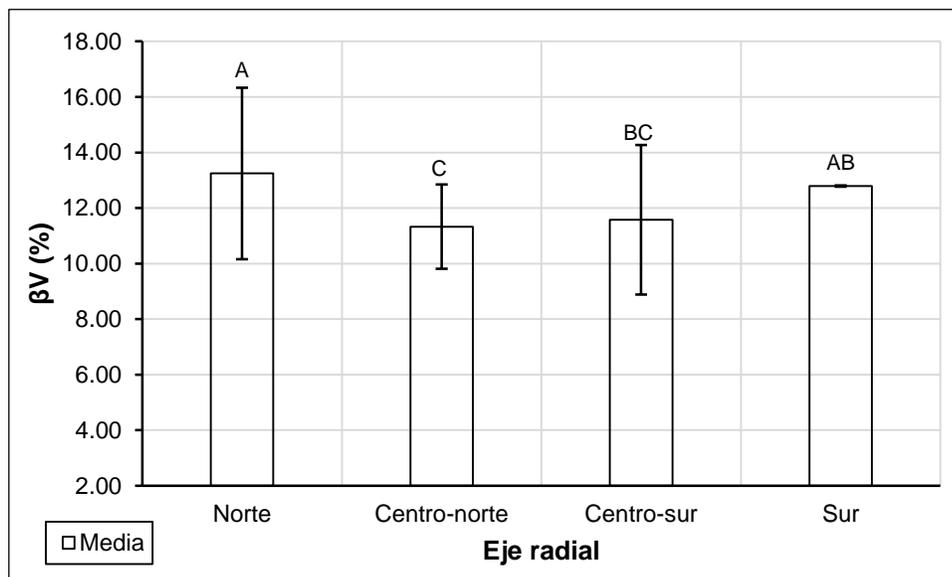
DN= Diámetro normal, FL= Fuste limpio

\*Letras iguales=estadísticamente iguales.

#### 4.3.2 Higocontracción volumétrica en el eje radial

En la variación radial con base al grupo de muestras del centro se encontraron diferencias altamente significativas ( $p=0.0002$ ) con respecto al grupo de muestras de la periferia. La higocontracción fue mayor de la periferia que en el centro, 13 y 11.5 %, respectivamente (figura 12).

La importancia de conocer esta propiedad de la madera se debe a que hay cambios de peso y volumen que puede repercutir pérdidas en su uso (León y Millán, 1985). Goche *et al.* (2001) reportan medias de 12.59 % para *Pinus ayacahuite* Ehren y 16.33 % para *Abies religiosa* en un estudio que realizaron sobre la variación de las propiedades físicas de la madera para estos dos géneros, así mismo dichos autores deducen que las contracciones volumétricas tienden a disminuir a partir de la corteza hacia el centro o en dirección a la médula, esto coincide con lo reportado por Muller *et al.* (2017) para *Pinus Patula* Schl. et Cham en la zona escarpada de Mpumalanga en Sudáfrica.



**Figura 12.** Comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) en el eje radial de la madera de *Pinus greggii* Engelm. de una plantación de 29 años en el CAESA, Arteaga, Coah.

\*Letras iguales=estadísticamente iguales.

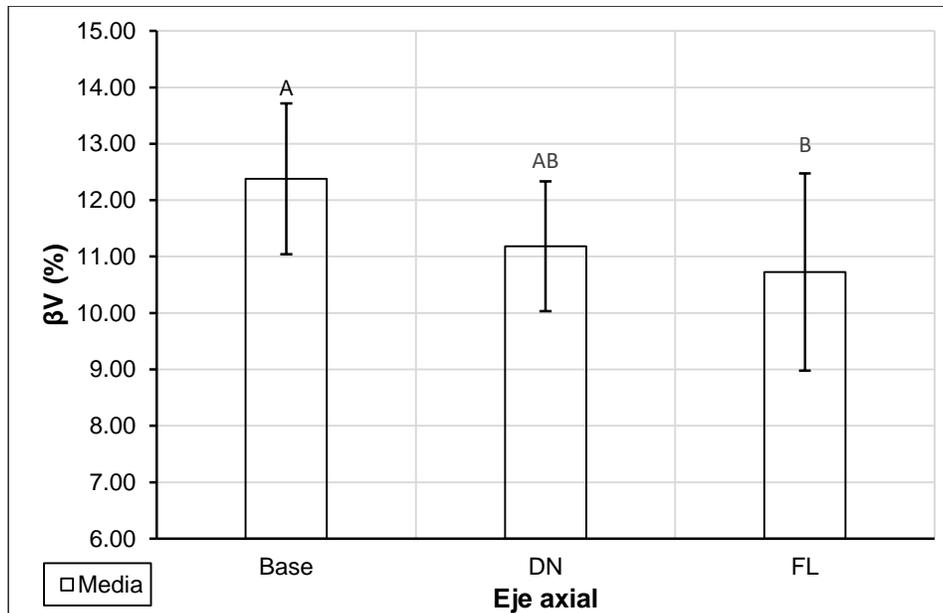
#### 4.3.3 Higocontracción volumétrica para cada altura con respecto al grupo de muestras de la periferia

En este grupo no hubo diferencias en el eje axial respecto al grupo de muestras de la periferia ( $p = 0.452$ ). Varios autores mencionan que la higocontracción volumétrica está en función de la densidad básica de la madera con el mismo patrón de comportamiento (Kiaei, 2010; Muñoz y Moreno, 2013; Sotomayor, 2016).

#### 4.3.4 Higocontracción volumétrica para cada altura con respecto al grupo de muestras del centro

La higocontracción volumétrica para este grupo de muestras si presentó diferencias altamente significativas ( $p = 0.0010$ ), en la base con 12.38 % la cual disminuye hacia el fuste limpio del árbol con 10.73 % (figura 13).

Estos valores encontrados pueden significar que la variación radial influye directamente en la variación axial o bien por la presencia de madera madura o juvenil en el fuste del árbol. Schönfelder *et al.* (2018) encontró para *Pinus sylvestris* Linnaeus una media más alta en la base del árbol que en el ápice, esto mismo reportaron Goche *et al.* (2001) de *Pinus ayacahuite* Ehren y *Abies religiosa* Kunth Schltdl. et Cham Cabe señalar que estos valores reportados por dichos autores no consideraron el efecto de la variación radial.



**Figura 13.** Medias de la higrócontracción del grupo de muestras del centro de la madera de *Pinus greggii* Engel. De una plantación de 29 años en el CAESA, Arteaga, Coah.

DN= Diámetro normal FL= Fuste limpio.

\*Letras iguales=estadísticamente iguales.

#### 4.4 Punto de saturación de la fibra

Con base al análisis de varianza para el punto de saturación de la fibra no se encontró diferencias en el eje axial ( $p = 0.3359$ ) con una  $\bar{X} = 32.38\%$  ni para el eje radial ( $p = 0.5181$ ) con la misma media de  $32.38\%$ .

De acuerdo a la literatura consultada, la información para el punto de saturación de la fibra es muy escasa, no se menciona si existe o no diferencias significativas en el eje axial ni en el eje radial, se encontró únicamente las medias, la cual para el presente estudio, la media resulta ser muy alta comparada con lo reportado por Sotomayor *et al.* (2010) con medias de 28, 25 y 24 % para *Pinus michoacana* Mart, *Pinus douglasiana* Martínez y *Pinus pringlei* Shaw, respectivamente. Borja *et al.* (2010) reportan una media más baja que las ya mencionadas con 18.76 % para *Juniperus fláccida* var. poblana Martínez.

## 5. CONCLUSIONES

La hipótesis nula establecida en el presente estudio fue rechazada para las variables de densidad básica e higrócontracción volumétrica ya que se encontró diferencias estadísticamente significativas tanto en el eje axial como en el eje radial.

Para el punto de saturación de fibra se acepta la hipótesis nula no encontrando diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las tres alturas muestreadas.

De acuerdo al análisis y metodología utilizados, la variación de la densidad en el eje axial, se ve mayormente influenciada por la madera cercana a la médula, no siendo significativa esta diferencia en la madera de la periferia.

La madera de *Pinus greggii* Englem se clasifica con una densidad básica muy baja ( $420 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), con una higrócontracción volumétrica media (12.26%) y el punto de saturación de fibra muy alto (32.38%).

El comportamiento de la densidad básica en el eje radial, tiende a aumentar del centro (cercano a la médula) hacia la periferia (cercano a la corteza). Esto posiblemente puede indicar la presencia de madera juvenil.

En cuanto a la higrócontracción volumétrica tiende a presentar el mismo comportamiento que la densidad básica de la madera, lo cual evidencia la relación de la higrócontracción volumétrica con la densidad básica de la madera.

Por último, el punto de saturación de fibra no presentó diferencias estadísticamente significativas en el eje axial ni en el eje radial, clasificándolo con un PSF muy alto. No correspondiendo con el comportamiento de la densidad básica y la higrócontracción volumétrica.

## 6. RECOMENDACIONES

Contar con los materiales adecuados para la elaboración de las muestras y realizar cuidadosamente las mediciones, el pesado y anotar correctamente los datos de identificación para tener un menor sesgo en la elaboración de las probetas.

Se recomienda el continuar con la realización de estudios para la determinación de propiedades físicas de la madera de *Pinus gregii* Engelm, provenientes de plantaciones forestales comerciales.

Determinar los rangos de la clasificación de las propiedades físicas de la madera con un mayor número de individuos de maderas mexicanas para obtener un resultado más preciso e incluso generar clasificaciones locales.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, R. M. 2001. *Pinus greggii* Engelm. SIRE-Paquetes Tecnológicos *Pinus greggii*. Comisión Nacional Forestal.
- <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/961Pinus%20greggii.pdf>. (2001).
- Aguirre C., O., A. 2015. Manejo forestal en el siglo XXI. Revista Madera y Bosques. 21, núm especial. Pp. 17-28.
- Alba L., J., E. O. Ramírez G., y J. A. Santos S. 2005. Variación de la densidad de la madera de *Pinus greggii* Engelm. de un ensayo genético establecido en Coatepec, Veracruz, México. Revista Foresta Veracruzana 7(1): 37-40.
- Alderete V. P. R. 2018. Variación radial de las propiedades físicas de la especie *Hymenaea courbaril* L. en el consolidado Maderacre-Tahuamanu. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Escuela profesional de ingeniería forestal y medio ambiente. 110 p.
- ASTM D 9-87. 1999. Norma American Society for Testing and Materials. Laboratorio de productos forestales. Forest service, U.S.
- ASTM D 2395-02. 2002. Norma American Society for Testing and Materials. Laboratorio de productos forestales. Forest service, U.S.
- Azamar O., M., J. López U., J. J. Vargas H. y A. Plancarte B. 2000. Evaluación de un ensayo de procedencias-progenies de *Pinus greggii* y su conversión a huerto semillero. Memorias del 1er. Congreso Nacional de Reforestación. Programa Nacional de Reforestación-Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. 7 p.

- Borja R., A., R. Machuca M. Fuentes S., D. Ayerde L., M. Fuentes L., y A. Quintero A. 2010. Caracterización tecnológica de la madera de *Juniperus flaccida* var. Poblana Martínez. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 16(2): 261-280.
- Cornejo O. E. H., E. Bucio Z., B. Gutiérrez V., S. Valencia M., y C. Flores L. 2009. Selección de árboles y conversión de un ensayo de procedencias a un rodal semillero. Revista Fitotecnia Mexicana. 32(2) Pp. 87-92.
- De la Cruz F. M. A. 2010. Estudio epidométrico en una plantación de *Pinus greggii* Engelm. En el CAESA, Los Lirios, Arteaga Coahuila. Tesis de licenciatura. Universidad autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 68 p.
- Eguiluz A., S., M. Aranda G., y Randall M. 2000. Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. 53(2000) Pp. 1-26.
- Fearnside P. M. 1997. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. Forest Ecology and Management. 90(1):59-89.
- Figueroa V. A. M. 2007. Variación de densidad básica en la madera de *Pinus taeda* L. Tesis de licenciatura, facultad de ciencias forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 47 p.
- Fuentes S. M. 1995. Apuntes para el curso de tecnología de la madera. Serie de apoyo académico No.33. División de ciencias forestales. Universidad autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. 98 p.
- Fuentes S. M. 2001. Estimación del punto de saturación de fibra (PSF) de las maderas. Revista Chapingo, serie Ciencias Forestales y del Ambiente 6(1): 79-81.
- Fuentes T., F., J., J. A. Silva G., M. G. Lomelí R., H. G. Richter., y R. Sanjuán D. 2002. Comportamiento higroscópico de la madera de *Persea americana* var. guatemalensis Mill (hass). Revista Chapingo, serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 8(1):49-56.
- Flores M., P., L. Muñoz E., y T. Sánchez A. 2019. Estudio de potencia de pruebas de normalidad usando distribuciones desconocidas con distintos niveles de no normalidad. Universidad Nacional de Chimborazo. 21(1).

- García V. A. N. 2005. Contribución de las propiedades físicas de la madera de *Pinus greggii* provenientes de dos plantaciones en Hidalgo. Tesis de licenciatura. Universidad autónoma del estado de Hidalgo. Tulancingo de Bravo Hidalgo. 57 p.
- Goche T., J., R., M. Fuentes S., A. Borja R., y H. Ramírez M. 2001. Variación de las propiedades físicas de la madera en un árbol de *Abies religiosa* y de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*. Revista Chapingo, serie ciencias forestales y del ambiente 6(1): 83-92.
- Gutiérrez H. N. A. 2007. Variación en densidad de la madera en el perfil interno de árboles de *Pinus montezumae* Lamb. De Gerahuario, Michoacán. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 54 p.
- Gutierrez V., B., N., y A. Flores M. 2019. Patrón y magnitud de la variación de la densidad de la madera en rodales semilleros de *Pinus oocarpa*. Revista Madera y Bosques 25(3).
- Guzmán E. 1973. Contracción colapso y juego de maderas chilenas. Boletín informativo No.27. Instituto forestal, Santiago, Chile. 37 p.
- Hernández C. J. 2007. Variación de la densidad de la madera de *Pinus herrerae* Mtz. En Ciudad Hidalgo, Mich. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 54 p.
- Hernández M., J., J. López U., J. J. Vargas H., y J. Jasso M. 2007. Zonas semilleras de *Pinus greggii* var. *Australis* en Hidalgo, México. Revista Fitotecnia Mexicana. 30(003) Pp. 241-249.
- Honorato S., J., A., y M. Fuentes L. 2004. Propiedades físico-mecánicas de la madera de cinco especies de encino del estado de Guanajuato. Revista Ciencia Forestal en México 26(90).
- INEGI. 2010. Conjunto de datos vectoriales. Serie V. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- <https://www.inegi.org.mx>
- INEGI. 2021. Consulta actualizada. [https://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/siatl/](https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/)

- Juárez M., C., y S. Pascual H. 2018. Evaluación de supervivencia de plantaciones de *Pinus greggii* Engelm ex Parl y *Pinus oaxacana* Mirov establecidas en el municipio Villa Tejupan de la Unión, Oaxaca. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Edo. México. 83 p.
- Karsulovic C., J., T., M. Dinator., J. Morales P., V. Gaete M. y A. Barrios R. 2005. Determinación del diámetro del cilindro central defectuoso en trozas podadas de pino radiata (*Pinus radiata*), mediante atenuación de radiación gamma. Revista Bosque 26(1):109-122.
- Kiaei Majid. 2010. Anatomical, physical, and mechanical properties of eldar pine (*Pinus eldarica* Medw.) grown in the Kelardasht region. Turk J Agric For 35(2011): 31-42.
- Kollmann F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Tomo I. Instituto forestal de investigaciones y experiencias y servicios de la Madera. Madrid, España. Pp 359-447.
- Klepac D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Segunda edición. Universidad Autónoma Chapingo. México. 297 p.
- León D., N., R., y J. A. Millán A. 1985. Técnicas de control de calidad en la madera. Tomo 1. Tesis de licenciatura. Corporación universitaria autónoma de occidente. División de ingeniería. Cali, Colombia. 506 p.
- López M. A. 2004. Variación de la densidad de la madera en regeneración de *Pinus estevezii* (Mtz.) Perry de Nuevo León. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 70 p.
- López L., M., y S. Valencia M. 2001. Variación de la densidad relativa de la madera de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México. Revista Madera y Bosques. 7(1): 37-47. Xalapa, México.
- López U., J., y J. K. Donahue. 1995. Seed production of *Pinus greggii* Engelm. In Natural Stand in México. Tree Planters' Notes 46(3): 86-92.
- López Z., G., A., y J. J. Mateo S. s/f. Catálogo de árboles y arbustos, primera parte, coniferales. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

- Martínez C. G. 1999. Estado del conocimiento de *Pinus greggii* Engelm. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 523 p.
- Martínez R. A. 2011. La agricultura de temporal y el cambio climático. <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/La-agricultura-de-temporal--y-el-cambio-climatico-20110804-0003.html> (04, agosto, 2011).
- Mastrandrea C. 2017. Propiedades de la madera. Primer encuentro mejoramiento genético y tecnología de la madera. Estación Experimental Agropecuaria. Concordia. 29 p.
- Medina A., A., A. Baucis G., M. Catalán A., I. Andía R., F. Trangoni., A. Pampiglioni., y A. Vuillermet. 2018. Características y propiedades de la madera de álamos cultivados en Río Negro, Patagonia Argentina. *Revista Madera y Bosques* 24(1).
- Missanjo E. y J. Matsumura. Wood density and mechanical properties of *Pinus kesiya* Royle ex Gordon in Malawi. *Forest* 7(135).
- Muller G. B., H. Louw J. y S. Malan F. 2017. Variation in selected solid wood properties of young *Pinus patula* from diverse sites in the Mpumalanga escarpment area in South Africa. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 79:4, 317-327.
- Musálem M. A. 2006. Silvicultura de plantaciones forestales comerciales. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo.
- Muñoz A., F., y P. A. Moreno P. 2013. Contracciones y propiedades físicas de *Acacia mangium* Willd; *Tectona grandis* L. F. y *Terminalia amazonia* A. Chev, maderas de plantación en Costa Rica. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente* 19(2), 287-303.
- Muñoz F. H., J. Sáenz R., J. García S., E. Hernández M., y J. Anguiano C. 2011. Áreas potenciales para establecer plantaciones forestales comerciales de *Pinus pseudostrobus* lindl. y *Pinus greggii* engelm. en Michoacán. *Rev. Mex. Cien. For.* (2) 5: 30-41.
- Nájera L., J., A., Z. Vargas A., J. Méndez G., y J. J. Graciano L. 2005. Propiedades físicas y mecánicas de la madera en *Quercus laeta* Liemb. De el Salto, Durango. *Revista Ra Ximhai* 1(3) 559-576.

- Návar J. 2010. Measurement and Assessment Methods of forest Aboveground Biomass. A literatura review and the challenges ahead. Unidad Durango. México. <https://www.academia.edu/22111238>
- Navarro M., J., A. Borja R., y R. Machuco V. 2005. Características tecnológicas de la madera de palo morado (*Peltogyne mexicana* Martínez) de Tierra Colorada, Guerrero, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 11(1):78-82.
- Ordoñez D., J., A., B., A. Galicia N., N. J. Venegas M., T. Hernández T., M. J. Ordoñez D., y R. Dávalos S. 2015. Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación de J. Rzedowski: compilación. Revista Madera y Bosques, 21 77-126.
- Padilla V. R. N. 2017. Evaluación financiera de una plantación de árboles de navidad en Oaxaca. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 174 p.
- Parolin P. 2002. Radial gradients in wood specific gravity in trees of Central Amazonian floodplains. Revista IAWA Journal 23(4):449-457.
- Pedrosa I., J. Juarros B., A. Robles F., J. Basteiro y E. García C. 2014. Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar? Revista Universitas Psychologica, 14(1) 245-254.
- Ramírez H., C., J. Vargas H., y J. López U. 2005. Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. Acta botánica mexicana 72: 1-16.
- Riesco M., G. y J. Díaz G. 2007. Características físicas de la madera de pino procedente de raleos en el Noroeste de España. Revista Maderas, ciencia y tecnología, 9(3):233-244.
- Rodríguez L., R., R. Razo Z., J. Juárez M., J. Capulín G., y R. Soto G. 2012. Tamaño de cono y semilla en procedencias de *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* establecidas en diferentes suelos. Rev. Fitotec. Mex. 35(4):289-298.
- Rodríguez L., R., R. Razo Z., S. Valencia M., y J. Meza R. 2013. Características dasométricas de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* de nueve procedencias en Galeana, Nuevo León. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 4(18) 116-124.

- Rojas V., P. y J. Espejo C. 1990. Variación genética de la densidad básica de la madera de eucalipto. Sección técnica. Universidad católica de Chile.
- Rzedowski J. 2006. Vegetación de México. Capítulo 16. Bosque de Quercus. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Silva A., F., M., y J. Navar C. 2012. Estimación de la densidad de madera en árboles de comunidades forestales templadas del norte del estado de Durango, México. *Madera y Bosques* 18(1)77-88.
- Sotomayor C. J. R. 2016. Características higroscópicas de la madera de *Pinus pseudostrobus*. *Revista del laboratorio de Mecánica de la madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.* 12(2). 213-301
- Sotomayor C., J., R., L. J. García M., C. E. Moya L., y J. B. Olguín C. 2010. Higroscopía y anisotropía de la madera de *Pinus michoacana*, *Pinus douglasiana* y *Pinus pringlei*. Higrocontracción, velocidad del ultrasonido y módulo de elasticidad dinámico. *Investigación e ingeniería de la madera. Revista del laboratorio de Mecánica de la madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán.* 6(3).
- Sotomayor C. J. R., y M. Ramírez P. 2013. Densidad y características higroscópicas de maderas mexicanas. Base de datos y criterios de clasificación. *Investigación e ingeniería de la madera. Revista del laboratorio de Mecánica de la madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán.* 9(3).
- Sotomayor C. J. R., y M. Ramírez P. 2014. Características físicas de 12 maderas mexicanas. *Investigación e ingeniería de la madera. Revista del laboratorio de Mecánica de la madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Michoacán.* 10(1).
- Suarez T. M., y G. Berger. 2009. Descripción de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Editorial universitaria de misiones. Argentina. 56 p.

- Schönfelder O., A. Zeidler; V. Borůvka., L. Bílek y M. Lexa. (2018): Shrinkage of Scots pine wood as an effect of different tree growth rates, a comparison of regeneration methods. *J. For. Sci.* 64: 271–278.
- Spavento, E., y G. Keil D. 2008. Propiedades físicas de la madera. Curso de Xiloeología. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de la Plata. 29 p.
- Stanger, T. K. 2003. Variation and genetic control of Wood properties in the juvenile core of *Pinus patula* grown in south Africa. 210 p
- Telles, A. R., J. A. Nájera L., E. Alanis R., O. A. Aguirre C., J. Jiménez P., M. Gómez C., y H. J. Muñoz F. 2017. Propiedades físico-mecánicas de la madera *Tectona grandis* L. f. de una plantación comercial en el estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 8(40):37-56
- Tzab, C. J. A. 2002. Variación en densidad de la madera, proporción de madera tardía y crecimiento en diámetro de *Pinus engelmannii* Carr., de Chihuahua. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 72 p.
- Valencia M., S. y J. Vargas H. 1997. Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. *Xalapa, México. Madera y Bosques* 3(1):81-87.
- Vázquez C. J. Y. 2018. *Pinus greggii*: características, distribución y ciclo de vida. Liferder. Recuperado de <https://www.liferder.com/pinus-greggii/>. (21 de diciembre de 2018).
- Vela M. R. 2002. Supervivencia, crecimiento y arquitectura de copa en una prueba de progenie de *Pinus greggii* Engelm en el CAESA, Arteaga Coahuila. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila. 64 p.
- Villarreal Q. J. A., y E. Estrada C. 2014. Claves para determinar Gimnospermas en México (nativas e introducidas). 1° edición, Saltillo Coahuila, México. 54 p.
- Villaseñor A. J. A., y E. González E. 2006. Pruebas de bondad de ajuste para el movimiento Browniano. *Texcoco, México. Revista Agrociencia*. 40(2):183-195.

- Vivanco J., C., J. I. Bojórquez., R. M. Murray., O. Nájera., A. Hernández y F. Flores. 2010. Características de los principales suelos de la cuenca del río Mololoa, Tepic, Nayarit, México. *Revista Cultivos Tropicales* 31(1):32-40.
- Von W. A., R. Martiarena A., y M. Alcides P. 2007. Densidad básica de la madera de *Pinus taeda* L. Marion en función de la densidad arbórea del rodal, altura y posición transversal en el fuste. Congreso Iberoamericano de productos forestales. Buenos Aires, Argentina. 10 p.
- Winandy J. E. 1994. Wood Properties. USDA-Forest Service, Forest Products Laboratory. Encyclopedia of Agricultural. Science. Orlando, FL: Academic Press: 4. 549-561.
- Yin Z. S., D. Simpson., y E. K. Morgenstern. 1996. Variation in the relationship of wood density with growth in 40 black spruce (*Picea mariana*) families grown in New Brunswick. *Wood and Fiber Science*. 28(1): 91-99.
- Zemanate, L. C. F., y F. J. Zapata M. 2015. Estudio de las características de rocas calcáreas típicas utilizadas para la producción de cales en el municipio de Vijes. Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia. 74 p.

## 8. ANEXOS

### Anexo 1. Prueba de normalidad de Db

Variable	Shapiro-wilk	P	Histo	Caja	Fig.
Db	0.981674	0.0098	4	4	4
LnDb	0.991451	0.281	5	5	5
Dbracua	0.987734	0.0791	4	4	4
<b>Dbinv</b>	<b>0.992293</b>	<b>0.3665</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
Db2	0.962192	0.0001	3	3	3

### Anexo 2. Prueba de normalidad de $\beta V$

Variable	Shapiro-wilk	P	Histo	Caja	Fig.
$\beta V$	0.92433	<0.0001	2	2	2
ln $\beta V$	0.980564	0.0076	3	3	3
$\beta V$ racua	0.958002	<0.0001	3	3	3
<b><math>\beta V</math>inv</b>	<b>0.990127</b>	<b>0.192</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
$\beta V$ 2	0.830044	<0.0001	2	2	2

### Anexo 3. Prueba de normalidad de PSF

Variable	Shapiro-wilk	P	Histo	Caja	Fig.
PSF	0.935768	<0.0001	3	3	3
<b>lnPSF</b>	<b>0.984109</b>	<b>0.0247</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
PSFracua	0.967006	0.0001	3	3	3
PSFinv	0.96909	0.0002	3	3	3
PSF2	0.8411	<0.0001	2	2	2

#### Anexo 4. Diferencias encontradas en el eje axial y el eje radial

Eje	Db (g cm <sup>-3</sup> )		βV (%)		PSF (%)
	base	FL	base	FL	
axial	(+)	(-)	(+)	(-)	***
	0.433	0.413	12.92	11.94	
	periferia      centro				
radial	(+)	(-)	(+)	(-)	***
	0.444	0.402	13	11.5	
	periferia      centro				

\*\*\* = No se encontró diferencias

#### Anexo 5. Diferencias encontradas en el eje axial con respecto al eje radial

Eje	Db (g cm <sup>-3</sup> )		βV (%)		PSF (%)
	base	FL	base	FL	
eje axial vs centro	(+)	(-)	(+)	(-)	***
	0.418	0.390	12.38	10.73	
	periferia      centro				
eje axial vs periferia			***		

\*\*\* = No se encontró diferencias

## Anexo 6. Características higroscópicas de maderas mexicanas

Modificado por Sotomayor y Ramírez (2013). Se incluyen valores del presente estudio.

No.	Nombre botánico	$\rho_0$	PSF	$\beta_V$	Referencia
		(kg/m <sup>3</sup> )	(%)	(%)	
1	<i>Alnus jorullensis</i>	0.40	30.02	14.30	Bárcenas (1985)
2	<i>Abies concolor</i>	0.36	21.00	11.32	Romero (1982)
3	<i>Acer saccharum</i>	0.56	29.56	12.67	Tamarit (2003)
4	<i>Achras zapota</i>	1.12	21.30	18.84	Novelo (1964)
5	<i>Albizia plurijuga</i>	0.77	13.90	9.67	Sotomayor (2014)
6	<i>Alchornea latifolia</i>	0.40	24.50	11.20	Torelli (1982)
7	<i>Alchornea latifolia</i>	0.39	31.91	11.09	Tamarit (2003)
8	<i>Alnus jurullensis</i>	0.40	38.69	11.25	Tamarit (2003)
9	<i>Ampelocera hottlei</i>	0.64	20.63	11.63	Bárcenas (1985)
10	<i>Ampelocera hottlei</i>	0.81	21.10	16.51	Torelli (1982)
11	<i>Ampelocera hottlei</i>	0.64	20.19	12.90	Tamarit (2003)
12	<i>Ampelocera hottlei</i>	0.64	21.00	11.63	Bárcenas (2005)
13	<i>Andira inermis</i>	0.63	18.69	12.87	Tamarit (2003)
14	<i>Aspidosperma megalocarpum</i>	0.80	23.10	17.15	Torelli (1982)
15	<i>Aspidosperma megalocarpum</i>	0.80	23.82	13.60	Tamarit (2003)
16	<i>Astronium graveolens</i>	0.73	19.90	11.28	Bárcenas (1985)
17	<i>Astronium graveolens</i>	0.73	17.17	13.17	Tamarit (2003)
18	<i>Astronium graveolens</i>	0.72	20.00	11.28	Bárcenas (2005)
19	<i>Blepharidium mexicanum</i>	0.65	34.25	20.32	Torelli (1982)
20	<i>Blepharidium mexicanum</i>	0.50	27.69	12.36	Tamarit (2003)
21	<i>Brosimum alicastrum</i>	0.63	23.35	12.87	Tamarit (2003)
22	<i>Brosimum alicastrum</i>	0.81	21.21	15.50	Silva (2012)
23	<i>Brosimum alicastrum</i>	0.65	22.00	10.45	Bárcenas (2005)
24	<i>Brosimum allicastrum</i>	0.63	22.40	10.45	Bárcenas (1985)
25	<i>Brosimum allicastrum</i>	0.87	19.60	14.63	Torelli (1982)
26	<i>Bucida buceras</i>	0.85	12.55	14.14	Tamarit (2003)
27	<i>Bucida buceras</i>	0.85	20.96	16.00	Silva (2012)
28	<i>Bucida macrostachya</i>	1.02	20.25	13.33	Novelo (1964)
29	<i>Bucida macrostachya</i>	1.02	20.25	18.23	Tamarit (2003)
30	<i>Bursera simaruba</i>	0.41	27.27	10.20	Novelo (1964)
31	<i>Bursera simaruba</i>	0.45	22.00	9.10	Torelli (1982)
32	<i>Bursera simaruba</i>	0.41	27.64	11.41	Tamarit (2003)
33	<i>Caesalpinia gaumeri</i>	0.86	16.49	13.92	Interián-Ku (2011)
34	<i>Caesalpinia platyloba</i>	0.81	17.76	12.90	Silva (2012)
35	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.55	30.50	13.46	Bárcenas (1985)

36	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.61	25.95	15.58	Torelli (1982)
37	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.55	26.55	12.63	Tamarit (2003)
38	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0.54	31.00	13.46	Bárcenas (2005)
39	<i>Cedrela odorata</i>	0.36	30.40	12.38	Bárcenas (1985)
40	<i>Cedrela odorata</i>	0.36	38.21	12.38	Tamarit (2003)
41	<i>Cedrela odorata</i>	0.36	30.00	12.38	Bárcenas (2005)
42	<i>Cedrela odorata</i>	0.47	22.67	9.63	Sotomayor (2014)
43	<i>Ceiba pentandra</i>	0.29	35.63	8.68	Tamarit (2003)
44	<i>Celeanodendron mexicanum</i>	0.69	17.66	11.00	Sotomayor (2014)
45	<i>Cibistax donell-smithii</i>	0.40	25.28	11.25	Tamarit (2003)
46	<i>Cipholis salicifolia</i>	0.84	18.72	14.01	Tamarit (2003)
47	<i>Cordia alliodora</i>	0.55	27.25	12.63	Tamarit (2003)
48	<i>Cordia alliodora</i>	0.55	21.70	13.49	Torelli (1982)
49	<i>Cordia dodecandra</i>	0.84	17.00	8.70	Echenique (1969)
50	<i>Cordia dodecandra</i>	0.89	13.81	14.75	Tamarit (2003)
51	<i>Cymbopetalum penduliflorum</i>	0.40	35.89	11.25	Tamarit (2003)
52	<i>Cymbopetalum penduliflorum</i>	0.40	35.90	16.71	Torelli (1982)
53	<i>Dalium guianense</i>	0.78	23.38	13.45	Tamarit (2003)
54	<i>Dendropanax arboreus</i>	0.42	26.55	13.90	Torelli (1982)
55	<i>Dendropanax arboreus</i>	0.40	38.61	11.25	Tamarit (2003)
56	<i>Dendropanax arboreus</i>	0.44	28.91	11.45	Martínez (2001)
57	<i>Dialium guianense</i>	0.78	21.73	16.14	Bárcenas (1985)
58	<i>Dialium guianense</i>	0.99	20.85	15.15	Torelli (1982)
59	<i>Dialium guianense</i>	0.79	22.00	16.41	Bárcenas (2005)
60	<i>Dipholis stevensonii</i>	0.97	18.68	16.58	Tamarit (2003)
61	<i>Dipholis stevensonii</i>	0.97	23.60	16.31	Torelli (1982)
62	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	0.35	26.67	10.29	Tamarit (2003)
63	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	0.29	33.40	6.46	Pineda (2012)
64	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	0.47	16.39	6.92	Sotomayor (2014)
65	<i>Grevillea robusta</i>	0.49	25.11	10.10	Zárate (2001)
66	<i>Guarea glabra</i>	0.51	22.70	10.20	Bárcenas (1985)
67	<i>Guarea glabra</i>	0.62	20.40	12.34	Torelli (1982)
68	<i>Guarea glabra</i>	0.53	21.38	12.54	Tamarit (2003)
69	<i>Guarea glabra</i>	0.51	23.00	10.20	Bárcenas (2005)
70	<i>Guatteria anomala</i>	0.43	25.30	13.65	Torelli (1982)
71	<i>Guatteria anomala</i>	0.43	35.27	11.68	Tamarit (2003)
72	<i>Gyrocarpus americanus</i>	0.35	27.56	8.68	Sotomayor (2014)
73	<i>Hura polyandra</i>	0.48	21.40	7.86	Pineda (2012)
74	<i>Andira inermis</i>	0.71	20.66	13.20	Téllez (2009)
75	<i>Juglans pyriformis</i>	0.55	19.76	9.71	Sotomayor (2014)
76	<i>Juniperus fláccida</i>	0.50	18.73	8.43	Borja (2010)

77	<i>Libocedrus decurrens</i>	0.36	24.41	7.19	Romero (1982)
78	<i>Licania platypus</i>	0.62	21.90	14.72	Bárcenas (1985)
79	<i>Licania platypus</i>	0.62	26.38	12.85	Tamarit (2003)
80	<i>Licania platypus</i>	0.62	22.00	14.72	Bárcenas (2005)
81	<i>Lonchocarpus castilloi</i>	0.67	21.86	12.73	Bárcenas (1985)
82	<i>Lonchocarpus castilloi</i>	0.84	22.25	14.92	Torelli (1982)
83	<i>Lonchocarpus castilloi</i>	0.67	21.11	12.97	Tamarit (2003)
84	<i>Lonchocarpus castilloi</i>	0.83	13.84	10.30	Silva (2012)
85	<i>Lonchocarpus castilloi</i>	0.69	22.00	12.73	Bárcenas (2005)
86	<i>Lonchocarpus hondurensis</i>	0.73	23.90	13.64	Torelli (1982)
87	<i>Lonchocarpus hondurensis</i>	0.73	20.76	13.17	Tamarit (2003)
88	<i>Lysiloma acapulcensis</i>	0.52	22.93	7.72	Bárcenas (1985)
89	<i>Lysiloma acapulcensis</i>	0.52	16.54	12.49	Tamarit (2003)
90	<i>Lysiloma acapulcensis</i>	0.52	23.00	7.72	Bárcenas (2005)
91	<i>Lysiloma bahamensis</i>	0.60	22.00	9.47	Echenique (1969)
92	<i>Lysiloma bahamensis</i>	0.63	17.48	12.87	Tamarit (2003)
93	<i>Lysiloma bahamensis</i>	0.62	17.11	9.50	Silva (2012)
94	<i>Lysiloma spp.</i>	0.57	22.46	11.48	Sotomayor (2014)
95	<i>Maclura tinctoria</i>	0.71	13.77	13.09	Tamarit (2003)
96	<i>Manilkara zapota</i>	0.86	28.50	15.40	Bárcenas (1985)
97	<i>Manilkara zapota</i>	0.88	26.00	11.67	Echenique (1969)
98	<i>Manilkara zapota</i>	0.86	21.77	14.27	Tamarit (2003)
99	<i>Manilkara zapota</i>	0.91	23.06	18.80	Silva (2012)
100	<i>Manilkara zapota</i>	0.86	29.00	15.40	Bárcenas (2005)
101	<i>Manilkara zapota</i>	1.04	21.30	15.45	Torelli (1982)
102	<i>Metopium brownei</i>	0.70	17.19	10.80	Silva (2012)
103	<i>Mirandaceltis monoica</i>	0.69	21.88	13.02	Tamarit (2003)
104	<i>Mirandaceltis monoica</i>	0.69	22.00	13.59	Bárcenas (2005)
105	<i>Mirandaceltis monoica</i>	0.69	21.90	13.59	Bárcenas (1985)
106	<i>Misanteca pekii</i>	0.65	23.28	12.92	Tamarit (2003)
107	<i>Misanteca pekii</i>	0.65	21.80	13.62	Torelli (1982)
108	<i>Mosquitoxylum jamaicense</i>	0.58	29.36	11.73	Bárcenas (1985)
109	<i>Mosquitoxylum jamaicense</i>	0.58	21.70	12.74	Tamarit (2003)
110	<i>Mosquitoxylum jamaicense</i>	0.59	29.00	11.33	Bárcenas (2005)
111	<i>Nectandra sp.</i>	0.51	26.00	15.85	Torelli (1982)
112	<i>Nectandra sp.</i>	0.51	34.53	12.43	Tamarit (2003)
113	<i>Pachica acuática</i>	0.53	29.30	15.96	Torelli (1982)
114	<i>Pachira acuatica</i>	0.53	33.46	12.54	Tamarit (2003)
115	<i>Peltogyne mexicana (Albura)</i>	1.09	22.86	14.81	Navarro (2005)
116	<i>Peltogyne mexicana (Duramen)</i>	0.95	15.30	11.60	Navarro (2005)
117	<i>Persea americana</i>	0.50	18.47	8.31	Fuentes (2002)

118	<i>Pinus douglasiana</i>	0.37	25.00	9.20	Sotomayor (2010)
119	<i>Pinus douglasiana</i>	0.50	26.00	12.67	Villaseñor (2007)
<b>120</b>	<b><i>pinus greggii</i></b>	<b>0.42</b>	<b>32.38</b>	<b>12.26</b>	Gómez (2021, inédito)
121	<i>Pinus michoacana</i>	0.37	28.00	10.30	Sotomayor (2010)
122	<i>Pinus pringlei</i>	0.47	24.00	11.50	Sotomayor (2010)
123	<i>Pinus pringlei</i>	0.50	23.00	11.30	Herrera (1992)
124	<i>Pinus ayacahuite</i> var. <i>Veitchii</i>	0.42	27.00	13.80	Bárcenas (1985)
125	<i>Pinus ayacahuite</i> var. <i>Veitchii</i>	0.39	24.56	11.05	Romero (1982)
126	<i>Pinus contorta</i> var. <i>Latifolia</i>	0.36	29.33	10.96	Romero (1982)
127	<i>Pinus coulterii</i>	0.42	20.25	17.15	Romero (1982)
128	<i>Pinus douglasiana</i>	0.45	26.00	11.30	Echenique (1969)
129	<i>Pinus jeffreyii</i>	0.38	26.00	11.15	Romero (1982)
130	<i>Pinus lambertiana</i>	0.35	26.40	11.12	Romero (1982)
131	<i>Pinus lawsoni</i>	0.51	26.00	11.12	Echenique (1969)
<b>132</b>	<i>Pinus leiophylla</i>	0.46	25.00	12.62	Echenique (1969)
133	<i>Pinus leiophylla</i>	0.44	32.56	11.35	Romero (1982)
134	<i>Pinus michoacana</i>	0.45	26.00	11.60	Echenique (1969)
135	<i>Pinus montezumae</i>	0.42	36.00	10.70	Dávalos (1976)
136	<i>Pinus patula</i>	0.50	27.60	15.81	Bárcenas (1985)
137	<i>Pinus patula</i>	0.48	37.50	10.80	Dávalos, 1976
138	<i>Pinus patula</i>	0.54	26.84	10.55	Quiñonez (1974)
139	<i>Pinus ponderosa</i>	0.39	30.55	10.67	Quiñonez (1974)
140	<i>Pinus pseudostrobus</i>	0.45	27.60	16.36	Bárcenas (1985)
141	<i>Pinus pseudostrobus</i>	0.53	28.71	15.70	Chargoy (1967)
142	<i>Pinus quadrifolia</i>	0.41	28.35	11.09	Romero (1982)
143	<i>Pinus rudis</i>	0.53	28.70	14.54	Bárcenas (1985)
144	<i>Pinus rudis</i>	0.41	31.34	10.66	Quiñonez (1974)
145	<i>Pinus tenuifolia</i>	0.43	29.20	13.64	Bárcenas (1985)
146	<i>Pinus teocote</i>	0.47	43.40	10.65	Dávalos, 1976
147	<i>Piscidia comunis</i>	0.68	16.18	12.99	Tamarit (2003)
148	<i>Piscidia piscipula</i>	0.80	14.41	10.40	Silva (2012)
149	<i>Pithecellobium arboreum</i>	0.70	20.60	11.78	Torelli (1982)
150	<i>Pithecellobium arboreum</i>	0.70	18.70	13.05	Tamarit (2003)
151	<i>Pithecellobium leucocalix</i>	0.51	20.70	12.43	Tamarit (2003)
152	<i>Pithecellobium leucocalix</i>	0.51	21.50	9.50	Torelli (1982)
153	<i>Platymiscium dimorphandrum</i>	0.81	10.73	7.80	Sotomayor (2014)
154	<i>Platymiscium yucatanum</i>	0.61	23.00	11.32	Bárcenas (2005)
155	<i>Platymiscium yucatanum</i>	0.61	22.90	11.32	Bárcenas (1985)
156	<i>Platymiscium yucatanum</i>	0.61	20.62	12.83	Tamarit (2003)
157	<i>Platymiscium yucatanum</i>	0.85	13.99	10.70	Silva (2012)
158	<i>Platymiscium yucatanum</i>	0.73	19.45	12.05	Torelli (1982)

159	<i>Poulsenia armata</i>	0.45	28.49	11.92	Tamarit (2003)
160	<i>Poulsenia armata</i>	0.45	25.30	11.54	Torelli (1982)
161	<i>Pouteria campechiana</i>	0.76	26.00	15.14	Echenique (1969)
162	<i>Pouteria campechiana</i>	0.73	25.63	13.17	Tamarit (2003)
163	<i>Pseudobombax ellipticum</i>	0.35	22.00	7.89	Echenique (1969)
164	<i>Pseudobombax ellipticum</i>	0.35	25.05	10.29	Tamarit (2003)
165	<i>Pseudobombax ellipticum</i>	0.48	20.56	10.65	Torelli (1982)
166	<i>Pseudolmedia oxiphyllaria</i>	0.73	25.39	13.17	Tamarit (2003)
167	<i>Pseudolmedia oxiphyllaria</i>	0.73	25.00	15.27	Echenique (1969)
168	<i>Pseudolmedia oxiphyllaria</i>	0.72	22.30	15.36	Torelli (1982)
169	<i>Pterocarpus hayesii</i>	0.45	39.04	11.92	Tamarit (2003)
170	<i>Pterocarpus hayesii</i>	0.51	29.35	17.27	Torelli (1982)
171	<i>Pucidia comunis</i>	0.68	20.00	8.22	Echenique (1969)
172	<i>Quararibea funebris</i>	0.48	27.38	12.21	Tamarit (2003)
173	<i>Quararibea funebris</i>	0.47	26.66	11.83	Bárcenas (1985)
174	<i>Quararibea funebris</i>	0.48	27.00	11.83	Bárcenas (2005)
175	<i>Quercus laeta</i>	0.68	30.10	18.20	Nájera (2005)
176	<i>Quercus acatenanguensis</i>	0.66	32.80	15.75	Bárcenas (1985)
177	<i>Quercus acutifolia</i>	0.67	33.33	20.01	De La Paz (2008)
178	<i>Quercus affinis</i>	0.58	29.44	15.34	De La Paz (2008)
179	<i>Quercus anglohondurensis</i>	0.86	27.70	20.85	Torelli (1982)
180	<i>Quercus candicans</i>	0.64	30.24	17.39	De La Paz (2008)
181	<i>Quercus castanea</i>	0.68	28.59	17.60	De La Paz (2008)
182	<i>Quercus coccolobifolia</i>	0.61	36.77	20.09	De La Paz (2008)
183	<i>Quercus conspersa</i>	0.69	29.50	18.24	De La Paz (2008)
184	<i>Quercus convallata</i>	0.71	30.45	19.51	De La Paz (2008)
185	<i>Quercus crassifolia</i>	0.68	33.50	17.94	Bárcenas (1985)
186	<i>Quercus crassifolia</i>	0.66	30.64	18.20	De La Paz (2008)
187	<i>Quercus crispipilis</i>	0.66	37.52	22.42	De La Paz (2008)
188	<i>Quercus durifolia</i>	0.68	31.47	19.23	De La Paz (2008)
189	<i>Quercus elliptica</i>	0.71	38.70	20.13	Arcia (1972)
190	<i>Quercus eugeniaefolia</i>	0.59	28.60	15.21	De La Paz (2008)
191	<i>Quercus excelsa</i>	0.72	29.93	19.26	De La Paz (2008)
192	<i>Quercus glabrescens</i>	0.64	34.95	20.13	De La Paz (2008)
193	<i>Quercus laeta</i>	0.75	31.93	21.44	De La Paz (2008)
194	<i>Quercus laurina</i>	0.65	31.49	18.48	De La Paz (2008)
195	<i>Quercus mexicana</i>	0.61	32.92	18.16	De La Paz (2008)
196	<i>Quercus obtusata</i>	0.76	29.59	20.13	De La Paz (2008)
197	<i>Quercus obtusata</i>	0.68	20.66	12.70	Sotomayor (2014)
198	<i>Quercus ochroetes</i>	0.67	32.00	20.61	Arcia (1972)
199	<i>Quercus potosina</i>	0.77	32.61	22.51	De La Paz (2008)

200	<i>Quercus resinosa</i>	0.76	27.19	18.65	De La Paz (2008)
201	<i>Quercus rugosa</i>	0.60	28.50	15.64	Bárcenas (1985)
202	<i>Quercus rugosa</i>	0.69	30.56	18.92	De La Paz (2008)
203	<i>Quercus scytophylla</i>	0.64	34.38	19.71	De La Paz (2008)
204	<i>Quercus sideroxylla</i>	0.61	30.15	16.66	De La Paz (2008)
205	<i>Quercus skinneri</i>	1.06	25.52	17.53	Torelli (1982)
206	<i>Quercus skinneri</i>	0.66	27.48	16.37	De La Paz (2008)
207	<i>Quercus spp.</i>	0.70	23.60	14.91	Sotomayor (2014)
208	<i>Quercus uxoris</i>	0.62	33.13	18.37	De La Paz (2008)
209	<i>Schizolobium parahibum</i>	0.30	33.10	9.39	Bárcenas (1985)
210	<i>Schizolobium parahibum</i>	0.22	25.10	10.89	Torelli (1982)
211	<i>Schizolobium parahibum</i>	0.30	33.00	14.73	Bárcenas (2005)
212	<i>Schizolobium parahybum</i>	0.30	31.78	8.99	Tamarit (2003)
213	<i>Sebastiana longicuspis</i>	0.61	22.00	10.54	Torelli (1982)
214	<i>Sebastiana longicuspis</i>	0.61	19.20	12.83	Tamarit (2003)
215	<i>Sickingia salvadorensis</i>	0.78	27.40	17.18	Torelli (1982)
216	<i>Sickingia salvadorensis</i>	0.66	28.92	12.94	Tamarit (2003)
217	<i>Simarouba glauca</i>	0.44	24.10	11.23	Torelli (1982)
218	<i>Simarouba glauca</i>	0.46	27.61	12.03	Tamarit (2003)
219	<i>Spandias mombin</i>	0.49	30.54	12.29	Tamarit (2003)
220	<i>Spondias mombin</i>	0.49	29.40	13.48	Torelli (1982)
221	<i>Sterculia apetala</i>	0.38	27.78	10.91	Tamarit (2003)
222	<i>Swartzia cubensis</i>	1.05	27.05	15.62	Torelli (1982)
223	<i>Swartzia cubensis</i>	1.05	20.86	19.43	Tamarit (2003)
224	<i>Sweetia panamensis</i>	0.87	19.36	14.42	Tamarit (2003)
225	<i>Sweetia panamensis</i>	0.87	24.40	15.16	Torelli (1982)
226	<i>Swietenia macrophylla</i>	0.42	27.27	9.10	Bárcenas (1985)
227	<i>Swietenia macrophylla</i>	0.46	26.85	12.06	Torelli (1982)
228	<i>Swietenia macrophylla</i>	0.42	24.07	11.55	Tamarit (2003)
229	<i>Swietenia macrophylla</i>	0.42	27.00	9.10	Bárcenas (2005)
230	<i>Swietenia macrophylla</i>	0.42	24.86	9.44	Sotomayor (2014)
231	<i>Swietenia humillis</i>	0.64	11.91	6.85	Sotomayor (2014)
232	<i>Tabebuia donnell-smithii</i>	0.40	26.46	9.50	Silva (2012)
233	<i>Tabebuia rosea</i>	0.51	20.08	9.20	Silva (2012)
234	<i>Talauma mexicana</i>	0.55	23.60	12.78	Torelli (1982)
235	<i>Talauma mexicana</i>	0.55	25.82	12.63	Tamarit (2003)
236	<i>Terminalia amazonia</i>	0.62	27.40	13.30	Bárcenas (1985)
237	<i>Terminalia amazonia</i>	0.66	22.90	11.97	Torelli (1982)
238	<i>Terminalia amazonia</i>	0.62	23.84	12.85	Tamarit (2003)
239	<i>Terminalia amazonia</i>	0.61	27.00	13.30	Bárcenas (2005)
240	<i>Vatairea lundelli</i>	0.56	23.40	11.87	Bárcenas (1985)

241	<i>Vatairea lundelli</i>	0.78	26.00	14.42	Torelli (1982)
242	<i>Vatairea lundelli</i>	0.56	23.55	12.67	Tamarit (2003)
243	<i>Vatairea lundelli</i>	0.56	23.00	11.87	Bárcenas (2005)
244	<i>Vitex gaumeri</i>	0.66	20.60	12.60	Torelli (1982)
245	<i>Vitex gaumeri</i>	0.66	21.21	12.94	Tamarit (2003)
246	<i>Vochysia hondurensis</i>	0.43	30.70	12.20	Bárcenas (1985)
247	<i>Vochysia hondurensis</i>	0.55	27.20	16.73	Torelli (1982)
248	<i>Vochysia hondurensis</i>	0.43	31.00	12.20	Bárcenas (2005)
249	<i>Vochysia hondurensis</i>	0.43	31.52	11.68	Tamarit (2003)
250	<i>Zuelania guidonia</i>	0.70	22.78	13.05	Tamarit (2003)
251	<i>Zuelania guidonia</i>	0.70	22.50	14.35	Torelli (1982)

## Anexo 7. Nomenclaturas utilizadas en SAS

### 1. Componentes de varianza para las tres variables estudiadas

```
options pagesize=60 linesize=80 pageno=1;
proc format;
value altura 1='0.30m' 2='1.30m' 3='3.30m';
value mues 1='norte' 2='centro-norte' 3='centro-sur' 4='sur';
data densi;
infile 'C:\Users\lourd\Documents\ANALISIS DE DATOS
TESIS\Densidad_basica.dat';
input arbol altura mues db cv psf;
format altura altura.;
format mues mues.;
proc varcomp;
class altura mues arbol;
model db=altura mues(altura) arbol(altura mues);
run;
```

### 2. Prueba de normalidad para cada una de las variables

```
options pagesize=60 linesize=80 pageno=1;
proc format;
value altura 1='0.30m' 2='1.30m' 3='3.30m';
value mues 1='norte' 2='centro-norte' 3='centro-sur' 4='sur';
data densi;
infile 'C:\Users\lourd\Documents\ANALISIS DE DATOS
TESIS\Densidad_basica.dat';
input arbol altura mues db cv psf;
format altura altura.;
format mues mues.;
ldb=log(db);
dbracua=sqrt (db);
dbinv=1/db;
db2=db**2;
proc univariate normal plot data=densi;
var db;
run;
```

### 3. Análisis de varianza y comparación de medias de Tukey para el eje axial y el eje radial de cada una de las variables

```
options pagesize=60 linesize=80 pageno=1;
proc format;
value altura 1='0.30m' 2='1.30m' 3='3.30m';
value mues 1='norte' 2='centro-norte' 3='centro-sur' 4='sur';
data densi;
infile 'C:\Users\lourd\Documents\ANALISIS DE DATOS
TESIS\Densidad_basica.dat';
input arbol altura mues db cv psf;
format altura altura.;
format mues mues.;
ldb=log(db);
dbfracua=sqrt (db);
dbinv=1/db;
db2=db**2;
```

```

proc glm;
class altura;
model dbinv = altura;
means altura / tukey lines;
run;

```

4. Análisis de varianza para cada una de las variables con relación al eje axial y al eje radial de las muestras del centro o de la periferia

```

options pagesize=60 linesize=80 pageno=1;
proc format;
value altura 1='0.30m' 2='1.30m' 3='3.30m';
value mues 1='norte' 2='centro-norte' 3='centro-sur' 4='sur';
data densi;
infile 'C:\Users\lourd\Documents\ANALISIS DE DATOS
TESIS\Densidad_basica.dat';
input arbol altura mues db cv psf;
format altura altura.;
format mues mues.;
ldb=log(db);
dbfracua=sqrt (db);
dbinv=1/db;
db2=db**2;
if mues=1 or mues=4 then posi2='periferia';
else if mues=2 or mues=3 then posi2='centro';
if posi2='periferia';
proc glm;
class altura;
model dbinv=altura;
means altura / tukey lines;
run;

```