

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL



Variación Fenotípica y Selección de Árboles de *Cedrela Odorata* L. en Plantaciones Comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca

Por:

JAZMÍN MARTÍNEZ VÁSQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Variación Fenotípica y Selección de Árboles de *Cedrela Odorata* L. en
Plantaciones Comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca

Por:

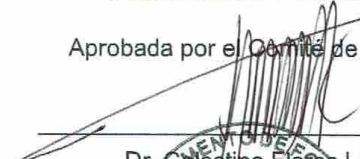
JAZMÍN MARTÍNEZ VÁSQUEZ

TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL


Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Celestino Flores López

Asesor Principal


M.C. Salvador Valencia Manzo

Coasesor


Ing. Juan Morales Hernández

Coasesor


Dr. Gabriel Gallegos Morales

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2018

Esta tesis ha sido apoyada por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave No. 38111-425103001-2175, Proyecto que pertenece al Departamento Forestal, a cargo del Profesor Investigador Dr. Celestino Flores López.

DEDICATORIA

A DIOS SOLO SABIO por darme salud, sabiduría, inteligencia, gracia y amor.

A MIS PADRES: Adiel Martínez López y Rosa Vásquez Martínez que sin medida me dan su amor y cariño, cimentándome con principios y consejos para ser una persona de bien, por su apoyo incondicional en todo tiempo, por esto y mucho más, por siempre estaré agradecida por todo lo que he recibido de ustedes, mi corazón esta nutrido por su amor y mi alma fortalecida por el que yo les tengo.

A MI AMADO: Frederick Rafael Mateo Morales por ser mi compañero en este propósito de preparación profesional, por ayudarme sin medida en tanto, pero sobre todo por tomar mi mano y caminar juntos sobre este objetivo.

A MI HIJO: Frederick Abiú por ser el motivo de despertar cada día con entusiasmo y ganas de seguir adelante tu sonrisa y saber que estás bien me hacen luchar para darte lo mejor cada día. Las bendiciones de Dios no cesan y para mi tú eres mi joya más preciada.

A MIS HERMANOS: Eli, Adalí, Jetzabel, Elizabeth, Nathanael, Gamaliel y Abdiel Isaí por ser los amigos de mi infancia y regalarme tantos momentos de felicidad y estar a mi lado en los momentos de éxito y dificultad de la vida. Por confiar en mí y darme su amor y cariño

A MIS ABUELOS: Zenaido Martínez Cruz, Adela López Santiago, Tomas Vásquez Martínez y Margarita Martínez López, por su ternura y sabiduría para darme sus consejos y compartir sus vivencias, por alientarme a seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

A mi gloriosa ALMA TERRA MATER por brindarme hospitalidad durante mi estancia, por siempre llevaré cada una de las gratas vivencias en ella, gracias a su nobleza pude concluir mis estudios.

Al Dr. Celestino Flores López por estar atento brindando herramientas para adquirir muchos conocimientos partiendo de sus experiencias además de su amistad y confianza, por desempeñar el papel de tutor durante la carrera y ser mi asesor de esta investigación mi profundo agradecimiento.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo, por las atenciones prestadas durante el transcurso de la carrera y en la realización de este trabajo, gracias por compartir con los alumnos consejos y transmitirnos sus conocimientos con dedicación.

Al Ing. Sergio Braham, Ing. Jorge David Flores Flores, Dr. Jorge Méndez González, José Aniceto Díaz Balderas, M.C. José Armando Nájera Castro, Ing. José Antonio Ramírez, Ing. Gil Cabrera y a todos los profesores del Departamento Forestal, quienes me formaron como persona y como profesionista, estaré eternamente agradecida por la paciencia y el afecto correspondido.

Al Ing. Juan Morales Hernández por la atención prestada y el apoyo brindado a mi persona en el desarrollo de esta investigación.

A mis amigos y compañeros de forestal, con quienes emprendí esta travesía, gracias por su confianza, cariño y apoyo, por ser ustedes con quienes compartí la mayor parte de las presiones, pero con trabajo y unión salimos adelante, de ustedes aprendí que la unión y el trabajo en equipo hace de cada reto un verdadero éxito, por permitirme conocerlos, convivir con ustedes en las prácticas, en las aulas y gracias a

esto hacer los momentos difíciles más ligeros. Por siempre alfas vivieran en mi corazón, y los chicos del nogal por las risas imparables.

A las compañeras y amigas Guadalupe Rivas, María de Lourdes Mauro, Lizeth Avendaño, Virginia Castañeda por ayudar en la recolección de datos y por su amistad.

A Merari Magdali Velázquez Castillo, Lizeth Avendaño López, Adrián Rodríguez Moctezuma, Jonathan Sánchez Torres, Lorenzo Montalvo, Jesús Pérez, Deisy Gutiérrez, Luis Miguel España, Juan Hernández, Lourdes Ortiz, Alejandro Gómez y Alejandro Sánchez con quienes compartí todo el tiempo de este bonito sueño, los llevo en mi corazón y las palabras no alcanzan para describir todo el afecto, cariño, y respeto que les tengo.

A mi amiga Ana Lilia Martínez Méndez por su amistad de tantos años, gracias por estar pendiente de mí, y aunque a la distancia me has ayudado a seguir adelante con porras y palabras de aliento.

A Cristina García Morales porque en el poco tiempo de conocerte me has demostrado todo tu apoyo en todo momento.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
1 INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 Objetivos e hipótesis	9
2 REVISIÓN DE LITERATURA	11
2.1 <i>Cedrela odorata</i> L.....	11
2.1.1 Descripción de la especie.....	11
2.1.2 Importancia en México.....	12
2.2 Mejoramiento genético	13
2.2.1 Unidades productoras de germoplasma	14
2.2.2 Métodos de selección de árboles superiores.....	17
2.2.2.1 Método de selección de árboles testigos.....	19
2.2.2.2 Método de selección de árboles por regresión o de línea base.....	20
2.2.3 Establecimiento y manejo de huertos semilleros	21
2.2.4 Heredabilidad, ganancia, diferencial de selección e intensidad de selección.....	22
2.3 Estudios relacionados con selección de árboles superiores en especies tropicales.....	23
3 MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1 Descripción del área de estudio	26
3.1.1 Ubicación geográfica	26
3.1.2 Edafología.....	26
3.1.3 Hidrología	26
3.1.4 Clima	27
3.1.5 vegetación	28

3.2 Levantamiento de datos	28
3.3 Selección de árboles superiores	29
3.7 Definición de la población base y selección de mejores árboles de <i>Cedrela odorata</i> L.....	32
3.8 Determinación del diferencial de selección e intensidad de selección en árboles selectos de <i>Cedrela Odorata</i> L.	34
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1 Caracterización fenotípica de la plantación	35
4.2 Calificación de árboles seleccionados.....	36
4.3 Diferencial de selección e intensidad de selección en árboles <i>Cedrela odorata</i>	37
5 CONCLUSIONES.....	42
6 RECOMENDACIONES	43
7 LITERATURA CITADA	44

ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Valores promedio, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación de las características de los árboles de <i>Cedrela odorata</i> evaluadas para la población base (n = 572).....	35
Cuadro 2. Valores promedio y diferencial de selección que se genera en cada una de las características de interés en plantaciones comerciales de <i>Cedrela odorata</i>	39

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localización de plantaciones de <i>Cedrela odorata</i> L. En los predios el Pénjamo y el Carnizuelo, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca (INEGI, 1998).....	27
Figura 2. Formato para seleccionar árboles superiores de cedro rojo (<i>Cedrela odorata</i> L.)	30
Figura 3. Modelo de un árbol de <i>Cedrela odorata</i> L. y sus relaciones morfométricas.	33
Figura 4. Frecuencias por puntaje total de árboles candidatos a superior de <i>Cedrela odorata</i> L. en San José Chacalapa Pochutla Oaxaca.	36

1 RESUMEN

En este estudio se realizó la selección de árboles de *Cedrela odorata* L. en plantaciones de enriquecimiento de acahual en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. en los predios El Pénjamo y El Carnizuelo a una edad 20 años y 17 años al 2017. Al principio se ubicaron 572 árboles (población base), en una superficie de 102 hectáreas, a la que se le denominara población base, donde se identificaron 143 candidatos a superior que representa una intensidad de selección de 1.39 árboles por hectárea Se ubicaron 143 árboles con características superiores, estos árboles se tenían georreferenciados y señalizados.

Las características evaluadas fueron diámetro, altura, el volumen se obtuvo de tablas de volumen construidas para estos predios, la forma de copa, rectitud, poda natural, diámetro de copa, el volumen de copa determinado a partir de una fórmula para volumen esférico. Se consideraron también índices de caracterización de la copa para describir a los árboles plus, como índice de espacio vital, índice de amplitud y forma de copa.

Los árboles plus se determinaron al evaluar los 143 árboles candidatos respecto a los 3 árboles testigos, determinando el puntaje para características como poda, rectitud, altura, volumen y diámetro. Se seleccionaron los 20 mejores árboles en base a la puntuación general.

Se determinó el diferencial de selección e intensidad de selección con base en los valores promedio de la población base y de los árboles plus. Se obtuvo al menos una desviación estándar en la característica de volumen con 1.04 de intensidad de selección y con valores inferiores de 0.86 en diámetro y 0.74 en altura.

Las variables de copa en el análisis morfométrico sirvieron como indicadores en la selección de los árboles.

Palabras clave: selección fenotípica, árboles superiores, diferencial de selección, intensidad de selección.

ABSTRACT

In this study, the selection of *Cedrela odorata* L. Trees was made in acahual enrichment plantations in San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. In the Pregod the Pénjamo and the Carnizuelo at an age 20 years and 17 years to the 2017. At the beginning were located 572 trees (base population), on an area of 102 hectares, which was called the base population, Where we identified 143 candidates for superior representing an intensity of selection of 1.39 trees per hectare were located 143 trees with superior characteristics, these trees were georeferenced and signposted.

The evaluated characteristics were diameter, height, volume was obtained from tables of volume built for these properties, the form of Cup, straightness, natural pruning, cup diameter, the volume of cup determined from a formula for spherical volume. The Crown characterization indexes were also considered to describe the plus trees, such as life Space Index, amplitude index and cup form.

The plus trees were determined by evaluating the 143 candidate trees with respect to the 3 witness trees, determining the score for characteristics such as pruning, righteousness, height, volume and diameter. The 20 best trees were selected based on the overall score.

The selection and intensity selection differential was determined based on the average values of the base population and the plus trees. At least one standard deviation was obtained in the volume characteristic with 1.04 of selection intensity and with lower values of 0.86 in diameter and 0.74 in height.

The variables of cup in the analysis Morphometric served as indicators in the selection of the trees.

Key words: phenotypic selection, upper trees, selection differential, intensity of selection.

1 INTRODUCCIÓN

Dentro de la producción forestal maderable se utilizan dos denominaciones generales para clasificar la madera. Por su origen la madera se clasifica en dos tipos, la madera de coníferas que en su mayoría forman parte del grupo de las gimnospermas; y las latifoliadas que se trata de especies correspondientes al orden de ciertas angiospermas dicotiledóneas. En las latifoliadas se encuentran las maderas preciosas, las dos especies que conforman este grupo son *Swetenia macrophylla* K. y *Cedrela odorata* L. las cuales se encuentran en las zonas tropicales, que por sus propiedades y características estéticas son de alta estimación y tienen un alto valor comercial en 2015 obtuvo los mejores precios medios, 2,577.14 pesos por m³r, sin embargo, para la producción forestal maderable nacional solo aporta 13,378 m³r los cuales corresponden a 0.2% del total de la producción (INEGI, 2001; SEMARNAT, 2016).

De las dos especies mencionadas por su importancia económica, *Cedrela odorata* es una especie empleada para reforestar zonas degradadas de selva, también por las características de la especie mejora la fertilidad del suelo y controla la erosión. Se ha empleado en sistemas agroforestales pues es tutor de especies como cacao y café. La madera es preferentemente usada para la fabricación de muebles finos. Desde hace más de 200 años los terrenos donde se encontraba esta especie de forma natural han sido desprovistos de vegetación por el pastoreo, así como por el establecimiento de cultivos como los cafetales y cacaotales. Sin embargo, *Cedrela odorata* es aprovechada irracionalmente, por esta razón se encuentra sujeta a “sujeta a protección especial” (Pr), en la Norma-059-SEMARNAT-2010 por lo tanto si no se toman las medidas correspondientes existe la posibilidad que a mediano plazo se extinga en su estado silvestre (Bertoni, 1978; SEMARNAT, 2010).

Por lo tanto, una solución a la problemática de sobreexplotación de la especie es el establecimiento de plantaciones comerciales, puesto que cada día aumenta la demanda de la madera. En México, en materia de plantaciones forestales comerciales, la SEMARNAT mediante su programa para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales (PRODEPLAN) apoyaba a los dueños o poseedores de terrenos preferentemente forestales o temporalmente forestales a promover las plantaciones forestales comerciales a través de la asignación de recursos federales, mediante

apoyos de carácter temporal que permitan compensar parcialmente los costos de establecimiento y mantenimiento y la elaboración de programas de manejo de la plantación (CONAFOR, 2016).

Actualmente se han realizado plantaciones en pequeña escala, sin embargo, en su mayoría el germoplasma es de origen desconocido o no mejorado; mientras que otras han fracasado por no considerar las características fisiológicas y morfológicas adecuadas de la planta en el vivero, unas más exitosas porque han considerado el mejoramiento genético como una alternativa viable en apoyo a las plantaciones, disminuyendo los costos en el manejo de la plantación (Faulkner, 1962).

Cabe señalar que el mejoramiento genético se puede lograr a través de selección de árboles superiores donde se incrementa el diferencial de selección obteniendo grandes ganancias. Para lograr tal objetivo es necesario identificar árboles con características superiores al promedio, denominados árboles plus o árboles superiores (Barner *et al.*, 1988).

Para *Cedrela odorata* se pretende obtener ganancias genéticas con material más resistente a la plaga *Hypsipyla grandella* Zeller (orden Lepidóptera y familia *Pyralidae*) que es el gusano barrenador de las meliáceas, cuyo daño principal es la perforación de los brotes nuevos, especialmente el brote terminal, el cual bifurca los tallos; esto impide la formación de fustes rectos, disminuyendo el valor comercial del árbol lo cual hace que la madera sea de menor calidad y por lo tanto devalúa su costo (CATIE, 1997).

Actualmente lo relacionado a árboles superiores y a unidades productoras de germoplasma forestal lo establece la norma mexicana NMX-AA-169-SCFI-2016 que señala las especificaciones técnicas que se deben cumplir para obtener la certificación del proceso de establecimiento y manejo de las unidades productoras de germoplasma forestal o de los centros de acopio y beneficio de germoplasma, que pueden ser en huertos establecidos o en poblaciones naturales forestales, así como los procedimientos técnicos y administrativos a seguir, durante su recolección, transporte, acopio, beneficio, valoración y certificación. También dentro de esta norma se encuentran definidos los criterios para selección de árboles superiores a acatar para promover apoyos o líneas de oportunidad para que los programas de mejoramiento al seguir un protocolo de desarrollo y que sean financiados por organizaciones gubernamentales con el fin de evitar la fragmentación del ecosistema, propiciando su

regeneración natural y protegiendo el germoplasma de las especies que lo constituyen (SCFI, 2016).

Como interés del estudio se parte de plantaciones comerciales de *Cedrela odorata*, establecidas por el grupo empresarial la Asunción, mediante su filial Agrosilvícola San José S. P. R de R.I en Chacalapa Pochutla, Oaxaca, con el propósito de enriquecer vegetación de acahual y restauración de suelo en la zona tropical de la región Costa de Oaxaca, e incrementar el volumen maderable con especies locales de alto valor. En este sentido la presente investigación tiene la finalidad de seleccionar árboles superiores de *Cedrela odorata*, con las mejores características fenotípicas en las plantaciones forestales establecidas en San José Chacalapa con el propósito de contribuir a mejorar la calidad de la planta que se utiliza en la restauración e incremento de la supervivencia y productividad de las plantaciones forestales comerciales (Adjers *et al.*, 1995; Morales, 2004).

1.1 Objetivos e hipótesis

El objetivo general del trabajo fue determinar el diferencial de selección para plantaciones comerciales de *Cedrela odorata* en San José Chacalapa, Pochutla; Oaxaca. mediante el método árboles testigos utilizado para selección fenotípica.

Los objetivos específicos fueron:

- Describir la variación fenotípica obtenida en el método de selección de árboles testigos.
- Estimar el diferencial de selección e intensidad de selección con base en los valores promedio de la población seleccionada y de la población base para cada una de las características económicas consideradas: diámetro, altura, volumen, forma de copa, rectitud, poda natural, diámetro de copa.
- Proponer árboles plus

La hipótesis nula (H_0) y alterna (H_1) propuestas fueron:

H_0 : El diferencial de selección es al menos de una desviación estándar en alguna de las variables medidas tales como diámetro, altura, volumen, forma de copa, rectitud, poda natural, diámetro de copa.

H_1 : El diferencial de selección no es de al menos una desviación estándar en alguna de las variables medidas tales como, altura, volumen, forma de copa, rectitud, poda natural, diámetro de copa.

2.1 *Cedrela odorata* L.

2.1.1 Descripción de la especie

Cedrela odorata L. pertenece a familia meliaceae, comúnmente se le conoce como cedro rojo, nombre aplicado en toda su área de distribución; aunque también es llamado como cedro colorado, cedro de La Habana, cedro real, cedro oloroso, culche, aka (Veracruz), acuy (lengua zoque, Chiapas), chujté (Chiapas), calicedra (Puebla), cedro rojo (Oaxaca), mo-ni (lengua chinanteca, Oaxaca), noriten (Michoacán), pucsnnunqui-ui (lengua mixe, Oaxaca), pukgsnankiwi (Veracruz), culché, k'uche', kulché, k'ul-ché, kuché, k'uyche' (lengua maya, Yucatán), icte (lengua huasteca, San Luis Potosí), toronjil (Hidalgo), toronjillo (Michoacán), tzompili-huizpatli, tzompilihuizxihuitl (lengua azteca) (Andrade y Solís, 2004).

El árbol puede llegar a medir hasta 35 metros de altura y alcanzar un diámetro normal de 1.7 m, en ocasiones forma pequeños contrafuertes poco prominentes. Sus ramas son ascendentes y gruesas, su copa es redonda y densa. De 100 a 300 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP), con fuste cilíndrico. La forma depende de la profundidad del suelo, ya que en suelos poco profundos desarrolla un extenso sistema radical superficial y aletones bien desarrollados, mientras que en suelos profundos y fértiles las raíces son profundas y el tronco aflautado. La copa es amplia y rala. Las flores son blanco verdosas, agrupadas en racimos de 30-50 cm al final de las ramas. Los frutos son cápsulas, inicialmente verdes y cambian a café oscuro cuando maduran (CATIE, 1997).

Las hojas son dispuestas en espiral, paripinnadas o imparipinnadas, de 15 a 50 cm de largo incluyendo el pecíolo, compuestas por 10 a 22 folíolos opuestos o alternos. Los árboles de esta especie tiran las hojas cuando han madurado totalmente los frutos de la temporada anterior, antes de florecer, además, poseen un penetrante olor a ajo cuando se estrujan (Pennington y Sarukán, 2005).

En México se distribuye en la vertiente del Golfo desde el sur de Tamaulipas y sureste de San Luis Potosí, hasta la península de Yucatán y en la vertiente del Pacífico desde Sinaloa hasta Guerrero, así como en la Depresión Central y Costa de Chiapas.

Alcanza sus máximos tamaños e incrementos en zonas con precipitaciones entre 2,500 y 4,000 mm anuales; en zonas con precipitación pluvial mucho menor, el árbol no se desarrolla tan bien y presenta fustes cortos y frecuentemente torcidos (Pennington y Sarukán 1998).

2.1.2 Importancia en México

El cedro después de la caoba es una de las especies de maderas preciosas más importante en la industria forestal de México. Su madera de características excelentes se usa para obtener vigas, tablas y chapas, así como para fabricar diversos artículos torneados, cajas de puros y hacer tallas. El uso más indicado para esta especie, por el bello jaspeado de su madera, es la fabricación de chapas y madera terciada para exportación, además se producen aceites o sustancias de interés farmacéutico y químico (Pennington y Sarukán 1998).

Actualmente en los estados de Campeche y Yucatán se han establecido alrededor de 3,500 hectáreas de plantaciones de *Cedrela odorata* y que la especie es una de las preferidas por los productores para incorporarla en sistemas agroforestales (Patiño, 1997).

En la Península de Yucatán, México, es común observar individuos adultos de *Cedrela odorata*, con diámetros en ocasiones hasta de 60 cm formando parte de los patios de las casas, donde los dueños consideran a los árboles de la especie como un ahorro para el futuro. Es importante señalar que parte de la madera que se comercializa de la especie, sobre todo en el Estado de Yucatán proviene de éstos árboles cultivados en las casas (Patiño, 1997).

En Tabasco *Cedrela odorata* es utilizado en huertos familiares, se considera juntamente con los platanares especies principales generadoras de ingresos y son las más abundantes, el jefe de familia usa la madera para elaborar muebles en su taller de carpintería. En los huertos estas especies interaccionan mutuamente pues el plátano ayuda al cedro a formar un fuste recto y las copas abiertas de los cedros transmiten suficiente luz para que crezcan los plátanos, además otra combinación de los huertos es con el mango (*Mangifera indica* L.), macuil (*Tabebuia rosea* B.) y pitche (*Enterolobium cyclocarpum* J.) además de cítricos (Der et al., 2011).

El precio de los servicios ambientales que brinda el cedro rojo es invaluable, pues se encuentra como vegetación secundaria en diversas selvas como indicador de restauración y recuperación de selvas, pero a la vez se encuentra frecuentemente en el estrato superior de las selvas maduras para mantener la resiliencia del ecosistema y mitigar los impactos del cambio climático. Provee servicios ambientales a los cuatro niveles de la biodiversidad: gene, especie, ecosistema y función (Romo *et al.*, 2017).

En los programas de manejo de las áreas naturales protegidas (ANP) *Bursera simaruba* L., *Rhizophora mangle* L., *Cedrela odorata* y *Avicennia germinans* L. fueron las especies de latifoliadas presentes en un mayor número de ANP (CONAFOR, 2011).

Los árboles en ecosistemas tropicales contrarrestan los daños causados por los desastres naturales como los huracanes, por ello se hace presente la necesidad de recolectar y conservar germoplasma de especies forestales vulnerables o de difícil recolección, y en categoría de riesgo, para asegurar su reproducción y establecimiento, pues los desastres naturales ocasionan pérdida de los recursos genéticos forestales (CONAFOR, 2011).

2.2 Mejoramiento genético

El mejoramiento de árboles forestales es la aplicación de la genética forestal con el objeto de obtener árboles genéticamente mejores para la repoblación; 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).

Las actividades de mejoramiento genético forestal se empezaron a practicar después de comprender que el desarrollo de los árboles no solo depende del ambiente donde se desarrollan, sino también de las características de los padres. Mediante cruza y control de los padres las nuevas generaciones serán de mayor calidad, con mejor desarrollo. En varios países del mundo el interés de la aplicación del mejoramiento genético forestal aplicado surgió rápidamente a principios de la década de los 50's (Zobel y Talbert, 1988).

Países como Sudáfrica, Estados Unidos y Chile se han convertido en potencias forestales a través del manejo de semillas de orígenes conocidos para establecer plantaciones de alto rendimiento. Actualmente se produce semilla mejorada en muchas partes del mundo para plantaciones con diversos objetivos. La variación es de gran importancia en los trabajos de genética y mejoramiento genético forestal. El primer programa de mejoramiento genético forestal lo inició el Centro de Genética Forestal A.C. en 1985, en el estado de Durango en la Unidad de Administración Forestal No. 6 de El Salto con la colaboración del grupo Guadiana (Alba, 1996).

Según la compilación de Zobel y Talbert (1988), los científicos definen genética forestal como las actividades que se limitan a estudios genéticos, su objetivo es determinar las relaciones genéticas existentes entre los árboles y las especies, por ejemplo: el intento por determinar los patrones de cruce entre las especies de un género. La genotecnia forestal abarca las actividades encaminadas a la solución de un problema en específico o la producción de un producto deseado por ejemplo el desarrollo de árboles resistentes a plagas y enfermedades o árboles que posean madera especialmente deseada.

Los programas de mejoramiento genético forestal constan de lo siguiente:

- a) Determinación de las especies, o fuentes geográficas dentro de una especie, que deben utilizarse en un área determinada
- b) Determinación de la cantidad, tipo y causas de la variabilidad dentro de la especie
- c) Agrupamiento de las cualidades deseadas en individuos mejorados, para obtener árboles con combinaciones de las características deseadas
- d) Producción a gran escala de los individuos mejorados con fines de reforestación
- e) Desarrollo y mantenimiento de una población con una base genética bastante amplia para satisfacer las necesidades de las generaciones avanzadas.

2.2.1 Unidades productoras de germoplasma

Una estrategia de rescate, conservación, restauración y manejo forestal de los fragmentos de vegetación nativa de nuestro país son las fuentes semilleras o unidades

productoras de germoplasma forestal (UPGF) que es de donde se recolecta semilla. Las comunidades rurales marginadas que aún poseen reductos de vegetación original pueden usarlas en forma productiva, mejorar sus ingresos y promover la conservación de la biodiversidad. El objetivo de las UPGF es obtener semilla con ganancia genética que permita incrementar la sobrevivencia y calidad de los trabajos de reforestación y plantaciones forestales comerciales (CONAFOR, 2018).

En las unidades productoras de germoplasma como el objetivo es mejora genética, esto se hace a través de selección hecha por el mejorador de aquellos individuos que servirán para propagar, entre una población de mayor tamaño. Puede hacerse para escoger una característica deseada o más características. Puede basarse en el árbol mismo (selección fenotípica) o en la progenie del árbol, o demás emparentados que es selección genotípica (Prüller, 2003).

La selección de las características deseables para árboles semilleros dependen de los objetivos del proyecto o programa en el cual se van a usar. Por ejemplo, para una plantación de producción de madera, las características idóneas son árboles sanos, vigorosos, con fustes rectos y largos, poca ramificación y alta producción de semillas. Para la selección de individuos superiores es necesario que estos cuenten con producción de semillas, deben ser dominantes, sanos y vigorosos. Se evalúa con fines de conservación/restauración y económicos (García *et al.*, 2011; CONAFOR, 2015).

Proteger novedades evolutivas detectadas a través de divergencia entre fenotipos, o de la localización de genotipos asociados a condiciones ambientales particulares, puede ser objeto de planes de conservación, manejo o ser la base del mejoramiento genético de especies y variedades de interés productivo. Distintos parámetros genéticos pueden utilizarse para estimar la composición genética de las poblaciones, generalmente definidas en forma arbitraria como un conjunto de individuos de la misma especie que coexisten en el tiempo y espacio. Estas medidas genéticas cuantifican la diversidad tanto dentro como entre distintas poblaciones. Por ello es importante definir la escala espacial utilizada como así también los patrones de variación espacial subyacentes en las condiciones del ambiente físico. Asimismo, las poblaciones cambian su composición genética a lo largo del tiempo en respuesta a distintos eventos que modifican los regímenes de selección, las tasas de flujo génico y deriva que las afectan (Premoli *et al.*, 2011).

Un interés primordial en conservación es preservar la viabilidad de las especies y las poblaciones en el largo plazo. Muchas de las especies amenazadas consisten de poblaciones pequeñas y aisladas de otras de la misma especie, convirtiendo a las consecuencias genéticas y demográficas de los tamaños poblacionales en un tema central en biología de la conservación. La reducción de los tamaños poblacionales son temas de gran interés en conservación pues se relacionan a la depresión endogámica que es una reducida viabilidad y fecundidad y la pérdida de variación genética en las poblaciones (Premoli *et al.*, 2011).

El Centro Nacional de Recursos Genéticos está desarrollando investigaciones para la conservación a largo plazo de semillas recalcitrantes de especies forestales tropicales, a través de protocolos de investigación *in vitro*, crecimiento mínimo y crio preservación, a partir de tejidos somáticos; además se generan y se validan protocolos para el almacenamiento de semillas ortodoxas de especies tropicales en cámaras frías parte de los huertos y bancos están fundamentados en proyectos de investigación y aún no están en condiciones para producir semilla genéticamente mejorada en forma intensiva para su uso en plantaciones forestales comerciales. Cabe señalar que en estos huertos y bancos no se dispone de información sobre cruces controladas (FAO, 2012).

Los ensayos y huertos establecidos con propósitos de mejoramiento genético son de reciente creación y en su mayoría se mantienen en su fase experimental. De manera incipiente, las empresas plantadoras de mayor capacidad económica empiezan a utilizar germoplasma mejorado por ellas mismas. Actualmente no existen políticas o lineamientos que obliguen la utilización de material genéticamente mejorado en la producción de planta para la reforestación, con fines comerciales, cultivo de bosque, conservación, y de restauración. Además de establecimiento de huertos semilleros asexuales para especies de coníferas en 2011 la CONAFOR propuso normas mexicanas para viveros y germoplasma forestal, se tiene previsto asegurar al 100% la producción de planta con estándares de calidad, incluyendo el germoplasma utilizado, mismo que deberá provenir de unidades productoras con selección fenotípica y/o genotípica, que permita mejorar la supervivencia y productividad de las futuras plantaciones que se realicen en el país (FAO, 2012).

2.2.2 Métodos de selección de árboles superiores

La naturaleza ha creado variación necesaria para utilizarla en los programas de mejoramiento genético forestal. La tarea principal del mejorador forestal es ser capaz de reconocer la variabilidad, aislarla, reunirla en un árbol deseado y multiplicarla. En el mejoramiento genético forestal la materia prima es la variación genética natural y su objetivo es reconocerla, evaluarla, aislarla, reunirla y replicarla en los ambientes propicios para obtener las ganancias deseadas. Esto permite que la actividad forestal sea rentable en términos económicos y ecológicos, promoviendo la conservación de la biodiversidad de una región con árboles deseables que se puedan multiplicar masivamente como un recurso renovable y fácilmente cosechable (Alba, 1996).

Existen varios métodos para seleccionar árboles plus y por lo general cada programa de mejoramiento lo desarrolla dependiendo de la especie, las características del rodal o de la población, de los objetivos particulares y de los recursos disponibles. Sin embargo, casi todos los métodos son variaciones, modificaciones o combinaciones de dos o tres métodos generales. Lo importante es la selección se realice con un mismo método, para poder tener árboles medidos con un mismo criterio (Ipinza, 1988).

Ipinza (2017) describe tres métodos generales: método de valoración individual que se usa cuando se selecciona en bosques incoetáneos o heterogéneos donde los árboles se encuentran generalmente dispersos y son de edades distintas y desconocidas y/o cuando la población está formada por árboles aislados. Método de árboles de comparación el cual se aplica normalmente en rodales naturales coetáneos o en plantaciones y el método de selección por regresión o de la línea base que se aplica en rodales naturales coetáneos o incoetáneos.

En materia de selección de árboles superiores en un área semilleras de *Abies religiosa* en Michoacán, México. Compararon dos métodos los cuales fueron por regresión lineal y selección de árboles superiores por el método de árboles testigos o de comparación (Muñoz *et al.*, 2012).

En otra investigación acerca de este tema, Balcorta y Vargas (2004) realizando un estudio de variación fenotípica y selección de árboles en una plantación de melina

(*Gmelia arborea* Linn., Roxb.) de tres años de edad emplearon el método de árboles testigos, además de la determinación del diferencial de selección.

La primera fase en un programa de mejoramiento para cualquier especie, es la selección de fenotipos superiores dentro de una población (Wright, 1964; Ledig 1979). Para el establecimiento de huertos semilleros la selección de masas simple es uno de los métodos aplicados mundialmente, es solamente una medida estadística de las diferencias individuales en la capacidad de transmitir genes a la generación siguiente. En relación con la especie, ha sido efectiva para aumentar el crecimiento, la forma y resistencia, con las mismas características, es a bajo costo cuando son aplicados tratamientos silvícolas previos donde se eliminen todos los árboles de poco crecimiento y mala forma de un rodal para aprovecharlo como rodal semillero (Lombardi y Nalvarte, 2001).

En los programas de mejoramiento genético forestal, la selección de las especies y procedencias es seguida normalmente por la selección de árboles plus para formar la población de mejoramiento. Gran parte de las diferencias que existen entre los árboles son de origen genético y representan una fuente de variación muy importante que puede ser aprovechada por los mejoradores forestales. La selección de árboles plus determina en gran medida la magnitud de la ganancia genética que se obtendrá en la primera como en las siguientes generaciones, por lo que se debe poner especial cuidado en su ejecución. Idealmente se busca aumentar la intensidad de selección para obtener una mayor ganancia genética y, al mismo tiempo, se trata de mantener una base genética amplia que posibilite la obtención de ganancias a través de muchos ciclos sucesivos de mejoramiento (Ipinza, 1997).

Según Quijada (1980), el éxito de la selección a partir del fenotipo, expresado como ganancia genética, depende de varios factores, entre los cuales destacan el tipo y número de caracteres en la selección, la intensidad de selección y el método de propagación.

Según la literatura el número de características afecta la respuesta a obtener, por tal motivo se recomienda considerar en primer término, aquellos de más fácil manipulación, pero a la vez importantes tales como rectitud del fuste, bifurcación, vigor, Keiding (1974) sugiere de 1 a 3 características en cada ciclo de selección (Detrinidad, 1993).

La intensidad de selección mide en cuantas desviaciones estándar excede a la media de la población base de los individuos seleccionados, se determina en diferentes formas. Una de ellas es por medio del diferencial de selección, que se define como el valor fenotípico promedio de los individuos seleccionados, expresado como una desviación de la media de la población y se estima de la diferencia entre el promedio de la población seleccionada y el promedio de la población original (Cornelius, 1991).

2.2.2.1 Método de selección de árboles testigos

La aplicación del método de árboles de comparación consiste en la comparación del árbol candidato con los árboles vecinos para las características que son objeto de mejoramiento. Frecuentemente, la comparación se efectúa con respecto de los cinco mejores árboles que existen dentro de una vecindad, la cual normalmente se define como un círculo de 10 a 20 metros de radio, con el árbol candidato como centro. Para la aplicación del método se utiliza un formulario de campo donde se anotan las medidas o puntajes asignados a los árboles de comparación y al árbol candidato. Posteriormente se efectúan los cálculos para obtener el diferencial de selección o el puntaje final del árbol candidato, el cual depende de la superioridad del candidato con respecto a los de comparación. El método de árboles de comparación tiene la ventaja de que a través de la comparación se elimina el efecto de las diferencias de edad (compara árboles de la misma edad) y minimiza el efecto de las diferencias de sitio (compara árboles vecinos), lo que, como se explicó en el capítulo anterior, aumenta la heredabilidad y, por tanto, la ganancia genética (Ipinza, 1988).

Este método se aplica normalmente en rodales naturales coetáneos o en plantaciones, en donde generalmente es posible encontrar suficientes árboles vecinos para poder hacer una comparación fenotípica adecuada, especialmente de las características que son más afectadas por la edad. El método también se puede aplicar en rodales multietáneos puros para características que no sean afectadas por la edad. El método de selección de árboles testigos es apropiado para rodales coetáneos en este caso la plantación, además, permite hacer una selección eficiente y objetiva de los árboles superiores por su estricto criterio al utilizar diversas variables comparativas con

los árboles testigos como la altura total, altura del fuste limpio, rectitud del fuste, copa, volumen (Zobel y Talbert, 1988).

Cuando se aplica este método y se calcula el diferencial de selección con respecto a la media de los cinco mejores vecinos más el árbol candidato, se puede interpretar que se ha definido como población base sólo aquella parte del rodal que formará parte de la cosecha al final del turno. En este caso, el diferencial de selección es una estimación de la diferencia entre la media de los árboles seleccionados y la media del rodal final una vez hechos todos los raleos. La ganancia genética que se estime usando este diferencial de selección es la ganancia con respecto al rodal final y no de todo el rodal. Cuando el árbol candidato se compara con el promedio de todos los árboles vecinos (incluyendo el candidato) se puede obtener una estimación del diferencial de selección con respecto de todo el rodal, tal como se encuentra en el momento en que se efectúa la selección (Ipinza, 1988).

2.2.2.2 Método de selección de árboles por regresión o de línea base.

El método de selección por regresión o de la línea base se aplica en rodales naturales y para aplicarlo es necesario conocer con seguridad la edad de cada árbol, por ejemplo, mediante un taladro de incremento se extrae una viruta o cilindro de incremento, y se cuentan los anillos de crecimiento en sitios con estaciones climáticas bien definidas (Ipinza, 1988).

El método consiste en el desarrollo de curvas (regresiones) para las variables de interés que dependen de la edad o de algún otro factor. Por ejemplo, si el árbol candidato es de edad conocida y su volumen supera el predicho por la regresión edad - volumen, entonces el árbol puede ser seleccionado. En general, se puede fijar la superioridad del valor real sobre el valor de regresión en un mínimo para aceptar al árbol candidato como árbol plus. Este mínimo puede ser expresado en términos absolutos, porcentaje o en relación a la desviación estándar. Para aplicar este método se deben elaborar curvas para las diferentes calidades de sitio donde se pretende efectuar la selección (Zobel y Talbert, 1988).

Este procedimiento consiste en la selección individual de árboles, donde el árbol candidato no es comparado con árboles de su misma especie (testigos) y es selecto si

excede por una cantidad arbitraria al promedio de una regresión base, como resultado de la relación que existe entre la altura o el diámetro con la edad (Ledig, 1973).

2.2.3 Establecimiento y manejo de huertos semilleros

Un rodal semillero se define como un grupo de árboles de la misma especie, que es mejorado mediante la remoción de individuos indeseables y manejados para estimular la producción pronta y abundante de semilla. El rodal semillero representa una medida provisional para producir semilla de mejor calidad genética a corto plazo, mientras se desarrollan otras formas más avanzadas de producción (Mesén, 1994).

Para muchas especies, un método para la producción de semilla a corto plazo son los huertos semilleros, que son las poblaciones de producción más comúnmente utilizadas en los programas de mejoramiento genético. Los huertos son esenciales para la producción de semilla de alta calidad genética, ya que la semilla se origina a partir de árboles superiores, seleccionados ya sea de poblaciones naturales, plantaciones o ensayos genéticos de programas de generaciones avanzadas. Para muchas especies no se sabe qué tipo de huerto producirá semillas antes (Ipinza y Vergara, 1998).

En el huerto se debe incluir el mejor material disponible y su manejo debe ser el más efectivo posible. Existe la impresión errónea de que los huertos son baratos, pero en la mayoría de los casos es caro su establecimiento y mantenimiento. La decisión de establecer un huerto no debería tomarse a la ligera, y una vez tomada, debería ir acompañada del compromiso de un manejo intensivo, necesario para una producción eficiente de semilla. Los huertos son usualmente una buena inversión, pero el retorno de la inversión depende de un manejo eficiente (Salazar y Boshier, 1989).

La maximización de la ganancia es obviamente el objetivo más importante para un sistema de producción comercial, dadas las restricciones de diversidad, endogamia, etcétera. Para el desarrollo de un programa de primera generación normalmente existirá un gran número de candidatos disponibles para los huertos, en esta fase los árboles plus son fenotípicamente sobresaliente (Emhart *et al.*, 2000).

Un tamaño inadecuado del huerto resultará ya sea en escasez de semillas de alta calidad, o en altos costos por kilo debido al exceso de tamaño. Muchos huertos

recuperan algo de los costos del establecimiento y mantenimiento del huerto (Ipinza y Vergara, 1998).

Con la finalidad de abarcar un volumen más grande de la diversidad genética, se recomienda establecer no solamente un rodal semillero por cada especie, sino varios rodales ubicados estratégicamente a lo largo y ancho de las zonas de distribución. En bosques tropicales se recomienda dejar un árbol semillero por hectárea en áreas de extracción de madera, los rodales semilleros serán aquellos que excedan de 50 árboles semilleros (Lombardi y Nalvarte, 2001).

2.2.4 Heredabilidad, ganancia, diferencial de selección e intensidad de selección

La heredabilidad es la medida del grado en el cual un carácter imprime la influencia de la herencia en comparación con el ambiente y se expresa como la proporción entre la varianza genética y la varianza fenotípica, también se dice que es la proporción de variación total o fenotípica determinada por efectos genéticos (Falconer, 1990).

La valoración de la ganancia es un aspecto de enorme importancia práctica en todo programa de mejoramiento, ya que permite conocer el grado de efectividad del trabajo que se realiza, así como realizar proyecciones financieras necesarias para valorar si es conveniente o no continuar con el programa de mejoramiento genético. La ganancia genética se puede definir como el cambio que ocurre como efecto de la selección en la media de la población. La ganancia genética que se obtiene con la selección artificial de un carácter, depende de la heredabilidad de éste, la cantidad de variación genética presente y la intensidad de selección y por lo tanto del diferencial de selección (Zobel y Talbert, 1988).

El diferencial de selección puede predecirse por adelantado si se mantienen dos condiciones: que los valores fenotípicos del carácter bajo selección estén distribuidos normalmente y que la selección sea por, truncamiento. Esto último significa que los individuos se escogen de manera estricta en orden de mérito juzgado por sus valores fenotípicos, sin que ningún individuo sea seleccionado si es menos bueno que los que han sido rechazados. Bajo estas condiciones el diferencial de selección

depende solamente de la proporción de la población incluida en el grupo seleccionado y de la desviación estándar fenotípica del carácter (Falconer, 1990).

La desviación estándar mide la variabilidad, es una propiedad del carácter y la población, y asienta las unidades en las cuales se expresa la respuesta, esto es, tantas libras, milímetros, metros etc.

La respuesta a la selección se puede generalizar si el diferencial de selección se expresa en términos de desviación estándar fenotípica σ_p . Este diferencial de selección estandarizado S/σ_p se llama intensidad de selección y se simboliza con i . Entonces el diferencial de selección es (Falconer, 1990).

$$S = i\sigma - p$$

La i de diferencial de selección, depende de la proporción de la población incluida en el grupo seleccionado y, siempre que la distribución de los valores fenotípicos sea normal, puede determinarse con las tablas de las propiedades de la distribución normal. Si p es la proporción seleccionada, es decir, la proporción de la población atrás del punto de truncación y z es la altura de la ordenada en dicho punto entonces por las propiedades matemáticas de la distribución normal se tiene que (Falconer, 1990).

$$S/\sigma - p = i = z/p$$

En esta forma, dada solamente la proporción seleccionada, p , podemos encontrar en cuantas desviaciones estándar la media de los individuos seleccionados excederá la media de la población: es decir, la intensidad de selección, i . Los valores de i para valores dados de p (Falconer, 1990).

2.3 Estudios relacionados con selección de árboles superiores en especies tropicales

En una investigación realizada en selección de *Swietenia macrophylla* en selva mediana subperennifolia en Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo, México. Las variables

fueron diámetro normal del fuste; diámetro de copa del árbol (m), altura total (m), altura de fuste limpio (m), índice de esbeltez, calculado como la relación de altura total entre altura del fuste limpio, número de contrafuertes y su altura, y estado fitosanitario con una escala visual de dos niveles, sano o enfermo. La selección de árboles sobresalientes se hizo mediante dos análisis multivariados, uno de componentes principales (ACP) y uno de agrupamiento. Los análisis de componentes principales (ACP) y de agrupamiento permitieron seleccionar los mejores 30 árboles, cuya superioridad sobre la población base fue de 34 cm en diámetro normal, de 2.9 m en altura total y de 1.5 m en altura comercial. El método basado en análisis multivariados es conveniente porque es sencillo, proporciona un soporte estadístico a los programas de mejoramiento genético forestal porque favorece la presencia de características múltiples. La selección resultó efectiva porque los árboles elegidos por el ACP fueron los mejores en campo. Los resultados hacen recomendable el método planteado porque el objetivo se alcanzó satisfactoriamente y estima el valor porcentual de ganancia genética esperada, aunque debe tomarse en cuenta que existe una tendencia a subestimar o sobreestimar los verdaderos valores. Se calculó que el diámetro normal sería 45.36% superior en la nueva generación con relación a la parental (árboles seleccionados). En la altura y fuste limpio, la siguiente generación sólo sería superior en 9.9%. El mayor valor de intensidad de selección aquí estimado fue para el diámetro normal con 2.33; la altura total y el diámetro de copa alcanzaron valores medios de 1.58 y 1.51; y la altura de fuste limpio, el menor valor de intensidad de selección (Gutiérrez *et al.*, 2016).

En este tema Balcorta y Vargas (2004), reportan variación fenotípica y selección de árboles en una plantación de melina (*Gmelina arborea* Linn., Roxb) de tres años de edad ubicada en el municipio de Escárcega, Campeche. Ellos estimaron el diferencial de selección generado con respecto a la media de la población base al elegir los 20 árboles fenotípicamente superiores. Se encontró una amplia variación fenotípica en la plantación, con un coeficiente de variación mayor de 20 % para seis de las ocho características consideradas, excepto densidad de la madera y rectitud del fuste en donde el coeficiente de variación fue de 8.5 y 5.0 %, respectivamente. Se obtuvo un diferencial de selección de 3.8 m en altura, 4.5 cm en diámetro y 0.056 m³ en volumen, mostrando que se pueden obtener ganancias importantes para las características de

crecimiento al seleccionar estos árboles, aun cuando la heredabilidad sea baja. A pesar del menor coeficiente de variación en densidad de la madera y rectitud del fuste, la selección de los 20 árboles fenotípicamente superiores también permite obtener una respuesta favorable en la calidad de la madera.

Vallejos *et al.* (2010) proponen una metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. La metodología se basa en la evaluación fenotípica del árbol candidato y la comparación de su superioridad en relación con sus mejores vecinos en un radio inmediato de 10 a 15 m. La evaluación permite crear un registro del árbol plus y validar la superioridad fenotípica del árbol según los caracteres volumen comercial y calidad. La metodología permite obtener un diferencial de selección, que se puede interpretar como la ganancia potencial a obtener al seleccionar y utilizar los mejores árboles por fenotipo de un 22.9% en volumen comercial y un 21.8% en calidad.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en plantaciones de enriquecimiento de acahual de 17 años de edad en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca, en los predios El Pénjamo y El Carnizuelo con superficie de 72 y 30 hectáreas, respectivamente. Las plantaciones se localizan en las coordenadas 16° 47' de latitud norte y 96°28' de longitud oeste, su distancia aproximada a la capital del Estado es de 230 kilómetros (Morales, 1997).

3.1.1 Ubicación geográfica

San José Chacalapa se encuentra en la región Costa de Oaxaca, en la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur y subprovincia Cuesta del Sur. En la Figura 1 se muestran las áreas plantadas las cuales presentan topoformas: lomeríos y pequeños valles aluviales. Con respecto a la topografía, en los predios hay lomeríos con pendientes entre 0 y 40%, y una altitud sobre el nivel del mar promedio de 239 msnm (Morales, 1997).

3.1.2 Edafología

Según Morales (1997) en ambos predios el tipo de suelo pertenece a la clasificación de regosol eútrico, que, en México constituyen el segundo tipo de suelo más importante por su extensión (19.2%). Estos suelos tienen poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí. En general son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen, son someros, ligeramente ácidos a alcalinos y fértiles, son suelos arenosos y costeros, para uso forestal y pecuario tienen rendimientos variables (Lichtinger y Cárdenas, 2003).

3.1.3 Hidrología

Las plantaciones se encuentran en la Región Hidrológica (RH21). La región comprende la cuenca (C) Río Colotepec. Morales (1997) menciona que las plantaciones se localizan en la subcuenca (C598) Río Tonameca. Las corrientes superficiales que se

presentan en las áreas de plantaciones son Río Grande y el Río Chacalapa, ambos desembocan en el Océano Pacífico.

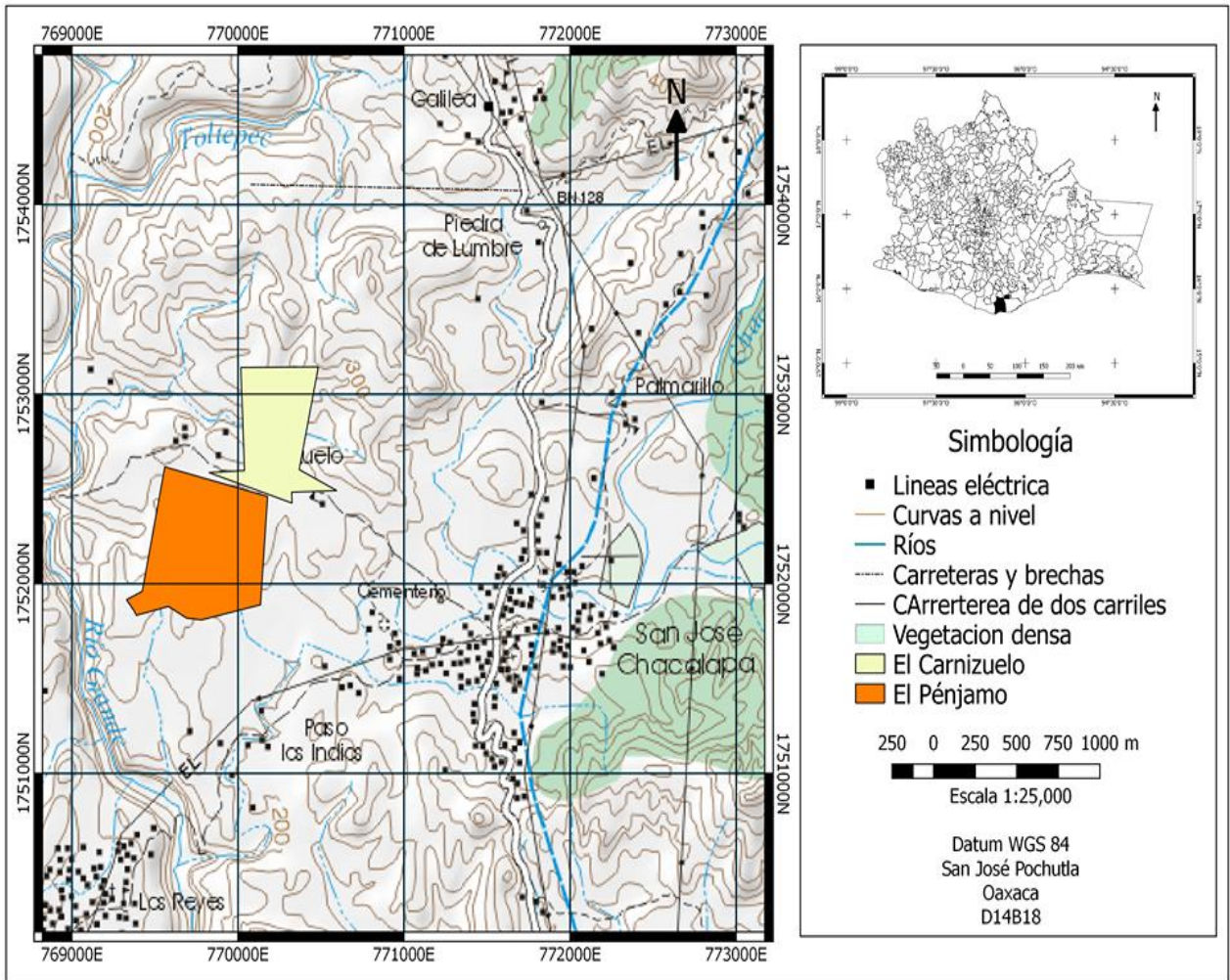


Figura 1. Localización de plantaciones de *Cedrela odorata* L., en los predios El Pénjamo y El Carnizuelo, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca (INEGI, 1998).

3.1.4 Clima

En ambos predios el tipo de clima es Awo, que corresponde a un clima cálido subhúmedo, con lluvias en verano de menor humedad en invierno. La temperatura promedio anual es de 26° C, y la precipitación media anual es de 912.0 mm; los meses de mayor precipitación son de junio a septiembre y los meses de menor precipitación son de enero a abril; las temperaturas más altas se presentan en los meses de abril a agosto, mientras que las más bajas se presentan en noviembre a enero (García, 1988).

3.1.5 vegetación

En los predios de interés inicialmente la vegetación fue selva mediana caducifolia. Morales (1997). Al hacer el programa de manejo forestal para realizar actividades de forestación tendientes al establecimiento de plantaciones forestales comerciales, se identificaron especies en la vegetación secundaria arbustiva correspondientes a selva mediana caducifolia con especies arbóreas como el Tololote (*Andira inermis* W.) y coquito baboso (*Acrocomia mexicana* J.) y especies arbustivas como palo gusano (*Lippia miricephala* S. y Ch.), pellejo de viejo (*Trema micrantha* L.), palo clavo (*Bumelia persimilis* R. y S.), pata de venado (*Bahuinia urgulata* L.), cornezuelo (*Acacia collinsii* Saf Saff), Macuil (*Tabebuia rosea* B.) cedro rojo (*Cedrella odorata*; L.) caobilla (*Swietenia humilis*; Zucc.) tololote (*Andira inermis*; W.) y guanacastle (*Enterolobium cyclocarpum*; Jacq) (Gutiérrez et al., 2016).

3.2 Levantamiento de datos

Se realizó una preselección de árboles eligiendo individuos solitarios, la selección se concentró en rasgos de interés por méritos propios; se registró la posición geográfica de cada uno de los árboles candidatos, así como la altitud en la que se encuentran y características fenotípicas externas como diámetro de copa, rectitud del fuste y poda natural. Esta preselección se realizó en los años 2006 y 2008 con un total de 161 individuos seleccionados en 102 hectáreas. En julio de 2017 se remidieron los individuos preseleccionados, debido a que los árboles están georeferenciados es posible identificar los árboles que aún siguen conservando su posición superior o si por cuestiones de genética, fueron desplazados por nuevos, además que se agregaron, para fines prácticos, tres árboles testigos que al igual que el candidato, fueron dominantes creciendo en condiciones de competencia similares. De los árboles preseleccionados inicialmente para esta fecha solo se encontraron 143 árboles, el resto fue derribado por el huracán Manuel. Según la CONAGUA en 2013 la tormenta tropical Manuel provocó declaratoria de desastre en la costa del pacífico (Bravo, 2013). Es importante puntualizar que no se aceptaron árboles atacados, por enfermedades o insectos como lo señalan Zobel y Talbert, (1988).

Una variable prioritaria para definir que los árboles seleccionados sean dominantes fue el volumen. Para asegurar que realmente cada árbol seleccionado fuese superior en dicha característica, resultó necesario compararlo con los testigos, esta variable de determino utilizando tablas de volúmenes locales (Hernández, 2013).

La ecuación de predicción es:

$$VT = \text{Exp} (-7.3165 + 3.2288 \text{Log}_{10} (D) + 2.1332 \text{Log}_{10} (H))$$

Donde:

VT= Volumen total en m³

Exp = valor exponencial

Log₁₀ = logaritmo base 10.

D = Diámetro (cm)

H = Altura (m)

Además de determinar el volumen total, también se determinó el volumen de copa para caracterización del arbolado en la población base y de los árboles seleccionados. La fórmula de volumen de copa se asoció al de un segmento esférico que es la forma de las copas de *Cedrela odorata* (Gieck y Gieck, 2003).

La fórmula es:

$$V.C. = \frac{\pi}{6} h \left(\frac{3}{4} S^2 + h^2 \right)$$

Donde:

V.C.= Volumen de copa determinado con formula del segmento esférico, en m³

π = Valor de 3.1416

S = Diámetro de copa (m)

h = Altura de copa (m)

3.3 Selección de árboles superiores

Para asignar puntuación a las variables de diámetro, altura, volumen total, forma de copa, rectitud, poda natural y evaluación de árbol candidato a árbol plus se utilizó el formato señalado en la Figura 2, tomado del manual para el establecimiento de unidades productoras de germoplasma forestal (Flores *et al.*, 2014).

I.- Datos generales:

No. De árbol	C006		Evaluador:	Jazmin Martínez Vásquez	
Plantación:	Enriquecimiento de acahual			San José Chacalapa	
Estado:	Oaxaca	Municipio	San Pedro Pochutla	Poblado	
Propiedad	Privada	Paraje	Carnizuelo	Empresa	
Altitud	221msnm	Latitud	140769951	Longitud	1752267
Seleccionador	Celestino Flores L. y Juan Morales H.			Fecha	3-jul-2017

II.- Evaluación de los árboles: Mediciones de los mejores 3 árboles dominantes testigos.

Características del árbol candidato

Edad (años)	20
1.- Altura (m).....	20
2.- D.A.P (cm).....	37.1
3.- Volumen (m3)	1.69
4.- Copa.....	1.66
5.- Rectitud del fuste.....	3
6.- Poda natural.....	1.66
7.- Ajuste por edad.....	0
*Suma de puntaje de 4 a 7	
.....	6.32

No. De árbol testigo	Altura total (m)	HT (m)	D.N (cm)	D.C (m)	Vol. (m ³)	Edad
1	17.5	7.5	35.2	11.6	1.38	20
2	21	5	35.2	10.75	1.64	20
3	21	6	32.1	7.9	1.44	20
Total	59.5	18.5	102.5	30.35	4.48	20
\bar{x}	19.83	6.1	34.1	10.11	1.49	20

Donde: HT=altura total, DN=diámetro normal, DC= diámetro de copa, y Vol.= Volumen.

III.- Caracterización de puntajes:

Carácter	Candidato	Testigo	Puntaje de candidato
Volumen	1.69	1.49	0.19
Altura	20	19.83	0.16
*Suma de puntaje			6.32
PUNTAJE TOTAL			6.68

IV. Observaciones.

Plagas y enfermedades:

No presenta síntomas de plagas o

Enfermedades aparentes.



V. Fotografía del árbol selecto

Figura 2. Formato para seleccionar árboles superiores de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.), con un ejemplo del llenado de datos.

Para calificar e interpretar el formato de la Figura 2, existe una serie de instrucciones que enseguida se presentan.

1.- Instrucciones para otorgar el puntaje al candidato:

$$\text{Altura} = \left[\left(\frac{A_c}{A_t} * 100 \right) - 100 \right] \quad A_c = \text{Altura del candidato}$$

$$A_t = \text{Altura } \bar{x} \text{ de los testigos}$$

Con el resultado de esta fórmula se obtiene el puntaje con la siguiente escala de superioridad, sobre el predio de los testigos.

Altura %	Edad (años)		
	< 30	31-50	>51
<5	0	0	0
6 a 8	1	2	3
9 a 11	2	3	4
12 a 13	3	4	5
14 a 16	4	5	6
17 a 19	5	6	7
20 a 22	6	7	8
23 a 25	7	8	9
>26	8	9	10

2.- Diámetro a la altura del pecho. A 1.3 m de nivel de suelo perpendicular a la pendiente.

3.- Volumen = $\frac{V_c}{V_t}$ = Volumen del candidato / Volumen \bar{x} de los testigos. Se otorga 1 punto al candidato por cada 10% que exceda a los testigos.

4.- Copa. Debe evaluarse comparándola con la de los testigos, considerando su conformación, densidad del follaje, dominancia, radio y longitud; es una estimación subjetiva que va del cero (para copas malas) al 5 (para las mejores).

5.- Rectitud del fuste. Se evalúa individualmente para cada candidato, sin considerar los testigos. Se califica del cero (par fustes torcidos, curvados o pandos) al 5 (para fustes perfectamente rectos).

6.- Poda natural. Se evalúa comparando al candidato, visualmente, con los testigos, considerando tanto ramas vivas como muertas. El promedio de los testigos vale cero y se otorgan de 1 a 3 puntos por la superioridad del candidato.

7.- Ajuste por edad. Si el candidato es más joven que el promedio de los testigos, recibe 1 punto por cada año, menos dos. Si la edad del candidato supera con tres años o más de la del promedio de los testigos recibe 1 punto negativo por cada año más tres.

Notas acerca del formato:

- A) Si en los caracteres de altura, volumen, copa y poda, el candidato es inferior a los testigos, se le restan puntos usando el mismo criterio que cuando es superior. Normalmente si un árbol tiene puntaje negativo en más de un carácter, se rechaza. Si el árbol candidato resulta ser superior a los árboles testigo se consideró un árbol selecto (Suresh y Gera, 2012).
- B) Un caso especial en el que se puede aceptar un árbol con valor negativo es aquellos que tienen alto puntaje en volumen, pero también un valor negativo ya sea en copa o rectitud del fuste puesto que son variables que se pueden manejar con labores silvícolas.
- C) Ningún candidato deberá presentar síntomas de ataques de plagas o enfermedades; bifurcaciones, etc.
- D) La búsqueda de candidatos deberá realizarse sistemáticamente en todos los mejores rodales que representen las diferentes calidades de estación donde habita la especie de la región donde se utilizará la semilla.
- E) La distancia mínima entre un candidato y otro no deberá ser menor a 100 m en rodales naturales. En plantaciones puede ser menor (SCFI, 2016).

3.7 Definición de la población base y selección de mejores árboles de *Cedrela odorata* L.

Para el caso de este estudio la población base estuvo integrada por 572 árboles seleccionados en los predios El Pénjamo y El Carnizuelo en San José Chacalapa, de los cuales se obtuvo la media y la desviación estándar que sirvieron para la obtención del diferencial y de la intensidad de selección. Es importante aclarar que el término de población base se refiere en este estudio a los árboles seleccionados denominados como candidatos más los árboles testigos encontrados a lo largo y ancho de la plantación. Este término es utilizado por Balcorta y Vargas (2004), donde consideran los árboles candidatos más los evaluados en sitios de muestreo, la diferencia es que no se tienen sitios de muestreo en este estudio, pero sí árboles testigos.

De los 143 árboles candidatos se eligieron los 20 mejores árboles que superan en puntuación de acuerdo al formato de selección de árboles superiores (Figura 2) en el cual se comparan los árboles candidatos con sus testigos en las variables altura, diámetro, volumen, copa, rectitud del fuste y poda natural.

La intensidad de selección de árboles candidatos (143 individuos) fue de 1.26 árboles por hectárea, este número de individuos se encuentra en el rango encontrado en otros estudios, como el de Balcorta *et al.* (2004), que en su estudio de variación fenotípica y selección de árboles en una plantación de *Gmelina arborea* Linn., Roxb. de tres años de edad, seleccionaron un árbol por hectárea. Otra referencia es de Qader *et al.* (2014) donde en una plantación seleccionaron seis árboles por hectárea en *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

La morfología de un árbol a través de las variables de copa brinda una buena idea de las relaciones interdimensionales, el espacio vertical ocupado por cada árbol, el grado de competencia, la estabilidad, vitalidad y productividad de cada individuo en el rodal, además de ser variables que no se han considerado en selección de árboles superiores, por tal razón se determinaron parámetros para caracterizar la copa como el índice saliente o índice de espacio vital, que es la relación del diámetro de copa entre el diámetro normal, índice de amplitud que es la relación del diámetro de copa entre la altura total (ver Figura 3) además de también determinar la forma de la copa que es la relación de la altura total entre la altura de copa (Arias, 2005).

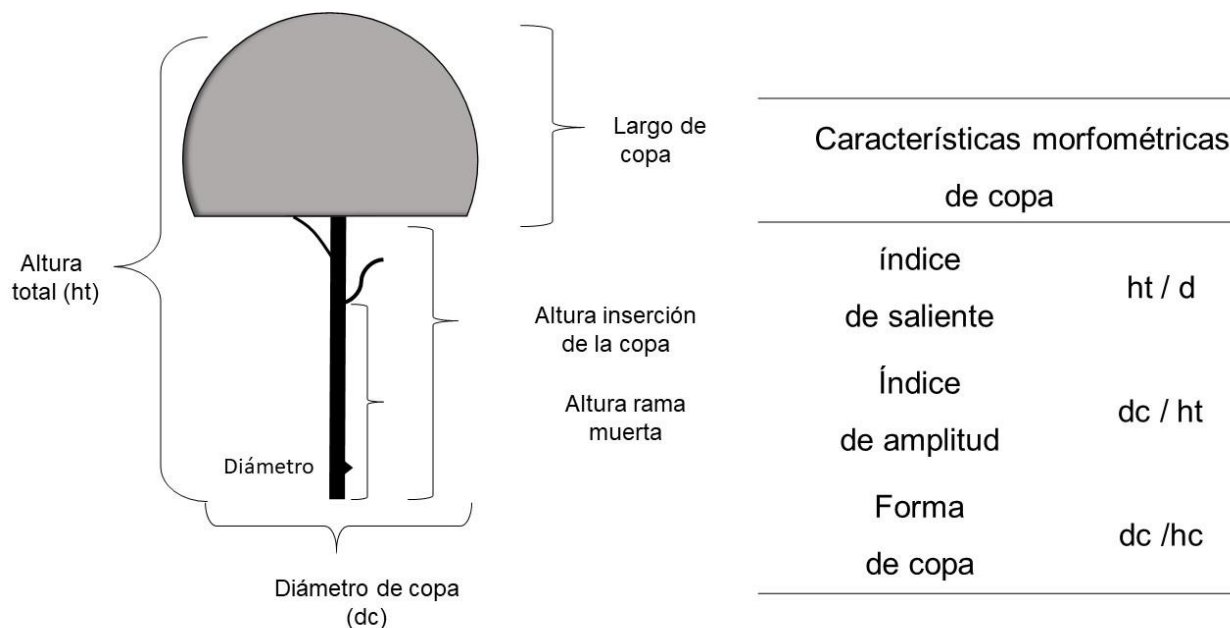


Figura 3. Modelo de un árbol de *Cedrela odorata* L. y características morfológicas de la copa.

3.8 Determinación del diferencial de selección e intensidad de selección en árboles selectos de *Cedrela Odorata* L.

En el programa Sigma Plot 10.0 se calcularon los valores de la media, la desviación estándar, el error estándar, el coeficiente de variación y los valores máximos y mínimos, de las características altura, diámetro, volumen y rectitud, tanto para la población base como para los 20 árboles plus.

Para obtener los valores del diferencial de selección y de la intensidad de selección se compararon tanto la media de la población base (572 individuos) con la media de los 20 mejores árboles selectos en las siguientes variables: diámetro, altura, volumen, forma de copa, rectitud y poda natural, Zobel y Talbert (1988) mencionan que es un número adecuado para el establecimiento de huertos semilleros.

Con estos datos se procedió a obtener el valor del diferencial de selección, el cual se obtuvo restando la media de la población original a la media de los 20 mejores árboles de la población seleccionada, por último, se calculó la intensidad de selección (*i*) dividiendo el diferencial de selección entre la desviación estándar de cada característica evaluada en la población original (Falconer, 1990).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización fenotípica de la plantación

La plantación de *Cedrela odorata* el origen del material genético es de dos procedencias una de ellas de la región de la Cañada Zoquiapan, Boca de los Ríos, Atlatlauca, y la otra procedencia de Boca del Monte, Matías Romero, Región del Istmo.

En el Cuadro 1 se muestran los valores promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de la población base. Para trabajos de selección de árboles plus el coeficiente de variación mayor de 20% representa una amplia variabilidad para la característica evaluada, por ejemplo, será más visible la diferenciación entre los árboles que tengan copas con buena conformación, densidad del follaje, dominancia, radio y longitud, a las copas que estén en peores condiciones. Otra variable fácil de evaluar fue la poda natural. Altura y diámetro tienen un coeficiente de variación menor a 20%, que serían características con mayor dificultad, pero en conjunto ambas características representadas en volumen tienen un coeficiente de variación mayor a 30%.

Cuadro 1. Valores promedio, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación de las características de los árboles de *Cedrela odorata* evaluadas para la población base (n = 572).

Variable	Población base (n=572)		
	Media	Desviación Estándar	Coficiente de variación (%)
Altura (m)	21.46	3.82	17.80
Diámetro (cm)	36.94	5.56	15.05
Volumen (m ³)	1.83	0.58	31.44
Copa (puntos)	1.54	1.22	78.99
Rectitud (puntos)	3.61	0.87	24.02
Poda natural (puntos)	0.58	1.49	257.26
Diámetro de copa (m)	9.24	2.19	23.66
Volumen de copa (m ³)	807.4	483.90	59.93

Dónde: m=metros, cm=centímetros, m³=metros cúbicos, para copa, rectitud y poda natural los puntos=puntaje recibido de acuerdo a la evaluación de selección.

4.2 Calificación de árboles seleccionados

Se obtuvo el puntaje total para cada uno de los 143 árboles candidatos y de acuerdo a la Figura 4 hay 10 árboles candidatos que se encuentran con calificación por debajo de cero, esto se debe a que hubo una preselección de árboles candidatos, y cuando se hizo la remediación y se agregan árboles testigos se encontró que los de comparación fueron superiores al candidato, pues los árboles testigos respondieron mejor a la competencia y fueron mejores principalmente en diámetro y altura, con copas más esféricas y proporcionales lo que hizo que el árbol candidato perdiera puntuación. Las puntuaciones de los árboles candidatos difieren en mucho la puntuación dada a árboles selectos de *Pinus arizonica* Engelm. en el estado de Chihuahua que fueron de 3 a 51 puntos con mayor concentración de individuos en la categoría de 15 puntos (Santiago, 2004).

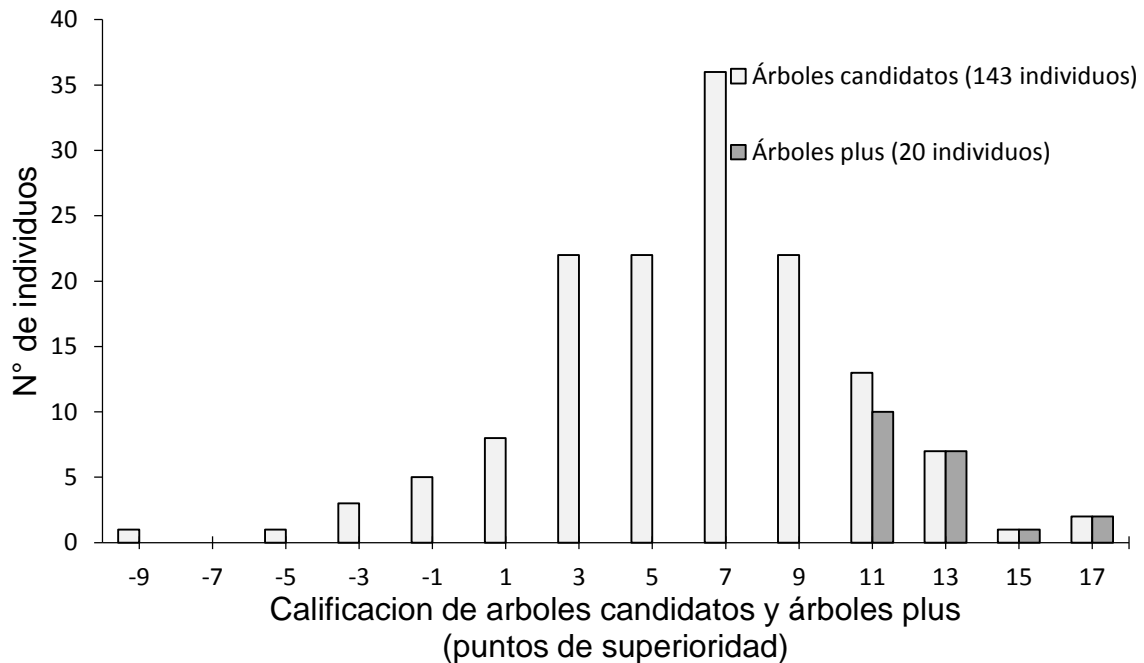


Figura 4. Frecuencias por puntaje total de árboles candidatos a superior de *Cedrela odorata* L. en San José Chacalapa Pochutla Oaxaca.

Los árboles seleccionados con mayores puntajes son superiores a 11 puntos, y la población se concentra en los 7 puntos esto es un indicador de que si más adelante queremos seleccionar más árboles en esta plantación para que estos sean aceptados tienen que ser con un puntaje mayor a 7 puntos,

A diferencia de Santiago (2004), en este estudio no se tuvo variación en la edad porque las plantaciones, fueron establecidas en 1997 en El Pénjamo, y en El Carnizuelo fueron plantados en el año 2000 (García, 2005), mientras que Santiago (2004) tiene variación en edades que van desde 45 hasta 125 años.

4.3 Diferencial de selección e intensidad de selección en árboles *Cedrela odorata*

En el Cuadro 2 se presentan los valores promedio de la población base (572 individuos) y los árboles seleccionados (20 árboles), así como la desviación estándar y coeficiente de variación para cada una, también el diferencial de selección que se genera en cada una de las características de interés económico con respecto a la población base (572 individuos) y la intensidad de selección que es el diferencial de selección dividido entre la desviación estándar de la población base. Los valores más altos en diferencial de selección se reflejan en la poda natural con 1.07 puntos con respecto a la media de la población base, esto se debe a que inicialmente se podaron los árboles de la plantación a una altura de 8 pies, y la copa con diferencial de selección de 45.98% aunque estas variables no tuvieron mucho peso en la selección debido a que han sido manejadas por los tratamientos que se han aplicado a la plantación, la diferencia que hay entre los árboles selectos a la población base es muy significativa.

Para variables de interés económico más relevantes como el volumen, el diferencial de selección representa el 32.75% con respecto de la media que corresponde al 0.60 m^3 y un valor de 1.04 en intensidad de selección siendo la variable con mayor valor. Este valor es equivalente a una desviación estándar lo que muestra que es posible lograr ganancia en esta característica mediante la elección de los mejores fenotipos de la población. El diferencial de selección en volumen obtenido en estudios de *Gmelina arborea* Linn., Roxb fue de 0.056 m^3 y para esta misma variable en *Tabebuia donell-smithii* R. P. Fue de 1.2 m^3 en diferencial de selección, y en *Tabebuia rosea* B. con un valor de 0.69 m^3 , lo que significa que el diferencial de selección

obtenido en la selección de *Cedrela odorata* que fue de 0.60 m³ con una intensidad de selección de 1.04 m³ es significativo y representa que aun cuando la heredabilidad fuera baja, que en especies

Cuadro 2. Valores promedio y diferencial de selección que se genera en cada una de las características de interés en plantaciones comerciales de *Cedrela odorata*.

Variables	Población base (n=572)			Población seleccionada (n=20 árboles)			D.S	D.S%	I.S	Dónde : n= númer o de individ uos, m=me tros, cm=ce ntímet ros; m ³ = metro s cúbico s, variabl es*=p untaje asigna do para caract erizaci ón de copa, rectitu d y poda natura l, D.
	Media	D.E	C.V.%	Media	D. E	C.V.%				
Altura (m)	21.4	3.82	17.80	24.30	3.54	14.56	2.84	13.23	0.74	
Diámetro (cm)	36.9	5.56	15.05	41.74	5.75	13.78	4.80	13.00	0.86	
Volumen (m ³)	1.8	0.58	31.44	2.43	0.69	28.50	0.60	32.75	1.04	
Copa	1.5	1.22	78.99	2.25	1.16	51.74	0.71	45.98	0.58	
Rectitud	3.61	0.87	24.02	3.84	0.87	22.79	0.23	6.28	0.26	
Poda natural	0.58	1.49	257.26	1.65	1.20	72.98	1.07	184.92	0.72	
Diámetro de copa (m)	9.24	2.19	23.66	9.57	1.90	19.85	0.33	3.53	0.15	
Volumen de copa (m ³)	807	483	59.93	979	575	58.81	171	21.29	0.36	
Índice de espacio vital	23.5	7.54	32.0	22.8	2.73	7.48	-0.67	-2.86	-	
Índice de amplitud	0.44	0.11	25.42	0.39	0.05	13.37	-0.05	-10.45	0.09	
Forma de copa	0.69	0.22	31.99	0.65	0.20	30.48	-0.04	-5.98	0.41	
									0.19	

E= Desviación Estándar, C.V %= Coeficiente de Variación en porcentaje, D. S= Diferencial de selección D.S%=Diferencial de Selección en porcentaje, I. S= Intensidad de selección (en desviaciones estándar).

tropicales para esta variable se considera 0.2, es posible obtener ganancias serán significativas (Meza, 2001; Balcorta *et al.*, 2004).

El diferencial de selección para diámetro fue de 4.80 cm y en altura de 2.84 m. estas características son asociadas al volumen total, por lo que resulta lógico el valor positivo de selección. El diferencial de selección en diámetro se encuentra entre el rango de 5.07 cm en *Tabebuia donnell-smithii* R. y 4 cm en *Tabebuia rosea* B. en altura un diferencial de selección de 2.7 metros y 2.1 metros, respectivamente, lo que refleja que el resultado obtenido en diámetro se encuentra entre esos valores y para altura se supera (Meza, 2001).

El volumen de copa presenta un valor de 21.29% también la copa que destacan con valores de diferencial de selección con 45.98%. Según Schomaker *et al.* (1999), la copa es uno de los componentes del árbol que influyen sobre la producción primaria, porque sus dimensiones reflejan el vigor del individuo, de modo que las copas densas y altas están asociadas con un crecimiento vigoroso; en cambio, las copas con poco desarrollo y poco densas reflejan condiciones desfavorables de crecimiento debido a la competencia, estrés por humedad o a la influencia de la defoliación por insectos, y enfermedades de las hojas, entre otros. Los valores altos en las variables de copa y volumen de copa influyen en el volumen total de fuste pues la cantidad de luz que intercepta la copa determina en gran medida el crecimiento del árbol (Aiba y Kohyama, 1997).

En cuanto al índice de espacio vital, índice de amplitud y forma de copa también llamado índice de copa, en diferencial de selección se obtienen valores negativos. En un estudio en plantaciones forestales tropicales en Costa Rica, Arias (2005) analizó seis especies y encontró que el índice de forma de copa osciló entre el 0.3 y 1.6 rango en el que se encuentran nuestros valores. Los valores negativos en diferencial de selección pueden explicarse que en buenos sitios el porcentaje de copa es menor y en malos sitios es mayor, y que conforme al aumento de tamaño de los árboles existe una reducción relativa en el tamaño de copa (Balcorta *et al.*, 2004).

Además de esto, *Cedrela odorata* es una especie demandante de luz, y de rápido crecimiento que se desarrolla en sitios desprovistos de vegetación, lo que significa que los árboles tienen a crecer en altura por competencia de luz y los árboles sobresalientes tienen copas estrechas debido a la auto poda que presenta la especie

en condiciones de competencia por espacio y luz, destacando en crecimiento en altura con fustes más cilíndricos, por esta razón los valores negativos en índices de copa, en sentido de selección de árboles son positivos, pues representa la selección de árboles superiores en altura, con fustes más cilíndricos, variables que favorecen a la productividad del arbolado. Los programas de mejoramiento genético deben considerar la variación en la forma de los árboles y considerar estos índices morfométricos que describen la arquitectura del árbol y que son utilizados en la descripción y caracterización cuantitativa de plantaciones forestales (Lamb, 1968).

Cabe mencionar que en el caso de esta investigación la rectitud del fuste no fue considerada como una característica relevante puesto que la plantación ha sido modificada por manejo silvícola a través de podas.

5 CONCLUSIONES

La descripción de la variación fenotípica obtenida en el método de selección de árboles testigos permitió determinar el diferencial de selección para las variables evaluadas.

La hipótesis nula planteada no se rechaza debido a que en la selección de árboles superiores en plantaciones comerciales de *Cedrela odorata* en al menos una característica que es el volumen total se obtuvo una desviación estándar.

Las respuestas negativas en índice de espacio vital, índice de amplitud y forma de copa aportan valores positivos en la selección, por lo tanto, estas características son útiles y deben considerarse en los programas de mejoramiento genético pues son indicadores de la buena selección.

En las dos plantaciones fue posible seleccionar 20 árboles superiores de *Cedrela odorata* con el método de árboles testigos.

6 RECOMENDACIONES

Dar seguimiento a la selección de árboles, además de coleccionar germoplasma de éstos para evitar la pérdida de buenos fenotipos por fenómenos meteorológicos y daños antropogénicos. Así como valorarlos en pruebas de progenie y utilizarlos en huertos semilleros.

relacionar la morfometría de la copa como indicadores de capacidad del árbol y destacar en competencia principalmente por luz, pues es una de los factores determinantes para su desarrollo.

Realizar selección de árboles superiores en los predios El Mango, Sin Nombre Arroyo Rico, El Riego, en el mismo municipio y que además tienen *Cedrela odorata* L. para aumentar la variabilidad del material genético.

7 LITERATURA CITADA

- Adjers, G. S. Hadenggan, J. Kuusipalo, K. Nuryanto, y L. Vesa. 1995. Enrichment planting of dipterocarps in logged-over secondary forest: effects of width, direction and maintenance method of planting line on selected *Shorea* species. *Forest Ecology Management*, 73:259-270.
- Aiba S. y T. Kohyama. 1997. Crown architecture and life-history traits at 14 tree species in a warm temperature rain forest significance of spatial heterogeneity. *Journal Ecology*. 85:611-624.
- Alba L. J. 1996. Mejoramiento genético forestal en el estado de Veracruz. Universidad Veracruzana, Centro de Genética Forestal. Xalapa, Veracruz, México: 80 p.
- Andrade T. A. y R. L. Y. Solís 2004. Las bondades del cedro rojo. La ciencia y el hombre, revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana, 17(3):17-19.
- Arias, D. 2005. Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales. Kurú, revista forestal, Costa Rica 2(5):1-13
- Balcorta, M. H. y H. J.J. Vargas, 2004. Variación fenotípica y selección de árboles en una plantación de *Gmelina arborea* Linn. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(2):13-19.
- Barner, H., K. Olesen, y H. Wellendorf, (Comp.). 1988. Classification and selection of seed sources. Danida Forest Seed Centre, Lecture Note No. B.1. Hoersholm Dynamical, 33 p.
- Bertoni, V. R. 1978. Trabajos realizados sobre plantaciones forestales, en el Campo Experimental Forestal Tropical "El Tormento". In Reunión Nacional de plantaciones forestales. INIF.Pub. Esp. No 13. Pub. Esp, (13), 287-291.
- Bravo, L. C. 2013. Reseña del huracán Manuel del Océano Pacífico. Obtenido de CONAGUA, Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional.

Temporada 2013 de Ciclones Tropicales, consultado en: <http://smn1.cna.gob.mx/ciclones/tempo2013/pacifico/Manuel-p013.pdf> (fecha: 29 agosto 2018).

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 1997. Cedro, *Cedrela odorata*. Costa Rica, Revista Forestal Centroamericana No. 21:1- 4.

Cepeda V. M. A. 2004. Variación fenotípica en árboles selectos de *Pinus duranguensis* Martínez en Chihuahua. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 53 p.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2011. Situación de los recursos genéticos forestales en México. Informe final del proyecto TCP / MEX/ 3301/ MEX (04), ISBN 978-92-5-307275-0, México.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2015. Manual para el establecimiento de Unidades Productoras de Germoplasma Forestal. [En línea] Gerencia de Restauración Forestal. Recuperado el 10 de septiembre 2018. México, disponible en:<<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/1290Manual%20para%20la%20identificaci%C3%B3n%20y%20establecimiento%20de%20Unidades%20productoras%20de%20Germoplasma%20Forestal.pdf>>

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2016. Reglas de operación del Programa Nacional Forestal. PRODEPLAN [En línea] Diario Oficial de la Federación. Recuperado el 13 de septiembre de 2018, de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5467941&fecha=28/12/2016

Cornelius, J. 1991. Selección, heredabilidad y ganancia genética. In; Cornelius, J. P., J. F. Mesen, y E. A. Corea, Manual sobre mejoramiento genético forestal con referencia especial a América Central. CATIE, Costa Rica, Turrialba, 71-80 pp.

Der, W. H., L. E. Huerta, y D. A. Torres, 2011. Huertos familiares en Tabasco: Elementos para una política integral en materia de ambiente, biodiversidad, alimentación, salud, producción y economía. Secretaría de Recursos Naturales y

- Protección Ambiental, Gobierno del Estado de Tabasco y el Colegio de la Frontera Sur. Villa Hermosa, Tabasco, México. 149 p.
- Detrinidad P. M. E. 1993. Criterios para la selección de árboles plus y control fenológico de cinco especies nativas, en condiciones de bosque seco tropical en Chacocente, Nicaragua. Tesis de posgrado en Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica, 107 p.
- Emhart, V., C. B.Gutiérrez, R. Ipinza, Bello, A., M. Navarrete, y G. Clasing, 2000. Establecimiento de huertos semilleros de *Nothofagus*. In Primer Congreso Latinoamericano IUFRO, El manejo Sustentable de los Recursos Forestales, Desafío del Siglo XXI. Valdivia (22):283-295.
- Falconer, D. S. 1990. Introducción a la genética cuantitativa. México, D.F.: Compañía Editorial Continental. México. 383 p.
- Faulkner, R. 1962. Seed stands in Britain and their better management. Quarterly Journal of Forestry, 56(1):8-22.
- Flores L. C., J. López, U. y S. Valencia, M. 2014. Manual técnico para el establecimiento de ensayos de procedencias y progenies. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Zapopan Jalisco, México, 152 p.
- Galston, A.W. y J. Bonner. 1965. Principios de fisiología vegetal. 4ª Ed. Aguilar, Madrid, 485 p.
- García, D. I., P. J. Ramos, y Z. J. Becerra. 2011. Semillas forestales nativas para la restauración ecológica. CONABIO, Biodiversitas, 94:12 -15.
- García, M. E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen; 4ª. ed. México. 217 p.
- García P., V. 2005. Sobrevivencia, vigor y estado fitosanitario de plantaciones forestales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México. 92 p.

- Gieck, K. y Gieck, R. 2003. Manual de fórmulas técnicas. 19a Edición. Editorial Alfaomega, México. 736 p.
- Gutiérrez, B. C., W. J. Folan, L. Folan, S. Gallegos, C. P. Zamora. 2016. Estructura y composición florística de la selva mediana subcaducifolia de Imí, Campeche, México. *Foresta Veracruzana*, 19(1):1-8.
- Gutiérrez V. B., E. H. Cornejo, Rodríguez, S. B., López, U. J., Gutiérrez, V. M., 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*, págs. Vol. 7 (37): 51-63.
- Hernández, S. N. 2013. Tablas de Volúmenes para Cedro Rojo (*Cedrela odorata* L.) en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México. 58 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1998. Modelo Digital de Elevación D1403MDE. Curvas a nivel de la carta topográfica escala 1:250,000 en formato de un grado por un grado.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2001. Catalogo técnico de nombres comunes de las especies forestales maderables. México: Anuarios estadísticos de los Estados. [En línea] Dirección general de estadística, Dirección de estadísticas sectoriales, estatales y regionales, 128 p.
- Qader, A. N., S. N. A. Ab, R. A. S. Muhd, 2014. Selection of plus tree based on growth performance and fiber morphology characteristics as improved sources for propagation of *Eucalyptus camaldulensis*. *American Journal of Plant Sciences*, 5: 1329-1335.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI). 2016. NMX-AA-169-SCFI-2016 Establecimiento de unidades productoras y manejo de germoplasma forestal - especificaciones técnicas. [En línea] Secretaría de Economía, México. [Fecha de consulta: 13 de septiembre 2018]. Disponible en: <<http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-aa-169-scfi2016.pdf>>

- Ipinza, C. R. 1988. Métodos de Selección de Árboles plus. Apuntes Curso Mejora Genética Forestal Operativa. Valdivia, Chile: Instituto Forestal, 105-127 pp.
- Ipinza, C. R. 1997. Aspectos Teóricos en la selección de árboles superiores. Taller de mejora genética en Roble y Raulí; Instituto Forestal. Ciencia e Investigación Foresta. Valdivia, Chile. 1 y 2 (11): 19 – 27.
- Ipinza, C. R., L. R. Vergara. 1998. Diseño de huertos semilleros. Apuntes de curso mejora genética forestal operativa. Universidad Austral de Chile, pp. 129-151.
- Keiding, H. 1974. Selection of individual trees. In: FAO DANIDA Training course on forest tree improvement, Kenya, 165-175 pp.
- Lamb, A. F. A. 1968. Fast growing timber trees of the lowland tropics *Cedrela odorata*. Compilación del Commonwealth Forestry Institute, departamento de silvicultura de la universidad de Oxford. Reino Unido, 46 p.
- Ledig, F. T. 1973. The application of mass selection in tree improvement. In: Proceedings of 20th Northeastern Forest Tree Improvement Conference. Durham, New Hampshire, USA. pp. 69-84.
- Ledig, F. T. y L. J. Whitmore. 1961. The calculation of selection differential and selection intensity to predict gain in: a tree improvement program for plantation-grown Honduras Pine in Puerto Rico. Department of Agriculture United States, 1-7 pp.
- Lichtinger, W. V. y J. A. Cárdenas. 2003. Informe de la situación del medio ambiente en México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, 275 p.
- Lombardi, Y. I. Nalvarte, A. W. 2001. Establecimiento y manejo de fuentes semilleras, ensayos de especies y procedencias forestales, aspectos técnicos y metodológicos. Escuela nacional de Ciencias Forestales; Organización Internacional de las Maderas Tropicales. Proyecto PD 8/92 Rev. 2 (F), "Estudio de crecimiento de especies nativas de interés comercial en Honduras (PROECEN)". ESNACIFOR-OIMT. Revisores: Carlos H. Sandoval y José Armando Ramírez. Lancetilla. Edit. Lithopress Industrial. Tela, Honduras, p. 110.

- Martínez Pastur, G. J. M. Cellini, M. V. Lencinas, R. Vukasovic, R. Vicente, F. Bertolami y J. Giunchi. 2001. Modificación del crecimiento y de la calidad de fustes en un raleo fuerte de un rodal en fase de crecimiento óptimo inicial de *Nothofagus pumilio*. *Ecología Austral*, 11(2): 95-104.
- Mesén, F. 1994. Establecimiento y manejo de rodales semilleros. Curso corto sobre selección y manejo de rodales semilleros. PROSEFOR. El Salvador, 33 p.
- Meza, S. B. E. 2001. Identificación y selección de árboles plus de las especies *Tabebuia donell-smithii* y *Tabebuia rosea* Bertol en el Soconusco, Chiapas, México. Tesis de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural. Quintana Roo Colegio de la Frontera Sur. 95 p.
- Morales H., J. 2004. Propuestas al premio al mérito ecológico forestal. Agrosilvícola San José S. P. R. de R. I. Pochutla, Oaxaca. P. s/n.
- Morales, H. J. 1997. Programa de manejo forestal de las plantaciones forestales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Oaxaca, México: Agrosilvícola San José S. P. R. de R. I. Pochutla, Oaxaca. 32 p.
- Muñoz F. H. J., G. G. Orozco, A. V. M. Coria, Y. Y. Muñoz y M. J. García. 2012. Comparación de dos métodos de selección de árboles superiores en un área semillera de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schltdl. et Cham. en Michoacán, México. *Foresta Veracruzana* 14(1):1-8.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. 2012. Situación de los recursos genéticos forestales en México. Informe final del proyecto TCP / MEX/ 3301/ MEX (04), ISBN 978-92-5-307275-0, México.
- Patiño, V. F. 1997. Recursos genéticos de *Swietenia* y *cedrela* en los neotrópicos. En Departamento de montes. FAO. Roma, Italia. s/n p.
- Pennington, T.D. y J. Sarukán 1998. Árboles tropicales de México. Segunda edición. UNAM - Fondo de Cultura Económica. México, 523 p.

- Pennington, T.D y Sarukhán J. 2005. Árboles Tropicales México. Manual para la identificación de las principales especies. Ediciones Científicas Universitarias. Texto Científico. Universidad Nacional Autónoma de México. México, pp 294-300
- Premoli, A. C., M. P. Quiroga, C. P. Souto, y P. Mathiasen. 2011. Genética de la conservación; de poblaciones a fitogeografía. Research Gate, 31 - 48.
- Prüller, R. 2003. Glosario sobre recursos genéticos forestales. Forest Genetic Resources Working Papers, Working Paper FGR/39E, Forest Resources Development Service, Forest Resources División. FAO, Rome (unpublished), 48 p.
- Quijada, M. 1980. Selección de árboles forestales. In Mejora genética de árboles forestales; informe sobre el curso de capacitación FAO/DANIDA sobre la mejora genética de árboles forestales, 1980. FAO. Montes N° 20, Mérida, Venezuela, pp.169-179.
- Quintero, C. H., L. C. Flores, O. E. Cornejo, H. J. Valdés, y Morales, H. J. 2005. Crecimiento de *Cedrela odorata* L. en plantaciones en san José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. pp. 287-292.
- Rodríguez, R., S. M. Valencia, J. Meza, M. Capó y A. Reynoso, (2008). Crecimiento y características de la copa de procedencias de *Pinus gregii* Engelm. Fitotecnia Mexicana, 31(1):19-26.
- Romo, L. J., H. J. Vargas, U. J. López, A. M. Ávila. 2017. Estimación del valor financiero de las existencias maderables de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en México. Madera y Bosques, 23(1):111-120.
- Schomaker M, S. y Zanoch, K Stolte. (1999). Tree crown condition indicator. USDA. Forest Service. Forest Health Monitoring Fact Sheet. 4 pp.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI). 2016. NMX-AA-169-SCFI-2016 Establecimiento de unidades productoras y manejo de germoplasma forestal - especificaciones técnicas. [En línea] Secretaría de Economía, México. [Fecha de

consulta: 13 de septiembre 2018]. Disponible en: <<http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-aa-169-scfi2016.pdf>>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2016. Anuario estadístico de la producción forestal 2015. [En línea]. Miguel Hidalgo, Ciudad de México. [Fecha de consulta: 30 de octubre 2018]. Disponible en:<<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/282928/2015.pdf> >.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (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. [En línea] Diario oficial de la federación, México. [Fecha de consulta: 30 de octubre 2018]. Disponible en: <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf>.

Salazar, R. y D. Boshier, 1989. Establecimiento y manejo de rodales semilleros de especies forestales prioritarias en América Central. Centro Agronómico Tropical De Investigación y Enseñanza, Informe técnico N°. 148, Turrialba, Costa Rica, 79 p.

Suresh, C., y M. Gera. 2012. Selection of candidate plus trees (CPTs) of commercially important agroforestry species in punjab. *Indian Journal Forestry*, 35:1-14.

Vallejos, J., Y. Badilla, F. Picado, y O. Murillo, 2010. Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. *Agronomía Costarricense*, 34(1): 105-119.

Wright, J. W. 1964. Mejoramiento genético de los árboles forestales. FAO. Roma, Italia, 436 p.

Wright, J. W. 1976. Introduction to forest genetics. Academic Press. New York. 463 p.

Zobel, B., y J. Talbert, 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales.
Limusa. México, 545 p.