



ESTUDIO DE UNA PRUEBA GENÉTICA DE *Cedrela odorata* L., ESTABLECIDA EN “LA PAHUA”, COLIPA, VERACRUZ.

**TESIS:
PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
CIENCIAS EN ECOLOGÍA TROPICAL**

PRESENTA

EDUARDO GARCÍA FERNÁNDEZ

DIRECTOR: DR. ODILÓN MANUEL SÁNCHEZ SÁNCHEZ



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
Centro de investigaciones Tropicales

RECONOCIMIENTOS

UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Por ser el alma mater en mi formación profesional y el cobijo que siempre me brindo.

CENTRO DE INVESTIGACIONES TROPICALES

Por la sabiduría de los maestros que participaron y fueron la base de mi formación académica.

CONACYT

Por la beca otorgada número 668593, que fue de mucho apoyo y motivación.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FORESTALES

Por la confianza depositada en mí, la paciencia y orientación durante las clases y fuera del aula, por la sabiduría compartida que fue muy importante para la comprensión del conocimiento y formación personal.

DIRECTOR

Dr. Odilón Manuel Sánchez Sánchez

COMITÉ TUTORIAL

Dra. Elba Olivia Ramírez García

Dra. Lilia del Carmen Mendizábal Hernández

Dr. Juan Carlos López Acosta

SINODALES

Dr. Juan Alba Landa

Dr. Juan Márquez Ramírez

M. en C. Héctor Cruz Jiménez



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

DEDICATORIAS

Especialmente a dios ya que sin él no sería posible haber llegado hasta aquí.

Sin menos importancia a dos personas que admiro y amo mucho, siempre han estado y estarán para mí, sus palabras de motivación, cariño, regaños y consejos siempre son precisas y sinceras. Gracias mamá Edith y papá Juan los amo y los amare siempre.

Dentro de nuestras tradiciones celebramos a las personas que ya no están con nosotros, y en este pequeño tiempo perdí dos seres muy importantes abuelitas “Ceci y Genia,” estos meses han sido difíciles donde la vida que me había dado todo me enseña que también debes aprender a perder y seguir adelante desde aquí les digo que las extraño mucho, que me hacen mucha falta, algún día nos volveremos a ver... por ahora cuiden de mi desde donde están, se despide de ustedes lalito...

A toda mi familia mis que siempre ha estado conmigo de manera muy especial les mando un abrazo con todo el cariño de mi corazón.

Las personas que de forma casual han llegado a mi vida y se han convertido en más que conocidos, a ustedes que son la familia elegí y que dios me regalo, a ustedes mis amistades sinceras que son tesoros y que no deseo que se vayan a menos que la muerte se los lleve, a ustedes les dedico mi cariño sincero.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
Centro de investigaciones Tropicales

ACTA DE APROBACIÓN DE TESIS

El presente documento titulado ESTUDIO DE UNA PRUEBA GENÉTICA DE *Cedrele odorata* L., ESTABLECIDA EN "LA PAHUA", COLIPA, VERACRUZ. realizado por Eduardo García Fernández, ha sido aprobado y aceptado como requisito parcial para obtener el grado de **Maestro(a) en Ecología Tropical.**

Tutor-Director Dr. Odilón Manuel Sánchez Sánchez

SINODALES

Presidente Dr. Juan Alba Landa

Secretario Dr. Juan Márquez Ramírez

Vocal M. en C. Héctor Cruz Jiménez



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

El trabajo de investigación titulado “ESTUDIO DE UNA PRUEBA GENÉTICA DE *Cedrela odorata* L., ESTABLECIDA EN “LA PAHUA”, COLIPA, VERACRUZ”, cuyos resultados se encuentran contenidos en esta tesis, fue realizado por Eduardo García Fernández, como estudiante de la Maestría en Ecología Tropical, en el período Febrero/2015-Febrero-2017 bajo la dirección del Dr. Odilón Manuel Sánchez Sánchez de la Universidad Veracruzana.

Las investigaciones reportadas en esta tesis no han sido utilizadas anteriormente para obtener otros grados académicos, ni serán utilizados para tales fines en el futuro.

Eduardo García Fernández

Dr. Odilón Manuel Sánchez
Sánchez

©2018

Eduardo García Fernández

Derechos Reservados



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
Centro de investigaciones Tropicales

CONTENIDO

RECONOCIMIENTOS.....	I
DEDICATORIAS.....	II
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
I. INTRODUCCIÓN	- 1 -
1.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	- 4 -
1.2. OBJETIVO GENERAL	- 4 -
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	- 4 -
1.4. HIPÓTESIS	- 4 -
1.5. JUSTIFICACIÓN	- 4 -
II. ANTECEDENTES	- 6 -
2.1. Variación.....	- 6 -
2.1.1. Variación natural	- 6 -
2.1.2. Generalidades de la variación	- 6 -
2.1.3. Fuerzas que moldean la variación	- 7 -
2.1.4. Niveles de variación.....	- 8 -
2.2. Mejoramiento genético	- 9 -
2.3. Pruebas de procedencias/progenie.....	- 11 -
2.4. Pruebas de Progenie.....	- 13 -
2.5. Estudios relacionados.....	- 14 -
2.6. Características generales de <i>Cedrela odorata</i> L.....	- 18 -
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	- 21 -
3.1. Antecedentes de la plantación	- 21 -
3.2. Elección del sitio	- 22 -
3.3. Determinación del área.....	- 23 -
3.4. Realización del diseño experimental.....	- 23 -
3.5. Preparación del terreno.....	- 24 -
3.6. Transporte	- 24 -



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

3.7.	Plantación	- 24 -
3.8.	Labores culturales	- 24 -
3.9.	Diseño de la plantación	- 24 -
3.10.	Evaluaciones en campo	- 25 -
3.11.	Análisis estadístico	- 25 -
IV.	RESULTADOS.....	- 27 -
4.1.	Establecimiento y diseño del ensayo	- 27 -
4.2.	Sobrevivencia.....	- 28 -
4.3.	Altura	- 30 -
4.4.	Diámetro	- 34 -
V.	DISCUSIÓN	- 38 -
VI.	CONCLUSIONES.....	- 41 -
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	- 42 -



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Localización de los sitios de colecta de semillas para los ensayos de procedencias y progenie.....	- 21 -
Tabla 2. Localización del ensayo de Procedencias primera generación.	- 21 -
Tabla 3. Localización del ensayo de Procedencias/progenie segunda generación.....	- 27 -
Tabla 4. Diseño de la plantación de <i>Cedrela odorata</i> L. R= repetición.	- 28 -
Tabla 5. Análisis de varianza para altura de <i>Cedrela odorata</i> L.....	- 32 -
Tabla 6. Comparación de medias entre procedencias para altura.	- 32 -
Tabla 7. Comparación de medias entre familias para altura.	- 33 -
Tabla 8. Análisis de varianza para diámetro.	- 36 -
Tabla 9. Comparación de medias de procedencias para diámetro.....	- 36 -
Tabla 10. Comparación de medias por familia para diámetro.	- 37 -
Figura 1. Línea del tiempo en la selección artificial.	- 22 -
Figura 2. Macro y micro localización de la plantación de <i>Cedrela odorata</i> L.	- 27 -
Figura 3. Supervivencia del ensayo de procedencia/progenie de <i>Cedrela odorata</i> L. evaluada a un año de edad.....	- 29 -
Figura 4. Gráfica de altura por procedencias.	- 30 -
Figura 5. Gráficas de cajas y alambres para altura de familias dentro de procedencias.	- 31 -
Figura 6. Gráfica de procedencias para altura.....	- 34 -
Figura 7. Gráfica de diámetro de familias dentro de procedencias.	- 35 -



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la localidad de La Pahuá municipio de Colipa, Veracruz, con el objetivo de estudiar una prueba genética de *Cedrela odorata* L. que genere conocimientos científicos y tecnologías aplicadas en la zona para un adecuado uso y conservación de la especie. Se evaluaron las características morfométricas (altura y diámetro) en un diseño experimental conformado por cuatro bloques al azar, con tres procedencias, 20 familias y cuatro repeticiones cada una. Valorándose diferencias entre familias dentro de procedencias y entre procedencias a través de un análisis de varianza ($P \leq 0.05$) resultando que el promedio mayor en altura y diámetro 79.79 cm y 21.56 mm respectivamente, el porcentaje de sobrevivencia fue de 70%; la procedencia que presenta la mejor distribución de sus valores es Catemaco con más del 50% por arriba de la media general. Las diferencias morfométricas dentro de procedencias y entre familias son el resultado de la interacción del genotipo de cada uno de los individuos y el ambiente, esta variabilidad permite la selección de futuros progenitores para la cruce y retrocruce que garanticen semilla de calidad genética para el sitio además de pruebas genéticas que seguirán siendo parte integral de programas de mejoramiento de recursos genéticos forestales.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
Centro de investigaciones Tropicales

ABSTRACT

The present work was carried out in the town of La Pahua, municipality of Colipa, Veracruz, with the objective of studying a genetic test of *Cedrela odorata* L. that generates the technical knowledge and technologies applied in the area for proper use and conservation of the species. The morphometric characteristics (height and diameter) were evaluated in an experimental design consisting of four blocks at random, with three procedures, 20 families and four repetitions each. Value of differences between families within procedures and between procedures through an analysis of variance ($P \leq 0.05$) resulting in the average greater in height and diameter 79.79 cm and 21.56 mm respectively, the percentage of survival was 70%; the route that presents the best distribution of its values is Catemaco with more than 50% above the general average. The morphometric differences within procedures and families for the benefit of the interaction of the genotype of each individual and the environment, this variability allows the selection of future progenitors for the cross and backcross that guarantee the seed of genetic quality for the site in addition to genetic they remain an integral part of programs for the improvement of forest genetic resources.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

I. INTRODUCCIÓN

Inicialmente, cabe señalar que las diferentes condiciones edáficas, topográficas y tipos de suelo en los diferentes ambientes han traído como consecuencia manifestaciones biológicas diferentes en México (Williams *et al.*, 1992; Alba, 1996; Alba, 2006; Espinosa *et al.*, 2008; Koleff *et al.*, 2008), ocupando el tercer lugar entre los países con mayor biodiversidad en el mundo (Williams *et al.*, 1992; May, 1988; CBD, 2002; Conabio, 2006; Challenger y Soberón, 2008), donde destacan los bosques de coníferas, los bosques mesófilos y de encinos, los bosques tropicales siempre verdes y estacionales y los matorrales xerófilos entre los más importantes conformados por unas 220 familias, 2,410 géneros y aproximadamente 22,000 especies (Rzedowski, 1978; Toledo, 1988; González Medrano, 2003). De las cuales alrededor de 3,500 tienen alguna posibilidad de uso forestal (Niembro, 1986; Rzedowski, 1992; Alba, 1996).

En este orden de ideas, también es bien sabido que los bosques tropicales albergan la mayor riqueza de especies vegetales y animales (Rzedowski, 1998; Pennington, Prado & Pendry, 2000; Sarukhán, 2009), sin embargo, están siendo afectadas por actividades agrícolas, ganaderas, industriales, turísticas, petroleras, mineras; el cambio de uso de suelo en los últimos 50 años ha ocasionado la pérdida de alrededor del 50% de los ecosistemas naturales en México (Jolon, 2008; PNUMA, 2011), la NOM-059-SEMARNAT-2010 enlista las especies y subespecies de flora y fauna que se encuentran en riesgo de extinción en el país, el número de especies listadas en alguna categoría de riesgo es de 2 486 entre las cuales destaca *Cedrela odorata* L. por su fina y cotizada madera el aprovechamiento selectivo a causado la erosión genética en los bosques tropicales (Kennedy y Smith, 1995; Niembro, 1996; Patiño, 1997; Cavers *et al.*, 2003) por esta razón presenta un desequilibrio no solo en la especie, sino también en los ecosistemas donde se desarrolla; por lo cual el panel de expertos de Recursos Genéticos Forestales de la FAO (Food and Agriculture Organization) ha recomendado un programa urgente de conservación y uso apropiado de los recursos de estas meliaceas (Patiño, 1997)



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

A pesar de ello, es importante puntualizar que en las zonas tropicales *Cedrela odorata* L. es una especie que se desarrolla de forma natural, así pues, en la vertiente del golfo de México, como en la del pacífico y la península de Yucatán (Pennington y Sarukhan, 1968 y Manzanilla *et al.*, 2001). Por lo tanto es de las principales con fines de plantación y reforestación, sin embargo las plantaciones establecidas hasta ahora, se han realizado con semilla colectada de forma masiva cuya calidad se ha visto disminuida genéticamente, trayendo como consecuencia bajos rendimientos en sobrevivencia, diámetro y altura. Además la falta de reconocimiento de la procedencia de la semilla genera pérdidas del 30% o más en el crecimiento, sin embargo, es posible revertir esta situación con el uso de semilla mejorada (Nienstaedt, 1990)

Es por ello, que el mejoramiento genético forestal a través de la selección artificial demuestra que no únicamente el ambiente, sino su interacción con la genética, determinan crecimiento, forma y adaptabilidad de un árbol (Zobel y Talbert, 1988). Los ensayos de procedencias/progenie son parte integral de la mayoría de los programas de mejoramiento genético, proporcionan información que permite reevaluar o modificar las estrategias de mejora genética en algunas especies. Dichos ensayos tienen varios objetivos, uno de ellos es separar las diferencias genéticas de las ambientales, sometiendo a todas las progenies a un ambiente similar en el cual crezcan (Fowler, 1978)

Por lo tanto el mejoramiento genético forestal estudia el tipo y constitución genética de los árboles con la finalidad de eficientizar la producción en calidad y cantidad de los recursos forestales en menor tiempo y espacio. La importancia de un programa de mejoramiento genético se ha comprobado en diversos países, donde se ha visto aumentado su potencial forestal al establecer plantaciones de alto rendimiento (Di-Giovanni y Kevan 1991; Wang *et al.*, 1991). Estos programas se desarrollan tomando como base la variación natural existente entre especies, procedencias, poblaciones, así como entre individuos dentro de cada población y la de su progenie (Alba-Landa *et al.*, 2008). De esta forma evaluaremos un ensayo de procedencias/progenie con 20 familias de medios hermanos para conocer la respuesta en las características altura y diámetro.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

Así pues, el presente trabajo representa un esfuerzo por realizar un ensayo procedencia/progerie con la especie *Cedrela odorata* L. con la intención de reconocer los individuos que presenten las características apropiadas para el establecimiento de una plantación en la zona de Colipa, liberando la presión ecológica que representa para los individuos de esta localidad la intensa tala que se realiza con fines de aprovechamiento de la especie.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

1.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Qué unidades genéticas sobresalen de acuerdo a la interacción genotipo/ambiente?

¿Por qué es importante el mejoramiento de los recursos genéticos de esta especie para fines de conservación?

1.2. OBJETIVO GENERAL

Identificar unidades genéticas con la mejor interacción para La Pahua, municipio de Colipa, Veracruz.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Evaluar sobrevivencia, altura y diámetro, de 20 familias y tres procedencias de *Cedrela odorata* L.

b) Reconocer los individuos sobresalientes con respecto a altura y diámetro para su posible manejo.

1.4. HIPÓTESIS

La respuesta del crecimiento de *Cedrela odorata* L. estará en función de la in formación genética de cada individuo y las condiciones edáficas y ambientales.

1.5. JUSTIFICACIÓN

Inicialmente, cabe destacar que el cedro rojo, conocido por su nombre científico como *Cedrela odorata* L., es un árbol que se desarrolla de forma natural en los bosques tropicales de México, crece asociado a la selva tropical caducifolia, subcaducifolia, subperennifolia, perennifolia y a la vegetación secundaria derivada de éstas (Pennington y Sarukhán, 1968). El cedro y la caoba por su aprovechamiento selectivo y pérdida de hábitats, pueden llegar a presentar erosión genética que genera un desequilibrio no sólo en las poblaciones naturales, sino también en el ecosistema provocando que pierda su



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

capacidad de resiliencia (Albert *et al.*, 1995), ya que han sido el sustento de la actividad forestal en el trópico mexicano.

Por otra parte, el valor ecológico de estas poblaciones naturales es importante establecer ensayos de procedencias/progenie que permitan evaluar el potencial de la especie en otros ambientes para desarrollar su cultivo (Mendizábal-Hernández *et al.*, 2014) y a la vez se pueda conservar una buena parte de los genes en los bosques tropicales donde se desarrolla.

Cabe destacar que, la falta de conocimientos del origen de la semilla genera pérdidas en el crecimiento, por consiguiente, es necesario entender a la silvicultura como la agricultura, donde para realizar una buena silvicultura se debe tener conocimientos relativos a la ecología, evolución y genética de las especies para obtener semilla adecuada para cada sitio. Los ensayos de Procedencias/progenie proporcionan información sobre la semilla adecuada para implementar plantaciones comerciales con ganancia genética en cuanto a la cantidad y calidad que demanda la sociedad, además ayudará a disminuir la extracción y pérdida de la diversidad genética en los bosques naturales.

Por lo tanto, el establecimiento y evaluación de una prueba de Procedencias/progenie de *Cedrela odorata* L. en La Pahuá municipio de Colipa, Veracruz es considerada como la antesala de la producción de semilla de alta calidad para el desarrollo de una silvicultura con esta especie en la región, lo cual permitirá establecer cultivos de alta calidad genética que representarán una inversión para la explotación a largo plazo, así como una liberación del estrés provocado a los bosque silvestres que han sido deteriorados por el abuso de extracción de manera indiscriminada, para fines comerciales.



II. ANTECEDENTES

2.1. Variación

2.1.1. Variación natural

Por principio de cuentas, se debe puntualizar que el concepto de variación es utilizado para describir las diferencias anatómicas o fisiológicas entre individuos debidas a su composición genética o al medio ambiente donde se desarrollan los progenitores y la progenie (Ordóñez, *et al.*, 2015). Generalmente todas las diferencias entre los árboles son el resultado de las diferencias genéticas y los diferentes ambientes en los que prosperan interacciones genotipo por ambiente (Zobel y Talbert, 1988).

2.1.2. Generalidades de la variación

Sin variación en la adaptabilidad a condiciones ambientales, en la velocidad de crecimiento, en las características de la madera y en la resistencia frente a enfermedades (Martínez, 2005; Rodríguez *et al.*, 2015), no sería posible producir genotipos con crecimiento rápido, resistentes a enfermedades y bien adaptados a las condiciones ambientales (Nienstaedt, 1990).

Todas las diferencias entre los árboles son el resultado de tres factores (Spurr y Barnes, 1982; Zobel y Talbert, 1988):

- a) los diferentes ambientes en los cuales crecen,
- b) las diferencias genéticas entre los árboles,
- c) las interacciones existentes entre el genotipo de los árboles y los ambientes en los cuales estos crecen

La variación genética a su vez se divide en dos componentes (Zobel y Talbert, *op. cit.*):

- A) Variación aditiva. Surge de las diferencias entre los progenitores ocasionando los efectos acumulativos de los alelos en todo lo que determina una característica. Por lo tanto la mayoría de las características de interés económico de los árboles forestales están bajo



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

algún grado de control genético aditivo al igual que la mayoría de las características de adaptabilidad.

- B) Variación no aditiva. Es el resultado de la actitud combinatoria específica, la cual se debe a la interacción de los alelos específicos en un *locus* (dominancia) y a la variación por epistasis, causada por la interacción de dos *loci* para una característica determinada, es posible demostrarla en una población no endogámica.

2.1.3. Fuerzas que moldean la variación

Las características económicamente importantes en las especies forestales poseen una gran variabilidad en rectitud del fuste, tolerancia a plagas y enfermedades así como al frío o la sequía, peso específico y características de crecimiento. La variabilidad en bosques naturales se debe a cuatro grandes fuerzas, dos que aumentan (mutación y el flujo genético) y dos que disminuyen (la selección natural y la deriva genética) la variabilidad (Zobel y Talbert, 1988; Young, 1991; Eguiluz, 1998).

- A) Las mutaciones son cambios heredables en la constitución genética de un organismo, por lo general al nivel de genes por incremento del número de alelos disponibles para la recombinación en cada posición. Las mutaciones son aleatorias e inesperadas. Aleatorias en el sentido de que ocurren en cualquier momento, independientemente de que se necesiten o no, sin embargo, su frecuencia puede ser influenciada por el ambiente y la aplicación de algunas sustancias mutagénicas. La frecuencia con que ocurren las mutaciones es muy baja, como para pensar que ellas pueden crear toda la variación que requiere la selección natural (Eguiluz, *op. cit.*).
- B) El flujo genético es la migración de los alelos de una población o especie hacia otra. La más común es el movimiento de polen o de semillas. El flujo genético reduce la frecuencia de individuos homocigóticos cuando ocurre inmigración de genes a la población. La integridad genética de una población es alterada de acuerdo a la cantidad y frecuencia de genes que entran a su constitución germoplásmica (Eguiluz, *op. cit.*).
- C) La selección natural es una importante fuerza que suele reducir la variabilidad, puesto que determina qué árboles crecen y se reproducen, tiene un efecto direccional (no al azar) sobre



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

la constitución genética de los árboles de una población. La selección natural preserva y conduce a un incremento en el número de aquellos genotipos que están más adaptados a un ambiente específico (Zobel y Talbert, 1988).

- D) La deriva genética se debe a que la frecuencia relativa de alelos diferentes puede incrementarse aleatoriamente de una generación a la siguiente por simple accidente. La deriva genética afecta drásticamente a las poblaciones pequeñas. Un alelo puede reemplazar a otro repentinamente, sin que el alelo reemplazado vuelva a expresarse jamás. Cuando el alelo reemplazado se fija por completo, el reemplazado se pierde (Eguiluz, 1998).

2.1.4. Niveles de variación

En los árboles forestales existen varias categorías de variación que pueden agruparse ampliamente en especies, orígenes geográficos (procedencias), rodales, sitios, árboles individuales y la variación dentro árboles individuales (Zobel y Talbert, 1988; Santos, L. 2014).

- a) Variación entre especies. Dentro de un género, la cruce entre especies (hibridación) ofrece la variación más amplia y una potencialidad muy alta para el mejoramiento de los árboles. Muchos híbridos interespecíficos que se han obtenido en el mundo han demostrado ser más vigorosos y con más rendimiento que sus progenitores; además que se combinan, de modo complementario, algunas características deseables de ambos progenitores (Daniel *et al.*, 1982). Este tipo de variación nos permite seleccionar la especie o grupo de especies para diferentes propósitos, ya sea en programas de recuperación y de protección de suelos como en programas de establecimiento de plantaciones.
- b) Variación geográfica (o de procedencias). Las variaciones genéticas entre procedencias de una misma especie forestal en su área de distribución han sido reconocidas desde mucho tiempo. Esas diferencias han surgido del resultado de la adaptación de las especies a las diferentes condiciones climáticas y edáficas imperantes en determinados hábitats, así mismo es de esperarse que poblaciones de una misma especie vegetando en condiciones ecológicas diferentes, pueden desarrollar diferentes hábitos de adaptación a los mismos.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

Aun cuando la procedencia se clasifica como perteneciente a una especie, ella presenta variaciones inherentes a su constitución genética relacionadas con su adaptación a factores climáticos diferentes (Burley y Turnbull, 1970 citados por Patiño y Garzón, 1976).

- c) Variación en rodales. Es el principal tipo de variación que se utiliza en los programas de selección y cruzamiento genético forestal. Es sorprendente observar como dos árboles de la misma edad y que crecen juntos con sus raíces entrelazadas sean tan distintos en forma, calidad de la madera e incluso en sus patrones de crecimiento (Zobel y Talbert, *op. cit.*).
- d) Variación entre sitios. Una procedencia dada, algunas veces contiene diferencias constantes relacionadas con distintos sitios; con frecuencia, estas diferencias no están determinadas genéticamente y sólo representan efectos de diferentes ambientes sobre el crecimiento y desarrollo del bosque (Zobel y Talbert, *op. cit.*).
- e) Variación dentro de árboles. Esta variación corresponde únicamente a algunas características específicas, por ejemplo, el peso específico de la madera a lo largo del fuste o bien del follaje según se encuentre a la sombra o a plena luz (Zobel y Talbert, *op. cit.*).

2.2. Mejoramiento genético

Hace aproximadamente 80 años que se iniciaron programas con el fin de usar los principios del mejoramiento genético a través de la selección y cruzamiento de árboles con calidad superior (Zobel y Talbert, 1988). Actualmente se produce semilla mejorada en muchas partes del mundo (Kang *et al.*, 2001; Cornejo *et al.*, 2009; Hernández *et al.*, 2016) para plantaciones con diversos objetivos. La variación genética natural es la materia prima del mejoramiento genético, por lo tanto, reconocerla, evaluarla, aislarla, reunirla y replicarla en ambientes propicios proporcionará ganancias deseadas, permitiendo que la actividad forestal sea rentable en términos económicos y ecológicos, promoviendo la conservación de la biodiversidad de una región con árboles deseables que puedan multiplicarse masivamente como un recurso renovable y fácil de cosechar (Alba, 2007).

El mejoramiento genético es la unión de conocimientos relativos a: ecología, evolución, genética, fisiología vegetal, edafología entre otros, para comprender la variación existente entre especies, poblaciones y procedencias. También analiza las semejanzas y diferencias



existentes entre progenitores, descendencia y generaciones futuras para comprender la genética forestal como la ciencia que trata especialmente a los árboles, considerando la herencia en ellos como una manifestación fenotípica que inicia con el proceso biológico denominado meiosis y culmina con una expresión particular al interactuar con el ambiente (Alba, 1996).

El mejoramiento de árboles forestales es la aplicación de la genética forestal con el objeto de obtener árboles genéticamente mejores para la repoblación de plantaciones comerciales (Wright, 1964; Lowe y Wheeler, 1993), es la combinación de la genética forestal y la silvicultura en la que se plantea obtener las mejores fuentes parentales de reproducción, a través del conocimiento y evaluación de la variación que se presenta entre árboles y entre poblaciones dada por diferentes genotipos, los cuales, para expresarse óptimamente, requieren de condiciones ambientales propicias tratadas por la silvicultura (Zobel y Talbert, 1988).

El mejoramiento genético forestal se puede realizar con distintos métodos, pero la selección artificial seguida del cruzamiento de árboles selectos ha probado ser el más efectivo y económico en todo el mundo (Murillo *et al.* 2001, Badilla *et al.* 2002). Para lograr el mejoramiento genético se pueden implementar programas a corto, mediano y largo plazo donde la selección es el primer paso, después de conocer las necesidades de especies a trabajar de acuerdo con la demanda de los proyectos de restauración o de la zona a repoblar, que pueden tener fines de protección, conservación o comercialización (Clausen, 1990; Muñoz-Gutiérrez, *et al.*, 2017).

Estos trabajos se empiezan con la selección de rodales productores de semilla, establecimiento de áreas semilleras, establecimiento de ensayos de especies, ensayos de procedencias y progenies, establecimiento de huertos semilleros de primera generación y generaciones avanzadas (Maldonado y Escobar 2000; Cornejo *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2010; Gutiérrez *et al.*, 2016). Estos programas aportan ganancias genéticas que aumentan paulatinamente a medida que este avanza, en un rodal semillero con características deseables se pueden obtener ganancias genéticas hasta del 5%. En un área semillera la ganancia puede incrementar de un 5 al 10% en semilla de la que se puede



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

disponer a corto, mediano y largo plazo. Posteriormente a la evaluación de progenies y procedencias en su caso, se pueden establecer huertos de primera generación con ganancias hasta del 25% y después de las evaluaciones respectivas, establecer huertos de generaciones avanzadas con ganancias que pueden ir del 25 al 50%, dichas ganancias están sobre la media de la regeneración natural (Eguiluz y Plancarte, 1990).

En estos procesos la selección artificial juega un papel fundamental en el mejoramiento genético, realizando la depuración de las plantaciones de acuerdo a los intereses de cada objetivo (Young, 1991). Esta selección puede ser masal, recurrente simple, selección por familia y selección de mejores individuos dentro de las mejores familias.

Con el seguimiento ordenado de estos procedimientos se obtendrá semilla para el establecimiento de plantaciones a corto plazo con los rodales y áreas semilleras, a mediano plazo en los ensayos de procedencias y/o progenie con la obtención de semilla de los mejores fenotipos y a largo plazo con los huertos semilleros de primera generación y generaciones avanzadas (Balocchi, 1990).

2.3. Pruebas de procedencias/progenie

Un medio ambiente variable a lo largo del área de distribución de la especie, a largo plazo da lugar a una especie genéticamente variable. Generalmente las especies con un intervalo amplio de distribución tienden a ser más variables que aquellas especies que se distribuyen en áreas restringidas (Callaham, 1964), aunque pudieran contener un paquete genético muy variable.

Las procedencias son una población de árboles de una especie que se desarrolla en condiciones diferentes a otras y que presenta variaciones morfológicas (Patiño y Garzón, 1976), también se define como la fuente geográfica original o natural de un individuo, población o especie (Eguiluz, 1988). La distribución natural de una especie normalmente tiene varias procedencias. Por lo tanto la selección de una buena procedencia como fuente de semillas para un programa de plantaciones, puede incrementar substancialmente los rendimientos y por el contrario, una selección equivocada puede representar una gran pérdida económica. Sin embargo, al realizar ensayos de procedencias o



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

procedencias/progenie, se pueden definir la fuente de semilla más adecuada para un sitio determinado al evaluar los patrones de variación de los componentes genéticos, ambientales y sus interacciones (Heaman, 1984). Si una especie cubre un área de distribución amplia, con condiciones variables, seguro que existirán diferencias entre los árboles como una respuesta de la especie al adaptarse a determinados hábitats; así que, individuos de una misma especie vegetando en condiciones ambientales diferentes, pueden desarrollar diferentes hábitos de adaptación a las mismas.

De acuerdo con (Burley 1970, citado por Patiño y Garzón, 1976) los ensayos de procedencias tienen cinco objetivos:

1. Determinar la extensión y patrones de la variación genética en tantos caracteres como sea posible y a través de lotes de semilla colectados en el rango de distribución de la especie. El número y el tipo de los caracteres investigados, dependerán de los recursos disponibles para los trabajos de campo y laboratorio, pudiendo incluirse el estudio de la variación en caracteres anatómicos, bioquímicos, morfológicos y fenológicos.
2. Determinar el efecto de estos caracteres en diferentes condiciones climáticas dentro del rango de distribución de la especie y evaluar la importancia de las interacciones entre la procedencia y el medio ambiente.
3. Comparar plantas procedentes de semilla colectada en rodales naturales con plantas derivadas de semillas recolectada en plantaciones, de lo cual se puede esperar obtener la constitución genética de la población.
4. Jerarquizar y agrupar las procedencias dentro de cada localidad en orden de adaptabilidad y productividad. Los caracteres más importantes serán aquellos relacionados con la supervivencia y la resistencia a factores adversos del medio ambiente y bióticos, crecimiento (altura, diámetro y volumen), forma y rectitud.
5. El último objetivo puede señalarse en función de la cantidad de semillas disponible de cualquier procedencia, ya que, si ésta es pequeña, bien se puede obtener a través de los ensayos de campo material de buena calidad para la iniciación o continuación de un programa selectivo de mejoramiento de árboles.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

El establecimiento de los ensayos de procedencias se ha combinado con el estudio de la variación entre las progenies (familias de medios hermanos), representativas de la mayor variación de cada procedencia en particular, para obtener resultados a nivel inter e intrapoblacional (Wright, 1976).

2.4. Pruebas de Progenie

La constante variación de sitios y la variación que se presenta en poblaciones de una misma especie, así como en sus individuos, plantea la necesidad de establecer estudios que permitan evaluar a progenies en el mismo sitio de cuya información o resultados podamos decidir la mejor procedencia, la mejor familia y la mejor progenie.

Wright (1964) define la progenie como la descendencia de un árbol o familia en particular, o bien el resultado de la combinación de una fuente parental masculina y una femenina. (Warwick y Legates 1980) definen a las pruebas de progenie como la estimación de individuos mediante la medición y observación del comportamiento, la apariencia u otras características de un grupo de su progenie. De esta forma los ensayos de progenie determinan en qué medida la superioridad del fenotipo se debe a la influencia del genotipo, del ambiente o de la interacción genotipo ambiente (Zobel y Talbert, 1988).

La mejor forma de decir si un árbol progenitor tiene una calidad genética superior es comparar el rendimiento de su progenie con el rendimiento de otros árboles progenitores. Los ensayos de progenie tienen varios objetivos, uno de ellos es separar las diferencias genéticas de las ambientales, sometiendo a todas las progenies a un ambiente similar en el cual crezcan. Así, si un progenitor tiene progenie más alta que otro en ambientes similares, y estas diferencias se confirman estadísticamente, se dice que el primer progenitor produce una progenie genéticamente superior (Zobel y Talbert, *op. cit.*).

De acuerdo con (Quijada 1980) se debe ser consciente de la variación que existe entre individuos provenientes de un mismo árbol, por lo que es necesario realizar estudios de progenie para conocer el desarrollo de éstos en un sitio particular, con el objetivo de estimar: a) el valor genético de un individuo con base en el comportamiento de su descendencia, b) el valor genético de individuos medios hermanos o hermanos completos.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

Los ensayos de progenie son indispensables ya que permiten: a) la evaluación del valor de cruce (aptitud combinatoria de árboles), b) estimación de parámetros genéticos estadísticos, c) evaluación de subpoblaciones o líneas para usos específicos de plantación y d) evaluación de individuos con fines de selección continua.

Los ensayos de progenie son parte integral de la mayoría de los programas de mejoramiento genético, proporcionan información que permite reevaluar o modificar las estrategias de mejora genética en algunas especies (Fowler, 1978).

2.5. Estudios relacionados

Márquez *et al.* (2009) en su estudio “Evaluación de una prueba de procedencias/progenie de *Cedrela odorata* L. establecida en el municipio de Emiliano Zapata, Veracruz, México” con el objetivo de conocer la variación en crecimiento de tres procedencias y veinte familias evaluadas a los ocho años de edad, observaron un promedio de altura y diámetro para Catemaco de 8.05 m y 11.00 cm, La Antigua 8.22 m y 11.24 cm y Misantla 8.12 m y 11.47 cm respectivamente para cada variable. Concluyen que no existen diferencias entre procedencias y familias pero hubo individuos con crecimiento superior donde se puede realizar selección individual para procesos de mejoramiento genético.

Ramírez (2005) realizó una evaluación de crecimiento (altura y diámetro) en una plantación comercial de *Cedrela odorata* L. en el sur de Tamaulipas manejada de forma intensiva. En sus resultados presenta los datos obtenidos en tres años consecutivos para el caso de sobrevivencia el promedio fue de 93.37%, en la variable diámetro el incremento fue de 5 cm por año y para altura el promedio en incremento fue de 3.1 m por año.

Sánchez *et al.* (2003) evaluaron 42 árboles de *Cedrela odorata* L. a los cinco años de edad, con la finalidad de conocer la variación en altura, diámetro y volumen, donde encontraron una media de 5.42 m, 6.19 cm y 1.91 dm³ respectivamente; todas las variables evaluadas mostraron diferencias estadísticamente entre familias ($P \leq 0.01$) y concluyeron que es factible realizar programas de mejoramiento genético con individuos de esa población.

Rodríguez *et al.* (2009) evaluaron 5 especies (*Guazama multifolia*, *Gliricidia sepium*, *Diphysa robinoies*, *Cordia dodecandra* y *Caesalpinia cacalo*), con la finalidad de conocer



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

sobrevivencia, altura y diámetro para planear estudios de mejoramiento genético. Los resultados de sobrevivencia en la primera evaluación fueron de 80% y para el segundo año entre 64 y 88%, siendo *Cordia dodecandra* la que presenta los mejores en las 2 evaluaciones de 94 y 88%. Las variables altura y diámetro muestran diferencias estadísticamente significativas entre especies e hileras al 95% de confiabilidad, concluyen que *Cordia dodecandra* y *Gliricida sepium* pueden ser utilizadas para futuras plantaciones.

Mendizábal-Hernández *et al.* (2012) han evaluado el potencial y la eficiencia de producción de semillas de *Cedrela odorata* L., en el municipio de Emiliano Zapata, Veracruz, México, determinando que -a pesar de ser una plantación de 11 años de ser establecida- el potencial y la eficiencia de producción de semillas se encuentran dentro de los parámetros de árboles maduros de poblaciones naturales, por lo que de acuerdo a sus resultados en cuanto al potencial de producción de semillas y la variación encontrada esta población es apta para ser utilizada en los programas de repoblación, así como en estrategias de mejoramiento genético con el fin de considerar los mejores progenitores.

Oros-Ortega *et al.* (2015) evaluaron plántulas de *Cedrela odorata* L. inoculadas con *Rhizophagus intraradices* a diferentes niveles de defoliación en un diseño completamente al azar, con el objetivo de medir crecimiento en diámetro, en altura, área foliar y tasa de crecimiento relativo, donde los resultados a los tres meses con inoculación fueron crecimiento en diámetro ($F= 100.45$, $p < 0,001$), las plántulas inoculadas con diferentes niveles de defoliación mostraron mayor tasa de crecimiento en diámetro ($F= 556.57$ $p < 0,001$). Concluyen que la interacción de los factores micorriza/defoliación produce plantas de *C. odorata* con mayor tasa de crecimiento.

Díaz *et al.* (2013) han reconocido que con la composta de cacao se obtiene el mejor comportamiento morfológico de las plantas de *Cedrela odorata* L., evaluado altura y diámetro de esta especie en vivero, para lo cual probaron diferentes sustratos (cascarilla de arroz, gabazo de caña de azúcar y compost de cascara de cacao). Concluyeron que el sustrato de compost de cacao contribuye a la producción de plantas más aptas para ser llevadas a plantaciones.



Gutiérrez-Vásquez *et al.* (2012) realizaron un estudio de variación de densidad de madera de *Cedrela odorata* L. con el objetivo de evaluar la variación de dicha característica en cuatro municipios del estado de Chiapas, utilizaron un modelo predictivo de densidad de la madera y un análisis de varianza para determinar la variación y obtuvieron los siguientes resultados (peso anhidro/volumen verde) un promedio de 0.34 gcm^{-3} , con un mínimo y un máximo de 0.27 y 0.44 gcm^{-3} presenta un coeficiente de variación de 11.66%, el análisis de varianza reportó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre localidades y entre árboles dentro de las localidades. Sugiere seleccionar y producir genotipos de *Cedrela odorata* L. de mayor densidad en la madera producida ya que es una variable universal utilizada como índice de calidad.

Marín *et al.* (2012) con el objetivo de conocer el estado actual de *C. odorata* L. en su distribución en el territorio nacional, realizaron un análisis de dimensiones dasométricas y porcentaje del ataque de *Hysipyla grandella* Zeller, donde contemplan 15 Estados y 67 sitios para analizar la variación morfológica, el ambiente y la presencia o ausencia del barrenador de las meliáceas. En sus resultados muestran que todas las poblaciones analizadas presentaron porcentajes de infestación de 2 hasta 100%, con un promedio de 80.5% de *H. grandella*, para el caso de las variables altura y diámetro el análisis de varianza presentó diferencias estadísticamente significativas al 95% de confiabilidad entre estados y municipios, así como dentro de los Estados. Los sitios que tuvieron porcentajes más bajos fueron La Huasteca de San Luis Potosí, Tamaulipas, Xilitla, Tamazunchale, Cd. Valles y Tamuín.

Gómez *et al.* (2007) realizan cartografías de temperatura y precipitación en el estado de Hidalgo para conocer la distribución actual y potencial del cedro rojo, con la aplicación de los modelos norteamericano (GFDL-R30) y el inglés (HadCM3) para predecir y evaluar los posibles cambios en la disponibilidad de humedad en el suelo que podría afectar la distribución del cedro rojo para los años 2020 y 2050, con información meteorológica de 1961-1990, con los datos obtenidos observan que con el incremento del clima se incrementara el área de distribución potencial del cedro, con un incremento de 3.1% para el



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

2020 y de 4.4% para el 2050 en el área de distribución apta para el desarrollo de la especie en el estado de Hidalgo.

Alderete *et al.* (2005) colectaron semilla de *Cedrela odorata* L. en los meses de febrero-marzo de 2003 con el propósito de conocer su variación, localizaron 22 sitios en los estados de Campeche y Tabasco, seleccionando un árbol por cada sitio, evaluaron las características de peso, ancho de semillas y longitud de semilla donde obtuvieron los siguientes resultados: 0.17 g, 3.64 mm y 2.6 cm respectivamente para cada variable, las cuales presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confiabilidad entre árboles evaluados. Mencionan que la capacidad de repoblación de los bosques y de la formación de nuevas poblaciones depende de una producción abundante de semilla.

Hernández *et al.*, 2011 evaluaron cuatro especies tropicales (*Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Tectona grandis* y *Swietenia macrophylla*) en el campo experimental el palmar con el objetivo de conocer el crecimiento de procedencias foráneas y locales con y sin fertilizante, sus análisis muestran diferencias altamente significativas en altura y diámetro, concluye que *Tectona grandis* registró los valores más altos en crecimiento, seguido por *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata* y *Cordia alliodora*. *Cedrela odorata* obtuvo un incremento de (altura = 1.15 m año⁻¹, diámetro = 17 cm año⁻¹) y una sobrevivencia mayor a 90%, concluyen que es más importante conocer la fuente de germoplasma con la que se trabaja que la aplicación de fertilizantes.

García-González, (2011). Por la importancia económica y estado de extracción masiva de *Cedrela odorata* L. realizaron un protocolo de propagación vegetativa in vitro y clonal para desarrollar nuevas plantaciones a partir de explantes nodales de estacas juveniles tomadas de árboles de campo. Utilizaron un medio basal de Murashige y Skoog suplementado con 2 mg L⁻¹ 6-bencilaminopurina y 3 mg L⁻¹ de naftalenoacético y obtuvieron el 100% para desarrollo de brotes a partir de los explantes de nodo in vitro con una altura media de 3.93 cm. Con una media de 3.9 raíces por planta.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

2.6. Características generales de *Cedrela odorata* L.

Comúnmente se le conoce como Cedro, cedro colorado, cedro oloroso - México; Acuy (Lengua zoque) - Chiapas; Calicedra - Puebla; cedro rojo - Oaxaca; Culché, Kulché, K'ulché (Lengua maya) - Yucatán; Chujté -Chiapas; Kuché - Yucatán; Mo-ni (lengua chinanteca) - Oaxaca; Pucsnum-qui-ui (lengua mixe) - Oaxaca; Icte (lengua huasteca) - SLP.

Nomenclatura

Reino: Plantae

Filo: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Sapindales

Familia: Meliaceae

Género: *Cedrela*

Especie: *odorata*

Nombre científico: *Cedrela odorata* L.

Según Pennington y Sarukhan, (1968); Albert *et al.*, (1993); Manzanilla *et al.*, (2001); Gutiérrez y Dorantes, (2004); Gómez, (2010); Rocas, *et al.*, (2010), describen a la especie de la siguiente forma:

Es un árbol monoico que en condiciones naturales, puede medir hasta 35 m de altura y de 1.5 a 2 m de diámetro normal, con un fuste derecho o poco ramificado y con pequeños contrafuertes en la base, su copa es redondeada y densa, de ramas ascendentes y gruesas.

La corteza de las plántulas es delgada, lisa y de color grisáceo, pero a menudo es bastante espesa y agrietada en forma dispereja en los árboles de más edad. La corteza externa tiene abundantes fisuras moderadamente profundas, que forman costillas escamosas de color pardo grisáceo a pardo rojizo. La corteza interna es fibrosa, de color rosa cambiando a pardo amarillento o claro y sabor amargo. El grosor de la corteza es aproximadamente 20 mm.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

Las hojas están dispuestas en espiral paripinnadas o imparipinnadas de 15 a 50 cm compuestas por 10 a 22 folíolos opuestos o alternos lanceolados u oblongos, asimétricos, color verde oscuro en el haz y verde pálido o verde amarillento en el envés, las hojas poseen un penetrante olor a ajo cuando se estrujan.

Es una especie monoica con flores masculinas y femeninas en la misma inflorescencia. Se presentan en panículas terminales de 15 a 30 cm de largo penduladas, pueden ser pubescentes, pedicelos de 1 a 2 mm de largo suavemente perfumadas y actinomórficas.

Frutos se desarrollan en cápsulas de 2.5 a 5 cm de largo de 4 a 5 valvas elipsoides a oblongas de 30 a 40 semillas aladas de 1 a 3 cm de largo y de 5 a 6 mm de ancho.

El cedro rojo es originario de América tropical y se le encuentra en el trópico húmedo y el trópico subhúmedo. Se extiende desde México hasta el norte de Argentina. Se encuentra también en las islas del Caribe (Cuba, Isla de Pinos, Martinica, Antigua y Las Antillas), ha sido exitosamente introducido en el continente africano y en Australia.

En México se le puede encontrar como especie silvestre o como árbol cultivado y protegido por el hombre en diversas áreas y plantaciones. En la vertiente del Golfo, se distribuye desde el sur de Tamaulipas y sureste de San Luis Potosí hasta la península de Yucatán; en el Pacífico, desde Sinaloa hasta Guerrero, así como en la depresión central y en la costa de Chiapas. Se ha reportado en los estados de Campeche, Colima, Chiapas, Durango, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán.

Se desarrolla en una altitud de 0 a 1,000 msnm. En condiciones óptimas el clima es cálido húmedo. Con una estación seca de tres a cuatro meses, temperatura: 20 a 32 °C y precipitación anual: 1,200 y 2,000 mm anuales. Necesita suelos de tipo vertisol, profundos a someros. Soporta relativamente bien la falta de agua.

Después de la caoba, el cedro rojo es la especie maderable más importante en la industria forestal en las regiones tropicales de México. Por sus características excelentes es usada para obtener madera aserrada, chapa, madera terciada, madera torneada para diferentes usos, cajas y envolturas de puros, así como para hacer esculturas y artesanías; por ser



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

excelente jaspeado el uso más indicado es la fabricación de chapa y madera terciada para exportación (Pennington y Sarukhán, *op. cit.*).

Se usa para la elaboración de muebles finos, decoración de interiores, instrumentos musicales, cubiertas y forros de embarcaciones, lambrín, parquet, triplay, chapa y ebanistería en general. Es considerada como la mejor para la construcción de canoas y lanchas deportivas, instrumentos musicales y también para la ebanistería.

La infusión que se obtiene de las hojas, raíz, corteza y madera, se emplea contra bronquitis, vómitos, hemorragias, epilepsias, fiebres y diarreas (Rojas, 1995).

En Cedro rojo la plaga principal es el barrenador de la yema apical un lepidóptero *Hypsiphyla grandella*. La Península de Yucatán y en general en las zonas tropicales del país, han mostrado la posibilidad y rentabilidad de plantaciones con cedro y caoba, sin embargo, han enfrentado el problema del barrenador de las meliáceas (*H. grandella*) que ataca el ápice o punta de las ramas provocando la bifurcación de los árboles y el consecuente retraso en el crecimiento y malformación del árbol.

Por lo general, los ataques no causan la muerte de los árboles, existen casos en que repetidos ataques han propiciado un debilitamiento y posteriormente su muerte. El ataque a plantas jóvenes puede darse aún antes de salir del vivero y antes de llegar a la madurez. Sin embargo, los ataques principales y más dañinos ocurren durante los primeros cuatro años de vida de la plantación, los árboles jóvenes son más afectados debido a la mayor dependencia de crecimiento del meristemo apical.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
Centro de investigaciones Tropicales

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Antecedentes de la plantación

Hace 16 años se colectó semilla en tres municipios del estado de Veracruz La Antigua, Catemaco y Misantla (tabla 1) con la finalidad de recuperar la diversidad genética de *Cedrela odorata* L. en el Estado, posteriormente se germinaron las semillas para realizar un ensayo de procedencias/progenie establecido en La Balsa municipio de Emiliano Zapata, Ver., con el objetivo de conocer cuáles serían los mejores individuos, familias y procedencias en el nuevo sitio (tabla 2).

Tabla 1. Localización de los sitios de colecta de semillas para los ensayos de procedencias y progenie.

Municipio	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud (msnm)	Rango de temperatura	Rango de Precipitación (mm)	Suelo
La Antigua	19° 13' y 19° 26'	96° 13' y 96° 24'	10 y 100 m	24 – 26°C	1, 1 100 – 1 300 mm	Arenosol (41%), Vertisol (37%), Regosol (16%).
Catemaco	18° 16' y 18° 36'	94° 52' y 95° 10'	10 y 1 400 m	20 – 26°C	1 900 – 4 600 mm	Andosol (44%), Acrisol (23%), Cambisol (17%), Gleysol (1%).
Misantla	19° 46' y 20° 09'	96° 45' y 97° 00'	10 y 1 900 m	20 – 26°C	1 900 – 2 100 mm	Luvisol (69%), Vertisol (10%), Phaeozem (9%), Andosol (8%) y Fluvisol (3%)

Tabla 2. Localización del ensayo de Procedencias primera generación.

Municipio	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud (msnm)	Rango de temperatura	Rango de Precipitación (mm)	Suelo
Emiliano Zapata	19° 20' y 19° 35'	96° 32' y 96° 54'	140 y 1 400 m	20 – 26°C	900 – 1 300 mm	Phaeozem (40%), Vertisol (23%), Leptosol (16%), Luvisol (8%), Andosol (5%) y Regosol (5%)



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

Las plantas utilizadas para el ensayo de procedencias/progenie de *Cedrela odorata* L. fueron proporcionadas por el Instituto de Genética Forestal, el cual se encuentra ubicado en el parque “El Haya” de la ciudad de Xalapa, Veracruz y la semilla de estas plantas fue colectada en el año 2013 de árboles selectos con características fenotípicas deseables como rectitud del fuste y libre de plagas y enfermedades, provenientes de un ensayo de procedencias (tabla 2) después con apoyo de un proyecto de la CONAFOR la semilla se germinó en el vivero de Tolome y finalmente fueron llevadas a La Pahuá municipio de Colipa, Ver. (tabla 3 y figura 2) en agosto de 2014.

En la figura 1 se muestra de forma esquemática una línea del tiempo representando los procesos de selección artificial que ha tenido *Cedrela odorata* L. dentro de este proceso de mejoramiento genético con el objetivo de fijar caracteres deseables.

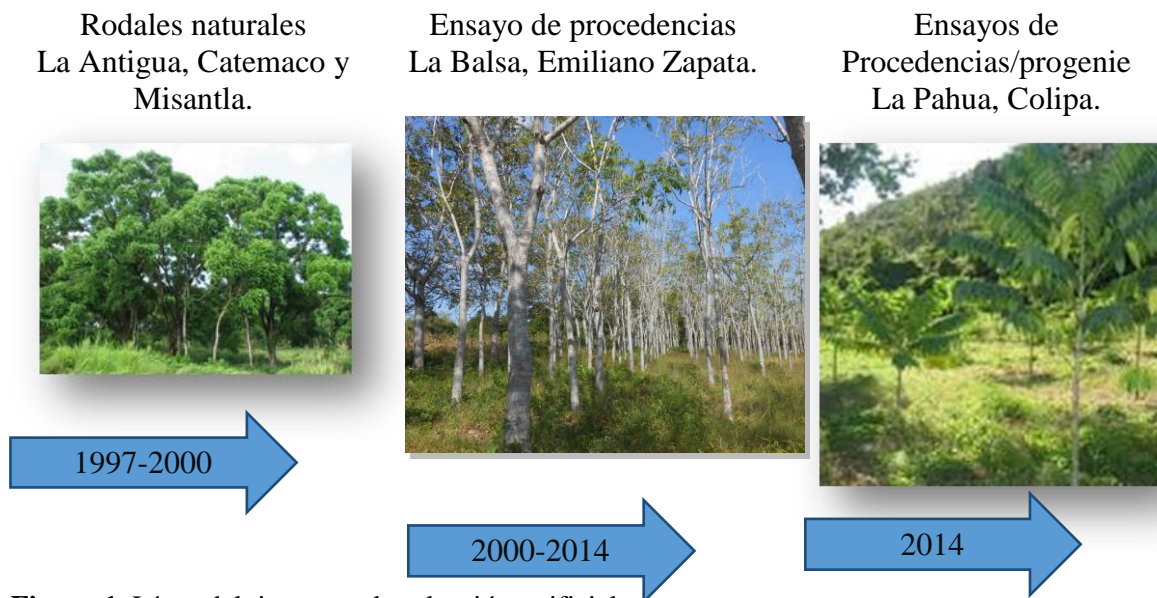


Figura 1. Línea del tiempo en la selección artificial.

3.2. Elección del sitio

De acuerdo con las recomendaciones de (Patiño y Garzón, 1976) y (Buford-Briscoe, 1990) entre otros, el lugar para las plantaciones experimentales se denominó con base en los siguientes criterios:



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

- a. que el sitio de la plantación fuera representativo de la región,
- b. que los factores climáticos, edáficos y geográficos coincidieran lo más cercanamente posible con aquellas características de los lugares de procedencia de semillas,
- c. que dichos factores coincidieran también en lo posible con los requerimientos de *Cedrela odorata* L.,
- d. con características tendientes a la conservación o regeneración y
- e. con diferente exposición.

3.3. Determinación del área

De acuerdo con (Patiño y Garzón, 1976) Y con el Plan de (CAMCORE 1986), el área se determinó con base en el número de familias y plantas por familia y plantas por familia disponibles.

3.4. Realización del diseño experimental

Para poder realizar la distribución y posteriormente evaluación de las familias, se requiere de un diseño experimental. Para el establecimiento de los diseños en campo se siguieron los criterios (Patiño y Garzón, *op. cit.*) y con el Plan de (CAMCORE 1986). El diseño esta conformado por 4 bloques completos a azar cada uno contiene 8 familias de la procedencia de La Antigua, tres de Catemaco y nueve de Misantla y 4 repeticiones por familia, realizar la distribución de la planta en este diseño utilizando una tabla de números aleatorios para determinar su ubicación, de manera que la comparación entre procedencias y familias no se viera opacada por factores extraños (o no planeados) de la variación del medio ambiente, es decir, las familias que conforman cada bloque están sometidas al mismo tipo de magnitud de variación (Cocharan y Cox, 1991).

El área donde se establecieron los ensayos se dividió en bloques, permitiendo obtener mayor uniformidad en las condiciones del medio ambiente. Las familias se representaron en cada bloque por medio de parcelas compuestas por cuatro plantas. Las familias se ubicaron al azar dentro de los bloques (Briscoe, 1990).



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

3.5. Preparación del terreno

Con ayuda de un topógrafo, se ubicó el sentido de la plantación, colocando señaladores de colores en los límites de cada bloque y posteriormente se hicieron las cepas necesarias, de 25 cm de diámetro por 35 cm de profundidad utilizando cavador y gafas. La distancia entre planta y planta fue de 4 x 4 m.

3.6. Transporte

Las plantas fueron agrupadas por parcelas de cuatro, etiquetadas por familia y llevadas a su lugar definitivo con mucho cuidado en la camioneta del instituto, teniendo cuidado durante la carga y descarga evitando a la vez maltratar la planta.

3.7. Plantación

La planta contaba con un año de edad, en general sanas y vigorosas. El método de plantación utilizado fue de cepa común, la técnica fue manual con herramientas como azadón, cavador y pico; el envase fue cortado procurando no perjudicar o desmoronar el cepellón, se introdujo la planta en el hoyo con una profundidad hasta el cuello (base del tallo) de la planta, la cual posteriormente fue cubierta con tierra desmenuzada y se le apisonó, realizando una leve compactación para proporcionar estabilidad inicial, hasta que la planta establezca su propio sistema de anclaje con las nuevas raíces. No se efectuó una reposición posterior.

3.8. Labores culturales

Se realizó un cercado con alambre de púas a tres hilos, tres chapeos y una fumigación para las arvenses al año.

3.9. Diseño de la plantación

La plantación se estableció bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, consta de cuatro bloques, cada uno tiene 20 familias y 4 repeticiones por familia, ver tabla



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

4. Los bloques tienen la intención de eliminar los efectos de gradiente o variación en las condiciones a lo largo del campo.

3.10. Evaluaciones en campo

El conteo de la sobrevivencia, así como las mediciones de altura y diámetro se realizaron el 29 de agosto de 2015.

La evaluación de la sobrevivencia permite obtener una medida cuantitativa del éxito de la plantación bajo influencia de los factores del sitio. El valor que se desea conocer es la proporción de árboles vivos respecto a los árboles plantados.

$\% \text{ Sobrevivencia} = \text{plantas vivas} / \text{total de plantas establecidas} \times 100$

Evaluación de altura. La medición de la altura se realizó con una vara graduada con aproximación a centímetros, el cual se coloca junto del tallo a nivel de suelo y se tomó el valor hasta el ápice de la planta.

Evaluación de diámetro. La medición del diámetro del tallo se realizó con la ayuda de un vernier metálico TRUPER con aproximación a mm a nivel de suelo.

3.11. Análisis estadístico

Con la captura y revisión de los datos y con el paquete STATISTICA (StatSoft, 1996) se realizó un análisis exploratorio que consistió en la obtención de las estadísticas descriptivas y gráficos de cajas y alambres, mediante el cual se observa el comportamiento entre familias dentro de procedencias y entre procedencias. Posteriormente se realizó el análisis de varianza utilizando el paquete STATISTICA dentro de procedencias y entre procedencias mediante el procedimiento ANOVA utilizando el siguiente modelo lineal de efectos fijos:



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
Centro de investigaciones Tropicales

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + P_j + F_k(P_j) + E_{ijkl}$$

Dónde:

Y_{ijkl} = Variable de respuesta,

μ = Media general,

B_i = efecto del i-ésimo bloque,

P_j = efecto de la j-ésima procedencia,

$F_k(P_j)$ = efecto de la k-ésima familia dentro de la j-ésima procedencia,

E_{ijkl} = Error experimental.

Posteriormente se realizó una comparación de medias por el método de Tukey en el mismo paquete estadístico.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

IV. RESULTADOS

4.1. Establecimiento y diseño del ensayo

El ensayo de procedencias/progenie fue establecido en La Pahua municipio de Colipa, Ver. en la (tabla 3) y la figura 2 se observa la localización de forma general y particular la localización de la plantación.

Tabla 3. Localización del ensayo de Procedencias/progenie segunda generación.

Municipio	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud (msnm)	Temperatura	Precipitación (mm)	Suelo
Colipa	19° 52' y 20° 00'	96° 38' y 96° 48'	10 y 600	22-26 °C	1,900 – 2,100	Luvisol 71%, Phaeozem 24% y Vertisol 4%

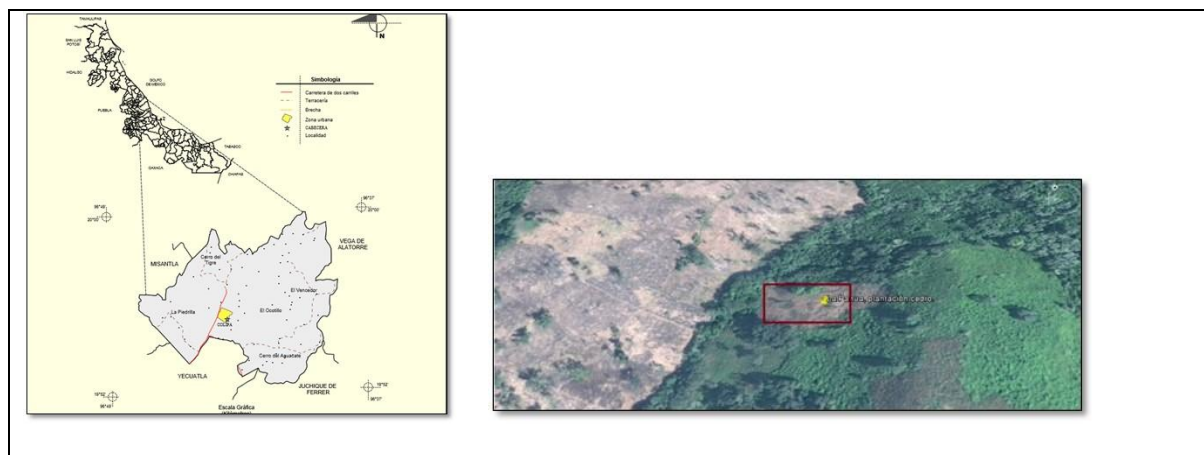


Figura 2. Macro y micro localización de la plantación de *Cedrela odorata* L.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

Tabla 4. Diseño de la plantación de *Cedrela odorata* L. R= repetición.

												17			R	R	R	3	R	R	R								
												5			R	R	R	13	R	R	R								
BLOQUE IV												16			R	R	R	8	R	R	R								
												6			R	R	R	9	R	R	R								
												11			R	R	R	19	R	R	R								
BLOQUE III												20			R	R	R	4	R	R	R								
												15			R	R	R	1	R	R	R								
												14			R	R	R	7	R	R	R								
												10			R	R	R	18	R	R	R								
BLOQUE I												2			R	R	R	12	R	R	R								
BLOQUE II												15			R	R	R	11	R	R	R								
15			R	R	R	11	R	R	R	13			R	R	R	7	R	R	R	6			R	R	R	14	R	R	R
6			R	R	R	3	R	R	R	1			R	R	R	19	R	R	R	13			R	R	R	20	R	R	R
16			R	R	R	10	R	R	R	16			R	R	R	3	R	R	R	7			R	R	R	19	R	R	R
7			R	R	R	19	R	R	R	8			R	R	R	18	R	R	R	11			R	R	R	17	R	R	R
13			R	R	R	5	R	R	R	12			R	R	R	4	R	R	R	16			R	R	R	4	R	R	R
14			R	R	R	9	R	R	R	20			R	R	R	14	R	R	R	2			R	R	R	9	R	R	R
4			R	R	R	12	R	R	R	15			R	R	R	17	R	R	R	10			R	R	R	1	R	R	R
2			R	R	R	1	R	R	R	9			R	R	R	2	R	R	R	15			R	R	R	18	R	R	R
18			R	R	R	20	R	R	R	11			R	R	R	6	R	R	R	12			R	R	R	5	R	R	R
17			R	R	R	8	R	R	R	5			R	R	R	10	R	R	R	3			R	R	R	8	R	R	R

4.2. Sobrevivencia

La sobrevivencia fue evaluada en agosto del 2015 cuando la plantación tenía un año de edad en la figura 7 se observa de forma general con un 70% de plantas vivas. Sobresale la procedencia de Catemaco con el 80% de sobrevivencia, pero la familia 7 presenta más del 90%. De La Antigua sobresale la familia 12 y de Misantla 6, 8 y 9 con una sobrevivencia mayor a 80%.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
Centro de investigaciones Tropicales

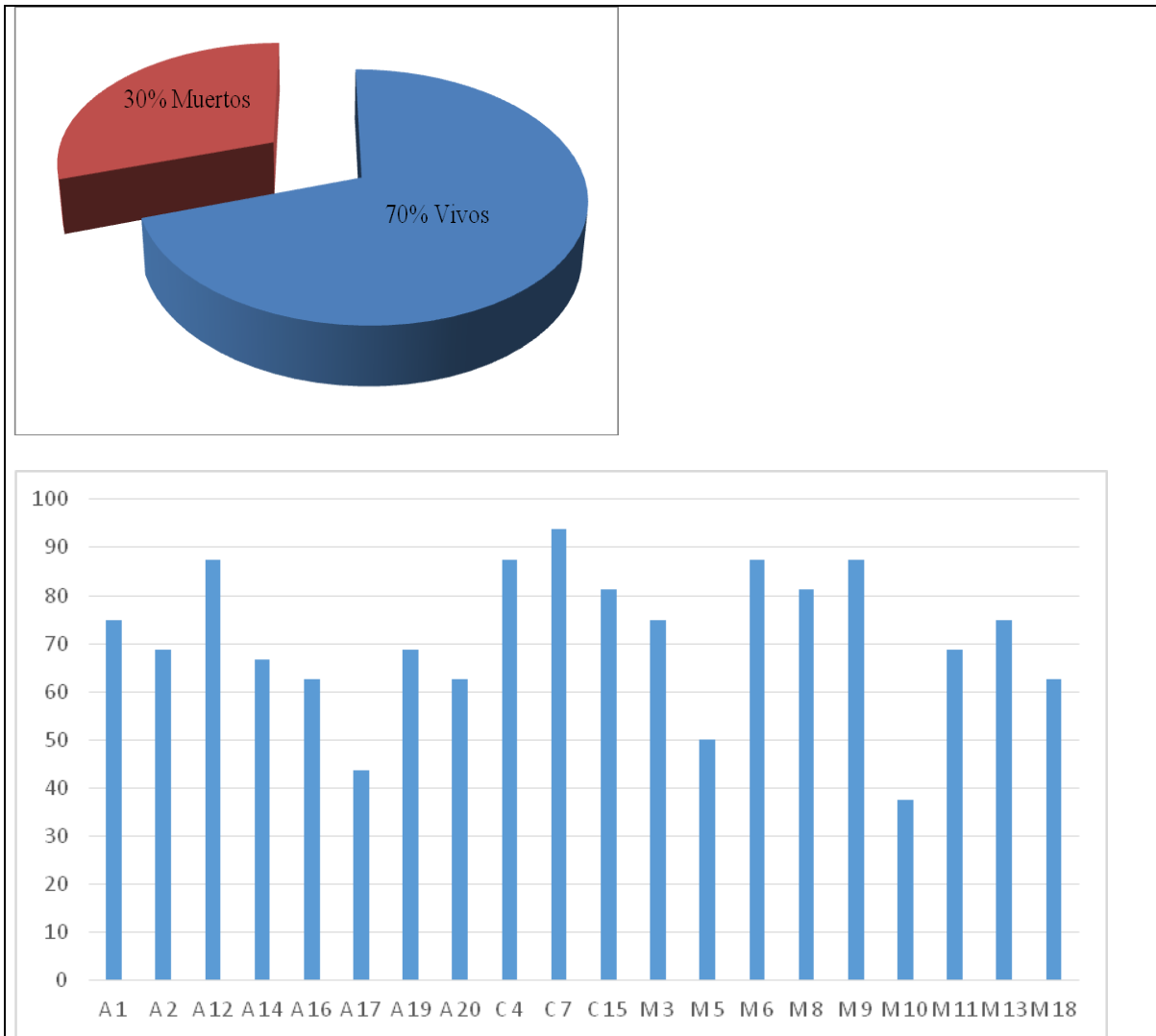


Figura 3. Supervivencia del ensayo de procedencia/progenie de *Cedrela odorata* L. evaluada a un año de edad.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

4.3. Altura

De acuerdo a la media general (79.79 cm) la procedencia de Catemaco (C), presenta más del 50% de sus valores por arriba de la media, sin embargo la procedencia de Misantla (M), tiene los individuos más altos pero solo el 50% de sus datos se encuentran por arriba de la media presentando además una mayor variación (desviación standard), también se puede observar que la procedencia de La Antigua (A), presenta más del 50% de sus valores por debajo de la media general figura 3.

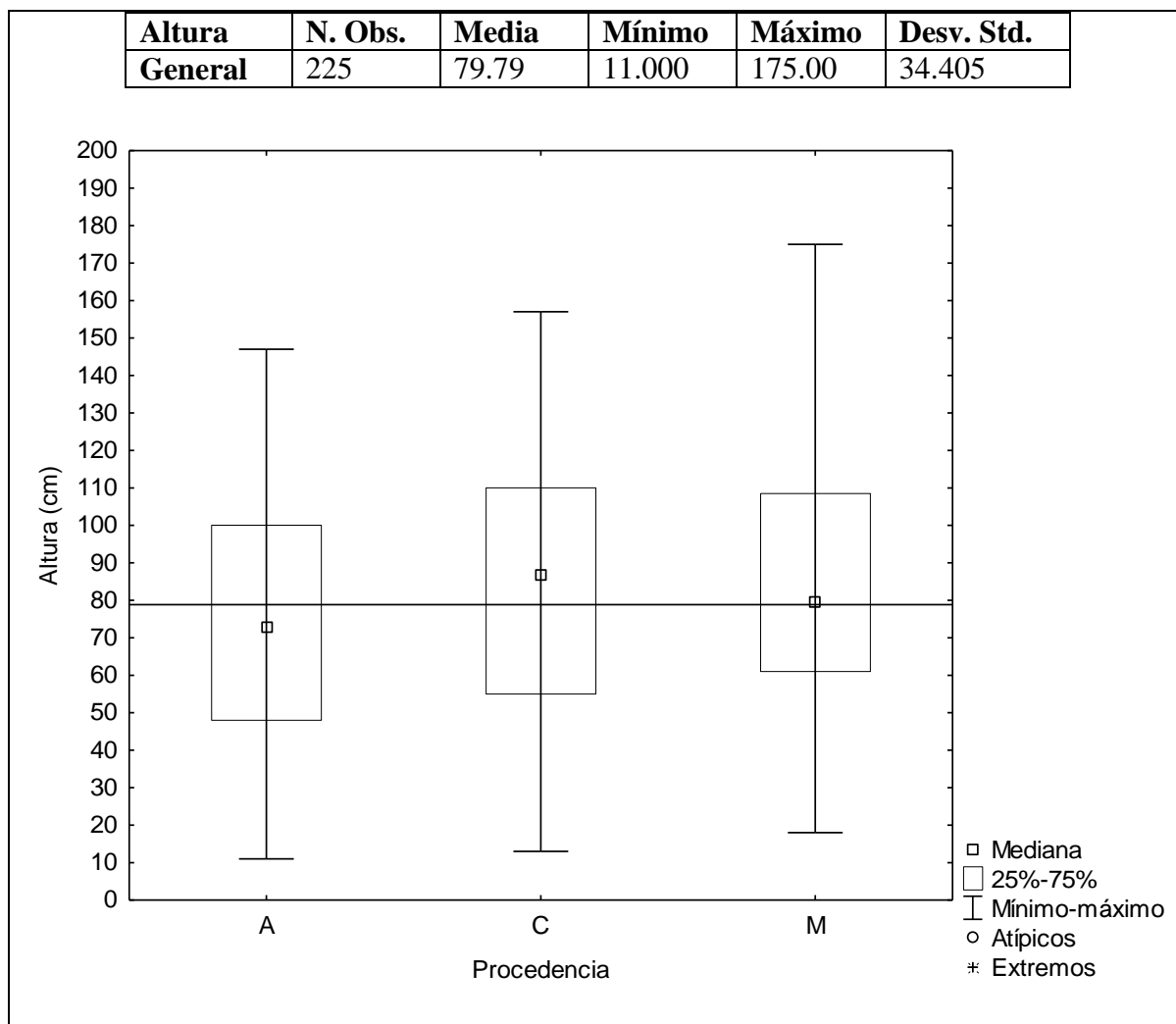


Figura 4. Gráfica de altura por procedencias.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

Las familias dentro de las procedencias al igual que los individuos dentro de las familias presentan diferencias; para el caso de Misantla la familia 10 aunque no presenta los valores más elevados como en el caso de la 18 y la 6 sobresale notablemente por presentar casi el 100% de sus individuos arriba de 110 cm y la familia 9 con el 50%, otra familia que presenta individuos altos es la 13. En la procedencia de Catemaco la familia 7 exhibe el 75% de sus valores arriba de 80 cm, mientras la 4 y la 15 el 50% o más se encuentra por debajo. Para las familias de La Antigua resaltan la 1, 14, 16, 19 y 20 con el 50% o más de sus valores arriba de 80 cm sin embargo la familia 2 presenta 100% por abajo figura 4.

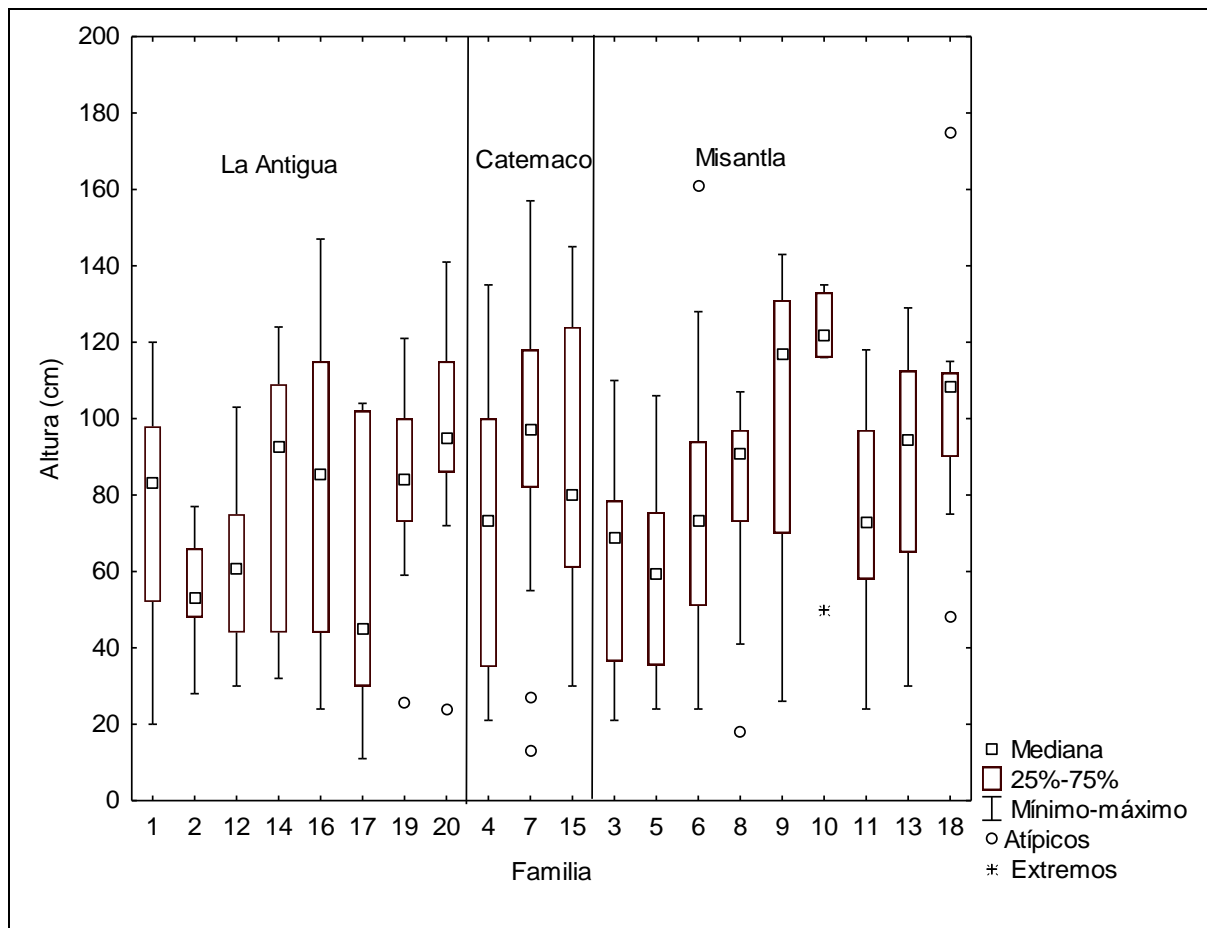


Figura 5. Gráficas de cajas y alambres para altura de familias dentro de procedencias.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

Después de observar las diferencias en altura en la figura 4 se realizó el análisis de varianza (tabla 5) donde se muestra que existen diferencias significativas para procedencias y familias anidadas en procedencias ($p < 0.05$).

Tabla 5. Análisis de varianza para altura de *Cedrela odorata* L.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	p-level
Procedencia	2	5458	2729	3.076	0.048329
Familia(Procedencia)	17	42329	2490	2.806	0.000302
Bloque	3	38772	12924	14.564	0.000000
Error	202	179246	887		
Total	224	265154			

Se realizó la prueba de Tukey o comparación de medias, en la cual se observa (la tabla 6) que la procedencia donde se formaron dos grupos en donde La Antigua es uno y Misantla y Catemaco, en conjunto otro. En la comparación de medias por familias (tabla 7) la familia 10 presenta la mejor altura seguida de la 18 y la 9; sin embargo la familia 2 es la más pequeña siendo totalmente diferente a estas tres.

Tabla 6. Comparación de medias entre procedencias para altura.

Procedencia	Media cm	AB
A	73.96988	A
M	83.19000	AB
C	83.23810	AB



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
Centro de investigaciones Tropicales

Tabla 7. Comparación de medias entre familias para altura.

Procedencia	Familia	Media cm	ABC
A	2	55.0909	A
A	17	58.2857	ABC
M	5	58.8750	ABC
A	12	61.1429	ABC
M	3	62.7500	ABC
C	4	71.0714	ABC
M	11	74.7273	ABC
A	1	75.6667	ABC
M	6	76.5000	ABC
M	8	80.8462	ABC
A	14	80.8750	ABC
A	19	83.3182	ABC
A	16	85.0000	ABC
C	15	86.4615	ABC
M	13	87.9167	ABC
C	7	91.8000	ABC
A	20	94.8000	ABC
M	9	98.0000	BC
M	18	104.6000	BC
M	10	113.0000	C



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

4.4. Diámetro

El comportamiento de las procedencias en cuanto a diámetro se observa en la figura 5, donde Catemaco se presenta como la mejor con el 50% de sus valores por arriba de la media general, en el caso de Misantla y La Antigua la mitad de sus valores se encuentran por debajo de la media general 21.56 mm.

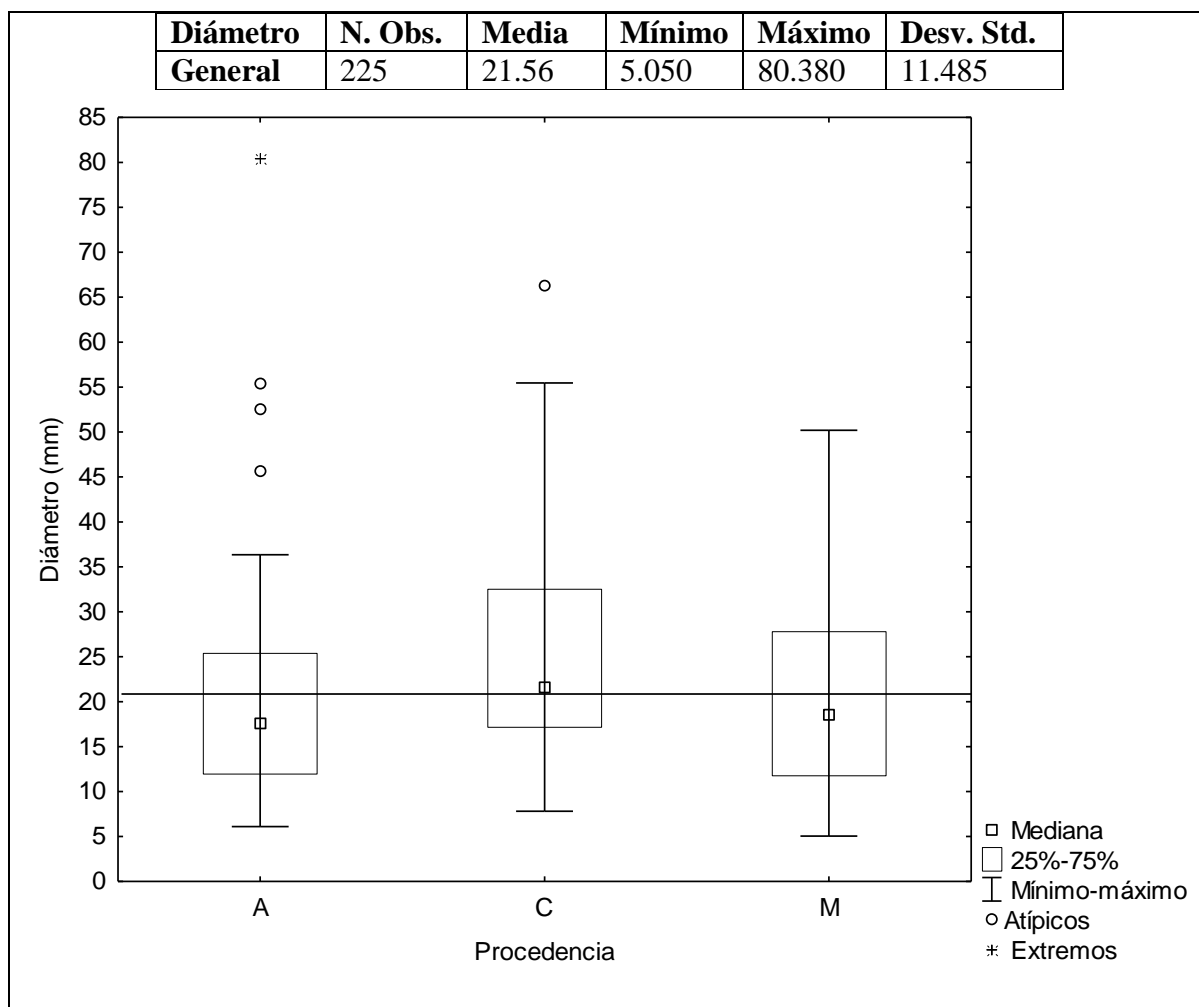


Figura 6. Gráfica de procedencias para altura.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

Dentro de la procedencia de la Antigua la familia 1 junto con la familia 20 presentan las plantas con mayor diámetro, seguida de las familias 4, 15 y 7 de la procedencia de Catemaco; de Misantla destaca la familia 9, 8 y un individuo de la familia 5. Sin embargo la mayoría de las familias son homogéneas figura 6.

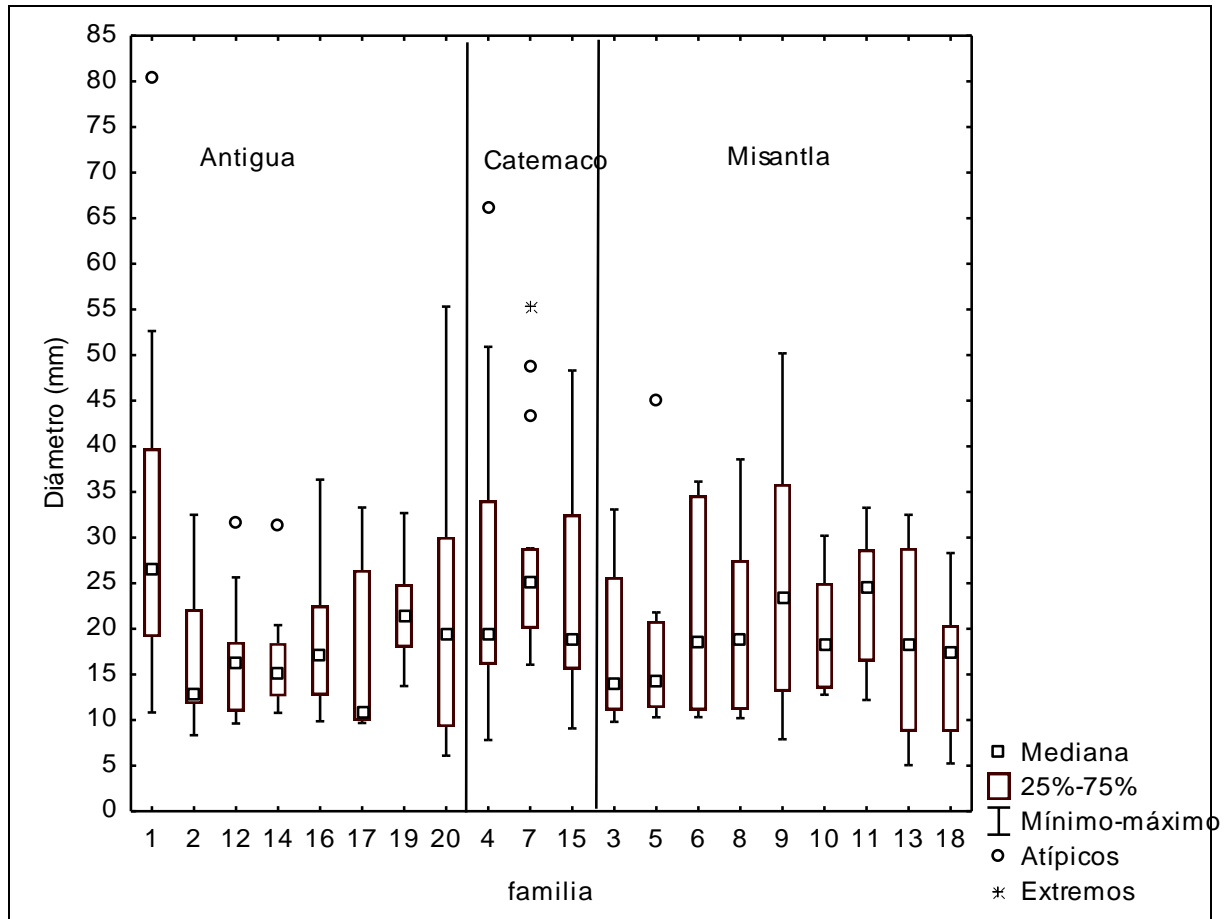


Figura 7. Gráfica de diámetro de familias dentro de procedencias.

Después de observar el comportamiento de las familias dentro de las procedencias en diámetro se realizó el análisis de varianza donde los resultados indican que existen diferencias para procedencias, familias y familias anidadas en procedencias ($p < 0.05$) (tabla 8).



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
Centro de investigaciones Tropicales

Tabla 8. Análisis de varianza para diámetro.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	p-level
Procedencia	2	1043.7	521.8	7.153	0.000997
familia(Procedencia)	17	2221.4	130.7	1.791	0.031064
Bloque	3	10734.5	3578.2	49.045	0.000000
Error	202	14737.3	73.0		
Total	224	29546.1			

La comparación de medias o prueba de Tukey ayuda a conocer el comportamiento de los promedios entre familias y entre procedencias, de esta forma en la (tabla 9) presenta la procedencia de Catemaco como la mejor ya que tiene el mayor promedio siendo totalmente diferente a las familias provenientes de Misantla y La Antigua. Al realizar la comparación de medias entre familias las familias 2, 17, 18, 12, 14, 3 y 13 forman un grupo siendo las más delgadas, pero sobresale la familia 1 que es totalmente diferente a las anteriores por presentar los mayores promedios seguida de las familias 7, 4 y 9 ver (tabla 10).

Tabla 9. Comparación de medias de procedencias para diámetro.

Procedencia	Media	AB
M	20.43650	A
A	20.54711	A
C	26.24786	B



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
Centro de investigaciones Tropicales

Tabla 10. Comparación de medias por familia para diámetro.

Procedencia	familia	Media	AB
A	2	16.47727	A
A	17	16.50429	A
M	18	16.68400	A
A	12	16.79643	A
A	14	16.79750	A
M	3	18.16833	A
M	13	18.35833	A
M	5	18.54125	AB
A	16	19.31500	AB
M	10	19.67333	AB
M	8	20.47462	AB
M	6	21.32000	AB
A	19	21.75727	AB
A	20	22.60200	AB
M	11	23.54182	AB
C	15	24.36692	AB
M	9	24.89357	AB
C	4	26.34929	AB
C	7	27.78333	AB
A	1	31.71667	B



V. DISCUSIÓN

A manera de discusión se puede detallar que los árboles evaluados resultaron ampliamente variables, debido a que en un trabajo experimental en condiciones reales la dificultad de enfrentar a los individuos a eventos climáticos atípicos, tales como huracanes, sequías, vaguadas, nortes o granizadas entre otros, así como la exposición a plagas y enfermedades que podrían afectar el ensayo.

Ahora bien, por lo que corresponde al establecimiento de ensayos de procedencias/progenie se requiere de al menos dos hectáreas de terreno para utilizar un diseño de bloques completos al azar con nueve réplicas y sub-parcelas (repeticiones) con seis árboles en hilera de familias individuales (CAMCORE, 1986), sin embargo, en la práctica no es posible satisfacer estos criterios; para este estudio, la disponibilidad de terreno con la superficie requerida es limitada debido a que la cultura forestal en nuestro país es básicamente extractiva y la mayoría de los terrenos son utilizados para la ganadería y la agricultura (Alba, 2006).

Por lo que respecta a la variabilidad dasométrica, en este trabajo, se puede concluir que esta se presenta tanto en familias como en procedencia, de manera conjunta la altura de las plantas y el diámetro, se presentan irregulares entre los individuos de las tres procedencias sin importar la familia de la cual se seleccionaron.

Consecuentemente, las variables evaluadas altura y diámetro muestran diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre procedencias y familias. De acuerdo con las diferencias encontradas y comparando con otros estudios como lo que reporta (Márquez *et al.*, 2005), en crecimiento inicial de plántulas de cedro rojo y los realizados por (Mendizábal-Hernández *et al.*, 2016) donde presentan diferencias estadísticamente significativas que las atribuyen a la variación natural de la especie y las interacciones genotipo/ambiente; (Oros-Ortega *et al.*, 2015) y (Hernández *et al.*, 2011) donde también reportan diferencias significativas para estas variables y una sobrevivencia mayor a 90%. Además otros estudios que presentan el mismo patrón de diferencias significativas son los reportados por (Rodríguez *et al.*, 2001) y (Alderete y Márquez, 2004) en semillas.



(Márquez *et al.*, 2009) al evaluar una prueba de procedencias/progenie no encontró diferencias significativas entre procedencias ni entre familias, solamente entre bloques y lo atribuye a la edad del ensayo que puede influir en la uniformidad de las condiciones ambientales en este sitio. Mariscal-Lucero, 2014 también reporta diferencias en la variabilidad molecular y fotoquímica.

No obstante la variación existente de acuerdo con Nienstaedt, (1976) se debe a que las especies que presentan rangos de distribución amplia se adaptan a condiciones ambientales diferentes, por ejemplo temperatura precipitación, pH del suelo, la disponibilidad de nutrientes, incidencia de incendios, la competencia de otras especies, presencia de insectos plaga y enfermedades, etcétera, son factores que varían entre regiones y que ejercen una presión de selección a la que las poblaciones de árboles se tienen que adaptar para sobrevivir. Además de los factores genéticos que son heredados (altura y diámetro) por los progenitores siendo estos los de especial interés para este trabajo, por esa razón se someten a las mismas condiciones todas las descendencias para evaluar a los padres. De acuerdo con (Zobel y Talbert, 1988) el componente genético en que se debe poner más atención para lograr los objetivos (mejor calidad y cantidad de madera) planteados y fijar caracteres en la especie a través de la selección artificial.

Además, los ensayos de procedencia/progenie, son de suma importancia para evitar pérdidas, tanto económicas, como de capital humano y tiempo ya que permiten realizar plantaciones con individuos con características genéticas que garanticen una mayor calidad de árboles, así como en volumen de madera, propiciando una economía bajo una visión de desarrollo sustentable, en la cual se libere a la población endémica de sobreexplotación por parte de los leñadores. Por otra parte, se da continuidad a trabajos realizados con esta especie, desde hace varios años en cuanto a las características genéticas, se pretende, que además sirva como fuente de información para nuevos proyectos de investigación en la silvicultura de la zona de Colipa.

Se puede decir, que la sobrevivencia y el crecimiento están siendo afectadas por el genotipo y el ambiente, por esta razón es necesario seguir evaluando la plantación para conocer el comportamiento de juvenil-adulto para conocer que tanto afecta el ambiente



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

sobre el genotipo, ya que las características de altura y diámetro son heredables y son las de especial interés.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
Centro de investigaciones Tropicales

VI. CONCLUSIONES

Los resultados de la prueba en estudio, muestra resultados de interacción variable que van desde cero prendimiento hasta los mejores resultados de interacción con respecto a altura y diámetro, situación que nos lleva a concluir lo siguiente:

- 1) Existe un número de unidades genéticas diferentes con desarrollo por arriba de la media que garantizan en el futuro la producción de semilla con la suficiente calidad no solo biológica sino genética para realizar plantaciones comerciales de La Pahuá.
- 2) Con la claridad del sistema de cruza y la fenología reproductiva de la prueba, se podrá elaborar un programa de retrocuza para inducir diversidad genética en el ánimo de conservar la especie.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
Centro de investigaciones Tropicales

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, C. J. M. y Aguilar, C. M. A. 1992. Árboles de la Biosfera Maya Petén. Guía para las especies del Parque Nacional Tikal. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Escuela de Biología, Centro de Estudios Conservacionistas (CECON). 272p.
- Alba, L. J. 1996. Mejoramiento Genético Forestal en el estado de Veracruz. Tesis de maestría en Ecología Forestal. Centro de Genética Forestal, Universidad Veracruzana, Xalapa Veracruz, México. 80p.
- Alba, L. J. 2007. Movimiento de especies forestales en el estado de Veracruz, México. Tesis Doctorado en Recursos Genéticos Forestales. Centro de Genética Forestal, U.V. Jalapa, Ver. Méx. 55p.
- Alba-Landa, J., Mendizábal-Hernández, L del C., Márquez, R. J. 2008. El mejoramiento genético forestal y las pruebas establecidas en Veracruz. *Foresta Veracruzana*, 10 (1): 25-29p.
- Albert, P. D.; López, A. A.; Rodríguez, T. M.; Duarte, R. M. 1995. Recursos fitogenéticos forestales, 1. Familia Meliaceae. *Fontqueria* 42:329-351.
- Alderete, C. Á., De la Cruz L. N. y González, de la T. J. E. 2005. Variación en semillas de *Cedrela odorata* L. procedentes de los estados de Campeche y Tabasco, México. *Foresta veracruzana*, 7(2): 41-44p.
- Badilla Y., Murillo O., Obando G. 2002. Efecto de la zona de vida y la altitud en la mortalidad y adaptabilidad al primer año de especies forestales en la Cordillera Volcánica Central, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 26(1):7-15.
- Balocchi, C. E. 1990. Programa de mejoramiento genético de CAMCORE Raleigh, North Carolina. *Bulletin on tropical forestry* No. 7-39p.
- Bufor-Briscoe, C. 1990. Manual de ensayos de campo con árboles de usos múltiples Winrock International Institute for Agricultural Development. 3:143 p.
- Callaham, R. Z. 1964. Provenience reserarch: investigation of genetic diversity associated with geography. *Unasylva*. 18 (73):40-50.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

- Cavers, S., C. Navarro and A. J. Lowe. 2003. Chloroplast DNA phylogeography reveals colonization history of a Neotropical tree, *Cedrela odorata* L., in Mesoamerica. *Mol. Ecol.* 12(6):1451-1460.
- CBD. Status and trends of global biodiversity. 2002. Disponible en: www.cbd.int/gbo1/chap-01.shtml.
- Central Americana and México Coniferous Resources Cooperative-CAMCORE. Ensayos de procedencias-progenie. In: Plan de trabajo para los ensayos de procedencias-progenie y los bancos de conservación.- Raleigh, North Carolina. USA: CAMCORE. 10 p.
- Challenger, A., y J. Soberón. 2008. Los ecosistemas terrestres. En: Conabio. Capital Natural de México, Volumen I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Clausen, E. K. 1990. Diseños genéticos y pruebas de progenie. En: Mejoramiento genético y plantaciones forestales. Memoria. Centro de Genética Forestal, A.C. Chapingo, México. 67-77p.
- Cochran, W. G. y Cox, G. M. 1991. Diseños experimentales. Editorial Trillas, México, D. F. 661 p.
- Conabio, 2006. Capital natural y bienestar social. Conabio. México.
- Cornejo, O. E. H.; Bucio, Z. E.; Gutiérrez, V. B.; Valencia, M. S. y Flores, L. C. 2009. Selección de árboles y conversión de un ensayo de procedencias a un rodal semillero. *Rev. fitotec. Mex.* 32 (2):87-92.
- Daniel, P. W.; Helmes, V. E. y Baker, F. S. 1982. Principios de silvicultura 2ª Edición McGRAW-HILL, México. 492 p.
- Díaz, M. E. 1999. Control de *Hypsipyla grandella* en plantaciones de Meliáceas (cedro rojo y caoba). In: 500 Tecnologías Llave en Mano. División Forestal. INIFAP: SAGAR. 77-78p.
- Díaz, P.; Torres, D.; Sánchez, Z. y Arevalo, L. 2013. Comportamiento morfológico de cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en respuesta al tipo de sustrato en vivero. *Rev. Folia Amazónica.* 1(2): 25-33p.
- Di-Giovanni P, PG Kevan. 1991. Factors affecting pollen dynamics and its importance to pollen competition: a review. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 1151-1170.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

- Eguiluz, P. T. 1988. Distribución natural de los pinos en México. Nota técnica No. 1. Centro de Genética Forestal, A. C. Chapingo, México. 6 p.
- Eguiluz, P. T. y Plancarte, B. A. 1990. Mejoramiento genético y plantaciones forestales. Memoria, Centro de genética forestal, A.C. Lomas de San Juan, Chapingo, México. 78-88p.
- Eguiluz, P.T. 1998. Herencia y evolución. Serie de Apoyo Académico No. 1. Universidad Autónoma Chapingo. México. 25 p.
- Espinosa, D., S. Ocegueda, 2008. El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. En: Conabio. Capital Natural de México, Volumen I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Fowler, D.P. 1978. Mejoramiento e hibridación de plantaciones. *Unasylva* 30 (119-120): 21-26p.
- García-González, R., Delgado, M., González, Y., González, A., Garriga, M., Galigari, P. D. S., Carrasco, B. y Quiroz, K. 2011. In vitro Propagation of Cedar (*Cedrela odorata* L.) from Juvenile Shoots. *Res. Chilean J. Agric.* 71 (3).
- Gómez, D. Jesús D.; Monterroso, R. Alejandro I. y Tinoco, R. Juan Á. 2007. Distribución del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en el estado de Hidalgo, bajo condiciones actuales y escenarios de cambio climático. *Madera y Bosques*, (13) 2:29-49p.
- González, M. F. 2003. Las comunidades vegetales de México. Instituto Nacional de Ecología. México. 7-49 p.
- Gutiérrez y Dorantes, 2004. Especies forestales de uso tradicional del estado de Veracruz, Potencialidades de especies con uso tradicional del estado de Veracruz, como opción para establecer Plantaciones Forestales Comerciales. CONAFOR - CONACYT – UV.
- Gutiérrez V., B., E. H. Cornejo O., A. Zermeño G., S. Valencia M. y R. Mendoza V. 2010. Conversión de un ensayo de progenies de *Pinus greggii* var. *greggii* a huerto semillero mediante Eigen-análisis. *Bosque* 31:45-52.
- Gutiérrez-Vázquez, B. N.; Cornejo- Oviedo, E. H.; Gutiérrez-Vázquez, Mario H. y Gómez-Cárdenas, M. 2012. Variación y predicción de la densidad básica de la madera de *Cedrela odorata* L. *Rev. Fitotecnia Mexicana*, 35(1): 87-90p.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
Centro de investigaciones Tropicales

- Gutiérrez, V. B. N.; Cornejo, O. E.H.; Rodríguez, S. B.; López, U. J.; Gutiérrez, V. M. H.; Gómez, C. M. y Flores, M. A. 2016. Selección de árboles sobresalientes de caoba (*Swietenia macrophylla* King.) en un rodal natural mediante métodos multivariados. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7 (37): 51-63.
- Heaman, J. C. 1984. Provenance testing a western Canadian perspective. In: XIV reunión del grupo de Mejoramiento Genético Forestal. Comisión Forestal de América del Norte. FAO. Dgo. México. 42-57p.
- Hernández, Z. O.; López, U. J.; Vargas, H. J. J. y Jiménez, C. M. 2016. Variación clonal de la fenología reproductiva en un huerto semillero de *Pinus patula*. *Bosque Valdivia* 37(2).
- Hernández, M. E., López, A. J. L. y Sánchez, M. V. 2011. Crecimiento en diámetro y altura de una plantación mixta de especies tropicales en Veracruz. *Rev. Mex. Ciencias forestales* 2 (7).
- Jolon-Morales, M.R. 2008. Estudio analítico del impacto de las acciones de extracción y tráfico de vida silvestre en la región de la Selva Maya. Informe Final Consultoría. Conap, Conanp, MRNMA, CATIE. Guatemala.
- Kang K, D Lindgren, T Mullin. 2001. Prediction of genetic gain and gene diversity in seed orchards crops under alternative management strategies. *Theoretical and Applied Genetics*. 103:1099-1107.
- Kennedy, A.C. y K.L. Smith. 1995. Soil microbial, diversity and the sustain- ability of agricultural soils. *Plant Soil* 170:75-86.
- Koleff, P., J. Soberón, *et al.* 2008. Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies. En: Conabio. Capital Natural de México, Volumen I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Lowe WJ, NC Wheeler. 1993. Pollen contamination in seed orchards. In Bramlett DL, GR Askew, TD Blush, FE Bridgwater, JB Jett eds. *Advances in pollen management*. Agriculture Handbook 698. USDA Forest Service. p. 49-53.
- Manzanilla B. H.; Martínez D. M.; y Moreno M. A. 2001. Monografías de Especies Nativas Promisoras para el Establecimiento de Plantaciones Forestales Comerciales en Jalisco



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
Centro de investigaciones Tropicales

- Cedro rojo y Rosa morada. Programa de Desarrollo Forestal de Jalisco. Documento Técnico 31. PRODEFO. Ciclo Económico Forestal. Guadalajara Jalisco, México. 76p.
- Maldonado B., E. y M. L. Escobar M. 2000. Selección de árboles plus de frijolito (*Schizolobium parahybum*) para mejorar genéticamente la especie en Santander-Colombia. In: Salazar, R. (ed.). 2do. Simposio de Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina. Turrialba, Costa Rica. pp. 39-45.
- Martínez. J., Borja de la Rosa, A. 2005. Características tecnológicas de la madera de palo morado (*Peltogyne mexicana* Martínez) de Tierra Colorada, Guerrero, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 11(1):78-82.
- Marín, H. T. del N. J.; Azpíroz, R. H. S.; Parraguirre, L. C.; Sánchez, M. V.; Velasco, B. E.; Hernández, J. R.; Sánchez, M. A. y Rueda, S. A. 2012. Análisis de dimensiones dasométricas y porcentaje del ataque de *Hysipyla grandella* Zeller en *Cedrela odorata* L. Rev. Mex. Cien. For. 3(13): 29-48p.
- Mariscal-Lucero S. del R. 2014. Estudio de variabilidad molecular y fitoquímica de *Cedrela odorata* L. cultivada. Tesis doctoral. Instituto Politécnico Nacional campus Durango.
- Márquez, R. J.; Mendizábal-Hernández, Lilia del C.; Cruz V. G. y Ramírez-García, E. 2009. Evaluación de una prueba de procedencias/progenie de *Cedrela odorata* L. establecida en Emiliano Zapata, Veracruz, México. Rev. Foresta Veracruzana 11(1):7-12p.
- May, R. 1988. How many species are there on earth? Science 241: 1441-1449.
- Mendizábal-Hernández, L. del C.; Márquez, R. J.; Alba-Landa, J.; Ramírez-García, E. O. y Cruz-Jiménez, H. 2012. Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Cedrela odorata* L. Foresta Veracruzana, 14 (2): 31-36p.
- Mendizábal-Hernández, L. del C.; Alba-Landa, J.; Ramírez-García, E. O. y Cruz-Jiménez, H. 2014. Inducción de la diversidad genética de *Swietenia macrophylla* King en Veracruz, una estrategia a futuro. Foresta Veracruzana, 16(2): 43-46p.
- Muñoz-Gutiérrez, L.; Vargas-Hernández, J. J.; López, U. J.; Ramírez-Herrera, C.; Jiménez-Casas, M.; Alderete, A.; Díaz-Ruiz, R. 2017. Variación espacial y temporal en la dispersión de



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Centro de investigaciones Tropicales

polen en un huerto semillero y en rodales naturales cercanos de *Pinus patula*. Bosque Valdivia. 38 (1).

- Murillo O., Obando G., Badilla Y., Araya E. 2001. Estrategia de mejoramiento genético para el Programa de Conservación y Mejoramiento Genético de especies forestales del ITCR/FUNDECOR, Costa Rica. *Revista Forestal Latinoamericana* 16 (30):273-285.
- Niembro, R. A. 1987. Árboles y arbustos útiles de México. Limusa. México. 206 p.
- Niembro, R.A. 1996. Producción de semi-llas de cedro *Cedrela odorata* L. bajo condiciones naturales en Campeche, México. INIFAP. p: 215-228.
- Nienstaedt, H. 1990. Importancia de la sección natural, In: Memoria del Mejoramiento Genético y Plantaciones Forestales, Centro de Genética Forestal, A. C. Lomas de San Juan, Chapingo, Méx. 16-18p.
- Ordóñez, D. J. A. B.; Adolfo Galicia, N. A.; Venegas, M. N. J.; Hernández, T. T.; María de Jesús Ordóñez, D. M. de J. y Dávalos-Sotelo, R. 2015. Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación. *Madera bosques*. 21.
- Oros-Ortega, I.; Alonso-López, A.; Pérez-Moreno, J.; López-Collado, J. C.; Lara-Pérez, L. A.; Martínez-Garza, S. E.; Solís-Ramos, L. y Andrade-Torres, A. 2015. Respuesta de plántulas de *Cedrela odorata* a la inoculación con *Rhizophagus intraradices* y diferentes niveles de defoliación. *Rev. Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(3): 627-635p.
- Patiño, V.F. y GARZON, B.L. 1976. Manual para el establecimiento de ensayos de procedencias. Bol. Div. Inst. Nac. Invest. For. 43. México. 61 p.
- Patiño, V. F. 1997. Genetic resources of *Swietenia macrophylla* and *Cedrela odorata* in the neotropics: Priorities for coordinates actions. *Forest Genetic Resources* No. 25. FAO, Roma. 12 p.
- Pennington, T., D. y Sarukhan, J. 1968. Manual para la identificación de los principales árboles tropicales de México. INIF. México. 463p.
- Pennington, T. R., Prado, D. E., & Pendry, C. A. (2000). Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. *Journal of Biogeography*, 27(2), 261– 273. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2000.00397.x>



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
Centro de investigaciones Tropicales

- PNUMA. Anuario 2010. Kenia. 2011.
- Quijada, M.R. 1980. Selección de árboles forestales. En: Mejora Genética de Árboles Forestales. Estudio FAO, Montes (20): 169-176p.
- Ramírez, G. E. 2005. Evaluación del crecimiento de una plantación comercial de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) manejada intensivamente en el sur de Tamaulipas. Tesis de Licenciatura. Escuela nacional de agricultura. Chapingo, Estado de México. 43-50 p.
- Rocas, A. N., Vázquez, T. M. y Sánchez S. O. 2010. Árboles de Veracruz. 100 especies para la reforestación estratégica. Gobierno del Estado de Veracruz. Centro de Investigaciones Tropicales. 59 p.
- Rodríguez, R. G.; Dorantes, L. J. y Aquino, R. E. 2009. Ensayo de especies forestales en la zona cálida del centro del estado de Veracruz, México. Xalapa, México. Rev. Foresta Veracruzana, 11 (1): 19-24p.
- Rodríguez A., R., A.M. Ramírez A., H. Palacios J., F.J. Fuentes T, J.A. Silva G y A.R. Saucedo C. 2015. Características anatómicas, físico-mecánicas y de maquinado de la madera de mezquite (*Prosopis velutina* Wooton). Revista Mexicana de Ciencias Forestales 6(28):156-173.
- Rojas, M. G. 1995. Experiencias de plantación comercial de *Cedrela odorata* L. en sistemas agroforestales en la región de los Tuxtla, Veracruz. In: Memoria de experiencia profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de ciencias forestales y del ambiente. Chapingo, México. 114p.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. 432p.
- Rzedowski, J. 1992. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. P.p. 313-335. In: Diversidad biológica de Iberoamérica. Acta Zoologica Mexicana. G. Halffter S. (Compilador). Primera Edición. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz, México.
- Rzedowski, J. 1998. Diversity and origins of the phanerogamic flora of Mexico. En: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa. (Eds.). Diversidad biológica de México: orígenes y distribución. Instituto de Biología, UNAM. México.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
Centro de investigaciones Tropicales

- Sánchez, M. V.; Salazar, G. J. G.; Vargas, H. J. J.; López, U. J. y Jasso, M. J. 2003. Parámetros genéticos y respuesta a la selección en características del crecimiento de *Cedrela odorata* L. Rev. Fitotec. Mex. 26 (1): 19 – 27p.
- Santos, L. 2014. Ecología evolutiva de la reproducción en dos pinos mediterráneos: *Pinus pinaster* Ait. y *Pinus halepensis* Mill. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales. 40: 223-226.
- Sarukhán, J., *et al.* 2009. Capital Natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Conabio. México.
- Semarnat. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación.
- Spurr, S.H. y Barnes, B.V. 1982. Ecología forestal. Traducido al español por Carlos L. Raigorodsky Z. AGT Editor, S.A. México 245p.
- Stat-sofinc. 1996. Statistica: User guides. (2325 East 13th Street, Tulsa ok. 74104). USA.
- Toledo, M. V. 1988. La biodiversidad de Latinoamérica: un patrimonio amenazado. Amb. y Des., IV (3): 13-24 p.
- Warwick, E. I. y Legates, J. E. 1980. Cría y mejoramiento del Ganado. Traducción de la 3^a. Ed. En ingles por R. Elizondeo L. México, McGraw-hill. 604 p.
- Wright, P. 1964. Mejoramiento genético de los Árboles forestales. Estudios de silvicultura y productos forestales (16): 88-123.
- Wright, J.W. 1976. Introduction to Forest Genetics. Academic Press. New York, N.Y. USA. 325 p.
- Wang X, D Lindgren, AE Szmidt, R Yazdani. 1991. Pollen migration into a seed orchard of *Pinus sylvestris* L. and the methods of its estimation using allozyme markers. *Scandinavian Journal of Forest Research* 6: 379-385.
- Williams, L., G., G. Halfter S. Y E. Ezcurra. 1992. Estado de la biodiversidad en México. P.p. 285-311. In: Diversidad Biológica de Iberoamérica. Acta Zoologica Mexicana. G. Halfter (Compilador). Primera Edición. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz. México.



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
Centro de investigaciones Tropicales

Young, R.A. 1991. Introducción a las ciencias forestales. Ed. Limusa. México. 632p.

Zobel, B. y Talbert, J. 1988. Técnicas de Mejoramiento Genético de árboles forestales. Trad. Guzmán, Editorial Limusa, S.A. México. 545p.