

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Variación de la densidad de la madera en regeneración
de *Pinus estevezii* (Mtz.) Perry
de Nuevo León

Por:

ABEL LÓPEZ MÉNDEZ

T E S I S

Presentada como requisito parcial para
obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Septiembre de 2004

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

Variación de la densidad de la madera en regeneración
de *Pinus estevezii* (Mtz.) Perry de Nuevo León

Por:

ABEL LÓPEZ MÉNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA:

Asesor principal

M.C. Salvador Valencia Manzo

Coordinador de la División de Agronomía

M.C. Arnoldo Oyervides García

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Septiembre de 2004

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

Variación de la densidad de la madera en regeneración
de *Pinus estevezii* (Mtz.) Perry de Nuevo León

Por:

ABEL LÓPEZ MÉNDEZ

TESIS

Que se somete a consideración del H. Comité de Tesis como requisito parcial
para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA

Asesor principal

M.C. Salvador Valencia Manzo

Asesor

M.C. Celestino Flores López

Asesor

Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Septiembre de 2004

DEDICATORIA

A Mis Padres: Olivia Méndez Luna y Gildardo López Jiménez, con infinito cariño, por todo ese esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional, por todos sus desvelos y el tiempo que les robe pensando en mi, los quiero mucho y los admiro aun más. Agradezco a Dios por haberme dado la dicha de que sean mis padres.

A mis Abuelitos: Adolfo López Hernández y Cenovia Jiménez García, por su gran apoyo, sus valiosos consejos, sus palabras de aliento, bendiciones y su motivación para seguir siempre adelante y enseñarme a ser lo que soy, por su constante amor, gracias los quiero mucho. Que Dios los bendiga.

A mis Hermanas: Zeferina López M. y María López M. por todo el esfuerzo que han realizado para que yo llegará a esta etapa de mi vida, por las tristezas y alegrías que hemos pasado juntos, este triunfo también es de ustedes.

A mis Tíos: Agustín López Jiménez, Antonio López Jiménez y Darío López Hdez., por su motivación y el apoyo incondicional que me han dado, por el cariño recibido desde niño y porque en el momento que más los necesite siempre estuvieron presentes.

En especial a la memoria de mi Tío: Adán Juventino López Jiménez (+), por todo el cariño recibido durante mi niñez, por ser mi motivo de inspiración y porque se, que le hubiera gustado verme hacer realidad este sueño.....gracias tío donde quiera que estés.

A mis Tías: Olivia Cruz C., Cecilia López J. y Maura López J., de quienes he recibido apoyo, confianza y mucho cariño desde mi niñez.

A mis Primos (as): Nancy Fabiola Cruz López, Gloria Yulisa Cruz López y Jesús A. Cruz López, por llenar de alegría el hogar con sus sonrisas y travesuras, los quiero mucho.

A todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron en mi formación profesional y que han demostrado un gran cariño hacia mi.

AGRADECIMIENTOS

A Dios Padre por darme el don de la vida, por la fuerza y el valor necesario para salir adelante en los momentos difíciles y sobre todo por guiar e iluminar mi camino en todo momento, porque sin el nada tendría razón de ser.

A mi “ALMA MATER” la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de formarme profesionalmente.

Al personal del Departamento Forestal porque de una u otra forma contribuyeron a mi formación como profesionista y a mi desarrollo personal, aportándome conocimientos que serán de mucha utilidad en mi futuro profesional.

Al Departamento de Ciencias Básicas. En especial a la T. L. María De Jesús Sánchez Velásquez por las facilidades otorgadas durante el trabajo de laboratorio del presente estudio.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo, por su valiosa asesoría, por compartir sus conocimientos y por todo el apoyo otorgado para llevar a cabo el presente trabajo. Gracias por enseñarme a hacer bien las cosas.

Al M.C. Celestino Flores López, por sus valiosas sugerencias y aportaciones que contribuyeron a mejorar el contenido del presente trabajo.

Al Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo, por sus valiosas sugerencias, aportaciones y participación en la asesoría del presente trabajo. Gracias por sus contribuciones a mi desarrollo profesional.

A todos mis compañeros de la generación XCVI de la carrera de Ingeniero Forestal. Por todas las experiencias que compartimos juntos: Rafael Cahuich R., Jorge Luis Cuevas Hdez., Juan J. Hernández S., Gilberto Landa C., Gilberto Hernández P., Roberto Maldonado C., Álvaro Monsalvo E., Eliseo Jarillo M., Damián Sánchez M., Librado Martínez G., Modesto Curiel A., Neftalí Yáñez A., Arvey Velásquez S., Rodrigo Torres Hdez., Valentín García P., Pedro Ornelas I. Olga L. Ortiz y Nayeli Tinajero. En especial a: Marco Antonio Cepeda Valerio, José Tomás Monarrez Valenzuela, Roberto Santiago Pablo y Sergio Lara Contreras, por su gran amistad y por todas las anécdotas compartidas.

Al compañero y amigo Modesto Curiel Ávila por la ayuda otorgada en la realización del mapa de localización del área de estudio.

A un gran amigo Ing. Wilfred Mendoza Jiménez, porque gracias a su ayuda incondicional llegué a esta, mi Universidad.

A todas aquellas personas que con su trabajo diario y a través de sus impuestos hacen posible la existencia de instituciones de educación pública.

A todas aquellas personas y amigos que de alguna forma me apoyaron durante mi estancia en la escuela y que en este momento mi mente deja escapar.....Gracias.

L A H U M I L D A D

*Reconocer que nada de lo que he logrado
hasta el día de hoy, pudiera haberlo obtenido
sin la inversión que otras personas
han hecho en mi vida....*

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	vii
I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1Objetivos e hipótesis.....	2
II REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 Anillos de crecimiento en coníferas.....	4
2.2 Formación y características de la madera.....	5
2.2.1 Madera temprana y madera tardía.....	6
2.2.2 Madera juvenil y madera madura.....	6
2.3 Densidad de la madera.....	7
2.3.1 Importancia de la densidad de la madera.....	10
2.3.2 Estimación de la densidad de la madera.....	10
2.3.3 Niveles de variación de la densidad de la madera.....	13
2.4 <i>Pinus estevezii</i> (Mtz.) Perry.....	14
2.4.1 Taxonomía.....	14
2.4.2 Distribución y ecología.....	14
2.4.3 Principales usos.....	15

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio.....	16
3.1.1 Localización.....	16
3.1.2 Fisiografía.....	16
3.1.3 Geología y suelo.....	16
3.1.4 Hidrología.....	19
3.1.5 Clima.....	19
3.1.6 Vegetación.....	19
3.2 Trabajo de campo.....	21
3.2.1 Selección y derribo del arbolado.....	21
3.2.2 Obtención y registro de muestras	21
3.3 Trabajo de laboratorio.....	22
3.3.1 Descortezado y registro de muestras.....	22
3.3.2 Saturación y pesado de muestras en húmedo.....	22
3.3.3 Secado y pesado de las muestras en seco.....	23
3.3.4 Determinación de la densidad de la madera.....	23
3.4 Análisis estadístico.....	24
3.4.1 Método y procesamiento de análisis.....	25

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Medidas de tendencia central y de dispersión.....	28
4.2 Análisis de varianza y componentes de varianza.....	32

4.2.1 Variación entre poblaciones.....	35
4.2.1.1 Valores de correlación.....	35
4.2.2 Variación entre árboles.....	39
4.2.3 Variación entre diferentes alturas de corte dentro del árbol.....	41
V CONCLUSIONES	44
VI RECOMENDACIONES.....	45
VII LITERATURA CITADA.....	46
VIII APÉNDICE.....	51

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Localización y caracterización de las 23 poblaciones de regeneración de <i>Pinus estevezii</i> (Mtz.) Perry de la región sur de Nuevo León.	18
2. Componentes de los cuadrados medios esperados del análisis de varianza para la densidad de la madera de la regeneración de <i>Pinus estevezii</i> (Mtz) Perry de la región sur de Nuevo León.	26
3. Medidas de tendencia central y de dispersión de la densidad de la madera de la regeneración de <i>Pinus estevezii</i> (Mtz) Perry de 23 poblaciones de la región sur de Nuevo León.	28
4. Resultados del análisis de varianza y componentes de varianza para la densidad de la madera de la regeneración de <i>Pinus estevezii</i> (Mtz.) Perry de 23 poblaciones de la región sur de Nuevo León.	33
5. Prueba de Tukey de separación de medias, para la variación de la densidad de la madera entre poblaciones de <i>Pinus estevezii</i> (Mtz.) Perry de la región sur de Nuevo León.	36

6. Correlaciones de Pearson (r) entre factores fisiográficos y climáticos con densidad de la madera en regeneración de <i>Pinus estevezii</i> (Mtz.) Perry de la región sur de Nuevo León.	37
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Ubicación geográfica de las 23 poblaciones de regeneración de <i>Pinus estevezii</i> (Mtz.) Perry. de la región sur de Nuevo León.	17
Figura 2. Representación esquemática de la variación de la densidad de la madera a diferentes alturas de corte dentro de los árboles de <i>Pinus estevezii</i> (Mtz.) Perry de la región sur de Nuevo León.	42

RESUMEN

El presente estudio se realizó para conocer el nivel de la variación de la densidad de la madera entre poblaciones, entre árboles dentro de las poblaciones y entre diferentes alturas de corte dentro de árboles, en la regeneración de *Pinus estevezii* (Mtz.) Perry en la región sur de Nuevo León.

Se utilizaron muestras de madera procedentes de 23 poblaciones, en cada población se seleccionaron de 4 a 6 árboles que tuvieran una altura mayor o igual a 1.30 m y menores de 4 m de los cuales se obtuvieron de 3 a 9 rodajas por árbol a diferentes alturas, la primera a 0 m, la segunda a 0.30 m y las siguientes a cada 50 cm de distancia hasta llegar al ápice. Las rodajas se partieron a la mitad para obtener al final un total de 1160 muestras. Se estimó la densidad de la madera para cada muestra mediante el método de máximo contenido de humedad. Se realizaron análisis de varianza y de componentes de varianza mediante el modelo de efectos aleatorios con clasificación jerárquica o anidada así como correlaciones de Pearson entre densidad de la madera con variables fisiográficas y climáticas.

El promedio general de densidad de la madera que se obtuvo para todas las muestras fue de 0.397 g cm^{-3} mostrando una amplia variación con un valor mínimo de 0.205 g cm^{-3} y un valor máximo de 0.599 g cm^{-3} y un coeficiente de variación de 13.81%.

Los resultados mostraron diferencias significativas ($p = 0.0001$) para las tres fuentes de variación en estudio, donde el 8.76% de la variación total se debió al efecto entre poblaciones, el 14.72% se atribuye al efecto entre árboles, el 60.75% fue debido al efecto entre las diferentes alturas de corte dentro de los árboles y el 15.75% restante se debió al efecto del error.

La densidad de la madera presentó una correlación positiva con la latitud ($r = 0.994$) y con la pedregosidad ($r = 0.997$); pero una correlación negativa con la longitud ($r = -0.469$), con la altitud ($r = -0.674$) y con la precipitación ($r = -0.617$), todas estas correlaciones fueron altamente significativas ($p = 0.0001$).

I INTRODUCCIÓN

Dentro de la riqueza forestal de México los pinares constituyen un recurso de primera importancia al ser especies de interés comercial; por la demanda de su madera, la facilidad de su explotación y la relativa rapidez del crecimiento de muchas de sus especies. Por lo tanto es importante realizar estudios de una o más propiedades físico-mecánicas que pueden influir en la calidad de los productos obtenidos de estas especies, específicamente la madera.

Pinus estevezii (Mtz.) Perry se encuentra distribuido únicamente en el Noreste de México, específicamente en Tamaulipas, Coahuila y Nuevo León (Perry, 1991). De ahí el interés por realizar el presente estudio en poblaciones ubicadas al Sur de este último Estado, debido a que en esta región la madera de esta especie tiene usos diversos como son: para postes, carretas, durmientes, y diferentes usos domésticos, aunque también se recomienda utilizarla en plantaciones para recuperación de suelos degradados así como para ornamental (Eguiluz, 1978).

Como la densidad de la madera es una característica que, la mayoría de las veces, supera la importancia que tienen otras propiedades dentro de la madera, ya que determina su resistencia al rompimiento, la calidad de pulpa para papel, así como su gran heredabilidad han hecho que en la actualidad sea de gran importancia en programas de mejoramiento genético forestal sin importar si el

objetivo final es la producción de fibras o bien productos sólidos de madera, aunque cabe mencionar que existen sustancias que pueden afectar su uso final como las resinas, los terpenos y las ligninas (Hocker, 1984; Zobel y Talbert, 1988).

Encontrar la variación porcentual de densidad de la madera existente en especies del género *Pinus*, es esencial porque, si se encuentra variación ya sea entre árboles o poblaciones de árboles entonces, se pueden realizar trabajos de mejoramiento genético por ser una cualidad que puede ser modificada y reconocida como una característica altamente heredable. Por lo que, el presente estudio está encaminado a obtener conocimiento sobre la variación de la densidad de la madera existente entre poblaciones, árboles y a diferentes alturas de corte dentro de los árboles de *Pinus estevezii* en su etapa de regeneración, cabe señalar que, aunque se trate de arbolado joven se puede mostrar la tendencia que seguirá esta variable para cuando los árboles sean adultos.

1.1 Objetivos e hipótesis

Los objetivos del presente estudio fueron:

- 1) Determinar la variación de la densidad de la madera en la regeneración de *Pinus estevezii* entre 23 poblaciones, entre árboles dentro de las poblaciones y dentro del árbol a diferentes alturas de corte dentro de las 23 poblaciones de la región Sur de Nuevo León.

2) Estimar el grado de correlación entre densidad de la madera y factores fisiográficos y climáticos como: longitud, latitud, altitud, pedregosidad y precipitación.

Las hipótesis nulas propuestas para este trabajo fueron:

Ho: No existe variación en la densidad de la madera entre poblaciones, entre árboles dentro de las poblaciones, en diferentes alturas de corte dentro de los árboles dentro de las poblaciones.

Ho: No existe correlación entre la densidad de la madera y factores como la longitud, la latitud, la altitud, la pedregosidad y la precipitación, de las 23 poblaciones.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Anillos de crecimiento en coníferas

El anillo de crecimiento está formado por células xilemáticas producidas por el cambium vascular y que representa un periodo de crecimiento anual (Padilla, 1987). En las coníferas, el comienzo del crecimiento de los anillos de los árboles se inicia con la producción de hormonas dentro de los meristemos apicales, las yemas en el ápice dominante y las diversas ramas principales, es entonces que las células del cambium se dividen para producir pocos tipos de células, en su mayoría traqueidas y es cuando se forma la madera más uniforme, este proceso se inicia en la copa y la porción superior del tronco, luego avanza en forma basipétala hasta llegar a la base del árbol (Daniel *et al.*, 1982; Hocker, 1984). Estos anillos de crecimiento pueden ser afectados por un espaciamiento inicial, el aclareo, la fertilización y las podas, que influyen sobre el tamaño de la copa y como consecuencia en el espesor del anillo producido, de igual manera le afecta un fotoperiodo corto, las bajas temperaturas y la disponibilidad de agua, que conducen a una reducción de la actividad fisiológica de la copa (Daniel *et al.*, 1982).

En un estudio realizado por Hernández *et al.* (1996) en características de los anillos y densidad de la madera a diferentes alturas del fuste en rodales aclareados de *Pinus patula* Schl. *et* Cham. en Chignahuapan-Zacatlán, Pue., en

dos rodales, uno de 10 a 20 años y otro, de 20 a 30 años de edad, los autores encontraron que los aclareos afectaron significativamente características del anillo de crecimiento como son el ancho total de éste, así como el ancho de la madera temprana y el ancho de la madera tardía.

2.2 Formación y características de la madera

En las coníferas la actividad meristemática inicia una vez que las condiciones del ambiente dejan de ser limitantes y es cuando se activan los meristemas apicales y cambiales que dan origen a la formación de la madera (Hocker, 1984).

La madera es un material complejo formado por celulosa, hemicelulosa y lignina, además de algunas otras sustancias tanto orgánicas como inorgánicas así como agua en una cantidad variable dependiendo de la especie (Ávila, 1995). La madera es un material muy poroso, pero no tan permeable, la impermeabilidad en ésta se debe a que sus poros son de naturaleza muy discreta, así que características como tamaño, naturaleza y cantidad de estructuras interconectadas en la madera, tienen el mayor efecto sobre el movimiento y cantidad de agua contenida en ésta (Stamm, 1963).

El anillo de crecimiento, la longitud de las fibras, el espesor de las paredes de las células y el contenido de celulosa y lignina forman la sustancia llamada madera, y de acuerdo a la proporción contenida en el árbol de cada uno de estos

elementos determinarán el tipo de madera presente en el mismo (Daniel *et al.*, 1982).

2.2.1 Madera temprana y madera tardía

La madera temprana es la parte del anillo de crecimiento producido a principios de la estación de primavera por esto es conocida también como madera de primavera (Padilla, 1987). Algo avanzada la temporada de crecimiento del árbol se da una transición dentro del mismo y es entonces cuando cesa la producción de la madera temprana, para dar paso a la formación de traqueidas de madera tardía; las principales células de la madera de primavera son traqueidas que cuentan con grandes diámetros y paredes delgadas (Daniel *et al.*, 1982).

La madera tardía es la parte del anillo de crecimiento que se forma al término de la estación de verano por tanto es conocida también como madera de verano (Padilla, 1987). Las células de la madera tardía se caracterizan por ser más lignificadas, de paredes más gruesas y de menor lumen, por tanto, presenta un alto peso específico o alta densidad de la madera (Daniel *et al.*, 1982; Zobel y Talbert, 1988).

2.2.2 Madera juvenil y madera madura

En las coníferas durante los primeros 10 a 15 años de crecimiento anual existe un corazón de madera juvenil o madera del corazón que se encuentra cerca

de la médula de cualquier entrenudo a todo lo largo del árbol y se relaciona de modo estricto con la edad, se le llama madera juvenil la cual se define como la madera que se forma bajo la influencia directa de la copa, sus características son un escaso porcentaje de madera tardía, traqueidas más cortas y un bajo contenido de celulosa, en general es de poca resistencia, baja proporción de pulpa y elevada contracción (Daniel *et al.*, 1982).

La madera madura es la que se forma aproximadamente 15 años después de que el árbol ha producido madera juvenil, se encuentra en la parte externa de la madera juvenil se caracteriza por tener traqueidas más largas, con pared celular más gruesa, gran producción de celulosa y una alta densidad (Daniel *et al.*, 1982; Zobel y Talbert ,1988).

En un estudio realizado por López L. (1997) en densidad de la madera de *Pinus greggii* Engelm. al llevar a cabo una correlación entre la densidad de la madera juvenil, la madera de transición y la madera madura con la densidad total, encontró que los árboles con mayor densidad en la madera juvenil son los que más tarde presentaran una densidad mayor en la madera de transición, madura y total.

2.3 Densidad de la madera

Aunque el peso específico y la densidad de la madera se refieren prácticamente a lo mismo, es importante entender el significado de cada término.

La densidad de la madera se define como el peso de ésta expresado por volumen cúbico en g cm^{-3} o kg m^{-3} en el sistema métrico decimal o bien Lb ft^{-3} en el sistema de medición inglés; como ejemplo, 450 kg m^{-3} es equivalente a $28 \text{ libras pies}^{-3}$. El peso específico es la relación del peso de un volumen dado de madera, respecto al peso de un volumen igual de agua cuyo valor estimado es de 1 g cm^{-3} ; por tal motivo si se conoce que la densidad de una muestra de madera es 0.5 g cm^{-3} su peso específico será de 0.5 valor que carece de unidades y únicamente válido en el sistema métrico decimal, no así en el sistema de medición inglés debido a que las unidades y las equivalencias son diferentes (Zobel y Talbert, 1988).

Por tal motivo el concepto y valores a utilizar dependerá del sistema en el que se realiza la determinación de la densidad de una muestra de madera, ya que en el sistema métrico decimal el resultado de ambos conceptos es prácticamente lo mismo, la diferencia recae en que el peso específico carece de unidades y la densidad de la madera no (Zobel y Talbert, 1988). Asimismo el peso específico o densidad de la madera está determinado por tres diferentes propiedades presentes en ésta, mismos que son: a) cantidad de madera tardía, b) el tamaño de las células y c) el grosor de la pared celular.

En México existen diversos estudios sobre la densidad de la madera. Sin embargo, casi todos están enfocados a la densidad de la madera de árboles adultos y se carece de información en regeneración. Así por ejemplo, López A. (1997) al realizar un estudio sobre la variación de la densidad de la madera entre y dentro de árboles de *Pinus rudis* Endl. en la Sierra de Arteaga, Coah., utilizando

diez árboles obteniendo rodajas a diferentes alturas del fuste desde 0.30 m, luego a cada 2.54 m hasta 1 m antes del ápice. Encontró que la mayor variación respecto al total se debió al efecto de las diferencias entre árboles (59.8%) y la variación debido a diferentes alturas dentro de los árboles fue menor (13.7%).

De igual forma, Trujillo (1999) realizó un estudio sobre la variación de la densidad de la madera de *Pinus teocote* Schl. et Cham. en Montemorelos, N. L., para ello colectó muestras de nueve árboles, considerando las siguientes fuentes de variación: diferencias entre árboles, diferencias entre alturas de rodaja y diferencias entre clases de edad. El autor encontró que la variable que más contribuyó a la variación total fue el efecto entre alturas de rodaja dentro de los árboles.

Monarrez (2004) al realizar un estudio para determinar la variación de la densidad de la madera existente entre 12 localidades de la regeneración de *Pinus teocote* en el sureste de Coah. y sur de N. L., mediante el método de máximo contenido de humedad, el autor probó tres fuentes de variación que fueron variación entre poblaciones, variación entre árboles dentro de las poblaciones y variación entre alturas de rodaja dentro de los árboles dentro de las poblaciones, determinando que el mayor efecto de la variación total se debió a las diferentes alturas de rodaja dentro de los árboles y no encontró variación entre poblaciones.

2.3.1 Importancia de la densidad de la madera

Una de las propiedades que más influye en la mayoría de los usos que se le dan a la madera es precisamente su densidad. Por ejemplo, se asocia con una mayor capacidad calorífica cuando se utiliza como combustible; en un mayor o menor rendimiento en la producción de pasta cuando se emplea en la industria de pulpa y papel, así como una mayor resistencia si se usa en construcción (Daniel *et al.*, 1982).

La mayoría de las veces, la densidad de la madera supera la importancia que tienen otras propiedades de la madera, en el caso de la calidad de la pulpa y papel determina su resistencia al rompimiento, y al presentar una gran heredabilidad puede ser utilizado en programas de mejoramiento genético, por lo tanto, de acuerdo al nivel de densidad que contenga la madera es lo que determinará el uso final que se le dará a la misma (Zobel y Talbert, 1988). La densidad de la madera no sólo afecta su fuerza, sino que también interviene en la producción de celulosa y las calidades del maquinado (Hocker, 1984).

2.3.2 Estimación de la densidad de la madera

Para la estimación de la densidad de la madera es necesario obtener el valor de dos variables que son el peso anhidro y el volumen verde de la muestra de madera en estudio (Kollman, 1959). El peso anhidro se obtiene al realizarle a la muestra de madera una prueba de secado en una estufa a una temperatura

aproximada de 105 ± 5 °C hasta obtener un peso constante. Sin embargo, para obtener el volumen verde es necesario colocar las muestras en un recipiente con agua para que se saturen de humedad, posteriormente se coloca un recipiente con agua sobre una balanza analítica en donde cada muestra de madera se introduce al recipiente sin que estas toquen el fondo o las paredes del mismo, y es cuando se obtiene el peso del agua desplazada que corresponde al volumen verde, esta metodología es conocido como método de desplazamiento de agua (Valencia y Vargas, 1997), de donde se deriva la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad de la madera (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{Peso anhidro}}{\text{Volumen verde}}$$

Otro método para la estimación de la densidad de la madera es el método empírico que puede ser utilizado cuando se tengan muestras pequeñas como, cilindros de madera, en este método se considera a la viruta de madera como un cilindro perfecto, se mide la longitud de la viruta con una regla graduada cuando ésta se encuentra saturada de humedad, se calcula el volumen verde de la muestra con la fórmula del cilindro tomando en cuenta el diámetro interior del taladro y la longitud de la viruta; para obtener el peso anhidro, las muestras se deben deshidratar en una estufa de secado a 105-110 °C y después se deben pesar en una balanza analítica (Valencia y Vargas, 1997).

De igual forma, Smith (1954) menciona la metodología de Keywerth conocida como método de máximo contenido de humedad, que consiste en saturar las muestras de humedad introduciéndolas en recipientes con agua hasta que éstas alcancen el punto de saturación, posteriormente se pesan en una balanza analítica para obtener el peso en verde y una vez pesados se introducen a una estufa de secado a una temperatura de 105 ± 5 °C hasta obtener su peso constante que es el peso anhidro o seco; la fórmula que se aplica para obtener la densidad de la madera es:

$$DM = \frac{1}{\frac{Pms - Pma}{Pma} + \frac{1}{Peo}}$$

Donde:

DM = Densidad de la madera (g cm^{-3})

Pms = peso de la madera completamente saturada (g)

Pma = Peso de la muestra de madera en estado anhidro (g)

Peo = Densidad promedio de la sustancia madera (1.53 g cm^{-3})

El uso de cada uno de los métodos para la estimación de la densidad de la madera depende del tipo de estudio, los materiales y el equipo con que se cuente para realizarlo.

2.3.3 Niveles de variación de la densidad de la madera

Se conoce como variación las diferencias que se presentan entre los individuos de una misma especie. La variación de la densidad de la madera se puede presentar entre especies, entre fuentes geográficas (localidades), entre árboles de una misma especie y dentro del árbol, aún teniendo la misma edad y creciendo bajo condiciones similares o iguales (Zobel y Talbert, 1988; Zobel y Van Buijtenen, 1989). También se puede encontrar variación de la parte central a la exterior del tronco (sección transversal) y de la base al ápice del árbol (Hocker, 1984). Igualmente, entre poblaciones se pueden presentar variaciones debido a las diferencias ecológicas y a la amplia gama de condiciones que se presentan a lo largo del área de distribución natural cualquier especie (Daniel *et al.*, 1982).

En las coníferas, generalmente, las características de la madera tardía son las que determinan las diferencias en las propiedades de la madera entre los árboles de una misma especie (Taylor, 1969). Los porcentajes de madera tardía pueden variar hasta en un 100% entre los árboles de una misma especie y edad creciendo a la misma velocidad y con raíces entrelazadas (Zobel y Talbert, 1988).

Las diferencias entre árboles son el resultado de tres factores: a) los diferentes ambientes en los cuales crecen, b) las diferencias genéticas entre los árboles y c) las interacciones existentes entre el genotipo de los árboles y diferentes ambientes en los cuales éstos crecen (Zobel y Talbert, 1988).

2.4 *Pinus estevezii* (Mtz.) Perry

2.4.1 Taxonomía

Esta especie de pino por su aspecto general se asemeja al *Pinus pseudostrobus* Lindl. y al *Pinus montezumae* Lamb. (Martinez, 1992). La diferencia típica con respecto al *P. pseudostrobus* y *P. montezumae* radica en sus semillas ásperas, su hipodermo más grueso e irregular y paredes externas del endodermo que son levemente engrosadas, por su cono que es largamente ovoide y acuminado, fuerte, oblicuo y asimétrico, con escamas muy duras, apófisis levantadas y provistas de una espinita persistente. Guarda una estrecha relación con el *P. montezumae* por sus hojas fuertes con hipodermo grueso y penetrante (Martínez, 1992).

2.4.2 Distribución y ecología

Pinus estevezii también conocido como pino ocote es una especie arbórea con una altura que va de 15 a 20 m, con un fuste de 75 a 100 cm de diámetro normal, de copa espesa y redondeada, que se encuentra distribuido únicamente en los estados del Noreste de la República Mexicana, específicamente en Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, en altitudes que van de los 800 hasta los 1800 m.s.n.m., comúnmente asociado con *Pinus cembroides* Zucc. y *P. arizonica* Mtz. var. *stormiae*, en lugares con precipitaciones que van de 300 a 400 mm anuales (Perry, 1991).

2.4.3 Principales usos

La madera de esta especie se usa normalmente en aserrío, pero también se utiliza para postes, carretas, durmientes y además de tener diversos usos domésticos también se recomienda utilizar en plantaciones para recuperación de suelos degradados y como ornamental (Eguiluz, 1978).

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

3.1.1 Localización

El área en donde se obtuvieron las muestras para el presente estudio se encuentra ubicada en el macizo montañoso de la Sierra Madre Oriental al sur del estado de Nuevo León, y se localiza entre los $99^{\circ} 43' 18''$ y $100^{\circ} 23' 47''$ longitud Oeste y los $23^{\circ} 49' 22''$ y $25^{\circ} 21' 54''$ latitud Norte (Figura 1). En esta área se ubicaron 23 poblaciones para obtener las muestras utilizadas en el presente estudio (Cuadro 1).

3.1.2 Fisiografía

El área presenta altitudes que van desde los 805 a 2750 msnm, con pendientes que van del 11 al 70%. En las poblaciones estudiadas predominan las exposiciones Noreste y Sureste. Así como, un relieve contrastante en el que se distinguen principalmente las sierras, lomeríos y bajadas (INEGI, 1981).

3.1.3 Geología y suelo

Las rocas que se encuentran en el área son de origen sedimentario, generalmente calizas y lutitas, y en lo referente a suelo, los predominantes son de

MAPA

MAPA

Cuadro -1. Datos de localización y caracterización de las 23 localidades en regeneración de *Pinus estevezii* (Mtz.) Perry de la región sur de Nuevo León.

Localidad		Propiedad	Municipio	Longitud	Latitud	Altitud m s n m	Pedregosidad (%)	Precipitación (mm)
Simb.	Nombre							
EB	El Barro	Comunal	Zaragoza	99° 47' 48''	23° 57' 05''	1791	2	819
EP	El Pueblo	Comunal	Zaragoza	99° 46' 49''	23° 57' 21''	1555	75	835
PP	Puerto el Pino	Ejido la Joya	Zaragoza	99° 52' 55''	23° 49' 22''	2580	15	524
LL	La Lagunita	Ejido la Soledad	Aramberri	99° 58' 23''	24° 01' 32''	1860	35	533
EM	El Maguey	Privada Juan Villanueva	Aramberri	99° 43' 18''	24° 02' 40''	2750	5	910
LB	La Labor Baldía	Ejido Potrero del Padre	Aramberri	99° 44' 16''	24° 03' 21''	2176	6	907
AA	Agua Adentro	Ejido Potrero del Padre	Aramberri	99° 44' 52''	24° 03' 40''	1600	27	880
LR	La Rosita	Privada la Rosita	Galeana	99° 54' 26''	24° 10' 58''	1900	45	535
ET	El Tejocote	Ejido Laguna de Sánchez	Santiago	100° 14' 52''	24° 19' 56''	1906	42	758
T	El Taray	Ejido Pablillo	Galeana	99° 57' 54''	24° 34' 26''	2146	32	540
SS	San Sebastián	Ejido Pablillo	Galeana	99° 58' 25''	24° 34' 54''	2155	10	477
P	El Puertecito	Ejido Pablillo	Galeana	99° 58' 52''	24° 35' 43''	2100	21	456
LN	La Nopalera	Pequeña	Iturbide	99° 53' 44''	24° 43' 01''	1530	37	630
LT	La trinidad	Ejido La Trinidad	Montemorelos	100° 08' 49''	25° 14' 18''	1620	2	962
PR	Potrero Redondo	Ejido Puerto Genovevo	Santiago	100° 09' 39''	25° 15' 18''	1382	42	951
PN	Puerto Nuncio	Ejido Laguna de Sánchez	Santiago	100° 15' 04''	25° 18' 32''	2250	15	747
MC	Mesa de los Caballos	Ejido Laguna de Sánchez	Santiago	100° 15' 04''	25° 19' 07''	2070	30	717
CP	Corral de Palo	Ejido Puerto Genovevo	Santiago	100° 09' 18''	25° 19' 11''	805	8	965
PG	Puerto Genovevo	Ejido Puerto Genovevo	Santiago	100° 10' 44''	25° 20' 26''	1120	4	959
V	El Venadito	Comunal Laguna de Sánchez	Santiago	100° 21' 02''	25° 21' 13''	2020	59	570
EV	El Venadito	Comunal Laguna de Sánchez	Santiago	100° 21' 08''	25° 21' 14''	2060	2	570
S	San Sebastián	Privada San Sebastián	Santiago	100° 22' 30''	25° 21' 39''	1820	6	561
LF	Las Flores	Ejido San José Boquillas	Santiago	100° 23' 47''	25° 21' 48''	1930	1	562

Simb. = Simbología o nomenclatura; msnm = metros sobre el nivel del mar.

Fuente: González (2000)

tipo rendzina, litosol y regosol calcárico de textura media (DETENAL, 1976, 1977a, 1977b, 1978; CETENAL, 1975, 1977a, 1977b, 1977c, 1977d, 1977e, 1978).

3.1.4 Hidrología

El área de estudio esta dividida en dos regiones hidrológicas (RH), la región RH 24 "Río Bravo" y la región RH 25 "San Fernando Soto La Marina". El mayor número de las poblaciones en estudio se encuentran en la región RH 24 Río Bravo, dentro de la cuenca hidrológica B Río Bravo-San Juan y el resto de las poblaciones dentro de la cuenca B Río Soto La Marina de la región RH 25 (INEGI, 1981).

3.1.5 Clima

El clima prevaleciente de la región es un clima seco, el menos seco de los secos, templado, con verano cálido y una temperatura media anual que se ubica en un rango que va de 12 a 18 °C, con una temperatura del mes más frío entre -3 y 18 °C, y la temperatura del mes más caliente mayor de los 18 °C, con régimen de lluvias de verano (UNAM, 1970; INEGI, 1985a, 1985b, 1990a, 1990b).

3.1.6 Vegetación

Si bien es cierto que los bosques de pino en el área de estudio cubren áreas considerables, frecuentemente se les encuentra asociados con otros tipos

de vegetación por lo que no se les puede considerar como francamente dominantes, en términos generales pueden encontrarse bosques mixtos de pino encino o de encino pino, con matorral subinorme, inorme, chaparral y matorral espinoso, dependiendo de la altitud y la exposición (INEGI, 1981).

De las partes más altas del área de estudio (3,000 msnm) se conocen bosques de *Pinus rudis* Endl. y *Pinus montezumae* Lamb. mientras que *Pinus arizonica* Mtz. se le encuentra cercano a Galeana, N.L. hasta los fondos de algunos valles, aunque cabe resaltar que los principales componentes de los pinares son *Pinus pseudostrobus* Lindl., *P. montezumae* y *P. teocote* y se les encuentra desde los 1500 hasta los 2800 msnm (Rzedowski, 1978).

Con base en los recorridos y observaciones de campo, las especies forestales más importantes dentro de las poblaciones de *Pinus estevezii* del estrato arbóreo superior son: *Abies durangensis* Mtz. var. *coahuilensis*, *Abies* sp, *Pinus teocote*, *P. cembroides* Zucc., *P. johannis* M-F Robert., *Taxus globosa* Schlecht., *Juglans mollis* Engelm., *Quercus* sp y como estrato inferior se encuentra asociado con *Arbutus xalapensis* H.B.K., *Rhus virens* Lindh. ex A.Gray., *Prunus serotina* Ehrh., *Yucca carnerosana* (Trel.) Mc. Kelvey. y *Agave* sp entre otras especies (González, 2000).

3.2 Trabajo de campo

Se identificaron 23 poblaciones de regeneración de *Pinus estevezii*. Mediante un muestreo sistemático; se seleccionaron de 4 a 6 de los mejores árboles de cada población, para tener un total de 106 árboles, los cuales contaban con una altura mayor o igual a 1.30 m y menor o igual a 3.80 m.

3.2.1 Selección y derribo del arbolado

Se seleccionaron los mejores árboles de cada población, y se consideró que estuvieran sanos, vigorosos, de un porte dominante y sin competencia de árboles adultos, una vez seleccionados se procedió a derribarlos y desramarlos con la ayuda de una segueta de metal y un serrucho.

3.2.2 Obtención y registro de muestras.

Derribados los árboles, inmediatamente se marcó con un color sobre el fuste de cada uno los diferentes cortes a realizar en éste, para así obtener las rodajas (muestras), especificando que los cortes se realizaron al nivel del suelo (0 cm), luego a los 30 cm y después a cada 50 cm, hasta llegar al ápice. En la parte inferior de cada rodaja se anotó el número del árbol y de la rodaja y una vez obtenidas todas las rodajas se guardaron en bolsas de papel e igualmente a cada bolsa se le marcó el número de la población, posteriormente se transportaron al laboratorio del Departamento Forestal de la Universidad (UAAAN) para su estudio.

3.3 Trabajo de laboratorio

3.3.1 Descortezado y registro de muestras

A cada rodaja se le quitó la corteza con una navaja, posteriormente todas las rodajas se partieron a la mitad pasando por la médula y así obtener dos muestras por rodaja. Cada muestra se identificó utilizando lápiz graso de dos colores diferentes, uno para cada mitad de rodaja, anotando en cada mitad (muestra) la siguiente simbología: para identificar las poblaciones se usaron las letras del abecedario, para identificar el número de árbol se utilizaron los números del 1 al 6 y para identificar la altura de corte o posición dentro del árbol se utilizaron números del 1 al 9. Por ejemplo: D 2 5 que significa localidad "D", árbol dos, rodaja cinco.

3.3.2 Saturación y pesado de muestras en húmedo

Todas las muestras se metieron en un recipiente de plástico con agua, hasta lograr que estuvieran completamente saturadas de humedad; para comprobar esto fue necesario pesar 15 muestras del total, cada tercer día antes de que éstas se hundieran, después de hundidas se pesaron diariamente hasta obtener un peso constante (peso húmedo), lo cual se logró aproximadamente a los 90 días, el pesado de todas las muestras se realizó en una balanza analítica con precisión de 0.0001 gramos.

3.3.3 Secado y pesado de las muestras en seco

Para el secado de las muestras de madera, primeramente se dejaron durante 24 horas a temperatura ambiente para eliminar el exceso de humedad; posteriormente, se colocaron en una estufa de secado a una temperatura de 105 ± 5 °C para eliminar totalmente la humedad y obtener el peso anhidro mismo que se logró aproximadamente a los 15 días. Para el pesado de las muestras en seco se usaron 15 muestras del total de las contenidas en la estufa y se pesaron diariamente hasta obtener un peso constante. Las muestras fueron extraídas de la estufa con el uso de unas pinzas y se colocaron en una campana de desecación que contenía en su interior sílicagel en donde se les dejó durante 15 minutos antes de ser pesadas, para evitar que adquirieran humedad del ambiente o de las manos por el contacto directo. Para el peso en seco se usó la misma balanza analítica utilizada para el peso en húmedo.

3.3.4 Determinación de la densidad de la madera

Una vez obtenido las dos variables peso saturado y peso anhidro se realizó el cálculo de la densidad de la madera para cada muestra, utilizando el método de máximo contenido de humedad propuesto por Keywerth (Smith, 1954).

3.4 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza para la variable en estudio, densidad de la madera, por medio de un diseño completamente al azar con diferente número de repeticiones, para muestras de clasificación jerárquica o efectos anidados, obtenidas de poblaciones normales (Steel y Torrie, 1988).

El modelo estadístico utilizado para el análisis de varianza de la densidad de la madera fue el siguiente (Snedecor y Cochran, 1981):

$$Y_{ijkl} = \mu + P_i + A_{i(j)} + HC_{i(j,k)} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = valor de la variable

μ = media de la población para la característica en estudio

P_i = efecto debido a poblaciones

$A_{i(j)}$ = efecto debido a árboles

$HC_{i(j,k)}$ = efecto debido a diferentes alturas de corte dentro de árboles

ε_{ijkl} = efecto aleatorio (error de muestreo)

$i = 1,2,3,\dots a$ (número de poblaciones)

$j = 1,2,3,\dots b$ (número de árboles)

$k = 1,2,3,\dots c$ (número de altura de corte dentro de árboles)

$l = 1,2 n$ (número de repeticiones)

La interpretación del modelo es que la variable esperada está en función de una media poblacional más el efecto de la i -ésima población, más el efecto del j -ésimo árbol dentro de la i -ésima población, más el efecto de el k -ésimo corte dentro del j -ésimo árbol dentro de la i -ésima población, más el efecto aleatorio (error de muestreo dentro de diferentes alturas de corte)

También se realizó un análisis de componentes de varianza (Cuadro 2) considerando el mismo modelo estadístico, para conocer la contribución porcentual a la varianza total, de las siguientes fuentes de variación: a) variación de la densidad entre poblaciones, b) variación de la densidad entre árboles dentro de las poblaciones y c) variación de la densidad entre diferentes alturas de corte dentro de los árboles dentro de las poblaciones.

3.4.1 Método y procesamiento de análisis

El análisis de la información para la densidad de la madera se realizó mediante el uso del paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System). En este programa se capturaron los datos de las variables del trabajo de laboratorio; peso saturado (húmedo) y peso seco (anhidro) y con estos datos se calculó la densidad de la madera de las muestras, así como la prueba de normalidad de los datos con la metodología de Shapiro – Wilk.

Cuadro 2. Componentes de los cuadrados medios esperados del análisis de varianza para la densidad de la madera de la regeneración de *Pinus estevezii* (Mtz) Perry de la región sur de Nuevo León.

F.V		g.l	C.M.	Esperanza de los Cuadrados Medios
P	(a)	a-1	CML	$\sigma_e^2 + k_1\sigma^2_{c(a,b)} + k_2\sigma^2_{b(a)} + k_3\sigma^2_a$
A	(b)	a (b-1)	CMA (P)	$\sigma_e^2 + k_1\sigma^2_{c(a,b)} + k_2\sigma^2_{b(a)}$
HC	(c)	ab (c-1)	CMHC (A,P)	$\sigma_e^2 + k_1\sigma^2_{c(a,b)}$
ERROR	(e)	abc (n-1)	Cme	σ_e^2

F.V = Fuentes de variación, g.l = Grados de libertad, σ_e^2 = Varianza del error, P = poblaciones, A = Árboles, HC = Alturas de corte dentro de árboles, n = Número de observaciones, CMP = Cuadrados medio de población, CMA (P) = Cuadrado medio de árboles dentro de las poblaciones, CMHC (A,P) = Cuadrado medio de altura de corte dentro de árboles dentro de las poblaciones, CMe = Cuadrado medio del error, σ_a^2 = Varianza entre poblaciones, $\sigma^2_{b(a)}$ = Varianza entre árboles dentro de las poblaciones, $\sigma^2_{c(b,a)}$ = Varianza entre altura de corte dentro de los árboles dentro de las poblaciones, $K_{1...3}$ = Coeficientes asociados a los componentes de varianza.

Se obtuvieron los valores de tendencia central y de dispersión así como el valor de la media poblacional mediante la fórmula de intervalos de confianza (Infante y Zárate, 1990). Posteriormente, se realizó el análisis de varianza y el análisis de componentes de varianza, esto es (PROC UNIVARIATE NORMAL, PROC ANOVA y PROC VARCOMP) para este último caso se sumaron las cantidades de los componentes de varianza estimados, posteriormente se calculó la varianza correspondiente para cada efecto o fuente de variación, despejando su valor de los cuadrados medios, el resultado obtenido se dividió entre el total sumado, valor que multiplicado por 100 proporcionó el porcentaje de varianza para cada fuente de variación.

En caso de encontrar diferencias entre poblaciones se realizó la prueba de separación de medias (Prueba Tukey), para identificar las poblaciones que resultaron ser diferentes.

También se realizó un análisis de correlación de Pearson (PROC CORR) entre la densidad de la madera y variables fisiográficas y climáticas; específicamente, la longitud, la latitud, la altitud, la pedregosidad y la precipitación.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Medidas de tendencia central y de dispersión de la densidad de la madera.

El valor promedio de la densidad de la madera para la regeneración de 23 poblaciones de *Pinus estevezii* fue de 0.397 g cm^{-3} , presentando un valor mínimo de 0.205 g cm^{-3} y un valor máximo de 0.599 g cm^{-3} para las 1160 muestras estudiadas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Medidas de tendencia central y de dispersión de la densidad de la madera (D.M.) en la regeneración de 23 poblaciones de *Pinus estevezii* (Mtz.) Perry del Sur de Nuevo León.

Variable	n	Valor Mínimo (g cm^{-3})	Valor Medio (g cm^{-3})	Valor Máximo (g cm^{-3})	S (g cm^{-3})	Error estándar	CV (%)
D.M.	1160	0.205	0.397	0.599	0.054	0.0016	13.81

n = Número de observaciones, S = Desviación estándar de la media, CV = Coeficiente de variación.

De acuerdo con los datos obtenidos, se observa que si se presenta el valor promedio con más menos una desviación estándar (0.397 ± 0.054), y considerando una distribución normal se tiene que alrededor del 66% de la población tiene una densidad de la madera que se encuentra entre 0.343 y 0.451 g cm^{-3} . El valor de la media poblacional, se encuentra con un 99% de confiabilidad entre 0.392 g cm^{-3} y 0.401 g cm^{-3} .

Como el valor de densidad promedio de todas las muestras es de 0.397 g cm⁻³ a esta madera se le puede clasificar como moderadamente liviana (0.36 a 0.42 g cm⁻³) según la clasificación desarrollada por Markward y Heck (Apéndice 1) (Echenique y Díaz, 1972).

Monarrez (2004) realizó un estudio para determinar la variación de la densidad de la madera de la regeneración de *Pinus teocote*. en Coah. y N.L., mediante el método de máximo contenido de humedad, utilizando 643 muestras tomadas a diferentes alturas de los árboles de 12 poblaciones. El autor obtuvo una densidad promedio de 0.42 g cm⁻³ con un coeficiente de variación de 15.87%, además de que el mayor efecto de la variación total se debió a las diferentes alturas de corte dentro de los árboles (37.9%) y una pequeña variación (3.5%) debido al efecto entre poblaciones.

Al comparar el valor promedio de densidad obtenido por Monarrez (2004) con el obtenido en el presente estudio, se tiene que es un valor cercano (0.42 g cm⁻³) al reportado para *Pinus estevezii* del presente estudio (0.39 g cm⁻³). El tamaño de muestra utilizado por éste autor es de 468 menor al utilizado en el presente trabajo (1160 muestras).

En otros estudios realizados en regiones fuera del estado de N.L., como Chihuahua y Oaxaca se han encontrado valores similares para diferentes especies pertenecientes al mismo género. Por ejemplo, para *Pinus engelmannii* Carr. en la Sierra Tarahumara de Chihuahua se reportó 0.44 g cm⁻³ (Tzab, 2002), para *Pinus*

arizonica Engelm. en Chihuahua se reportó 0.42 g cm^{-3} (Arroyo, 2001), mientras que para *Pinus oaxacana* de Oaxaca fue de 0.41 g cm^{-3} (García, 1984). Resaltando que estos estudios se realizaron utilizando arbolado adulto.

El valor promedio de la densidad de la madera encontrado en el presente estudio (0.397 g cm^{-3}) resulta inferior a valores reportados por diversos autores para especies del mismo género, en regiones geográficas cercanas y fuera del estado de N. L. Por ejemplo, para *Pinus rudis* en Arteaga Coah. (0.53 g cm^{-3}) (Valencia y López A., 1999), al reportado para *Pinus teocote* en Montemorelos, N.L. (0.47 g cm^{-3}) (Trujillo, 1999), para *Pinus greggii* Engelm en el Norte de México (0.47 g cm^{-3}) (López L., 1997), para *Pinus cembroides* Zucc. (0.58 g cm^{-3}) (Vaca, 1992), así como al reportado para arbolado selecto de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (0.54 g cm^{-3}) (Plancarte, 1987). Resaltando que el hecho de que el valor promedio de densidad de la madera encontrado en el presente estudio resulte inferior, puede atribuirse a la altura y edad del arbolado, lo cual hace difícil una comparación ya que, los autores mencionados utilizaron arbolado maduro, contrario al presente estudio que comprende árboles en regeneración con menos de 4 m de altura.

Por otro lado, se tiene que la densidad de la madera promedio del *Pinus estevezii* resultó superior al valor reportado para *Pinus patula* (0.34 g cm^{-3}) por Valencia (1994). Estudio realizado con muestras tomadas a 40 cm de altura en individuos de una prueba de progenie de 6 años de edad, resaltando que la razón por la que el valor de densidad del presente estudio sea mayor puede atribuirse a

la edad del árbol, debido a que para esa misma especie en arbolado adulto se ha reportado un valor de (0.48 g cm^{-3}) (García, 1984). Esto confirma que la densidad de la madera aumenta conforme aumenta la edad (Zobel y Van Buijtenen, 1989). Por lo tanto, se espera que el valor promedio de la densidad de la madera para la especie de *Pinus estevezii* sea mayor cuando el arbolado sea adulto.

Por otro lado, resulta ser un valor superior a valores reportados para especies como *Pinus strobus* var. *chiapensis* de tres localidades Oaxaca, Veracruz y Chiapas (0.35 g cm^{-3}) (Yáñez y Caballero, 1991), así como para *Pinus strobus* (0.34 g cm^{-3}) , *Picea engelmannii* (0.36 g cm^{-3}) y *Pinus ponderosa* (0.38 g cm^{-3}) (Daniel *et al.*, 1982).

La densidad promedio estimada $(0.397 \text{ g cm}^{-3})$ en el presente estudio puede ser debido a que el árbol se encuentra en sus primeros años en los que está formando una mayor cantidad de madera juvenil que normalmente presenta una baja proporción de madera tardía, que es la que contribuye a una mayor densidad y resistencia (Hocker, 1984).

Aunque el valor que se tiene se refiere principalmente a la madera de la etapa juvenil del árbol no quiere decir que ésta no sea importante, ya que en si puede mostrar predicciones sobre la posible tendencia de la densidad de la madera de esta especie en su etapa de madurez, como lo indica López A. (1997) en un estudio de correlación que realizó en *Pinus greggii* para madera juvenil, madera madura y madera de transición. El autor encontró una fuerte correlación

($r = 0.76$) ($p=0.05$), entre la densidad de la madera juvenil y la densidad de la madera total, de modo que los árboles que representan mayor densidad de la madera juvenil, después presentarán una mayor densidad en la madera de transición, madera madura y en la densidad total de la madera.

El coeficiente de variación encontrado en el presente estudio (13.81%), en comparación con otros trabajos realizados también en densidad de la madera. Resulta ser menor al reportado para *Pinus cembroides* (42.84%) (Vaca, 1992). Pero mayor al reportado para *Pinus patula* de 6 años de edad (7.2%) (Valencia, 1994), al de *Pinus rudis* (11.47%) (López A., 1997), al de *Pinus teocote* (6.90%) (Trujillo, 1999), así como al reportado para *Pinus engelmannii* (15.8%) (Tzab, 2002). Por lo tanto, la densidad de la madera se puede utilizar en programas de mejoramiento ya que presenta variabilidad y se ha reportado como una característica heredable (Zobel y Van Buijtenen 1989).

4.2 Análisis de varianza y componentes de varianza.

Los resultados del análisis de varianza para la densidad de la madera muestran que estadísticamente se encontró una variación significativa en las tres fuentes de variación ($p=0.0001$) (Cuadro 4). Debido a esto se rechaza la hipótesis nula en las que se plantea, que no existe variación entre poblaciones, entre árboles y entre diferentes alturas de corte dentro de los árboles.

Cuadro 4. Resultados del análisis de varianza y componentes de varianza para la densidad de la madera de la regeneración de *Pinus estevezii* (Mtz.) Perry de 23 poblaciones de la región sur de Nuevo León

F.V.	g.l	C.M	F.c	C.V.E	C.V.E (%)	Esperanza de los Cuadrados Medios
P (a)	22	0.0204	2.37 **	0.0002	8.764	$\sigma_e^2 + 1.996\sigma_{c(a,b)}^2 + 10.619\sigma_{b(a)}^2 + 50.381\sigma_a^2$
A (b)	94	0.0085	17.79 **	0.0004	14.719	$\sigma_e^2 + 1.9952\sigma_{c(a,b)}^2 + 9.7397\sigma_{b(a)}^2$
HC (c)	465	0.0041	8.68 **	0.0018	60.759	$\sigma_e^2 + 1.9925\sigma_{c(a,b)}^2$
Error (e)	578	0.0004		0.0004	15.757	σ_e^2
Total	1159				100	

F.V = Fuente de variación, g.l = Grados de libertad, C.M = Cuadrados medios, C.V.E = Componentes de varianza estimados, % = Porcentaje, F.c = F calculada, P = Poblaciones, A = Árboles, HC = Altura de corte dentro de árboles, n = Número de observaciones, σ_e^2 = Varianza del error, σ_a^2 = Varianza entre poblaciones, $\sigma_{b(a)}^2$ = Varianza entre árboles dentro de las poblaciones, $\sigma_{c(a,b)}^2$ = Varianza entre alturas de corte dentro de los árboles dentro de las poblaciones, ** = Significativo al nivel de $p = 0.0001$.

Se conocen referencias de estudios que indican que la densidad de la madera varía entre árboles y dentro del mismo árbol de una misma especie, misma edad y bajo condiciones similares de crecimiento, debido a que las características físicas y las propiedades de la madera son para algunas especies de *Pinus* generalmente diferentes (Zobel y Talbert, 1988; Zobel y Van Buijtenen, 1989).

La varianza total, de acuerdo al análisis de componentes de varianza, se integró en las siguientes proporciones para cada uno de sus componentes o fuentes de variación (Cuadro 4): variación entre poblaciones 8.76%, variación entre árboles 14.71% y variación entre alturas de corte dentro de los árboles 60.75%, dejando un 15.75% que corresponde al error o fuente no explicada.

En un estudio realizado por López A. (1997) para *Pinus rudis* se encontró que el mayor efecto de la varianza total fue la variación entre árboles (59.85%) seguido de alturas de rodaja dentro del árbol (20.3%), mientras que en *Pseudotsuga* en el Norte de México se reportó una variación de 11.24% entre poblaciones y una variación de 38.11% entre árboles dentro de las poblaciones (Zúñiga, 1998), en *Pinus teocote* se menciona una variación de 37.26 % para alturas de rodaja dentro de árboles (Trujillo, 1999), lo mismo para *Pinus arizonica* en Chihuahua, se reportó 22.3% de variación entre árboles y 3.4% correspondiente a la variación entre sitios (Arroyo, 2001). En otro estudio en regeneración de *Pinus teocote* se reportó que la variación fue entre diferentes alturas de corte con 37.9%, seguido de un 27.8% de variación entre árboles (Monarrez, 2004).

Al comparar los resultados obtenidos por estos autores con los obtenidos en el presente estudio, se tiene una cierta similitud en lo que respecta a poblaciones, no así en lo referente a las otras dos fuentes de variación, ya que la variación entre árboles es menor (14.71%) y la variación entre alturas de corte dentro del árbol presentó mayor variación (60.75%). Es importante, resaltar que algunos de los autores utilizaron fuentes de variación distintas a las utilizadas en el presente estudio, ya que en algunos casos también se estudió la variación entre clases de edad, y entre rodajas o únicamente variación entre poblaciones y árboles, lo cual puede mostrar diferencias en el efecto de la variación de cada fuente con respecto a la varianza total. Lo interesante es que se encontró

variación en el *Pinus estevezii* lo que quiere decir que esta especie puede ser modificada genéticamente.

4.2.1 Variación entre poblaciones

Debido a que el presente estudio presentó una variación entre poblaciones de 8.76% con respecto al total, valor significativo ($p=0.0001$), lo cual significa que existen diferencias entre poblaciones.

La población Potrero Redondo (PR) es diferente a la población El venadito siendo ambos los dos extremos del valor promedio de la densidad de la madera (Cuadro 5). La misma población PR resulta ser diferente a la población La Nopalera que igualmente muestra un valor de densidad promedio bajo. De igual forma la población Mesa de los Caballos (MC) muestra una desigualdad con la población El venadito (V) pero mantiene una igualdad estadística con el resto de las poblaciones.

4.2.1.1 Valores de correlación

De las correlaciones realizadas entre densidad de la madera con características fisiográficas y climáticas (Cuadro 6), la longitud presenta un coeficiente de correlación negativo ($r = -0.46$) significativo ($p=0.0001$) con la densidad de la madera, lo que se interpreta que a medida que aumenta la longitud la densidad de la madera disminuye y viceversa. En un estudio realizado para la

misma especie y con el mismo material biológico se encontró una correlación positiva ($r = 0.44$) significativa ($p=0.03$) entre la longitud y un índice de altura dominante (González, 2000), lo cual confirma que a medida que aumenta la longitud, los árboles tienen mejores condiciones para crecimiento y esto provoca menor densidad de la madera, por lo que también se podría esperar que entre densidad de la madera y el índice de altura también se presentara una correlación significativa, lo cual no sucedió, probablemente debido al tamaño de muestra.

Cuadro 5. Prueba de Tukey de separación de medias, para la variación de la densidad de la madera entre poblaciones de *Pinus estevezii* de la región sur de Nuevo León.

Simbología.	Población Nombre	Media (g cm ⁻³)	N	Agrupación Tukey
PR	Potrero Redondo	0.439	53	A
MC	Mesa de los Caballos	0.435	44	B A
S	San Sebastián	0.427	52	B A C
LR	La Rosita	0.422	32	B A C
EB	El Barro	0.415	48	B A C
EP	El Pueblo	0.415	42	B A C
SS	San Sebastián	0.410	66	B A C
LT	La Trinidad	0.407	53	B A C
LL	La Lagunita	0.406	52	B A C
LF	Las Flores	0.405	68	B A C
AA	Agua Adentro	0.395	54	B A C
EV	El Venadito	0.395	54	B A C
EM	El Maguey	0.393	50	B A C
PG	Puerto Genovevo	0.391	54	B A C
ET	El Tejocote	0.386	40	B A C
PP	Puerto el pino	0.386	42	B A C
CP	Corral de Palo	0.386	54	B A C
T	El Taray	0.385	60	B A C
PN	Puerto Nuncio	0.375	48	B A C
P	El Puertecito	0.375	48	B A C
LB	La Labor Baldía	0.373	51	B A C
LN	La Nopalera	0.367	46	B C
V	El Venadito	0.361	49	C

N = Número de muestras

Cuadro 6. Valores de correlación de Pearson (r) entre factores fisiográficos y climáticos con densidad de la madera de *Pinus estevezii* (Mtz.) Perry de la región Sur de Nuevo León.

	Longitud	Latitud	Altitud	Pedregosidad	Precipitación
DM	-0.46927 * (0.0239)	0.99443 (0.0001)	-0.674 (0.0004)	0.997 (0.0001)	-0.617 (0.0017)

DM = Densidad de la Madera; * = Probabilidad o nivel de significancia.

La latitud presentó una alta correlación positiva y significativa, lo que se interpreta que a medida que aumenta la latitud, la densidad de la madera también aumenta. Es probable que debido a las diferencias del fotoperíodo entre diferentes latitudes resulten diferentes tasas de crecimiento, siendo mayores en el Sur y por tanto generen una menor densidad de la madera. González (2000) al realizar un estudio de correlación para *Pinus estevezii* entre el diámetro y la latitud encontró una correlación negativa ($r = -0.43$) ($p > 0.04$) entonces como el diámetro aumenta a medida que disminuye la latitud, y si se considera que a mayor diámetro existe una mayor proporción de madera temprana que trae consigo una menor densidad de la madera, por lo tanto, es de esperarse que la densidad aumente a medida que aumente la latitud.

El resultado encontrado sigue la misma tendencia al reportado para *Pinus taeda* en Estados Unidos, donde se presentó un valor de 0.47 g cm^{-3} en el Sur y 0.58 g cm^{-3} en el Norte (Zobel y Talbert, 1988). Sin embargo, cabe resaltar que el valor de la densidad de la madera puede deberse también a las condiciones ambientales presentes en cada lugar, ya que en otros estudios realizados para *Pinus teocote* en Oaxaca se reportó 0.57 g cm^{-3} (García, 1984) y en Nuevo León

se reportó un valor de 0.47 g cm^{-3} (Trujillo, 1999), es decir, una tendencia de mayor densidad en el Sur.

Por otro lado, la altitud presentó una correlación negativa fuerte, lo que indica que cuando aumenta la elevación sobre el nivel del mar, la densidad de la madera disminuye y viceversa. De manera que la población Potrero Redondo (PR) que se encuentra a 1382 msnm mostró un mayor valor de densidad, respecto a las poblaciones La Nopalera (LN) y El Venadito (V) que se encuentran a mayor altitud (1530 y 2020 msnm, respectivamente). Esto es probablemente debido a que en mayores altitudes, también se presentan condiciones más limitantes para el crecimiento, lo que se traduce en madera con mayor densidad.

El factor pedregosidad muestra una correlación positiva alta ($r = 0.99$) significativo ($p=0.0001$) respecto a la densidad de la madera (Cuadro 6). De modo que cuando aumente la pedregosidad también aumentará la densidad de la madera. La probable explicación es que, a mayor pedregosidad se espera habrá un menor crecimiento, y como se conoce que la velocidad de crecimiento suele estar relacionada en forma negativa con la densidad de la madera como lo reporta Valencia (1994) para *Pinus patula*, entonces se espera, que cuando la pedregosidad sea mayor la densidad también tenderá a ser mayor.

La precipitación presentó una correlación moderada negativa, lo que se interpreta que a medida que aumente la precipitación la densidad de la madera se

ve disminuida, esto es debido a que, a mayor precipitación se incrementa el crecimiento en altura y disminuye la densidad de la madera (Valencia, 1994).

Los factores que determinaron estas variaciones entre poblaciones de *Pinus estevezii* coinciden con lo reportado en otro estudio para *Pinus elliotii* en donde se encontró que el 84.8% de la variación total de la densidad de la madera, se debió a factores como la latitud, la longitud y la precipitación promedio anual (Goodgard y Strickland, 1962). De ahí que de manera general se ha encontrado que las diferencias entre localidades o poblaciones, se deben a condiciones ambientales y a un poco control genético, así como a la adaptabilidad de las especies. En un estudio realizado con *Pinus taeda* en Estados Unidos se encontró que estas variaciones resultan ser de baja heredabilidad (Wright, 1976; Zobel y Talbert, 1988).

4.2.2 Variación entre árboles

De la varianza total estimada se encontró que el 14.71% de la variación observada es referente a las diferencias entre árboles dentro de las poblaciones (Cuadro 4). Contrario a lo que mencionan Zobel y Talbert (1988) que estiman para la variación entre árboles en el género *Pinus* un valor del 50 al 70%, además mencionan que en las coníferas de una misma especie ocurre una considerable variación entre sí, aún cuando crezcan en el mismo rodal, con raíces entrelazadas y teniendo la misma edad, pero estas variaciones se encuentran más asociadas con la heredabilidad a nivel individual.

Este valor (14.71%) resulta muy inferior al que mencionan para otras especies en estudios realizados también en variación de la densidad de la madera autores como López A. (1997) con 49.85% para *P. rudis* estudio realizado tomando como variables árboles, alturas de rodaja y diferencias entre secciones dentro de las rodajas, mientras que, López L. (1997) reportó una variación de 24% para árboles teniendo como fuentes de variación diferencias entre poblaciones y diferencias entre árboles. En otro estudio sobre arbolado adulto Zúñiga (1998) reportó 38.11% de efecto debido a árboles para *Pseudotsuga*, teniendo como fuentes de variación poblaciones y árboles dentro de las poblaciones. Por su parte, Arroyo (2001) en un estudio realizado sobre árboles, sitios y regiones para *P. arizonica* encontró un 22.3% de variación para árboles. Aunque se debe considerar la edad del árbol que en este caso se trata de arbolado joven no mayores a 3.80 m de altura, comparado con estos autores que realizaron estudios sobre árboles de mayor edad, diámetro y altura con una mayor proporción de madera madura.

Otra característica que pudo influir, de manera negativa en la variación encontrada para árboles en el presente estudio, es el tipo de suelo en el que crecieron los árboles así como el tiempo de duración de las estaciones de crecimiento y el hecho de estar expuestos a diversas variaciones ambientales (Daniel *et al.*, 1982).

Debido a que las características de altura, diámetro y edad están muy relacionadas se espera que a medida que aumenten estas características en el

árbol de *Pinus estevezii* la densidad de la madera de esta especie también se incrementa. Como lo sucedido en *Pinus taeda* que a los 11 años presentó 0.42 g cm⁻³ mientras que a los 30 años se incrementa a 0.48 g cm⁻³ en el tronco y 0.41 g cm⁻³ cerca de la copa (Daniel *et al.*, 1982).

4.2.3 Variación entre diferentes alturas de corte dentro del árbol

La variación de la densidad de la madera por efecto de diferentes alturas de corte dentro de árboles muestra un 60% con respecto a la suma total (Cuadro 4). Valor significativo ($p=0.0001$) y superior al 10% que reportan para la fuente de variación dentro de árboles Zobel y Talbert (1988).

Con respecto a los valores de variación a diferentes alturas de corte dentro de los árboles, se puede observar claramente la tendencia que sigue la densidad de la madera desde el nivel del suelo (0.0 cm) hasta el ápice (3.80 m) (Figura 2). En donde se muestra que la densidad de la madera a los 0 cm (0.415 g cm⁻³) tiende a aumentar hasta llegar a 0.30 m (0.436 g cm⁻³), después de esto disminuye hasta llegar a los 2.30 m, y posteriormente tiene un ligero aumento (0.378 g cm⁻³), a partir de allí se mantiene casi constante el valor hasta llegar al ápice (3.80 m) (Figura 2). Estas diferencias se deben a las características de la madera juvenil y madera madura que están bajo influencia de la copa y posición de la parte inferior de la misma (Daniel *et al.*, 1982) También se comprueba una vez más el hecho de que el valor de la densidad de la madera varía según la altura y sección del árbol en donde se toma la muestra (Zobel, 1964).

Aunque es importante resaltar que los valores de densidad de la madera a diferentes alturas de corte son el promedio de un número variable de muestras. Por ejemplo, el valor de densidad que se encuentra al nivel del suelo es el promedio de 234 muestras mientras que el valor a 3.80 m es el promedio de únicamente 16 muestras con respecto al total (Apéndice 2). Por lo tanto, los valores más confiables, por ser resultados de un mayor número de muestras son los que se encuentran desde el nivel del suelo hasta los 2.80 m de altura del árbol.

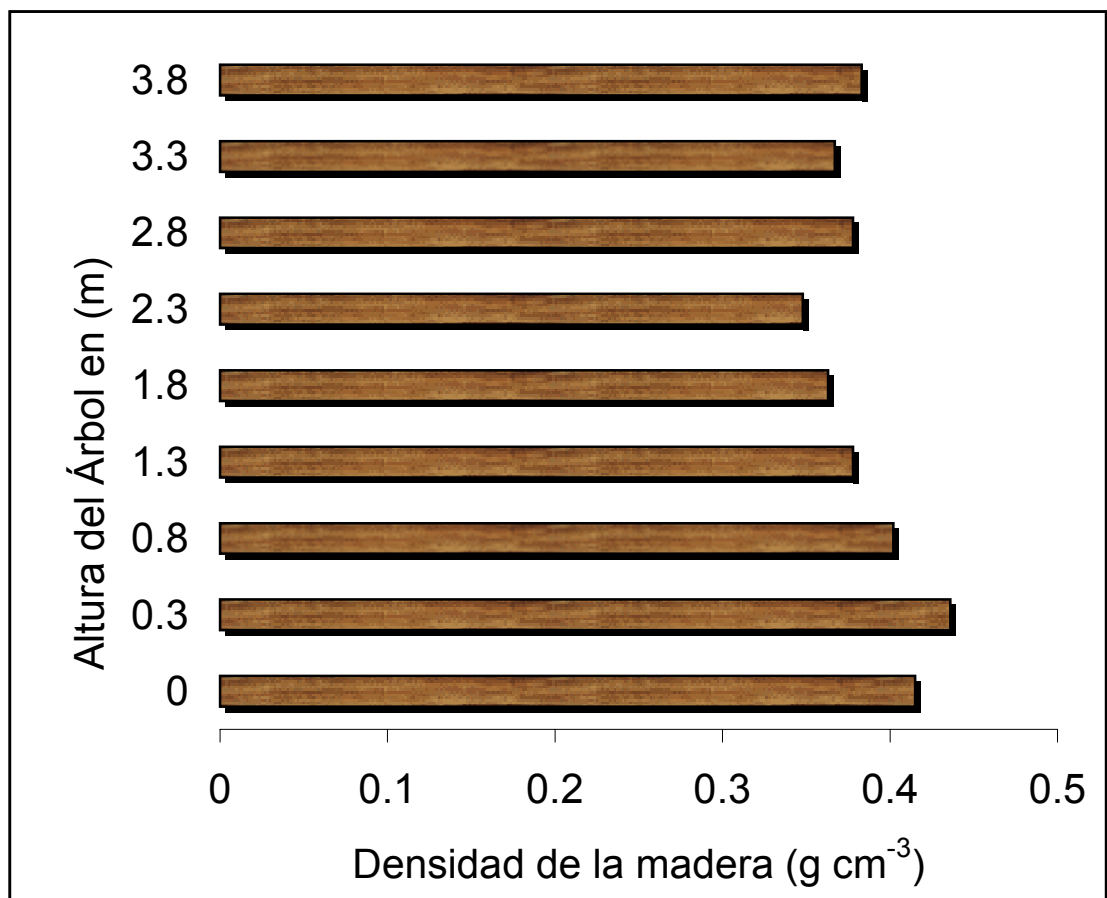


Figura 2. Representación esquemática de la variación de la densidad de la madera a diferentes alturas de corte dentro de los árboles de *Pinus estevezii* (Mtz.) Perry, de la Región Sur de Nuevo León.

También se dice que la densidad de la madera generalmente disminuye de la base del árbol hacia la parte superior (Hocker, 1984; Zobel y Talbert, 1988). Esto se comprueba con el estudio realizado en *Pinus rudis* que presentó un valor de 0.519 g cm^{-3} a los 0.30 m de altura y a los 15.54 m un valor de 0.453 g cm^{-3} (López A., 1997). Parecido a lo que se encontró en árboles jóvenes de *Pinus taeda* a los 30 años 0.48 g cm^{-3} en la base y 0.41 g cm^{-3} en la copa del árbol (Daniel *et al.*, 1982). Igualmente para *Pinus teocote* en etapa de regeneración, se encontró la misma tendencia de disminuir desde la base del árbol hacia el ápice del mismo (Monarrez, 2004).

V CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados del estudio sobre la variación de la densidad de la madera en regeneración de *Pinus estevezii* de la región sur de Nuevo León se presentan las siguientes conclusiones.

- a) La densidad promedio general de la madera encontrada para esta especie en regeneración fue de 0.397 g cm^{-3} con una desviación estándar de 0.054 g cm^{-3} , por lo tanto, a esta madera se le clasifica como moderadamente liviana.
- b) Se presentaron diferencias en las tres fuentes de variación, tanto entre poblaciones, entre árboles dentro de las poblaciones y entre diferentes alturas de corte dentro de los árboles dentro de las poblaciones.
- c) Como hubo variación entre poblaciones y entre árboles dentro de las poblaciones 8.76 y 14.71%, con respecto a la varianza total, esta especie puede ser utilizada para trabajos de mejoramiento genético.
- e) La densidad de la madera se incrementa a medida que aumentan la latitud y la pedregosidad; pero, se ve disminuida cuando aumentan otros factores como la longitud, la altitud y la precipitación.

VI RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se hacen respecto a los resultados del presente trabajo son las siguientes:

- a) Debido a que la densidad de la madera aumenta, conforme aumenta la edad, el diámetro y la altura total de los árboles, se recomienda realizar un estudio que comprenda árboles adultos de esta misma especie para determinar con mayor precisión la tendencia de la variación de la densidad de la madera de esta especie en su etapa adulta.

- b) También se recomienda coleccionar semillas del *Pinus estevezii* para realizar ensayos de procedencia y de progenie, en áreas geográficas y condiciones ambientales diferentes a los que imperan en el área de estudio, para evaluar la influencia de estos factores en la densidad de la madera y también conocer el nivel de heredabilidad que tiene esta especie para densidad de la madera.

VII LITERATURA CITADA

- Arroyo P., M. 2001. Variación en la densidad de la madera de *Pinus arizonica* Engelm. de la Sierra Tarahumara, Chihuahua. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 56 p.
- Ávila C., L. E. A. 1995. Componentes inorgánicos en la madera. Ciencia y tecnología de la madera 5. Revista de la facultad de ingeniería en tecnología de la madera. Morelia , Michoacán, México. 32 p.
- Cetenal. 1975. Carta topográfica. Esc. 1:50 000 G14 C45. Rayones, Nuevo León, México.
- Cetenal. 1977a. Carta geológica. Esc. 1:50 000 G14 C35. Allende, Nuevo León, México.
- Cetenal. 1977b. Carta edafológica. Esc. 1:50 000 G14 C87. Aramberri, Nuevo León, México.
- Cetenal. 1977c. Carta geológica. Esc. 1:50 000 G14 C67. Iturbide, Nuevo León, México.
- Cetenal. 1977d. Carta geológica. Esc. 1:50 000 G14 C87. Aramberri, Nuevo León, México.
- Cetenal. 1977e. Carta geológica. Esc. 1:50 000 F14 A17. Zaragoza, Nuevo León, México.
- Cetenal. 1978. Carta edafológica. Esc. 1:50 000 G14 C67. Iturbide, Nuevo León, México.
- Daniel, T. W., J. A. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. McGraw – Hill. México. 492 p.
- Detenal. 1976. Carta geológica. Esc. 1:50 000 G14 C35. San Antonio de las Alazanas, Saltillo, Coahuila, México.
- Detenal. 1977a. Carta edafológica. Esc. 1:50 000 G14 C35. San Antonio de las Alazanas, Coahuila, México.
- Detenal. 1977b. Carta edafológica. Esc. 1:50 000 G14 C87. Aramberri, Nuevo León, México.

- Detenal. 1978. Carta edafológica. Esc. 1:50 000 F14 A17. Zaragoza, Nuevo León, México.
- Echenique M., R. y V. Díaz G., 1972. Algunas características tecnológicas de la madera de 11 especies mexicanas. Boletín Técnico. Num. 27. INIF. México. 71 p.
- Eguiluz P., T. 1978. Ensayo de integración sobre el género *Pinus* en México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 623 p.
- García E., S. 1984. Variación del peso específico de siete especies de Pino del estado de Oaxaca. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 56 p.
- González Z., M. 2000 Crecimiento e incremento en regeneración de *Pinus estevezii* (Mtz). Perry y su relación con características ambientales al Sur de Nuevo León. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 98 p.
- Goodgard, E. R. y K.R. Strickland. 1962. Geographic variation in wood specific gravity of Slash pine. Tappi 45(7): 606:608.
- Hernández L., A., M., Martínez R., J. J., Vargas H., A., Velásquez M., y G., Ángeles P. 1996. Características de los anillos y densidad de la madera a diferentes alturas del fuste en rodales aclareados de *Pinus patula* Schl. et Cham. Ciencia Forestal 21(80): 39-53 p.
- Hocker Jr., H. W. 1984. Introducción a la biología forestal, AGT Editor S.A., México. 446 p.
- INEGI. 1981. Síntesis geográfica de Nuevo León. México, D.F. 170 p.
- INEGI. 1985a. Carta de efectos climáticos regionales, Mayo - Octubre. Esc. 1:250 000. F 14-2 Cd. Victoria Tamaulipas, México.
- INEGI. 1985b. Carta de efectos climáticos regionales, Noviembre - Abril. Esc. 1:250 000. F 14-2 Cd. Victoria Tamaulipas, México.
- INEGI. 1990a. Carta de efectos climáticos regionales, Mayo - Octubre. Esc. 1:250 000. G 14-7 Monterrey N. L., México.
- INEGI. 1990b. Carta de efectos climáticos regionales, Noviembre - Abril. Esc. 1:250 000. G 14-7 Monterrey N. L., México.
- Infante G., S. y G. P. Zárate de L. 1990. Métodos estadísticos. Segunda Edición. Trillas. México. 643 p.

- Kollman, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Instituto Forestal de Investigación y Experiencias y Servicio de la Madera. Madrid, España. 675 p.
- López A., F. 1997. Variación en densidad de la madera entre y dentro de árboles de *Pinus rudis* Endl. en Sierra las Alazanas Arteaga Coah. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 55 p.
- López L., M. 1997. Variación en la densidad de la madera de *Pinus greggii* Engelm. en el Norte de México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 68 p.
- Martínez, M. 1992. Los pinos mexicanos. Tercera edición. Editorial Botas. México, D.F. 361 p.
- Monarrez V., J. T. 2004. Variación de la densidad de la madera en regeneración de *Pinus teocote* Schl. et. Cham. en el sureste de Coah. y sur de N.L. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Padilla G., H. 1987. Glosario practico de términos forestales. Limusa. México. 273 p.
- Perry Jr., J. P. 1991. The pines of Mexico and America Central. Timber Press. Portland, Oregon, USA. 563 p.
- Plancarte B., A. 1987. Variación del peso específico de árboles selectos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de La Sabana, Oaxaca. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México 52 p.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa. México. 432 p.
- Smith, D.M. 1954. Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples. U.S. Forest Service. Forest Products Laboratory. Report 2014. Wisconsin, USA. 8 p.
- Snedecor, G. y W. G. Cochran 1981. Métodos estadísticos. CECSA. México. 703 p.
- Stamm, A. J. 1963. Permeability of wood to fluids. Forest products journal 13 (11): 505-507.
- Steel, R. G. D. y J. H. Torrie. 1988. Bioestadística principios y procedimientos. 2da. Edición, Mc Graw Hill. México. 622 p.

- Taylor, F. W. 1969. The effect of ray tissue on the specific gravity of wood. *Wood Fiber* 1(2): 142-145.
- Trujillo, G. M.C. 1999. Variación de la densidad de la madera de *Pinus teocote* Schl. y Cham. en el ejido La Trinidad, Montemorelos, N.L. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 50 p.
- Tzab C., J. de los A. 2002. Variación en densidad de la madera, proporción de madera tardía y crecimiento en diámetro de *Pinus engelmannii* Carr. de Chihuahua. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 60 p.
- UNAM. 1970. Carta climatológica. Esc, 1: 500 000. 14 R-VII. Monterrey, N.L., México.
- Vaca G., A. 1992. Variación del peso específico de la madera y longitud de traqueidas dentro de árboles de *Pinus cembroides* Zucc., de la región de Santiago Papasquiaro, Durango. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México 88 p.
- Valencia M., S. 1994. Variación genética de la densidad de la madera en *Pinus Patula* Schl. et Cham. y su relación con la velocidad de crecimiento. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México 108 p.
- Valencia M., S. y F. López A. 1999. Variación de la densidad de la madera dentro y entre árboles de *Pinus rudis* Endl., en Sierra Las Alazanas, Arteaga, Coahuila. Forestal-AN Nota Técnica No. 1 UAAAN. Saltillo, Coah., México. 17 p.
- Valencia. M., S. y J.J. Vargas H. 1997. Método empírico para estimar la densidad básica de la madera en muestras pequeñas de madera. *Madera y Bosques* 3(1): 81-87 p.
- Wright, J. W. 1976. Introduction to forest genetics. Academic press. New York, San Francisco, London. 463 p.
- Yáñez M., O y M. Caballero D. 1991. Variación de algunas características de *Pinus stroobus* Mtz. var. *chiapensis* de tres localidades de su distribución natural: densidad relativa y longitud de traqueida de la madera. *Revista Chapingo*. XV (75): 18-24.
- Zobel, B. J. 1964. Mejora genética de las propiedades de la madera de especies forestales. *Unasyuva* 18(2-3): 89-104.

- Zobel, B. J. y J. T. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Limusa. México. 545 p.
- Zobel, B. J. y J. P. Van Buijtenen. 1989. Wood variation: Its causes and control. Springer – Verlag. Germany. 363 p.
- Zúñiga B., M. C. 1998. Variación en densidad de la madera de *Pseudotsuga* entre árboles y entre localidades del Norte de México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 53 p.

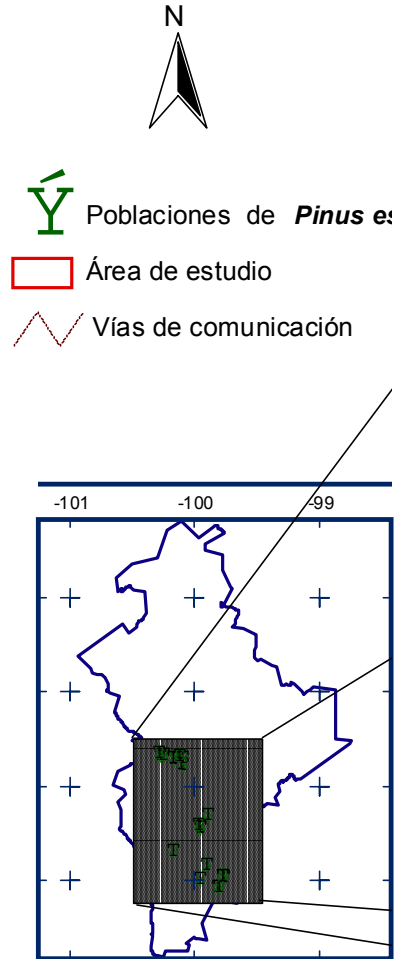
VIII A P É N D I C E

Apéndice 1. Clasificación de la madera de acuerdo a su densidad (g cm^{-3}) según Markward y Heck tomado de Echenique y Díaz (1972).

Relación de la densidad de la madera (g cm^{-3})	Terminología
Menor a 0.20	extremadamente liviana
0.20 a 0.25	excesivamente liviana
0.25 a 0.30	muy liviana
0.30 a 0.36	liviana
0.36 a 0.42	moderadamente liviana
0.42 a 0.50	moderadamente pesada
0.50 a 0.60	pesada
0.60 a 0.72	muy pesada
0.72 a 0.86	excesivamente pesada
mayor a 0.86	extremadamente pesada

Apéndice 2. Valores promedio de la variación de la densidad de la madera de *Pinus estevezii* (Mtz.) Perry. y el número de muestras por cada altura de corte dentro del árbol.

Altura de corte en (m)	Densidad de la madera (g cm ⁻³)	Número de muestras
0	0.415	234
0.30	0.436	230
0.80	0.402	230
1.30	0.378	189
1.80	0.363	143
2.30	0.349	80
2.80	0.378	32
3.30	0.367	16
3.80	0.383	6
Total de muestras		1160



Localidad		Municipio
Simb.	Nombre	
EB	El Barro	Zaragoza
EP	El Pueblo	Zaragoza
PP	Puerto el pino	Zaragoza
LL	La Lagunita	Aramberri
EM	El Maguey	Aramberri
LB	La Labor Baldía	Aramberri
AA	Agua Adentro	Aramberri
LR	La Rosita	Galeana
ET	El Tejocote	Santiago
T	El Taray	Galeana
SS	San Sebastián	Galeana
P	El Puertecito	Galeana
LN	La Nopalera	Iturbide
LT	La trinidad	Montemorelos
PR	Potrero Redondo	Santiago
PN	Puerto Nuncio	Santiago
MC	Mesa de los Caballos	Santiago
CP	Corral de Palo	Santiago
PG	Puerto Genovevo	Santiago
V	El Venadito	Santiago
EV	El Venadito	Santiago
S	San Sebastián	Santiago
LF	Las Flores	Santiago

Simb. = Simbología o nomenclatura

Figura. 1 Ubicación geográfica de las 23 poblaciones de regeneración de *Pinus estevezii* (Mtz.) Perry de la región sur de Nuevo León.