

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Variación en densidad de la madera de 13 procedencias de *Pinus greggii*  
Engelm. en dos poblaciones de la Mixteca Alta Oaxaqueña

*Por:*

Joaquín Fidel Cruz Mejía

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Forestal

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

Variación en densidad de la madera de 13 procedencias de *Pinus greggii*  
Engelm. en dos poblaciones de la Mixteca Alta Oaxaqueña

Por:

Joaquín Fidel Cruz Mejía

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener en título de:

INGENIERO FORESTAL

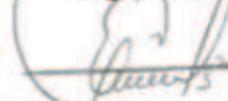
APROBADA

Asesor Principal



M.C. Salvador Valencia Manzo

Coordinador de la División de  
Agronomía



Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo



Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Variación en densidad de la madera de 13 procedencias de *Pinus greggii*  
Engelm. en dos poblaciones de la Mixteca Alta Oaxaqueña

POR:

Joaquin Fidel Cruz Mejía

TESIS PROFESIONAL

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

INGENIERO FORESTAL

APROBADA



M.C. Salvador Valencia Manzo

Asesor principal



DEPARTAMENTO FORESTAL



Dr. Miguel Ángel Capó Arteaga

Asesor



M.C. Celestino Flores López

Asesor

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2011

## DEDICATORIA

A los seres que me dieron la vida, que me brindaron la oportunidad de concluir mis estudios profesionales, muy especial a los dos seres humanos que más amo en la vida, mis padres:

Fidelia Mejía Santiago  
Joaquín Fidel Cruz Pablo

De todo corazón les brindo este pequeño logro, ya que sin ustedes no hubiera llegado a ser lo que como ser humano y profesional ahora soy, agradeciéndoles el haberme inculcado el deseo de perseverar, superarme y luchar por las cosas que quiero siempre e ir por el camino del bien, gracias por su amor, sus sacrificios, su comprensión y la confianza que depositaron en mi, gracias por ser mis padres, gracias por todo lo que me están dando en vida, ya que pude realizar mis metas, esta es la herencia más valiosa que he podido recibir, gracias por ayudarme a descubrir y valorar la vida.

A mis Hermanos:

Ángel Jesús y Uriel

A mis hermanas:

Reyna, Abigail, Imelda, Mirian y Saily Itahi (beba)

A mi sobrina:

Sharon Evelyn

Mis más sinceros agradecimientos por su apoyo incondicional recibido durante todo este tiempo, especialmente por darme la fuerza para seguir adelante en los momentos más difíciles que hemos pasado juntos. Para ustedes es este pequeño presente, porque saben cuánto los quiero y saben que este pequeño triunfo no es solo mío, también es de ustedes ya que nos hemos estado apoyando con el afán de superarse, ser alguien mejor en la vida y salir adelante. Gracias por ser mis hermanos.

A mis abuelos:

Jovita Santiago y Luis Mejía                      Herminia Cruz (†) y Arturo Pablo (†)

Por darme su apoyo incondicional y estar siempre al pendiente de mí, ahora son parte importante de lo que me han ayudado a construir. Gracias por su orientación, por su amor, por sus buenos consejos, por estar conmigo y con mis hermanos, por no dejarnos solos hoy que más los necesitamos.

A mi prima

Dulce López Luz

Por su apoyo incondicional, sus consejos valiosos que me ha dado y por ayudarme a superar los buenos y malos momentos.

Asimismo un sincero agradecimiento a todos mis tíos y sus respectivas familias, por sus sabios consejos y por todo el apoyo incondicional brindado.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme la oportunidad de vivir, realizarme profesionalmente y como persona, permitiéndome cumplir una meta más en mi vida.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, mi *Alma Mater* por abrirme sus puertas y así darme la oportunidad de superarme y prepararme como profesionista para así ser un persona de bien para la sociedad y ser un profesionista mas de ella.

Al Personal del Departamento Forestal, por brindarme y permitirme ser parte de él, en especial a los maestros por haberme brindado sus conocimientos y amistad durante mi etapa de formación profesional.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo, por la oportunidad de realizar este trabajo bajo su orientación, así como por su apoyo incondicional, su buena amistad y confianza brindada hacia mi persona.

Al Dr. Miguel Ángel Capó Arteaga, por su amistad y excelente colaboración con sus valiosos comentarios y observaciones que sirvieron para la mejora del contenido de este trabajo.

Al M.C. Celestino Flores López, por su amistad y colaboración con sus comentarios y observaciones con el objeto de mejorar el contenido de este trabajo.

Al Dr. Alejandro Zárate Lupercio, por su amistad, paciencia y su apoyo incondicional brindada hacia mi persona.

Al Dr. Martín Gómez Cárdenas, por su amistad, sus sabios consejos y su orientación que me sirvieron para tener más confianza en mismo y saber que hacer en el futuro.

Al Mc. Benito Natalio Gutiérrez Vásquez, por su amistad, su apoyo incondicional, el conocimiento y la confianza brindada.

Al M.C. Mario Valerio Velasco, por su apoyo incondicional y ayudarme en el trabajo de campo a recolectar las muestras.

A Roxana y Mary por haberme ayudado en el trabajo de campo en la recolección de muestras.

A mis amigos de toda la vida: Rogelio Antonio, Jesús Maldonado, Jairo Ruíz, Berny Hernández, David Núñez, Javier Castro, Edwin Verdugo, Eri Salas, Eduardo Lara, Omar Rueda.

A mis amigas de toda la vida: Zonni Velásquez, Linda Swietenia, Fanny Montaña, Yazmín Mendoza, Eneyda González, Crista Luz, Ángeles García, Ángeles Arteaga, Alejandra Reyes, Lucía Estrada, por su gran amistad y apoyo brindado desde siempre, sobre todo por no dejarme solo en los momentos más difíciles y disfrutar conmigo los buenos momentos, gracias.

A mis compañeros de Generación CXI, (2006-2011) en especial a aquellos con quienes tuve la oportunidad de convivir más y me brindaron su valioso apoyo y amistad en todo momento, Osvaldo Turlan, Marco Antonio Escalante, Lehoi Velásquez, Alfredo Luckie, Marisol Butrón, Karen Jael, por que hicieron que mi estancia en la UAAAN fuera una de las mejores experiencias de mi vida, estando a mi lado tanto en las buenas como en las malas, de corazón les deseo lo mejor en todo lo que se propongan.

Y a todas las personas que me ayudaron con su amistad y orientación que de mi mente escapan en este momento.

MIL GRACIAS.

## ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE CUADROS .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
RESUMEN .....	v
1 INTRODUCCION .....	1
1.1 Objetivos e hipótesis .....	2
2 REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1 <i>Pinus greggii</i> Engelm. ....	3
2.1.1 Distribución y ecología .....	3
2.1.2 Mejoramiento genético .....	4
2.1.2.1 Variación entre y dentro de poblaciones .....	6
2.1.2.2 Uso de especies nativas y exóticas .....	7
2.1.2.3 Ensayo de procedencias .....	8
2.1.3 Importancia económica y ecológica .....	9
2.2 Densidad de la madera .....	10
2.2.1 Componentes de la densidad de la madera .....	10
2.2.2 Importancia de la densidad de la madera .....	11
2.2.3 Estimación de la densidad de la madera .....	11
2.2.4 Niveles y patrones de variación de la densidad de la madera .....	13
2.2.5 Causas de la variación de la densidad de la madera .....	14
2.2.6 Principios del muestreo para la evaluación de la madera .....	14
3 MATERIALES Y METODOS .....	16
3.1 Descripción de la Región Mixteca Alta .....	16
3.2 Descripción del área experimental .....	16
3.3 Material experimental .....	17
3.4 Plantación .....	18
3.4.1 Sistema de plantación .....	19
3.5 Diseño experimental .....	19
3.6 Mediciones .....	19

3.7 Trabajo en laboratorio .....	22
3.7.1 Saturación y peso de las muestras en húmedo .....	22
3.7.2 Secado y pesado de las muestras en seco .....	22
3.7.3 Variables evaluadas .....	23
3.7.4 Determinación de la densidad de la madera .....	23
3.8 Análisis estadístico .....	24
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
4.1 Medidas de tendencia central y de dispersión de la densidad de la madera .....	25
4.3 Variación entre procedencias .....	29
5 CONCLUSIONES .....	33
6 RECOMENDACIONES .....	34
7 LITERATURA CITADA .....	35
APÉNDICE.....	42

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Principales características ambientales en el área de Distribución natural de las 13 procedencias de <i>Pinus greggii</i> Engelm. ....	18
2. Medidas de tendencia central y de dispersión para la densidad de la madera de <i>Pinus greggii</i> Engelm. en las dos poblaciones de la Mixteca Alta Oaxaqueña. ....	25
3. Clasificación de la madera de acuerdo a su densidad (g/cm <sup>3</sup> ), basándose en el peso anhidro sobre su volumen verde desarrollada por Markward y Heck (Tomada de Echenique y Díaz, 1972) ....	26
4. Resultados del análisis de varianza para la densidad de la madera de <i>Pinus greggii</i> var <i>greggii</i> y para <i>Pinus greggii</i> var <i>australis</i> en las dos plantaciones experimentales ubicadas en la Mixteca Alta Oaxaqueña. ...	29
5. Prueba Tukey de separación de medias, para la variación de la densidad de la madera de 13 procedencias de <i>Pinus greggii</i> Engelm. establecido en Tlacotepec Plumas Coixtlahuaca, y Magdalena Zahuatlán, Nochixtlán, Oaxaca. ....	31

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Distribución de bloques, hileras y unidades experimentales del diseño experimental de un ensayo de procedencias de <i>Pinus greggii</i> Engelm. en la localidad de Tlacotepec Plumas, Coixtlahuaca, Oaxaca. ....	20
2. Distribución de bloques, hileras y unidades experimentales del diseño experimental de un ensayo de procedencias de <i>Pinus greggii</i> Engelm. en la localidad de Magdalena Zahuatlán, Nochixtlán, Oaxaca. ....	21

## RESUMEN

En el presente estudio se estimó el valor de la densidad de la madera de *Pinus greggii* Engelm. en dos plantaciones experimentales con 13 procedencias establecidas en la Mixteca Alta, Oaxaca, México. Se colectaron cilindros de madera de 273 árboles en cada plantación con un taladro de Pressler de 0.5 centímetros de diámetro a 1.30 metros de altura, la densidad se calculó por el método del máximo contenido de humedad (Smith, 1954). Se estimaron valores de tendencia central y de dispersión, se realizaron análisis de varianza y prueba Tukey para determinar si existían diferencias entre procedencias para la densidad de la madera. Los resultados del análisis estadístico mostraron un promedio en densidad de la madera de 0.3963 gr/cm<sup>3</sup> para la plantación de Tlacotepec y 0.3964 gr/cm<sup>3</sup> para la plantación de Magdalena Zahuatlán, siendo la plantación de Tlacotepec la que mostró mayor variación (desviación estándar) con respecto a la plantación de Magdalena Zahuatlán. Los resultados de análisis de varianza determinaron diferencias significativas entre las procedencias evaluadas. La procedencia con mayor densidad de la madera en ambas poblaciones fue Tres Lagunas, Querétaro con 0.407 gr/cm<sup>3</sup> y 0.406 gr/cm<sup>3</sup> y la de menor densidad de la madera fue Laguna Atezca, Hidalgo con 0.374 gr/cm<sup>3</sup> y 0.384 gr/cm<sup>3</sup>. Los valores de densidad ubican a los individuos estudiados como productores de madera moderadamente liviana.

Palabras clave: Ensayo de procedencias, Densidad de la madera, *Pinus greggii*, Método de máximo contenido de humedad, Mixteca Alta Oaxaca.

## INTRODUCCIÓN

No hay duda que el peso específico de la madera o densidad de la madera es una de las características de la madera más importantes dentro de las especies forestales ya que tiene un efecto importante en el rendimiento y calidad del producto final, además es una característica altamente heredable (Zobel y Talbert, 1988).

La importancia de la densidad de la madera supera muchas veces la importancia de otras propiedades de la madera. Esta característica influye en el caso del papel para la resistencia o rompimiento y en la calidad de los productos elaborados, es tan importante que en la mayoría de los programas que tienen a la pulpa y al papel como productos finales, la densidad de la madera es la única característica de la madera que se maneja, debido a su efecto sobre la calidad, el rendimiento y su gran heredabilidad. La densidad de la madera ha adquirido una gran importancia en la mayoría de los programas de mejoramiento genético forestal, sin importar si el objetivo es producir fibras o productos sólidos de la madera (Zobel y Talbert, 1988).

En la Mixteca Alta Oaxaqueña, la especie de *Pinus greggii* Engelm. en las plantaciones locales ha demostrado ser apta para las condiciones presentadas en la región, que pueden restaurar las áreas degradadas y en un futuro poder ser utilizada como una especie maderable (Ruíz *et al.*, 1998).

Por lo anterior se hace necesario conocer la densidad de la madera de esta especie para su mejor utilización. Considerando que en la plantación experimental aun no se han hecho estudios para conocer la densidad de la madera para esta especie surge la inquietud de realizar el presente estudio enfocado a conocer la variación en densidad de la madera en la especie de *Pinus greggii* de dos plantaciones experimentales ubicadas en Tlacotepec Plumas, y en Magdalena Zahuatlán, Oaxaca.

Conocer la variación de la densidad de la madera de la especie de *Pinus greggii* resultará de especial interés para tomar mejores decisiones en los programas de plantaciones forestales y en especial en los programas de mejoramiento genético de la especie.

### **1.1 Objetivo e hipótesis**

El objetivo del presente trabajo es estimar la variación de la densidad de la madera en individuos jóvenes de 13 procedencias de *Pinus greggii* en dos localidades de la Mixteca Alta Oaxaqueña.

Para este trabajo de acuerdo al objetivo se proponen las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula

Ho: No existe variación de la densidad de la madera entre las 13 procedencias de *Pinus greggii*.

Hipótesis alterna

Ha: Al menos una procedencia de *Pinus greggii* presenta diferencia en la densidad de la madera.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 *Pinus greggii* Engelm.

*Pinus greggii* es un árbol de 10 a 15 metros de altura, aunque en algunos lugares se han encontrado hasta con 20 metros de altura y 40 centímetros de diámetro, tronco recto, copa amplia e irregular (Eguiluz, 1978).

Esta especie es considerada de rápido crecimiento y precoz en su floración, la mayoría de las poblaciones de esta especie se encuentran seriamente amenazadas por factores naturales y antropogénicos, las cuales han provocado el aislamiento y reducción de sus poblaciones tanto en número como en superficie (López *et al.*, 1993).

El nombre de *Pinus greggii* fue denominado en honor a Josiah Gregg, personaje alemán que residió nueve años en el norte de México, donde realizó importantes colecciones botánicas por el año de 1884 (Martínez, 1948).

#### 2.1.1 Distribución y ecología

Esta especie es endémica del Noreste de México, con amplia importancia ecológica y económica, la especie se distribuye en poblaciones aisladas a lo largo de la Sierra Madre Oriental, en zonas áridas y a veces semi tropicales. Actualmente se reconocen dos variedades taxonómicas, la variedad *greggii* que se distribuye en nueve poblaciones nativas en la porción norte del área de distribución en los estados de Coahuila y Nuevo León y la variedad *australis* que se presenta en 11 poblaciones en el sur en Puebla, Veracruz, Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí, sin traslapes entre ellas (Donahue y López, 1999).

La vegetación presente en donde se distribuye esta especie corresponde a bosques de pino, encino y pino-encino (Rzedowski, 1978). Se ha encontrado asociada con especies como *Pinus teocote* Schl. *et* Cham., *P. montezumae*

Lamb., *P. leiophylla* Schl et Cham, *P. arizonica* Engelm., y *P. patula* Schiede et Deppe., En algunos casos, en altitudes de 3000 msnm se asocia con *P. ayacahuite* var. *Brachyptera* Shaw., y *P. rudis* Endl., en altitudes de 1500 msnm a lo largo de la Sierra Madre Oriental se asocia con *Cupressus* sp, *Juniperus* sp y *Quercus* sp (Perry, 1991).

Los suelos en las áreas geográficas donde se han encontrado *P. greggii* son de color café rojizo, textura migajón areno-arcillosas, pedregosas, calizos y normalmente pobres en materia orgánica (Eguiluz, 1978), encontrándose en el Norte del país en suelos ligeramente alcalinos, someros, con pH de 7.0 a 8.0 y en el centro del país en suelos arcillosos, ácidos y profundos, con un pH de 4.0 a 5.0 (Dvorak y Donahue, 1992).

### **2.1.2 Mejoramiento genético**

El mejoramiento genético forestal se hace con el objetivo de producir árboles con características genéticamente más deseables. Para llegar a este objetivo se tienen que seguir una serie de actividades, que incluyen el cruce controlado de individuos con características superiores, tomando en cuenta las bases y principios genéticos básicos (Jara, 1995).

Zobel y Talbert (1988) mencionan que los programas de mejoramiento genético forestal dependen y constan en primer lugar con la determinación de la especie que debe utilizarse en un área determinada, la determinación de la cantidad, tipo y causas de la variabilidad dentro de la especie, agrupamiento de las cualidades deseadas en individuos mejorados para obtener árboles con características deseadas, producción de individuos mejorados a gran escala con fines de reforestación y el desarrollo y mantenimiento de una población con una base genética lo bastante amplia para satisfacer las necesidades de generaciones avanzadas.

La variación natural es la base de un programa de mejoramiento genético forestal por medio del método de selección y cruzamiento (Eguiluz, 1990), el objetivo de estos trabajos generalmente son la producción de semillas

genéticamente mejoradas que posteriormente serán utilizadas para el establecimiento de plantaciones comerciales (Clausen, 1990). Estos programas generalmente son muy tardados para la obtención de resultados, pero en el transcurso del programa, se debe utilizar la mejor fuente de semilla o material de plantación disponible en cada momento, y será necesario analizar los resultados preliminares de los ensayos (Jara, 1995).

Para la selección de la especie a plantar se deben tomar en cuenta varios criterios como son las características del sitio, especies que han demostrado crecer en sitios similares, disponibilidad de la materia prima, objetivos particulares que se persiguen ya sea reforestación o plantación comercial y especies de flora y fauna que se requiere favorecer (Eguiluz, 1990).

Esta plantación experimental fue evaluada en el 2001 cuando la plantación tenía una edad de 2.5 años se encontraron diferencias significativas en altura entre procedencias y entre variedades (*P. greggii* var. *greggii* y *P. greggii* var. *australis*) (Velasco, 2001). En otras plantaciones experimentales de *P. greggii* no se encontraron diferencias significativas entre las procedencias evaluadas, tal es el caso en la evaluación de tres procedencias en el CAESA, dos procedencias de la sierra de Arteaga las cuales son las del Cañón de Jamé y Los Lirios y la tercera del Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coah. al hacer la evaluación a la edad de cuatro años y siete meses de la plantación no se encontraron diferencias en el incremento en altura (Ornelas, 1997). En la misma plantación se volvió a hacer otra evaluación cuando ésta tenía 12.6 años de edad y de igual manera no se encontraron diferencias en altura entre las procedencias (Contreras, 2005). En otro ensayo establecido en el CAESA con procedencias de Puerto Conejos y Los Lirios pertenecientes al estado de Coahuila y El Tarillal, perteneciente a Nuevo León, a 5 años de la plantación tampoco se encontraron diferencias en el crecimiento del brote terminal entre estas procedencias evaluadas (Playas, 2010).

### 2.1.2.1 Variación entre y dentro de poblaciones

La variación natural puede clasificarse de dos formas que son en macro variación, la cual representa a los niveles taxonómicos por encima de la especie y en micro variación que se refiere a niveles intraespecíficos como puede ser la variación geográfica, entre sitios, rodales, entre o dentro de individuos (Eguiluz, 1990).

Las poblaciones naturales de *P. greggii* se encuentran localizadas a lo largo de la Sierra Madre Oriental en pequeños manchones aislados por barreras geográficas la cual limita el intercambio genético entre poblaciones (López *et al.*, 2000), esto ocasiona que exista una mayor variabilidad entre poblaciones que entre familias dentro de las poblaciones, debido posiblemente a las condiciones muy diversas en las que se desarrolla y al tamaño reducido de sus poblaciones (Ramírez *et al.*, 1997).

En un estudio de producción de semillas de *P. greggii* donde se incluyó seis poblaciones del norte y seis del centro, se encontraron diferencias significativas en relación a su ubicación geográfica, en donde los árboles de la localidad sur presentan un amplio potencial de semillas por cono (117 vs 96 semillas) de igual manera producen un mayor número de semillas llenas (74 vs 46), además de que la eficacia es más alta en las poblaciones sur que en la norte; estas diferencias se deben a la variabilidad genética, a los mejores suelos y a las precipitaciones más altas encontradas en las localidades más meridionales (López y Donahue, 1995).

En un estudio realizado sobre la variación en densidad de la madera de *P. greggii* en 12 poblaciones de distribución natural de la especie en el Norte de México, se encontró que la variación total observada en la densidad de la madera, el 13% corresponde a las diferencias entre poblaciones, el 24% a las diferencias entre árboles y el 24% corresponde al error aleatorio, por lo que se concluye que se puede seleccionar a nivel de población y dentro de la población (López y Valencia, 2001).

### **2.1.2.2 Uso de especies nativas y exóticas**

Una especie se define comúnmente como un grupo de individuos de morfología similar, los cuales son capaces de cruzarse con individuos del mismo grupo, pero no con individuos de otros grupos. Pero no existe un acuerdo general sobre el grado de similitud que debe existir entre dos individuos para ser considerados de la misma especie (Jara, 1995).

Una especie nativa es aquella que se encuentra dentro de su área de distribución o de su ambiente natural y se considera autóctona o indígena de esa región o país; mientras que una especie exótica es aquella que crece o se cultiva fuera de su distribución natural (Zobel y Talbert, 1988). Se define también como de un material introducido en un ambiente en el que no se localiza en forma natural (Padilla, 1987).

Las especies nativas se han ido adaptando a sus ambientes debido a la acción de la selección natural, esto les permite tener un mejor desarrollo que las especies introducidas. Sin embargo, siempre existe la posibilidad de que una especie introducida muestre un mejor crecimiento y producción por diversas razones genético-ecológicas (Nepamuceno, 1985).

La mejora genética de especies exóticas se basa en los mismos principios generales válidos para todas las especies forestales; sin embargo, al hacer la ejecución de la práctica de esta mejora se tropieza por la falta de conocimientos sobre la biología, la ecología y la variabilidad genética de la especie en su área de distribución natural. Esto hace la generación de problemas en cuanto a sobrevivencia, calidad de la madera, resistencia a plagas, crecimiento deficiente o dificultades para asociarse con las micorrizas (Clausen, 1990), es por esto que las investigaciones que traten de mejorar las especies exóticas no sólo deben realizarse en el lugar o país de origen, también en el lugar o país de introducción (Morandini, 1964).

Las especies exóticas constituyen una buena alternativa viable para incrementar la cantidad y calidad de los productos forestales, esto en donde los bosques nativos no son productivos (Zobel y Talbert, 1988).

Como un ejemplo de esto, se puede citar plantaciones exóticas de *P. caribaea* en el Sur de África donde presenta un incremento medio anual de 21 a 25 m<sup>3</sup>/ha (Lamb, 1973), *P. patula* presenta un incremento medio anual de 21 m<sup>3</sup>/ha en Brasil y 23.17 m<sup>3</sup>/ha en Nueva Zelanda (Wormald, 1975) y *P. radiata* en Nueva Zelanda incrementa 25 m<sup>3</sup>/ha por año (Arteaga y Etchevers, 1988).

### **2.1.2.3 Ensayos de procedencias**

Como parte de las actividades del mejoramiento genético forestal se encuentran los ensayos de especies, de procedencias y de progenie. Entre las diversas técnicas o métodos de mejoramiento genético uno de los más utilizados por ser fácil, rápido y lograr las mayores ganancias son los ensayos de procedencias. (Zobel y Talbert, 1988).

Bouvareal (1978) define a las procedencias como los lugares concretos donde se encuentra un rodal o bosque y por su extensión, las semillas recolectadas en ese lugar, así como las plantas obtenidas por su germinación; puede referir a árboles nativos o plantados de aquella localidad y a un árbol reproductor individual.

Los ensayos de procedencias permiten detectar los componentes de la variación al establecer en un mismo sitio diversas poblaciones u orígenes geográficos, por lo que cuando se prueban muchas fuentes de semilla de una especie prometedora, es una herramienta fundamental y esencial para estimar el grado de variación que existe dentro de una especie (Jara, 1995).

El realizar los ensayos permiten obtener ventajas como definir las mejores procedencias para una región y cuál sería la mejor o la adecuada para plantaciones futuras, enriquecer la diversidad de especies (Patiño y Borja 1978); pero también se tienen desventajas como falla inmediata después o

posterior a la plantación, crecimiento inicial bueno, pero hay ataque retardado de pestes o condiciones ambientales adversas, buena sobrevivencia y ritmo de crecimiento pero la madera no es apropiada (Hernández, 1998).

En un estudio que se estableció en Patoltecoya, municipio de Huachinango, Puebla sobre procedencias con diferente potencial de crecimiento en cuatro especies subtropicales, incluido *P. greggii*; se encontró que en todas las especies existen diferencias significativas entre procedencias extremas en la longitud promedio del brote líder y en el caso de *P. greggii* el componente que diferenció a las procedencias fue el número de unidades de crecimiento (Salazar *et al.*, 1998).

### **2.1.3 Importancia ecológica y económica**

Esta especie es endémica de México, de alta plasticidad y empleada recientemente en plantaciones y reforestaciones debido a su rápido crecimiento y buena adaptación a diversos ambientes (López *et al.*, 1999).

Es una especie que ha logrado importancia a nivel nacional e internacional en países como Brasil, Chile, Colombia, México, entre otros. Por su plasticidad genética para adaptarse a suelos pobres, erosionados, con poca profundidad y materia orgánica por lo que se ha recomendado para su uso en programas de conservación y recuperación de áreas degradadas, debido a que muestra adaptación al igual que rápido crecimiento en tales condiciones (Ruíz *et al.*, 1998).

Por otro lado a nivel regional *P. greggii* es una de las especies de mayor valor económico para las poblaciones humanas que habitan en zonas aledañas. Se aprovecha para la obtención de madera para la industria de aserrío y localmente para la obtención de postes y leña para combustible además ha mostrado altas tasas de crecimiento en altura y diámetro en ensayos de plantaciones (López *et al.*, 1999; Salazar *et al.*, 1999).

Actualmente existe gran demanda de semillas de esta especie para el establecimiento de ensayos en áreas erosionadas, para producción de madera y con fines de mejoramiento genético (Plancarte, 1990).

En la actualidad esta especie es empleada en plantaciones y reforestaciones debido a su rápido crecimiento y adaptación a los diversos ambientes. Se han realizado diversos estudios encontrando diferencias en crecimientos en diámetros de 3.7 cm y de alturas de 1.8 m a los 18 meses de plantación (López *et al.*, 2000) Debido al deterioro constante de los suelos es importante el establecimiento de plantaciones y reforestaciones con esta especie con fines de conservación de los suelos erosionados y de la cubierta vegetal, ya que es una de las demandas más importantes del norte de México (Jiménez, 2005).

## **2.2 Densidad de la madera**

La densidad de la madera se define como el peso anhidro de la madera, en relación con su volumen verde y se indica en  $\text{gr/cm}^3$  (Zobel y Talbert, 1988).

La densidad de la madera es una característica física que indica el peso que tiene un determinado volumen y que se expresa en sus respectivas unidades. Puede ser factible el uso del peso específico basado en la relación del peso de un volumen de madera con el peso de un volumen igual de agua solo que carece de unidades (Kollman, 1959).

La densidad de la madera se relaciona con la variación del grosor de la pared celular, por el tamaño de la célula y por la cantidad de madera tardía; estas características son las que componen a la densidad de la madera (Zobel y Talbert, 1988).

### **2.2.1 Componentes de la densidad de la madera**

Entre las características que tienen relación con la densidad de la madera está la cantidad de madera temprana y la cantidad de madera tardía, la cual se ve influenciada por el tiempo en que comienza y termina el crecimiento en el

cambium. Otra característica es el tamaño de las células o traqueidas, cuando las células que se producen son muy largas la densidad de la madera tiende a disminuir, en cambio si producen células más pequeñas ésta tiende a aumentar. La otra característica es el grosor de la pared celular, que al ser mayor en células de tamaños iguales, la densidad de la madera también será mayor (Zobel y Talbert, 1988).

### **2.2.2 Importancia de la densidad de la madera**

La densidad relativa de la madera es una de las características genéticas y físicas más estudiadas, por la aparente sencillez de su determinación (Kollman, 1959). Así mismo, es factor de importancia económica en la industria forestal, ya que tiene un efecto importante sobre el rendimiento y calidad del producto final (madera aserrada, calidad de la pulpa para papel), además es una característica con amplia variación y fuerte heredabilidad (Zobel y Van Buijtenen, 1989).

Por otro lado la densidad de la madera también es muy importante al estimar la productividad de un bosque o rodal forestal, aunque generalmente la productividad se estima en base al crecimiento en volumen de madera, aunque esta es una medida imprecisa debido a la gran variación en el contenido de humedad y en el grosor de las paredes celulares, por lo que es más apropiado estimar la productividad en términos de biomasa, pero para esto es necesario conocer la densidad promedio de la madera (Zobel y Talbert, 1988).

### **2.2.3 Estimación de la densidad de la madera**

Para la estimación de la densidad de la madera existen diversos procedimientos, desde los más prácticos como el uso del pilodyn (Godfrey y Garthwaite, 1984), hasta los más precisos como el uso de los rayos x (Jozsa y Brix, 1989), además de otros diversos, como el método de desplazamiento de agua (Kollman, 1959), el método de máximo contenido de humedad (Smith, 1954) y el método empírico (Valencia y Vargas, 1997), entre otros.

Cada uno de estos métodos tiene sus respectivas ventajas y desventajas y se han empleado en diversos trabajos con especies forestales. Por ejemplo, el “pilodyn” es un instrumento con el cual se puede estimar la densidad de la madera en el monte, ya que funciona por medio de un resorte mecánico el cual impulsa un elemento punzante que hace se introduzca en la madera donde previamente se eliminó la corteza; la penetración está relacionada inversamente con la densidad medida convencionalmente y las medidas de penetración del pilodyn en la madera del tronco del árbol, por lo que a menor penetración mayor densidad tendrá la madera, este método se ha empleado en la estimación en campo de la densidad de la madera de *Pinus pinaster* (Notivol *et al.*, 1992).

En el método del máximo contenido de humedad, se requiere obtener el peso saturado y el peso anhidro de las muestras de madera, al tener estos valores es posible estimar la densidad de la madera, mediante una fórmula sencilla (Smith, 1954), y se ha utilizado en diversos trabajos como en *Pinus patula* (Valencia, 1994), y en *Pinus greggii* (López L., 1997).

El método empírico consiste en considerar a las virutas extraídas con el taladro de pressler como cilindros perfectos, calculando su volumen en verde con el diámetro interior del taladro y la longitud de la viruta, con su contenido de humedad que presenta al momento de extraer la viruta en campo, posteriormente se toma el peso anhidro de la muestra expuesta por un tiempo mayor a 48 horas al calor en una estufa de secado de 105 a 110 °C, una vez teniendo esto se prosigue a estimar la densidad básica (Valencia y Vargas, 1997). En una comparación de este método con el de máximo contenido de humedad, los valores de correlación resultaron cercanos a la unidad, por lo que no hay diferencias significativas al utilizar cualquiera de estos dos métodos (Valencia y Vargas 1997; López L. 1997).

#### 2.2.4 Niveles y patrones de variación de la densidad de la madera

El término variación es muy amplio si no se especifica a que niveles se refiere. En las especies forestales las diferencias entre árboles de una misma especie se les denomina variación intraespecífica (López A., 1997); estas variaciones se deben a las diferencias genéticas entre ellos, diferencias en las condiciones ambientales en las cuales se desarrollan y en las interacciones entre lo genético y el ambiente (Zobel y Talbert, 1988).

La variación de la densidad de la madera puede presentar diversos niveles y patrones. Se han hecho diversos estudios en los cuales se han encontrado estos niveles de variación, por ejemplo, en *Pinus strobus* var. *chiapensis* (Yáñez y Caballero, 1991), *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* (Vargas y Adams, 1991), se reporta variación dentro del árbol; en *Pinus greggii* variación entre árboles (López L., 1997).

Se conocen algunos patrones dentro del árbol, esto es la variación que tiene la madera de la parte interna a la parte externa y de la parte superior a la parte inferior (Zobel y Talbert, 1988). Por ejemplo en *Pinus rudis* se ha encontrado que la densidad de la madera aumenta de la médula a la corteza (López A., 1997).

La madera juvenil se encuentra en todo el centro del árbol, la madera madura cubre a la madera juvenil hasta una altura aproximada en donde comienza la copa. Las densidades en estas dos áreas son distintas, siendo mayor la de la madera madura. Existen diversos trabajos en donde se han encontrado diferencias internas en el árbol, por ejemplo, en *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*, la densidad de la madera aumentó de la médula a la corteza (Vargas y Adams, 1991).

La densidad de la madera también puede seguir patrones de variación en parámetros latitudinales y altitudinales, como por ejemplo se encontró que para la densidad de la madera de *Pinus taeda* en su área de distribución

natural, los valores de densidad de la madera disminuyen de sur a norte y de la costa hacia el interior del continente (Jett *et al.*, 1991).

La variación entre árboles se refiere a muestrear árboles de la misma edad que se encuentran en un mismo sitio, aun cuando las condiciones del rodal parezcan ser iguales para todos los árboles. Las variaciones entre sitios sólo suelen demostrar pequeñas diferencias en la densidad de la madera pero aun así son significativas, esto se ve influenciado por la altitud y latitud en que se encuentran los árboles, en algunos casos la densidad de la madera suele disminuir al alejarse de altitudes y latitudes bajas, siendo la altitud la que produce mayor variación; estas diferencias no son heredables, más bien se le atribuye al ambiente (Zobel y Talbert, 1988).

La variación entre procedencias suele ocurrir en la densidad de la madera, trabajos han demostrado sobre esta variación como es el estudio realizado por (López L., 1997), donde encontró diferencias en la densidad de la madera entre procedencias.

### **2.2.5 Causas de la variación en la densidad de la madera**

Los factores que causan variación en la densidad de la madera, principalmente son: la forma del árbol, las combinaciones genéticas, las variaciones durante el crecimiento, la presencia de diferentes ambientes, la historia evolutiva, la latitud y latitud (Zobel y Talbert, 1988).

### **2.2.6 Principios del muestreo para la evaluación de la madera**

Al analizar la variación de la madera en los árboles debe tomarse en cuenta la importancia que tiene el muestreo independientemente si el fin que se persigue es de carácter de investigación o con otros fines, como en el caso de plantaciones ya sea de tipo comercial o de conservación (Zobel y Talbert, 1988).

Los errores de muestreo deben ser los mínimos, esto para que al hacer las evaluaciones sean más precisas y sus resultados sean más confiables. Debe tomarse en cuenta que la calidad de la madera incluye lo relativo a su densidad, la cual está generalmente asociada de manera negativa con la altura, el diámetro, el área basal, y la tasa de crecimiento del árbol (Daniel *et al.*, 1982). El utilizar sólo madera madura da más confiabilidad a los resultados por ser ésta la madera más estable en comparación con las juveniles y las de transición; la altura del árbol que se utiliza en las coníferas por ser la más representativa es a la altura del pecho (1.3 m sobre el nivel del suelo) (Zobel y Talbert, 1988).

El muestreo debe ser con selección al azar para que los valores medios y el error de confianza comprendan lo mejor posible a la población, en el muestreo puede incluirse a toda la población, o sólo incluir árboles dominantes siempre y cuando sea al azar, el número de árboles mínimos puede ser de 30 teniendo en cuenta que son los suficientes para cuando aun no se conoce la magnitud de la variabilidad. El nivel de confianza dependerá de las necesidades de ganancia en precisión que se pretendan, por lo general se utiliza el nivel estándar a un 95% (Zobel y Talbert, 1988).

### **3 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Descripción de la región Mixteca Alta Oaxaqueña**

La región Mixteca Alta Oaxaqueña se localiza al noroeste del estado de Oaxaca, entre los paralelos 16°36' y 18°42' de latitud norte y 97°00' y 98°30' de longitud oeste, cuenta con una superficie aproximada de 924,000 hectáreas, con una altitud promedio de 2000 msnm (Becerra *et al.*, 1993).

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García (1987) en esta región se presentan dos grupos climáticos, templado subhúmedo C (W) y templado semiseco BS, ambos con regímenes de lluvia en verano.

Los tipos de suelos encontrados en esta región son: 32% de regosoles, 24 % de litosoles, 9% de cambizoles, 9% de feozem, 2 % de castañozem y el 29% restante de la superficie los componen los vertisoles, luvisoles, fluvisoles y rendzinas (Bravo, 1990).

En la región Mixteca Alta Oaxaqueña la tercera parte de la superficie presenta deterioros irreversibles, en la cual se observa la ausencia total de vegetación; otra tercera parte la constituyen bosques fragmentados y perturbados en forma de manchones y grupos de individuos relictuales de vegetación natural, la superficie restante está constituida con bosques de coníferas y de pino encino más o menos continuos en las elevaciones más altas (Ruíz 1990; Contreras, 1996).

#### **3.2 Descripción del área experimental**

El ensayo se realizó en dos localidades de la Mixteca Alta Oaxaqueña. Una en el municipio de Tlacotec Plumas, perteneciente al distrito de Coixtlahuaca y la otra en el municipio de Magdalena Zahuatlán, perteneciente al distrito de Nochixtlán.

El sitio experimental de la localidad de Tlacotepec Plumas, Coixtlahuaca se ubica en las coordenadas geográficas 17° 52' 00" de latitud norte y 97°26' 18" longitud oeste, a una altitud de 2120 msnm (CETENAL, 1977a). La temperatura máxima y mínima en los meses de noviembre a abril es de 24°C y 6°C respectivamente (DETENAL, 1979a) y de mayo a octubre la máxima es de 24°C y la mínima de 12°C (DETENAL, 1979b). La precipitación media anual en los meses de noviembre a abril es de 75 mm (DETENAL, 1979a) y de mayo a octubre de 550 mm (DETENAL, 1979b). La localidad pertenece a la región hidrológica RH28 (DETENAL, 1979c). Los suelos presentan un pH de 7.66 a 7.92, materia orgánica de 2.80 a 3.12 % y nitrógeno total de 0.159 a 1.195 %.

Por otra parte, el sitio experimental ubicado en la localidad Magdalena Zahuatlán, Nochixtlán, se ubica en las coordenadas geográficas 19° 24' 11" de latitud norte y 97° 12' 35" de longitud oeste, a una altitud de 2160 msnm (CETENAL, 1977b). La temperatura en los meses de noviembre a abril es de 24°C la máxima y de 6°C la mínima (DETENAL, 1979a) y en los meses de mayo a octubre la máxima es de 24°C y la mínima de 12°C (DETENAL, 1979b). La precipitación media anual en los meses de noviembre a abril es de 75 mm (DETENAL, 1979a) y de mayo a octubre de 625 mm (DETENAL, 1979b). La localidad pertenece a la región hidrológica RH20 (DETENAL, 1979c). Los suelos presentan un pH de 8.12 a 8.17 y materia orgánica de 2.18 a 2.68 % y nitrógeno total de 0.078 a 0.130 %.

En ambas localidades donde se encuentra ubicada el área experimental, el uso de suelos es de agricultura temporal con cultivos anuales (DETENAL, 1979d). Sin embargo, ambos sitios experimentales, son terrenos abandonados debido a sus notables grados de erosión presentes en la región.

### **3.3 Material experimental**

Las procedencias de *Pinus greggii* que se utilizaron en ambas localidades corresponden a 13 puntos geográficos comprendidos dentro el área de distribución natural de la especie que se distribuyen desde en noroeste hasta el centro del país, seis procedencias de la variedad *greggii* (Noreste del país) y

siete procedencias de la variedad *australis* (centro del país) (Donahue y López, 1999). De estos 13 puntos geográficos cinco procedencias se encuentran en el estado de Coahuila y una procedencia en Nuevo León, mismas que corresponden a las poblaciones del norte del país, dos procedencias de Querétaro y cinco procedencias de Hidalgo que corresponden al centro del país. (Cuadro 1)

Cuadro 1. Principales características ambientales de los sitios de ensayo y de las 13 procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en sus áreas de distribución natural.

Localidad	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud (msnm)	Temp. (°C)	Pp (mm)	pH del suelo
Sitio de ensayo						
Tlacotepec Plumas, Coixtlahuaca	17°52	97°26	2120	15	625	7.8
Magdalena Zahuatlán, Nochixtlán	19°24	97°12	2160	15	690	8.2
procedencias						
Pto. Los Conejos, Coah.*	25°28	100°34	2450	16	600	6
Santa Anita, Coah.*	25°27	100°34	2500	16	600	6.8
Puerto San Juan, Coah.*	25°25	100°33	2650	16	600	6.1
Los Lirios, Coah.*	25°23	100°34	2400	16	600	7.4
Jamé, Coah.*	25°21	100°36	2450	16	600	7.2
Ej. 18 de Marzo, Galeana, N.L.*	24°26	100°10	2100	15	650	7.1
El Madroño, Qro.**	21°16	99°10	1650	17	737	4.5
Tres Lagunas, Qro.**	nd	nd	nd	nd	nd	nd
El Piñón Hgo.**	20°56	99°12	1830	17	700	6.2
Laguna Atezca, Hgo.**	20°49	98°46	1330	20	1438	4.5
Molango, Hgo.**	20°49	98°46	1200	17	1750	4.4
Xochicoatlan, Hgo.**	20°47	98°40	1700	17	1625	4.5
Comunidad Dgo., Hgo.**	20°46	99°23	1850	17	1100	6

Pp= Precipitación, nd= No existen datos, \*= Variedad *greggii*, \*\*= Variedad *australis*.

### 3.4 Plantación

Con la finalidad de que el ensayo fuese más representativo de las condiciones ecológicas de la región se realizó la plantación en el mes de junio de 1997 en las dos localidades, Tlacotepec Plumas, y Magdalena Zahuatlán.

En ambas localidades se utilizaron un total de 1004 plantas útiles sujetas a evaluación, 32 plantas de borde en Magdalena Zahuatlán y 189 en la localidad de Tlacotepec Plumas.

### **3.4.1 Diseño de la plantación**

En ambas localidades fueron plantadas con el sistema de plantación de sepa común de 40x40x40 cm con una distribución de arreglo tres bolillo, a una separación de 3 metros entre plantas.

El diseño de la plantación es de bloques completos al azar, donde las 13 procedencias corresponden a los tratamientos, con 12 bloques (repeticiones), que dan un total de 156 parcelas o unidades experimentales y cada unidad experimental o parcela está constituida por nueve plantas, para un total de 1404 plantas. En los sitios se incluyeron plantas de borde en el perímetro del experimento.

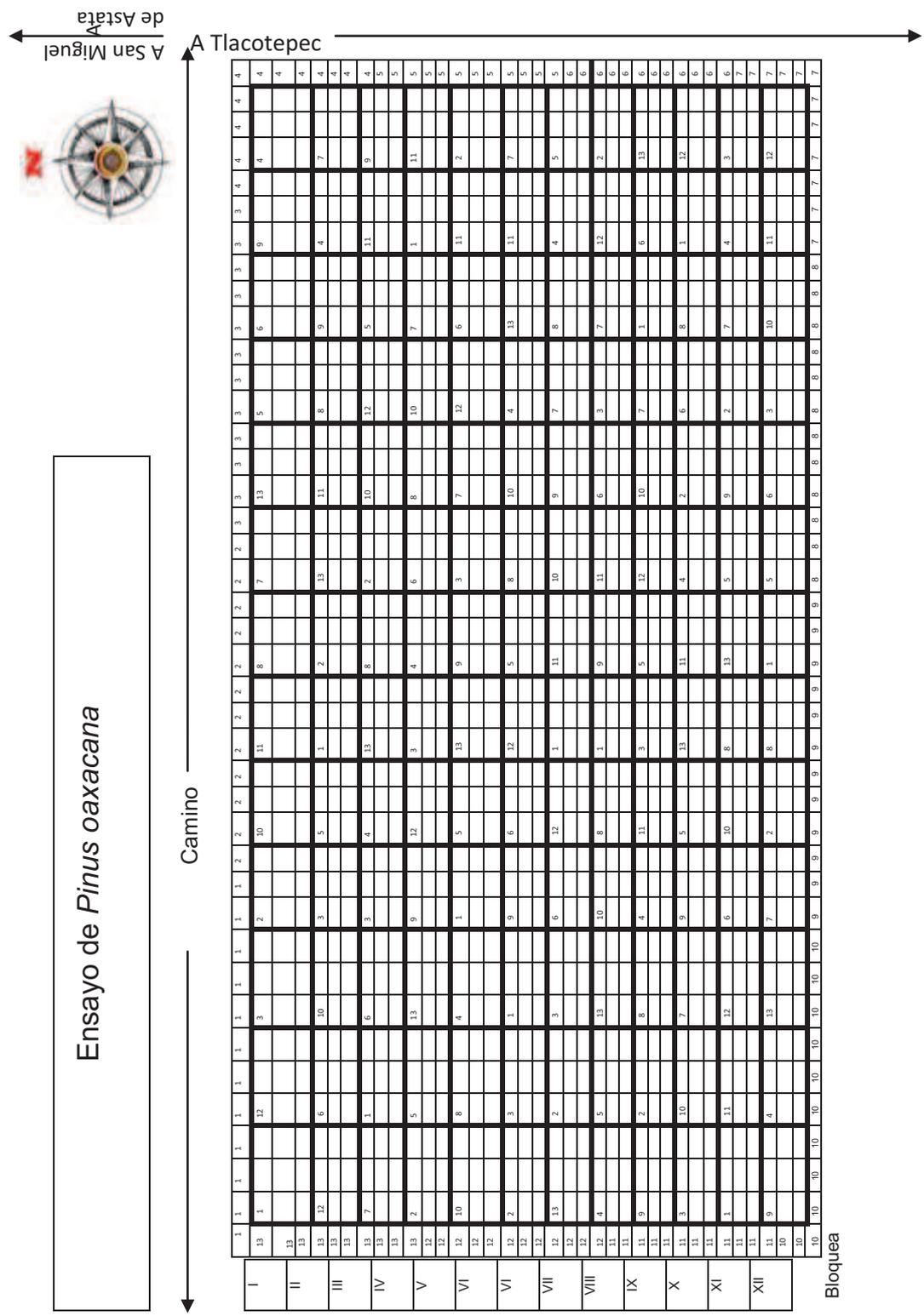
### **3.5 Diseño experimental**

El diseño experimental para la evaluación de la densidad de la madera que se utilizó en la ambas plantaciones fue de bloques completos al azar, utilizando tres de nueve plantas por unidad experimental, y un bloque si y un bloque no haciendo un total del siete bloques muestreados y un total de 272 plantas muestreadas por cada población (Figura 1 y 2).

### **3.6 Mediciones**

En ambas localidades con la cinta diamétrica se midió el diámetro (en cm) a una altura de 1.30 metros del nivel del suelo. Con el taladro de Pressler se extrajo una muestra de madera (viruta) a la altura de 1.30 metros de la altura del árbol la cual se introdujo en popotes de plástico para evitar daños en el transporte al laboratorio. Estos popotes fueron etiquetados para saber el sitio, la procedencia, el bloque y el árbol del que fue recolectado.

# Ensayo de *Pinus oaxacana*



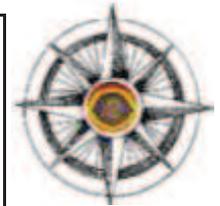
- Procedencias
- 1 Xichicotlán, Hgo.
  - 2 Puerto San Juan, Coah.
  - 3 El Piñón, Hgo.
  - 4 Los Lirios, Coah.
  - 5 Com. Durango Zimapan, Hgo.
  - 6 Molango, Hgo.
  - 7 Puerto Conejos, Coah.
  - 8 Laguna Atezca, Hgo.
  - 9 El Madroño, Qro.
  - 10 Jamé, Coah.
  - 11 Santa Anita, Coah.
  - 12 Ej. 18 de Marzo, Gal. N.L.
  - 13 Tres Lagunas, Qro.

Distribución: Tresbolillo  
 Distancia entre plantas: 3 m.  
 Distancia entre líneas: 3 m.  
 unidad experimental  
 (9 plantas

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Las números indican las  
 procedencias en cada  
 Unidad experimental

Figura 1. Distribución de bloques, hileras y unidades experimentales del diseño experimental de un ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en la localidad de Tlacoatepec Plumas, Coixtlahuaca, Oaxaca. (Tomada de Velasco, 2001) (Modificada por Cruz, 2011).



Experimento  
de  
*Pinus oaxacana*

13	13	13	13	13	1	1	8
13	3			6			8
13							9
13							9
13	4			13			9
13							9
13							9
13	10			7			9
13							9
13							9
13	8			3			9
13							9
13							9
13	1			2			9
13							9
13							9
12	2			4			9
12							9
12							9
12	13			12			10
12							10
12							10
12	8			9			10
12							10
12							10
12	7			11			10
12							10
12							10
12	11			5			10
12							10
12							10
11	5			8			10
11							10
11							10
11	9			1			10
11							10
11							10
11	12			10			10
11							11
11							11
11	11	11	11	11	11	11	11

- Procedencias
- 1 Xichicotlán, Hgo.
  - 2 Puerto San Juan, Coah.
  - 3 El Piñón, Hgo.
  - 4 Los Lirios, Coah.
  - 5 Com. Durango Zimapán, Hgo.
  - 6 Molango, Hgo.
  - 7 Puerto Conejos, Coah.
  - 8 Laguna Atezca, Hgo.
  - 9 El Madroño, Qro.
  - 10 Jamé, Coah.
  - 11 Santa Anita, Coah.
  - 12 Ej. 18 de Marzo, Gal. N.L.
  - 13 Tres Lagunas, Qro.

Distribución tresbolillo  
Distancia entre plantas 3 m.  
Distancia entre líneas 3 m.  
unidad experimental  
(9 plantas)

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Las números indican las procedencias en cada unidad experimental

Línea eléctrica

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	7		
8	5			1			11			3			4			9		8			2					7		
8																										7		
8																										6		
8	12			3			6			10			1			5				7						6		
8																										6		
8																										6		
8	4			12			8			11			2			6				10						5		
8																										5		
8																										5		
8	1			12			10			8			13			9				11						5		
8																										5		
8																										5		
8	4			8			12			6			5			11				13						4		
8																										4		
8																										4		
8																										4		
8	2			4			7			8			1			11				9						4		
7																										4		
7																										4		
7	4			3			10			2			11			8				1						3		
7																										3		
7																										3		
7	10			12			12			9			3			11				4						3		
7																										2		
7																										2		
7	3			2			8			5			10			9				4						2		
7																										2		
7	9			8			11			2			10			5				3						1		
7																										1		
7																										1		
7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	1

Carretera a Nochixtlá

7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	
7	12			7				6					10																		3
8																															3
8																															3
8	4			9				2					13																	3	
8																															3
8																															3
9	3			1				13					5																	3	
9																															3
9																															3
9	7			4				2					6																	3	
9																															3
10																															3
10	10			3				9					1																	3	
10																															4
10																															4
10	3			6				12					13																	4	
10																															4
11																															4
11	6			9				7					12																	4	
11																															4
11																															4
11	5			6				2					1																	4	
12																															4
12																															4
12	7			6				11					1																	4	
12																															4
12																															4
13	7			13				4					6																	4	
13																															4
13																															4
13																															4
13	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4

Figura 2. Distribución de bloques, hileras y unidades experimentales del diseño experimental de un ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en la localidad de Magdalena Zahuatlán, Nochixtlán, Oaxaca. (Tomada de: Velasco, 2001) (Modificada por Cruz, 2011).

Se utilizaron taquetes de madera para tapar la herida hecha con el taladro, posteriormente se le colocó pintura para evitar la entrada de algún insecto o plaga en la herida.

Se utilizó alcohol para desinfectar el taladro por cada árbol muestreado para evitar el contagio en el caso de que algún árbol presente una enfermedad o alguna plaga, así como para mantener limpio el taladro y facilitar la penetración del siguiente árbol.

### **3.7 Trabajo en laboratorio**

#### **3.7.1 Saturación y pesado de muestras en húmedo**

Todas las muestras se metieron en recipientes de plástico con agua, hasta lograr que estuvieran completamente saturadas de humedad, para eso fue necesario pesar diariamente 25 muestras del total, hasta obtener un peso constante (peso húmedo), el cual se logró aproximadamente a los 50 días. Una vez logrado este peso constante se procedió al pesado de todas las muestras. El pesado de estas se realizó en una balanza analítica con precisión de 0.0001 gramos.

#### **3.7.2 Secado y pesado de las muestras en seco**

Para el secado de las muestras de madera, primeramente se dejaron durante 48 horas a temperatura ambiente para eliminar el exceso de humedad. Posteriormente, se colocaron en papel estraza y se metieron a la estufa de secado a una temperatura de  $105 \pm 5$  °C para eliminar totalmente la humedad y obtener el peso anhidro, mismo que se consiguió aproximadamente a las 72 horas. Para el pesado de las muestras en seco se usaron 25 muestras del total de las contenidas en la estufa y se pesaron cada 24 horas hasta obtener un peso constante, el cual se logró a las 72 horas. 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 silicagel en donde se dejaron las muestras en un tiempo de 15 a 20 minutos antes de ser pesadas, para que las

muestras quedaran a la temperatura ambiente sin adquirir humedad del ambiente o de las manos por el contacto directo. Para el peso en seco se uso la misma balanza analítica utilizada para el peso en húmedo.

### 3.7.3 Variables evaluadas

Con las mediciones que se realizaron, se procedió a evaluar las siguientes variables, que permitieron evaluar la densidad de la madera de cada procedencia y rechazar o no la hipótesis nula.

- a) Diámetro normal.
- b) Largo de la muestra de madera con el máximo contenido de humedad.
- c) Peso de la muestra con el máximo contenido de humedad.
- d) Peso de la muestra anhidra.

### 3.7.4 Determinación de la densidad de la madera

Una vez obtenidas 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).

La fórmula es

$$DM = \frac{Ps - Pa}{Pa} + \frac{1}{1.53}$$

Donde:

DM= densidad de la madera (gr/cm<sup>3</sup>)

PS= Peso saturado de la muestra (gr)

Pa= Peso anhidro de la muestra (gr)

1.53= Gravedad específica de la madera sólida

### 3.8 Análisis estadístico

El análisis de la información para la densidad de la madera se realizó mediante el uso del paquete estadístico S.A.S. (Statistical Analysis System) versión 9.0. En este programa se capturaron los datos de las variables del trabajo de laboratorio; peso saturado (húmedo) y peso seco (anhidro), con estos datos se calculó la densidad de la madera de las muestras.

Así mismo se obtuvo el valor promedio general y de cada procedencia, así como los estadísticos de dispersión: mínimo, máximo, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación.

Se realizó un análisis de varianza para detectar si existían o no diferencias entre procedencias.

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

También se realizó un análisis de correlación de Pearson (Proc Corr) entre la densidad de la madera y diámetro normal.

El modelo estadístico utilizado para él para el análisis de varianza de la densidad de la madera es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + B_j + P_i + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = valor de la variable (densidad de la madera)

$\mu$  = efecto de la media de la población

$B_j$  = efecto del  $j$ ésimo bloque

$P_i$  = efecto de la  $i$ ésima procedencia

$E_{ij}$  = efecto aleatorio (error de muestreo)

El análisis se realizó por separado para cada localidad.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

En la población de Tlacotepec Plumas se obtuvo un valor promedio en densidad de la madera de 0.396 gr/cm<sup>3</sup>, presentando un valor mínimo de 0.3178 gr/cm<sup>3</sup> y un valor máximo de 0.5003 gr/cm<sup>3</sup>. Mientras que para la población de Magdalena Zahuatlán se obtuvo un valor promedio en densidad de la madera de 0.3964 gr/cm<sup>3</sup>, con un valor mínimo de 0.3626 gr/cm<sup>3</sup> y un valor máximo de 0.4362gr/cm<sup>3</sup> (Cuadro 2).

Cuadro 2. Medidas de tendencia central y de dispersión para la densidad de la madera de *Pinus greggii* Engelm. en las dos poblaciones de la Mixteca Alta Oaxaqueña.

Localidad	n	Valor mínimo (gr/cm <sup>3</sup> )	Valor medio (gr/cm <sup>3</sup> )	Valor máximo (gr/cm <sup>3</sup> )	S (gr/cm <sup>3</sup> )	Error estándar (gr/cm <sup>3</sup> )	CV (%)
Tlacotepec	263	0.3178	0.3963	0.5003	0.0253	0.0046	6.15
Magdalena	218	0.3626	0.3964	0.4362	0.0145	0.0003	3.41

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

De acuerdo con los datos obtenidos, se observa que para la plantación de Tlacotepec Plumas si se presenta el valor promedio con una desviación estándar (0.3963 ± 0.0253), y considerando una distribución normal se tiene que alrededor del 65% de la población tiene una densidad de la madera que se encuentra entre 0.3710 y 0.4216 gr/cm<sup>3</sup>. El valor de la media poblacional, se encuentra con un 99% de confiabilidad entre 0.3913 y 0.4013 gr/cm<sup>3</sup>. Para la plantación de Magdalena Zahuatlán si se presenta el valor promedio con una desviación estándar (0.3964 ± 0.0145), y considerando una distribución normal se tiene que alrededor del 65% de la población tiene una densidad de la madera que se encuentra entre 0.3819 y 0.4109 gr/cm<sup>3</sup>. El valor de la media poblacional, se encuentra con un 99% de confiabilidad entre 0.3914 y 0.4014 gr/cm<sup>3</sup>.

El valor promedio de la densidad de la madera para las dos poblaciones fue de (0.396 gr/cm<sup>3</sup>) que corresponde a una madera moderadamente liviana, de acuerdo con la clasificación desarrollada por Makwar y Heck (Echenique y Díaz 1969) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Clasificación de la madera de acuerdo a su densidad (gr/cm<sup>3</sup>), basándose en el peso anhidro sobre su volumen verde desarrollada por Markward y Heck (Tomada de Echenique y Díaz, 1972).

D.M. = Pa/Vv (gr/cm <sup>3</sup> )	Terminología
Menor de 0.20	Extremadamente liviana
de 0.20 a 0.25	Excesivamente liviana
de 0.25 a 0.30	Muy liviana
de 0.30 a 0.36	Liviana
de 0.36 a 0.42	Moderadamente liviana
de 0.42 a 0.50	Moderadamente pesada
de 0.50 a 0.60	Pesada
de 0.60 a 0.72	Muy pesada
de 0.72 a 0.86	Excesivamente pesada
mayor de 0.86	Extremadamente pesada

D.M.= Densidad de la madera. Pa= Peso anhidro. Vv= Volumen verde.

En otros trabajos se ha reportado valores diversos de densidad de la madera. Por ejemplo, Alba *et al.* (2005) realizaron un estudio para determinar la variación de la densidad de la madera de *Pinus greggii*, en un ensayo genético establecido en Coatepec, Veracruz, México. Esta plantación se evaluó cuando los árboles tenían una edad de 10 años, utilizando el método de máximo contenido de humedad, para ello se colectaron cilindros de madera de 35 árboles a una altura de 1.30 metros, en el cual se encontraban tres procedencias (Laguna Atezca, Hidalgo, El Madroño, Querétaro, Las Placetas, Nuevo León) siendo El Madroño y Placetas quienes presentaron el mismo promedio el cual fue 0.37 gr/cm<sup>3</sup> y Laguna Atezca con 0.35 gr/cm.

Por su parte, López y Valencia (2001) realizaron un estudio para la estimación de la variación de la densidad relativa de la madera de *Pinus greggii* en el norte de México, en donde se obtuvieron muestras de madera de 12 poblaciones de la distribución natural de la especie en las cuales se tomaron de 5 a 11 árboles adultos por cada población, en las cuales se les extrajo una muestra de madera

a una altura de 1.30 metros, Los autores obtuvieron una densidad promedio de 0.47 gr/cm<sup>3</sup>.

A su vez, Monarrez (2004) realizó un estudio para la determinación de la variación de la densidad de la madera en regeneración de *Pinus teocote* Schl. et Cham en el Noreste de México (Coahuila y Nuevo León), utilizando el método de máximo contenido de humedad, en el cual utilizó 643 muestras tomada en diferentes alturas de los árboles de 12 poblaciones donde obtuvo una densidad promedio de 0.42 gr/cm<sup>3</sup>.

Mientras que Valencia (1994) reporta para *Pinus patula* un valor de 0.34 gr/cm<sup>3</sup>, en este caso el estudio se realizó con muestras tomadas a 40 cm de altura en una prueba de progenie de seis años de edad.

Al comparar el valor promedio de la densidad de la madera obtenido en el presente estudio (0.396 gr/cm<sup>3</sup>) con lo reportado para la misma especie se puede notar que la densidad es superior al valor promedio obtenido por Alba *et al.* (2005) e inferior al valor promedio obtenido López y Valencia (2001). Esto puede ser debido a la edad del árbol, pues a menor edad se presenta menor densidad de la madera y conforme aumenta la edad se incrementa también el valor de la densidad de la madera. En el reporte de Alba *et al.* (2005) se trata de una plantación de 10 años, en el presente estudio las muestras de madera se obtuvieron de la plantación a los 13 años y por su parte el estudio de López y Valencia (2001) se realizó en árboles adultos del bosque nativo. Hocker (1984) explica que en sus primeros años de edad el árbol está formando la madera juvenil, la cual generalmente presenta una baja proporción de madera tardía, esta última es la que le atribuye a la madera tener una mayor densidad. Tampoco se debe descartar otras posibles explicaciones, como podría la influencia del sitio y el ambiente donde crecen los árboles, ya que se para algunas especies como *Pinus taeda* se han valores de densidad de la madera siguiendo un gradiente ambiental (Zobel y Talbert, 1988).

Con respecto a los valores de densidad reportados en otras especies. El presente estudio presenta un valor inferior al que presenta Monarrez (2004) para *Pinus teocote* para arbolado adulto, pero es un valor superior al que

presenta Valencia (1994) para *Pinus patula* en una plantación de seis años de edad. En estos casos se puede notar nuevamente la influencia de la edad. Pues para mismo *Pinus patula* en edad adulta García (1984) ha reportado un valor superior de densidad de la madera ( $0.48 \text{ gr/cm}^3$ ). Sin embargo, se debe recordar que existe variación entre especies para la densidad de la madera (Zobel y Van Buijtenen, 1989).

El valor que se obtuvo se refiere principalmente a la madera de etapa juvenil, esto no quiere decir que no se le tome importancia, ya que ésta puede mostrar la tendencia en el futuro y sirve para hacer predicciones sobre la posible tendencia de la densidad de la madera para esta especie hasta llegar a su etapa de madurez. Los árboles que presenten una mayor densidad en la madera juvenil, posteriormente presentaran una mayor densidad en la madera de transición, madera madura y en la densidad de la madera (López L., 1997).

El coeficiente de variación encontrado en el presente estudio fue de 6.15 % para la plantación de Tlacotepec Plumas y 3.42 % para Magdalena Zahuatlán, estos valores en comparación con trabajos también realizados en densidad de la madera resulta ser similar comparado con el reportado para *Pinus patula* de 6 años de edad (7.2%) (Valencia, 1994) y al de *Pinus teocote* (6.90%) (Trujillo, 1999) y menor comparado con el reportado para *Pinus cembroides* (42.84%) (Vaca, 1992) y para *Pinus engelmanni* (15.8%) (Tzab, 2002). Al parecer la variabilidad que se reporta tiene que ver con los niveles de variación que se estudian, ya que los menores valores del coeficiente de variación se presentan cuando sólo se estudia las diferencias entre localidades y entre árboles, mientras que cuando en los estudios se incluyen como fuentes de variación alturas del fuste o anillos en el fuste, los valores del coeficiente de variación aumentan.

La densidad de la madera presenta suficiente variación como se puede observar en los diversos trabajos que se han señalado y dado que es una característica de importancia económica y fuertemente heredable, es propia para incluirla en los programas de mejoramiento genético (Zobel y Van Buijtenen, 1989).

## 4.2 Variación entre procedencias

De acuerdo a los análisis de varianza para la densidad de la madera se presentaron diferencias significativas entre procedencias (Cuadro 4), por tal razón se rechaza la hipótesis nula propuesta en el presente trabajo y se puede afirmar para cada sitio de plantación que al menos una procedencia es diferente.

Cuadro 4. Resultados del análisis de varianza para la densidad de la madera de *Pinus greggii* var *greggii* y para *Pinus greggii* var *australis* en las dos plantaciones experimentales ubicadas en la Mixteca Alta Oaxaqueña.

Localidad	F.V	G.L.	S.C.	C.M.	F.c.	Pr>F
Tlacotepec Plumas	Procedencia	12	0.016	0.0013	2.3	0.009
Magdalena Zahuatlán	Procedencia	12	0.008	0.0007	3.5	0.001

F.V = Fuentes de variación, G.L = Grados de libertad, S.C = Suma de cuadrados medios, C.M. Cuadrados medios, F.c = Valor calculado de "F", Pr>F= Probabilidad del error tipo I ( $\alpha$ )

Se tienen referencias de estudios realizados que indican que la densidad de la madera varía entre poblaciones y dentro del mismo árbol de una misma especie, de la misma edad y bajo las mismas condiciones de crecimiento, esto 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).

En un estudio realizado por Alba *et al.* (2005) para *Pinus greggii* en una plantación experimental establecido en Coatepec a una edad de 10 años no se encontraron diferencias significativas para la densidad de la madera entre las procedencias estudiadas. En un estudio realizado para *Pinus greggii* en el Norte de México, López *et al.* (2001) encontró diferencias estadísticamente significativas entre poblaciones y entre árboles dentro de las poblaciones para la densidad de la madera. Valencia (1994) en un estudio realizado para *Pinus patula* al hacer el análisis de varianza se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre poblaciones y entre árboles dentro de poblaciones para la densidad de la madera.

Este es un resultado que revela importancia para la variación de la densidad de la madera, dado que por ejemplo, si se implementara un plan de manejo de manera integral que persiguiera como fines su mejoramiento y conservación, el trabajo sería efectivo, ya que se podrían diferenciar poblaciones por su densidad de la madera, es decir, tener caracterizadas las procedencias con alta, con mediana y con baja densidad.

La prueba Tukey señala que para el sitio de plantación Tlacotepec Plumas las procedencias con mayor densidad de la madera fueron Tres Lagunas Qro. y Molango, Hgo. ( $0.407 \text{ gr/cm}^3$ ) y diferentes a la procedencia Laguna Atezca Hgo. ( $0.379 \text{ gr/cm}^3$ ). Para el sitio de plantación Magdalena Zahuatlán la procedencia con mayor densidad de la madera fue la misma Tres Lagunas Qro. ( $0.406 \text{ gr/cm}^3$ ) y diferente a las procedencias El Madroño, Qro. ( $0.389 \text{ gr/cm}^3$ ) y Laguna Atezca Hgo. ( $0.383 \text{ gr/cm}^3$ ) que presentaron los menores valores de densidad de la madera (Cuadro 5).

Se puede notar que los valores de densidad de la madera no siguen un patrón definido por la latitud, incluso tampoco por la taxonomía (variedades) dentro de la especie. Pues la variedad *australis* es la que presenta las procedencias con mayor y menor valor de densidad de la madera y las procedencias de la variedad *greggii* se ubican en la agrupación Tukey en posición intermedia (Cuadro 5).

En estudios de variación natural en bosques nativos se han reportado diferencias entre procedencias en densidad de la madera para diversas especies. Por ejemplo, para *Pinus greggii* del norte de México (López y Valencia, 2001), para *Pinus engelmannii* en la Sierra Tarahumara (Tzab, 2002) y para *Pinus estevezi* en el estado de Nuevo León (López, 2004). En el caso de plantaciones, Alba *et al.* (2005) no reporta diferencias entre procedencias para *Pinus greggii*, sin embargo sólo se evaluaron tres procedencias de la variedad *australis*.

La densidad de la madera es una característica que se ha reportado con un fuerte control genético (Zobel y Van Buijtenen, 1989), pero en los estudios de variación natural poco se puede inferir al respecto. Mientras que en los estudios hechos en plantaciones (ensayos de procedencias) se puede percibir y hasta evaluar el nivel de control genético, de manera que la respuesta obtenida en las evaluaciones de estas plantaciones son de un uso más inmediato para aplicarse en plantaciones forestales con fines comerciales.

De esta manera se podría seleccionar las procedencias con valores de densidad de la madera del interés que fuese necesario, es decir, con alta o baja densidad. Es importante recordar que cuando el uso de la madera es para combustible, celulosa y material sólido, en general se prefiere madera con alta densidad (Harris, 1965).

Cuadro 5. Prueba Tukey de separación de medias, para la variación de la densidad de la madera de 13 procedencias de *Pinus greggii* establecido en Tlacotepec Plumas, Coixtlahuaca, y Magdalena Zahuatlán, Nochixtlán, Oaxaca.

Procedencia	Latitud Norte	Sitio de prueba			
		Tlacotepec		Zahuatlán	
		DM (gr/cm <sup>3</sup> )		DM (gr/cm <sup>3</sup> )	
<i>Var. Greggii</i>					
Pto. Los Conejos, Coah.	25°28	0.396	AB	0.397	ABC
Santa Anita, Coah.	25°27	0.398	AB	0.398	ABC
Puerto San Juan, Coah.	25°25	0.393	AB	0.393	ABC
Los Lirios, Coah.	25°23	0.390	AB	0.392	ABC
Jamé, Coah.	25°21	0.390	AB	0.4001	AB
Ej. 18 de Marzo, Gal. N.L.	24°26	0.405	AB	0.404	AB
<i>Var. Australis</i>					
El Madroño, Qro.	21°16	0.386	AB	0.389	BC
Tres Lagunas, Qro.	18°30	0.407	A	0.406	A
El Piñón Hgo.	20°56	0.397	AB	0.396	ABC
Laguna Atezca, Hgo.	20°49	0.379	B	0.383	C
Molango, Hgo.	20°49	0.407	A	0.400	AB
Xichicotlán, Hgo.	20°47	0.402	AB	0.401	AB
Comunidad Dgo., Hgo.	20°46	0.390	AB	0.392	ABC

DM= Densidad. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba Tukey con alfa =.05

En algunas especies se ha reportado una correlación negativa entre la velocidad de crecimiento y la densidad de la madera (Zobel y van Buijtenen, 1989). Por ejemplo en una plantación de *Pinus patula* en Zacualpan, Ver., este tipo de situaciones hace que en los programas de mejoramiento genético al mejorar una característica se daña o disminuye el valor de la otra y hace necesario buscar alternativas sobre la forma de selección, como es el uso de algún índice (Valencia, 1994). También se han reportado trabajos donde no se ha encontrado correlación entre densidad de la madera y el diámetro normal (López y Valencia, 2001).

En este caso al hacer las correlaciones entre densidad de la madera y el diámetro normal del fuste de los árboles no se encontraron correlaciones significativas en ninguna de los dos sitios de plantación (Tlacotepec Plumas y Magdalena Zahuatlán) (Apéndice 1), lo que hace posible mejorar la velocidad de crecimiento que es el interés mayor del silvicultor, sin tener pérdida en la densidad de la madera, haciendo más fácil las tareas de selección y cruzamiento en los programas de mejoramiento genético,

## 5 CONCLUSIONES

El valor promedio de la densidad de la madera en ambos sitios de prueba fue de 0.396 gr/cm<sup>3</sup>, clasificada como madera moderadamente liviana.

Existen diferencias significativas entre procedencias para la variable densidad de la madera.

Para el sitio de plantación Tlacotepec, las procedencias Tres Lagunas Qro. y Molango, Hgo. (0.407 gr/cm<sup>3</sup>) presentaron mayor densidad de la madera en comparación con la procedencia Laguna Atezca Hgo. que presentó el valor más bajo de densidad de la madera (0.379 gr/cm<sup>3</sup>).

Para el sitio de plantación Magdalena Zahuatlán la procedencia con mayor densidad de la madera fue la misma Tres Lagunas Qro. (0.406 gr/cm<sup>3</sup>) y diferente a las procedencias El Madroño, Qro. (0.389 gr/cm<sup>3</sup>) y Laguna Atezca Hgo. (0.383 gr/cm<sup>3</sup>)

No se presentó correlación entre densidad de la madera y diámetro normal.

Los análisis presentaron variación estadística significativa lo cual permite plantear algún programa de manejo de los recursos genéticos de esta prueba de progenie.

## 6 RECOMENDACIONES

En función de los resultados del presente estudio se sugiere lo siguiente:

Hacer un estudio de asociación entre densidad de la madera, características dasométricas y de forma del árbol.

Continuar la evaluación de la densidad de la madera en los ensayos para edades avanzadas.

El trabajo en laboratorio debe hacerse lo más pronto posible después de recolectar las muestras en campo y así evitar la pérdida de humedad de las mismas, que hacen retrasar el estudio.

Tomar todas las mediciones dasométricas al hacer la toma de muestras en campo para ver si la densidad de la madera se correlaciona con alguna variable.

## 7 LITERATURA CITADA

- Alba L., J., L. Mendiazabal H. y A. Aparicio R. 1998. Respuesta de un ensayo de procedencia/progenie de *Pinus greggii* Engelm. en Coatepec, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 1(1): 25-28.
- Alba L. J., E. Ramírez G., y J. Santos S. 2005. Variación de la densidad de la madera de *Pinus greggii* Engelm. de un ensayo genético establecido en Coatepec, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 7(1): 37-40.
- Arteaga M., B. y J. D. Etchevers B. 1988. *Pinus radiata* en México y en el mundo. Monografía. Colegio de postgraduados. Chapingo, México. 88 p.
- Becerra L., F., J.F. Castellanos B. y M. Ruíz M. 1993. Recuperación de áreas degradadas en la Mixteca Oaxaqueña. En: Memorias I Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. UAAAN Saltillo, Coahuila, México. pp. 60.
- Bravo E., M. 1990. Marco de referencia de la red de investigación en productividad de agrosistemas en la Mixteca Alta Oaxaqueña. INIFAP. Oaxaca, México. 18 p.
- Bouvareal, P. 1978. Seed testing in sedes of woody plants in the United States. Agriculture Handbook No. 450. USDA. Forest Service. USA 883 p.
- CETENAL, 1977a Carta Topográfica. Tepelmeme E14D15. Esc: 1:50000. SPP. México.
- CETENAL, 1977b. Carta Topográfica. Nochixtlán E14D36. Esc: 1:50000. SPP. México.
- Clausen, K. E. 1990. Producción de semillas forestales genéticamente mejoradas. En: Memoria sobre mejoramiento genético y plantaciones forestales. Eguiluz P., T. y A. Plancarte B. (editores). Centro de Genética Forestal, A.C, Lomas de San Juan, Chapingo, México. pp. 42-50.
- Contreras H., R. 1996. Erosión en Yanhuitlán, Mixteca Alta, Oaxaca: una estrategia integral de combate. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 214 p.

- Contreras M., R. 2005. Ensayo de tres procedencias de *Pinus greggii* Engelm., establecido en el CAESA, Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 58 p.
- Cornejo O., E. H., E. Bucio Z., R. Contreras M., S. Valencia M. y C. Flores L. 2005. Tasa de crecimiento relativo en altura de *Pinus greggii* Engelm. en Arteaga, Coahuila. En: Resultados de Proyectos de Investigación 2004. Dirección de Investigación. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. ISBN 968-844-041-8. (Versión digital). Pp. 293-295.
- Daniel, T.W., J. A. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura McGraw-Hill. México. 492 p.
- DETENAL. 1979a. Carta de Efectos Climáticos Regionales de Noviembre - Abril. Oaxaca E14-9. Esc. 1: 250,000. Dirección de Estudios del Territorio Nacional. SPP. México.
- DETENAL. 1979b. Carta de Efectos Climáticos Regionales de Mayo - Octubre. Oaxaca E14-9. Esc. 1: 250,000. Dirección de Estudios del Territorio Nacional. SPP. México.
- DETENAL. 1979c. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales. Oaxaca E14-9. Esc. 1: 250,000. Dirección de Estudios del Territorio Nacional. SPP. México.
- DETENAL. 1979d. Carta de Uso de Suelos y Vegetación. Oaxaca E14-9. Esc. 1: 250,000. Dirección de Estudios del Territorio Nacional. SPP. México.
- Donahue, J. K. y J. López U. 1999. A new variety of *Pinus greggii* (*Pinaceae*) in México. Sida 18 (4): 1083 – 1093.
- Dvorak, W. S. y J. K. Donahue. 1992. Reseña de investigaciones CAMCORE. Departamento Forestal, Colegio de Recursos Forestales, Universidad Estatal de Carolina del Norte. USA. pp. 26-27.
- Echenique, M. R. y G. V. Díaz. 1969. Algunas características tecnológicas de la madera de once especies mexicanas. INIF. Boletín Técnico No. 27. México. 61 p.
- Eguiluz P., T. 1978. Ensayo de integración de los conocimientos del género *Pinus* en México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. México. 623 p.

- Eguiluz P., T. 1990. Selección y ganancia genética en bosques naturales y plantaciones. En: Memoria sobre el Mejoramiento Genético y Plantaciones Forestales. Eguiluz P., T. y A. Plancarte B. (Editores). Centro de Genética Forestal, A. C. Lomas de San Juan, Chapingo, México. pp. 78-88.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Cuarta Edición. Instituto de Geografía. UNAM. México. 217 p.
- Godfrey, G.A. y D.K. Garthwaite. 1984. Rapid assessment of outerwood specific gravity in live trees using a pocket durometer. *Can. J. For. Res.* 14:145-150.
- Hernández D., J. 1988. Notas básicas sobre mejoramiento genético forestal. *Ciencia Forestal.* 13 (64): 31-47.
- HARRIS, J. M. 1965. The heritability of wood density. *Proc. IUFRO Section 41.* Vol. 2.
- Hocker Jr., W. H. 1984. Introducción a la biología forestal. AGT. S.A. México. 446p.
- Jara N., L. F. 1995. Mejoramiento forestal y conservación de recursos genéticos forestales. Manual Técnico No. 14. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 174 p.
- Jett, J. B., S.E. Mckeand y R.J. Weir, 1991. Stability of juvenile wood specific gravity of loblolly pine in diverse geographics areas. *Can. J. For. Res.* 21:1080-1085.
- Jiménez G., G. 2005. Retos de la conservación de los recursos naturales en la región Lagunera, Coahuila y Durango. *Revista Serie Zonas Áridas* 4(2): 11-20.
- Jozsa, L. A. y H. Brix. 1989. The effects of fertilization and thinning on wood quality of a 24-year-old Douglas-fir stand. *Can. J. For. Res.* 19:1137-1145.
- 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.
- Lamb, A. F. A. 1973. *Pinus caribaea*. Fast Growing Timber Tress of the Lowland Tropics. No. 6. V. J. Oxford, University of Oxford. 254 p.

- López A., F. 1997. Variación en densidad de la madera entre y dentro de árboles en *Pinus rudis* Endl. en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 55 p.
- López G., A. Velázquez, J. Vargas, G. Vera y M. Musalem. 1999. Efecto de transferencia de suelos en el establecimiento de brinzales de *Pinus greggii* Engelm. en sitios degradados. En Memorias IV Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Durango, México. pp. 173.
- 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, Coah., México. 68 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. Madera y Bosques 7(1): 37-47.
- López M., A. 2004. Variación de la densidad de la madera en regeneración de *Pinus estevezi* (Mtz.) Perry de Nuevo León. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México. 52 p.
- López U., J., J. Jasso M., J. J. Vargas H. y C. Ayala S. 1993. Variación de características morfológicas en conos y semillas de *Pinus greggii*. Agrocienca 3(1): 81-84.
- López U., J., A. J. Mendoza H., J. Jasso M., J. J. Vargas H. y A. Gómez G. 2000. Variación morfológica de plántulas e influencia del pH del agua de riego en doce poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. Madera y Bosques 6(78): 81-94.
- López U., J. y J. K. Donahue. 1995. Seed production of *Pinus greggii* in natural stands in México. Tree Planters Notes 46(3): 86-92.
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. 2ª edición. Ediciones Botas. México. 361 p.
- Monarrez V., J. 2004. Densidad de la madera en regeneración de *P. teocote* Schl. et Cham. del noreste de México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 41 p.

- Morandini, R. 1964. Genética y mejora de especies exóticas forestales. 18(2-3): 51-60.
- Nepamuceno M., F. 1985. Análisis del desarrollo y estado actual de las experiencias prácticas y técnicas en mejoramiento genético en México. III Reunión Nacional sobre Plantaciones Forestales. INIF, SARH. Publicación Especial No. 48. México. pp. 173-186.
- Notivol, E., L.A. Gil y J. A. Pardos, 1992. Una metodología para la estimación de la densidad de la madera de árboles en pie y de su grado de variabilidad en *Pinus pinaster* Ait. Sist. Recur. For. 1:41-47.
- Ordóñez, V., G. Bárcenas y A. Quiroz, (s/f). Características físico-mecánicas de la madera de diez especies de San Pablo Macuilianguis, Oaxaca. Boletín Técnico. La madera y su uso No.21. LACITEMA. México. 32p.
- Ornelas H., G. 1997. Ensayos de tres procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en el C.A.E.S.A. Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 59 p.
- Padilla G., H. 1987. Glosario práctico de términos forestales. Limusa. México. 273 p.
- Patiño V., F. y G. Borja L. 1978. La necesidad de la investigación en ensayos de especies y procedencias. En: Memorias de la Primera Reunión Nacional sobre Plantaciones Forestales. SARH, DGICF. Publicación especial No. 13. México. pp. 22-26.
- Perry Jr., J. P. 1991. The pines of Mexico an America Central. Timber Press, Inc. Portland, Oregon, USA. 563 p.
- Plancarte B., A. 1990. Manual para el establecimiento y evaluación de ensayo de especies y procedencias. Boletín Técnico No 4. Centro de Genética Forestal, A. C. Chapingo, México. 36 p.
- Playas R., I. 2010. Crecimiento del brote terminal en un ensayo de tres procedencias de *Pinus greggii* Engelm., en Arteaga Coahuila. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 35 p.
- Ramírez H., C., J. J. Vargas H., J. Jasso M.G. Carrillo C. y H. Guillén A. 1997. Variación isoenzimática en diez poblaciones naturales de *Pinus greggii* Engelm. Agrobiencia 31(2): 223-229.

- Ruíz M., M. 1990. Marco de referencia de la red de mejoramiento genético y plantaciones forestales de la Mixteca Alta Oaxaqueña. INIFAP. Oaxaca, México. 214 p.
- Ruíz M., M., M. Gómez C., J. F. Castellanos B. y A. M. Fierros G. 1998. Selección de procedencias de *Pinus oaxacana* y *Pinus greggii* para la protección y restauración de suelos en la Mixteca Alta Oaxaqueña. INIFAP. Documento interno. Oaxaca, México. 92 p.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. LIMUSA. S.A. México. 432 p.
- Salazar G., J. G., J. J. Vargas H. y J. López U. 1998. Crecimiento en altura y sus componentes en procedencias con diferente potencial de crecimiento en cuatro especies subtropicales de *Pinus*. En: Memorias XVII Congreso de. Acapulco, Gro., México. pp. 7-8.
- Salazar G., J. G., J. J. Vargas H., J. Jasso M., J. D. Molina G., C. Ramírez H. y J. López U. 1999. Variación del patrón de crecimiento en altura de cuatro especies de *Pinus* en edades tempranas. Madera y Bosques 5(2): 19-34.
- Smith, D. M. 1954. Maximun moisture content method for determining specific gravity of small wood samples. Forest Products Laboratory. Report 2014. Madison, Wi. 8 p.
- Trujillo G., M. 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. Saltillo, Coahuila. México. 116p.
- 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. Saltillo, Coahuila, México. 60 p.
- 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 Papasquiario, Durango. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 88 p.

- Valencia M., S., A. Plancarte B. y C. Cigarrero C. 1993. Evaluación de un ensayo de procedencias y progenies de *Pinus greggii* en dos localidades. En: Memorias I Congreso Mexicano Sobre Recursos Forestales. Saltillo, Coahuila, México. pp. 78.
- Valencia M., S. y J.J. Vargas H. 1996. Variación genética de la densidad de la madera en *Pinus patula* Schl. et Cham y su relación con la velocidad de crecimiento. Boletín Mejoramiento Genético y semillas Forestales No. 13 (PROSEFOR, CATIE. Turrialba, Costa Rica) pp: 22-44.
- 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.
- Valencia M., S., M. V. Velasco G., M. Gómez C., M. Ruíz M., y M.A. Capo Arteaga. 2006. Ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en dos localidades de la Mixteca Alta de Oaxaca, México. Fitotecnia Mexicana 29(1): 27-32.
- Velazco G., M. 2001. Ensayo de 13 procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en dos localidades de la Mixteca Alta, Oaxaca. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 62 p.
- Vargas H., J. y W.T. Adams, 1991. Genetic variation of wood density components in young coastal Douglas-fir: implications for tree breeding. Can. J. For. Res. 21:1801-1807.
- Wormald, T. J. 1975. *Pinus patula*. Fast Growing Timber Trees of the Lowland Tropics. No. 7. V. J. Oxford, University of Oxford. 172 p.
- Yáñez M.,O y M. Caballero D. 1991. Variación de algunas características de *Pinus strobus* var. *chiapensis* Mtz. de tres localidades de su distribución natural: densidad relativa y longitud de traqueida de la madera. Revista Chapingo. XV (75): 18-24.
- Zobel B. y J. 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

## APÉNDICE

Apéndice 1. Valores de correlación de Pearson (r) y entre paréntesis valor de significancia, entre diámetro normal, peso saturado, longitud saturado, peso anhidro y longitud anhidro con la densidad de la madera de *Pinus greggii* en dos plantaciones experimentales en la Mixteca Alta Oaxaqueña.

Localidad	dn	ps	ls	pa	la
Tlacotepec Plumas (0.217)	-0.063 * (0.306)	-0.064 (0.294)	-0.059 (0.340)	0.148 (0.016)	-0.076
Magdalena Zahuatlán (0.766)	-0.001 (0.994)	0.004 (0.957)	0.006 (0.930)	0.103 (0.130)	-0.020

dn= Diámetro normal, ps= Peso saturado, ls= Longitud saturado, pa= Peso anhidro, la= Longitud anhidro, y \* = probabilidad o nivel de significancia.