

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Incrementos y Variación Fenotípica en Árboles Selectos en Plantaciones de

Cedrela odorata L. en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Por:

ITZEL VALLADARES HERRERA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Octubre, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Incrementos y Variación Fenotípica en Árboles Selectos en Plantaciones de
Cedrela Odorata L. en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Por:

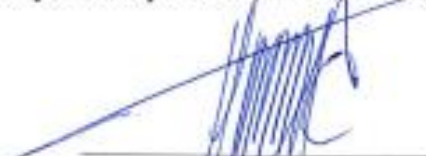
ITZEL VALLADARES HERRERA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobado por el Comité de Asesoría:



Dr. Celestino Flores López
Asesor Principal



Dr. Alejandro Zárate Lupercio
Coasesor



Ing. Juan Morales Hernández
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Octubre, 2023

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

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

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

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

Pasante



Itzel Valladares Herrera

El presente trabajo de tesis ha sido financiado y apoyado por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro como clave No. 38111-425103001-2175. Que lleva por nombre “Diversidad y estructura de bosques tropicales en el occidente y sureste de México”. Proyecto que está a cargo de Dr. Celestino Flores López, Profesor-Investigador del Departamento Forestal.

DEDICATORIA

A mis padres: Domingo Valladares López (†), sus sabios consejos los llevo guardados conmigo, su nobleza y gratitud por la vida me enseñaron a disfrutar cada momento, y Damiana Herrera Ñeco, una mujer grandiosa en toda la extensión de la palabra, mi guerrera. Ambos me han demostrado con hechos que el amor es incondicional, que el esfuerzo y dedicación constante es necesario para alcanzar mis anhelos y que por más piedras que tenga el camino siempre podré recorrerlo.

A mis abuelitos: Rodolfo Zárate (†) y Mónica Ñeco Parra (†) que jamás leerán estas líneas, pero están presente en mis pensamientos y en mi corazón, por todos los buenos tiempos que recuerdo desde mi infancia y que hoy me llenan de nostalgia.

A mis hermanos: Jorge Ignacio Valladares Herrera, José Gabino Valladares Herrera, Daysi María Valladares Herrera, Tania Zurema Valladares Herrera y Domingo de Jesús Valladares Herrera, por el apoyo moral que en ocasiones he necesitado y me escuchan sin juzgar, por su confianza y cariño siempre, así como las risas que no faltan en nuestras reuniones.

A mis sobrinos: Jhonathan O. (†), Christopher B., Farid, Ángela, Diana, José, Adrián, Hassan, Luz M., Jhosua (†), Amir y Dorian, recuerden siempre que son capaces de alcanzar las metas que se propongan en la vida, si en algún momento se les cierra una puerta busquen la llave para abrir muchas más.

A mis cuñadas y cuñados: Adriana Montero, Leydi Cárdenas, Nery Morales y Ezequiel García, por darme sobrinos hermosos y ser el apoyo de mis hermanas y hermanos, por la convivencia y respeto que existe entre nosotros.

A mis tíos: Luis Zamudio Rey y Rosalba Zárate Ñeco por estar siempre al pendiente de mí desde que tengo uso de razón, no me alcanzará la vida para agradecerles tanto cariño que me han brindado.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad de vivir años gloriosos, donde la fe y la esperanza han sido más grandes que la adversidad.

A mi Alma Terra Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por todos los años que me cobijó en sus instalaciones, quedando guardadas mis vivencias en cada uno de sus pasillos.

Al Dr. Celestino Flores López por compartir sus conocimientos, así como esa chispa de alegría y optimismo que lo caracteriza, por su sinceridad, su tiempo y la paciencia que ha tenido para que esta investigación sea concluida, infinitas gracias.

Al Dr. Alejandro Zárate Lupercio por ser partícipe de este proyecto, además de haber sido mi tutor durante la carrera y brindarme su apoyo moral incondicional cuando más lo he necesitado.

Al Ing. Juan Morales Hernández por su tiempo, su apoyo en campo y sus aportaciones de conocimiento para que esta investigación fuera realizada.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo, por sus consejos y charlas, por su confianza, conocimientos y apoyo durante la carrera.

Al Ing. Jorge David Flores Flores (†), M.C. José Armando Nájera Castro, Ing. Sergio Braham, Dr. Jorge Méndez González, M.C. José Aniceto Díaz Balderas, M.C. Melchor García Valdés, Ing. Gil Cabrera y a todos los profesores del Departamento Forestal por cada conocimiento compartido para hacer posible concluir mis estudios profesionales.

Al Dr. Gregorio Castro y al M.C. Luis Jesús Lozano por brindarme su amistad y confianza durante el transcurso de mi carrera profesional, sobre todo por mostrarme otro panorama e impulsar mi desarrollo como persona en el contexto del emprendimiento.

Al M.C. Carlos Aldahir Contreras Cruz, Leobardo Ambrosio Valencia, Paulino Ambrosio Ambrosio y Abelardo Jiménez Simón por la inversión de su tiempo en el levantamiento de datos para este estudio, por su nobleza y apoyo durante la estancia en Chacalapa.

Al Ing. Luis Salas, Eli y Josefina, estoy infinitamente agradecida por el apoyo laboral y moral en este proceso de titulación, los aprecio bastante.

A mis amigos y compañeros de la universidad, el Ing. Ricardo González, Ing. Víctor Lira, Jessy Morales, Ing. José Celedón, Ing. Noemí Santiago, Ing. Azucena Trujillo, por todos los bonitos recuerdos que vivimos dentro y fuera de las instalaciones de la Narro.

A la Ing. Ana Lucía Morán por cada plática que hemos tenido, por no dejarme caer cuando los días se me pintan de gris, por poner tu corazón en cada consejo, te considero una persona importante en mi vida, a ti y a tu familia que me han abierto las puertas de su hogar.

A la Ing. Zaira Yamel Llanes por escucharme, acompañarme y aconsejarme desde el corazón, fue muy grato haber coincidido contigo y vivir aquellas anécdotas en Chacalapa.

Al Dr. Felicito Díaz Vázquez, por todas sus palabras y buena vibra que me brinda a diario, por su confianza y amistad en todo momento.

A la Lic. Danubio Ureña por ser mi amiga desde la preparatoria que a pesar del tiempo y la distancia has y sigues estando para mí como yo para ti cuando lo necesitamos.

A Vanesa González, mi amiga nortea, te has vuelto familia con el hecho de estar al pendiente de mí, has hecho menos difícil el camino, te agradezco cada palabra y la confianza que has depositado en mí.

A mi novio, Ing. Hugo A. Silias Molina, por todas y cada una de tus muestras de afecto y amor hacia mi persona, por escucharme, aconsejarme y sobre todo por estar presente en mi vida, por ser mi apoyo incondicional, tú y yo sabemos que fue lo que nos unió y deseo que nuestros proyectos se cumplan de la mejor manera.

Al Ing. Noé Ramírez López por brindarme tu amistad desde el primer día que ingresamos a la Narro, sin saber que serían muchas desveladas que compartiríamos, elaborando trabajos o estudiando en tiempos de exámenes. Tienes un lugar muy especial en mi vida por todos los momentos y aventuras compartidas, gracias por la confianza, por tu apoyo, tus consejos y chistes los llevo conmigo, mi amigo del alma.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Página

ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos e hipótesis	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Descripción de la especie	6
2.2 Unidades productoras de germoplasma	7
2.3 Selección de árboles plus	9
2.4 Crecimiento de árboles plus	13
2.5 Heredabilidad, ganancia, diferencial de selección e intensidad de selección	13
2.6 Estudios relacionados con diferencial de selección	15
2.7 Plantaciones de enriquecimiento de acahual.....	17
3. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1 Antecedentes del área de estudio	18
3.2 Descripción del área de estudio.....	18
3.3 Aspectos ecológicos	20
3.3.1 Orografía y edafología	20
3.3.2 Hidrología	20
3.3.3 Clima.....	21
3.3.4 Vegetación.....	21

3.4 Remediación de árboles selectos	22
3.5 Selección de árboles plus	23
3.6 Definición de la población base y estimación del diferencial de selección	27
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1 Caracterización fenotípica de la plantación	29
4.2 Comparación fenotípica entre años y calificación de árboles candidatos y árboles plus	30
4.2.1 Comparación fenotípica de árboles selectos entre 2017-2021	30
4.2.2 Calificación de árboles candidatos y árboles plus.....	31
4.3 Diferencial de selección e intensidad de selección en árboles de <i>Cedrela odorata</i> L.	33
5. CONCLUSIONES	37
6. RECOMENDACIONES.....	38
7. LITERATURA CITADA	39

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> L. evaluadas para la población base (n = 491).....	30
Cuadro 2. Valores promedio, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación, diferencial de selección e intensidad de selección de las características de los árboles de <i>Cedrela odorata</i> L. evaluadas para la población base (n = 491) y de la población seleccionada (n=20).....	35

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, 2017).	19
Figura 2. Climograma (1991-2020), Estación Tonameca, Oaxaca. Clave 20303. (CONAGUA, 2023).	21
Figura 3. Formato para seleccionar árboles superiores de cedro rojo (<i>Cedrela odorata</i> L.)	24
Figura 4. Calificaciones de árboles plus del 2017 y 2021 de <i>Cedrela Odorata</i> L. en Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Los árboles plus se señalan en un círculo con líneas punteadas.	31
Figura 5. Frecuencias por puntaje total de árboles candidatos a árboles plus de <i>Cedrela odorata</i> L. en San José Chacalapa Pochutla Oaxaca.	32

RESUMEN

El presente estudio es producto de la evaluación realizada en árboles selectos en plantaciones comerciales de *Cedrela odorata* L. en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca, en los predios El Pénjamo y El Carnizuelo a la edad de 25 años, en donde se seleccionaron 20 árboles de 122 árboles candidatos mediante el método de árboles testigos con el objetivo de estimar el diferencial de selección e intensidad de selección para las características Incremento Corriente Anual (ICA), Incremento Medio Anual (IMA) en diámetro, altura, volumen de copa y volumen total, para así poder hacer una comparación de los datos obtenidos en el año 2017 con el año 2021. La población base se conformó por 491 individuos, incluyendo 369 árboles testigos más 122 árboles candidatos, de los cuales 20 fueron seleccionados mediante una asignación de puntos para cada variable, como poda, rectitud, altura, volumen y diámetro, utilizando el formato tomado del manual para el establecimiento de unidades productoras de germoplasma forestal. Se calculó la media y la desviación estándar, así como el coeficiente de variación para posteriormente obtener el diferencial de selección y la Intensidad de selección. Se obtuvo una amplia variación fenotípica en la capacidad de crecimiento de los árboles de la plantación, ya que los coeficientes de variación fueron mayores del 20 % para todas las características con excepción del diámetro y la altura, pero juntas son superiores al 30 %. El diferencial de selección obtenido fue de 3.35 m (13.13 %) en altura, 6.54 cm (16.24 %) en diámetro y 0.92 m³ (37.67 %) en volumen total. Respecto a la intensidad de selección, en al menos 7 características que es el diámetro, el volumen total, el ICA e IMA en volumen total, el IMA en diámetro, el volumen de copa y el ICA en volumen de copa, se obtuvo una desviación estándar, siendo el volumen el más alto con 1.27 seguido del volumen de copa con 1.11 y el diámetro con 1.10, los resultados tuvieron valores mayores a los reportados en el año 2017 que en el año 2021, por lo que la respuesta a la selección es aceptable, ya que excedieron en al menos una desviación estándar al promedio de la población original y esto se relaciona con las ganancias genéticas que se pueden presentar en las siguientes generaciones de los árboles seleccionados.

Palabras clave: Selección fenotípica, diferencial de selección, intensidad de selección, árboles plus.

ABSTRACT

The present study is the product of the evaluation carried out on selected trees in commercial plantations of *Cedrela odorata* L. in San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca, in the El Pénjamo and El Carnizuelo properties at the age of 25 years, where 20 trees were selected. Of 122 candidate trees using the control tree method with the objective of estimating the Selection Differential and Selection Intensity for the characteristics Current Annual Increment (CAI), Mean Annual Increment (MAI) in diameter, height, crown volume and total volume, in order to make a comparison of the data obtained in 2017 with the year 2021. The base population was made up of 491 individuals, including 369 control trees plus 122 candidate trees, of which 20 were selected by assigning points for each variable such as pruning, straightness, height, volume and diameter, using the format taken from the manual for the establishment of forest germplasm production units. The mean and standard deviation were calculated, as well as the coefficient of variation, to later obtain the Selection Differential and the Selection Intensity. A wide phenotypic variation was obtained in the growth capacity of the trees in the plantation, since the coefficients of variation were greater than 20 % for all the characteristics except diameter and height, but together they are greater than 30 %. The selection differential obtained was 3.35 m (13.13%) in height, 6.54 cm (16.24%) in diameter and 0.92 m³ (37.67%) in total volume. Regarding the intensity of selection, in at least 7 characteristics, which are the diameter, the total volume, the CAI and MAI in total volume, the MAI in diameter, the crown volume and the CAI in crown volume, a deviation was obtained. Standard, with the volume being the highest with 1.27 followed by the crown volume with 1.11 and the diameter with 1.10, the results had higher values than those reported in 2017 than in 2021, so the response to the selection is acceptable since they exceeded the average of the original population by at least one standard deviation and this is related to the genetic gains that can occur in the following generations of the selected trees.

Keywords: Phenotypic selection, selection differential, selection intensity, plus trees.

1. INTRODUCCIÓN

México tiene potencial para el establecimiento de plantaciones forestales, existen en nuestro país, 7 millones de hectáreas de clima templado y tropical consideradas como aptas para Plantaciones Forestales Comerciales debido a las características favorables de clima y suelo que presentan, lo cual permite a las especies un rápido crecimiento, de estas, el 80% se ubica en regiones tropicales y subtropicales de México, teniendo una gran demanda de materia prima forestal y, por tanto, disponibilidad de mano de obra (CONAFOR, 2015a).

En los últimos años, las Plantaciones Forestales Comerciales han adquirido una gran importancia en la demanda de madera; la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), a través de la Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos en el Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2018, señala que “Durante el período 2009-2018 la producción forestal maderable ha oscilado, comenzando de 5.8 millones de metros cúbicos rollo (m^3r) en el 2009 a 8.3 millones de m^3r en el 2018, de los cuales 8.1 millones de m^3r , es decir, el 97.5% fue procedente de autorizaciones de aprovechamiento forestal y plantaciones forestales comerciales y los otros 0.2 millones de m^3r fueron de terrenos no forestales, saneamiento forestal y autorizaciones de cambio de uso de suelo en terrenos forestales; sin embargo, en el año 2018 se presentó una disminución del 7.5% (0.7 millones de m^3r) en relación con el año anterior”. Respecto al valor de la producción, el total fue de 10,028,397,195 pesos y según las estadísticas, los estados que más aportaron a ese valor en un 77.6% son: Chihuahua (32.3%), Durango (24.2%), Oaxaca (9.4%), Michoacán (6.2%) y Veracruz (5.5%) (SEMARNAT, 2018).

La madera, que se obtiene de plantaciones forestales comerciales, se clasifica en madera de coníferas, que pertenecen al grupo de las gimnospermas; y las latifoliadas, que son especies pertenecientes al orden de angiospermas dicotiledóneas. Dentro de este tipo se encuentran las maderas preciosas, conformadas por dos especies que son la caoba (*Swetenia macrophylla* K.) y el cedro rojo (*Cedrela odorata* L.); especie localizada en las zonas tropicales, cabe mencionar que tiene características y propiedades de alto valor comercial, ya que tiene colores muy llamativos, se utiliza para fabricar chapas y madera terciada, con fines de exportación (Pennington y Sarukhán, 1998; CONAFOR, 2017).

Actualmente, estas plantaciones han sido apoyadas por el Programa “Desarrollo Forestal Sustentable para el Bienestar” dentro de sus reglas de operación, que tiene como objetivo principal apoyar a las personas propietarias y poseedoras legítimas de terrenos de aptitud preferentemente forestal y temporalmente forestal al establecimiento y desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales (PFC) y Agroforestales competitivas y sustentables, para promover la diversificación productiva del uso del suelo y contribuir a incrementar la producción forestal del país (SEMARNAT, 2022). Sin embargo, el hecho de establecer plantaciones forestales, no soluciona los problemas de producción y abastecimiento de materia prima; por lo que se requiere desarrollar programas de mejoramiento genético que apoyen a las plantaciones, con la finalidad de aumentar la productividad, conservando la calidad de la madera en las futuras generaciones (Zobel y Talbert, 1988).

Lamentablemente, *Cedrela odorata* L. ha sido aprovechada desmedidamente, por lo que la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2010, la clasifica en la categoría “sujeta a protección especial”; es decir, es una especie que podría llegar a encontrarse amenazada por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se determina la necesidad de propiciar su recuperación y conservación o la recuperación y conservación de poblaciones de especies asociadas (SEMARNAT, 2010).

Por esa razón se han implementado medidas, una de ellas es utilizar el germoplasma de legal procedencia de esta especie para su reproducción, en lugares con las características más adecuadas donde puedan adaptarse, considerando los efectos del cambio climático; para así poder abastecer las áreas a restaurar y a las plantaciones comerciales. Para ello, la norma mexicana (NMX-AA-169-SCFI-2016) 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 (SCFI, 2016; Rescala, 2017).

Por lo tanto, una plantación intensiva de árboles debe contar con un plan de manejo, donde el objetivo principal es obtener grandes volúmenes de madera de buena calidad a un costo razonable en un periodo de tiempo más corto; por esa razón, el mejoramiento genético forestal debe formar parte del manejo de los bosques, entendiéndose este término como la

vinculación de la silvicultura y el origen, tipo y constitución genética de los árboles a utilizar en las actividades forestales, siendo los rodales regenerados artificialmente, al menos una vez en alguna de las rotaciones, donde se harán los mayores esfuerzos en el mejoramiento genético forestal (Zobel y Talbert, 1988).

Para iniciar un programa de mejoramiento genético forestal, generalmente se hace seleccionando individuos que presenten características fenotípicas preferibles para el establecimiento de una población determinada. Posteriormente, estos árboles seleccionados se evalúan para determinar su calidad genética y poder incorporarlos a un programa de cruzamiento selectivo para generar nuevas combinaciones genéticas en la siguiente generación (Ipinza, 1998a).

Dependiendo de la calidad y la ganancia genética de los árboles que se seleccionen, será el éxito de los programas de mejoramiento genético. Dependiendo de cuál sea el control genético de las características de interés, así como la variabilidad que exista en la población, será la posibilidad de que haya una buena ganancia genética (Zobel y Talbert, 1988).

Para que esto pueda ocurrir, es de suma importancia realizar un esfuerzo de selección del arbolado sobresaliente para que estos sean usados como progenitores en las nuevas poblaciones de mejoramiento y de producción, empezando con establecer las características de interés, teniendo en cuenta ciertas condiciones como son: la variación genética, la importancia económica y el nivel aceptable de control genético; así como el diferencial de variación, intensidad de selección, método de selección y heredabilidad que actúan como indicadores que intervienen en el éxito del mejoramiento genético (Ipinza, 1998a).

El diferencial de selección es un parámetro importante y útil para evaluar si es efectivo o no el método de selección y se determina por la variabilidad fenotípica y por la intensidad de selección; ahí radica la importancia de los árboles plus, utilizados para determinar el diferencial de selección en incremento y saber cuáles son los mejores; para lograrlo, se necesita identificar árboles con características superiores al promedio, que se denominan árboles plus o árboles plus (Quijada, 1980; Barner *et al.*, 1988).

Teniendo en cuenta la importancia del mejoramiento genético, se realizó una selección de árboles en la Región Costa, donde se establecieron plantaciones de especies nativas como *Cedrela odorata*, 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 obtener madera para la industria del Aserrío y Torneados decorativos, además de enriquecer la vegetación de acahual y restauración de suelo en la zona tropical de la región, así como aumentar el volumen de madera con especies de Alto Valor de Importancia, lo que trajo consigo bienestar social por la generación de empleos temporales y permanentes, y por tanto, económicos (Morales, 1997).

La presente investigación tiene como objetivo principal comparar el diferencial de selección entre los años 2017 y 2021 para plantaciones comerciales de *Cedrela odorata* L. en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca, mediante el método árboles testigos utilizado para selección fenotípica.

1.1 Objetivos e hipótesis

Objetivo general

Comparar el diferencial e intensidad de selección entre los años 2017 y 2021 para plantaciones comerciales de *Cedrela odorata* L. en San José Chacalapa, Pochutla; Oaxaca, mediante el método árboles testigos utilizado para selección fenotípica.

Objetivos específicos

1. Estimar el diferencial de selección e intensidad de selección para las características de altura, diámetro, volumen de copa, volumen total, Incremento Corriente Anual (ICA), Incremento Medio Anual (IMA) en diámetro, altura, volumen de copa y volumen total entre los años 2017 - 2021.
2. Comparar la variación fenotípica obtenida de los años 2017 - 2021.
3. Definir los árboles plus de *Cedrela odorata* L. en la plantación.

Hipótesis

Ho: La intensidad de selección es menor a una desviación estándar en alguna de las variables de Incremento Corriente Anual (ICA), e Incremento Medio Anual (IMA), en diámetro, altura, volumen de copa y volumen total.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Descripción de la especie

Cedrela odorata L. pertenece a la familia Meliaceae, especie descrita originalmente por Linneo en el año 1759 en su obra *Sistema Naturae*, en México ha adoptado varios nombres comunes como: cedro rojo, cedro mexicano, cedro colorado, cedro de la habana, cedro oloroso, cedro real, culche, chujté (tzeltal, zona lacandona, Chiapas), icte (huasteco), tlocuahuitl (náhuatl), aka (Veracruz), acuy (lengua zoque, Chiapas), mo-ni (lengua chinanteca, Oaxaca), calicedra (Puebla), notiren (Michoacán), tzompili-huiz-xihuitl (lengua azteca); se localiza en la vertiente del golfo, desde el sur de Tamaulipas, sureste de S.L.P. y las Huastecas hasta el norte de Chiapas, la depresión central de Sinaloa hasta Jalisco, Colima y en la costa de Chiapas, desarrollándose en lugares con precipitaciones entre 2 500 y 4 000 mm anuales, en suelos de origen volcánico o calizo con buen drenaje (Pennington y Sarukhán, 1998; Andrade y Solís, 2004).

Esta especie llega a medir hasta 45 metros de altura y 1.7 metros de diámetro a la altura del pecho, el tronco normalmente es recto y robusto con corteza externa con fisuradas amplias de color pardo grisáceo a color moreno rojizo, la corteza interna es color rosada, tornando a pardo amarillento; su copa es redondeada, robusta y muy amplia, en invierno tira sus hojas, las cuales tienen yemas que miden de 3 a 5 mm de largos, agudas redondeadas, paripinnadas o imparipinnadas miden de 15 a 50 cm, compuestas de 22 foliolos y despiden un aroma característico. Las flores son de forma tubular, divididas en 5 pétalos que al abrir tienen forma de estrellas, aparecen en racimos largos y sueltos que miden hasta 30 centímetros de largo, y son de color blanco o crema (Andrade y Solís, 2004).

Por otra parte, los frutos del cedro rojo son cápsulas leñosas que se abren en 5 carpelos de 4 a 7 centímetros de largo, de color verde y exudado blanquecino, con un olor a ajo hasta que maduran y se vuelven café oscuro; este se desprende cuando libera las semillas (cada cápsula contiene de 20 a 25 semillas), las cuales son pequeñas y aladas, color pardo, elípticas que miden de 1.2 a 4.0 centímetros de largo, por 5 a 8 milímetros de ancho, la testa es color

castaño rojizo, con el embrión comprimido y recto, color blanco o crema (Morales y Herrera, 2009).

Cabe resaltar que cedro rojo es una especie de interés en la industria forestal de México, debido a las características propias de su madera, la cual es utilizada para vigas, tablas y chapas, así como en la fabricación de artículos torneados, para cajas de puros y para hacer tallas, clasificándose dentro de las maderas preciosas (Pennington y Sarukhán, 1998).

También es relevante mencionar que esta especie, en el ámbito medicinal, es de mucha importancia, ya que sus hojas, raíz, corteza, semilla, tallo, e incluso el exudado, mediante infusiones, sirven para aliviar cólicos estomacales, diarrea, dolor de muelas, problemas respiratorios, hemorragias, heridas, fiebre y enfermedades parasitarias. Además, es una especie con potencial para reforestar zonas degradadas de selva, en zonas secas y áridas (Márquez y Lara, 1999).

Es lamentable decir que debido al aprovechamiento desmedido y a la extracción ilegal de *Cedrela odorata* L. por todos los beneficios que proporciona, la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2010, la clasifica en la categoría “sujeta a protección especial”, es decir, es una especie que podría llegar a encontrarse amenazada por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se determina la necesidad de propiciar su recuperación y conservación o la recuperación y conservación de poblaciones de especies asociadas (SEMARNAT, 2010).

2.2 Unidades productoras de germoplasma

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) ha promovido la reforestación para la restauración ecológica de áreas degradadas (Vanegas, 2016). Sin embargo, en México, para producir plántulas que puedan abastecer los programas de reforestación nacional, se ha utilizado el germoplasma proveniente de áreas forestales naturales, donde al recolectar, no se considera la calidad fenotípica y genotípica de los individuos, además, cierta cantidad de la planta que se produce se utiliza para reforestar áreas donde el tipo de suelo y clima son totalmente diferentes a las de su procedencia; lo que afecta en la supervivencia, producción y rendimiento de las reforestaciones o plantaciones forestales comerciales (Alba *et al.*, 2005;

SCFI, 2016). Vanegas (2016), señala que esta acción conlleva producir especies exóticas que pueden convertirse en vectores de plagas y enfermedades que afecten a las especies nativas, alterando sus relaciones tróficas y provocando la pérdida de biodiversidad (Fernández-Pérez *et al.*, 2013). Para que esto sea posible debe haber un manejo y producción de semillas, lo que se puede lograr mediante el germoplasma de buena calidad obtenido de individuos seleccionados, que aseguran una mayor producción de plantas con características que garantizan una alta supervivencia (CONAFOR, 2012).

La CONAFOR ha promovido el establecimiento de Unidades Productoras de Germoplasma (áreas semilleras, rodales semilleros y rodales con especies en categoría de riesgo) en cada una de las entidades federativas del país. Se prevé que, con la propuesta de las normas mexicanas para viveros y germoplasma forestal, se pueda asegurar al 100% la producción de planta con estándares de calidad, incluyendo el germoplasma utilizado, el cual deberá provenir de unidades productoras con selección fenotípica y/o genotípica, que favorezca la supervivencia y productividad de las futuras plantaciones que se realicen en nuestro país (FAO, 2012). Especialmente en la Norma Mexicana NMX-AA-169-SCFI-2016 se establecen las especificaciones técnicas que se deben cumplir para obtener la certificación del proceso de establecimiento, transporte y manejo de las unidades productoras de germoplasma forestal o de los centros de acopio y beneficio de germoplasma; es aplicable en el territorio nacional para personas físicas o morales que estén interesadas, lo que implica procedimientos técnicos y administrativos que se deben cumplir para que estos puedan ser financiados por el gobierno mediante un protocolo de desarrollo y actuando a favor de la regeneración de las especies mientras protegen el germoplasma (SCFI, 2016).

Las Unidades productoras de germoplasma forestal (UPGF) son áreas destinadas a producir frutos, semillas o material vegetativo cuyos individuos pertenecen a una especie forestal, los cuales han sido seleccionados por su genotipo y/o fenotipo con procedencia bien identificada, provenientes de plantaciones, viveros o rodales naturales. El objetivo principal es garantizar la disponibilidad de semillas con ganancia genética, conservar, y restaurar estas especies en sus ecosistemas, incrementando la sobrevivencia y calidad de las reforestaciones y plantaciones forestales, además de obtener beneficios económicos o culturales (CONAFOR, 2015b).

El objetivo de las Unidades productoras de germoplasma se puede lograr realizando un proceso de selección de los mejores individuos que servirán para propagarse, escogiendo una o más características deseadas, seleccionadas de manera fenotípica (en el mismo árbol) o bien basándose en la progenie del árbol u otros individuos emparentados (selección genotípica); al momento de elegir los árboles plus que más tarde servirán para establecer huertos semilleros, se requiere que estén sanos, que sean dominantes y vigorosos para fines económicos, de conservación o restauración y que tenga señales de producción de semillas cuando la estrategia es reproducción sexual (Flores, 2000; Prüller, 2003).

Un huerto semillero es el área donde se establecen los fenotipos y genotipos superiores para el manejo intensivo y completo para obtener semillas, para ello, Zobel y Talbert (1988) sugieren que la proporción adecuada de selección sean 20 árboles, con la visión de establecer plantaciones con ganancias genéticas a mediano plazo. Sin embargo, la base genética puede verse afectada por el número de árboles seleccionados, ya que si es pequeño existe más probabilidad de tener problemas de endogamia, es por eso que se debe tomar en cuenta la variabilidad de los árboles selectos, la productividad de semillas de cada árbol, así como la semilla requerida en calidad y cantidad (Ledig, 1974).

2.3 Selección de árboles plus

Se necesita considerar, siempre, que los factores que controlan el éxito del mejoramiento genético son: la intensidad de selección, la cantidad de variación presente en las especies, carácter a mejorar, método de selección, heredabilidad del carácter bajo selección y método de propagación, minimizando la endogamia (Ipinza, 1998b).

Se conoce como selección a todo proceso natural o artificial que permite un cambio en la estructura genética de las poblaciones en las futuras generaciones; definiendo selección fenotípica como el procedimiento de selección de poblaciones o de individuos con características físicas deseables para obtener germoplasma forestal que permita la mejora genética de acuerdo a lo que se desea producir (Prueller, 2003; SCFI, 2016). Por lo tanto, la selección de árboles plus se refiere a aquel que se elige por su fenotipo o apariencia superior, respecto a los demás existentes de la misma especie en un lugar determinado, con edades iguales o promedio. Puede incluir características como: velocidad de crecimiento, forma de

la copa del tronco, forma y posición de las ramas, producción de resina, resistencia a plagas y enfermedades, producción temprana de frutos, adaptación a suelos degradados, y calidad de la madera, etc. (SCFI, 2016). La selección de individuos superiores tiene como objetivo principal la recolección de semilla y partes vegetativas para usarlas en la producción de plantas con fines de investigación, experimentación, para el establecimiento de huertos semilleros sexuales y asexuales, y en plantaciones con diversos objetivos (CONAFOR, 2015b).

Vallejos *et al.* (2010) menciona que en la selección de individuos se pueden cometer dos tipos de errores: el primero cuando seleccionan individuos que no son superiores, este sucede al validar y eliminar los árboles seleccionados; y el segundo cuando no se incluyen individuos que son genéticamente superiores al promedio poblacional, por no ser evaluados debido a las condiciones del sitio donde se desarrollan, pero si presentan buenas características que pueden ser aprovechadas en condiciones favorables. La selección se basa solo en el fenotipo del árbol, por lo que es necesario realizar una prueba de progenie para cada cualidad y así poder determinar si el árbol seleccionado es en realidad genéticamente superior; en el caso de características de baja heredabilidad es básicamente necesario (Flores, 2000).

Para realizar una selección de árboles plus, se hace una selección previa de 100 a 120 individuos candidatos, a través del método de línea base (mediante una regresión lineal entre altura y diámetro de copa), se debe verificar al final, aplicando a los individuos preseleccionados, el método de comparación con cinco testigos en bosques coetáneos, para definir si realmente son o no superiores, en donde el factor de la edad define en gran medida la superioridad de los árboles. Teniendo como requisito obligatorio emplear una distancia mínima de 100 m entre árboles selectos (CONAFOR, 2015b).

Después de realizar la preselección de árboles candidatos, los cuales son aquellos individuos que tienen características fenotípicamente sobresalientes, se evalúa cada uno y se compara con los testigos, para determinar si está en condiciones de ser árbol plus (Ramos y Domínguez, 2016). Un árbol testigo es aquel que tiene la misma edad y procedencia del árbol candidato, este se selecciona con la finalidad de hacer una comparación entre ambos (Martín y Álvarez, 2003); deben ser evaluados con la misma metodología que se utiliza para el candidato, haciendo un registro de un formulario, consecutivamente se calcula el promedio

de los árboles de comparación para cada una de las variables de interés económico y luego se compara con el puntaje que se obtuvo del candidato, cuando el valor que se asignó al candidato supera al promedio de los árboles de comparación, se le van asignan puntos que determinan la calidad del árbol seleccionado como candidato a ser árbol plus (Bello y Navarrete, 1997).

Ipinza (1998a) menciona que existen diferentes métodos para seleccionar árboles plus y por lo general cada empresa o programa de mejoramiento desarrolla el suyo propio dependiendo de la especie, las características del rodal o de la población, de los objetivos particulares y de los recursos disponibles, lo importante es que la selección se realice con un mismo método, y así poder tener árboles medidos con un mismo criterio.

1. El método de valoración individual: este método consiste en elegir de bosques disetáneos o heterogéneos, aquellos árboles que naturalmente están dispersos y son de edades diferentes y desconocidas, o bien cuando la población está formada por árboles aislados, cabe mencionar que, en este tipo de poblaciones, la heredabilidad es generalmente baja. El seleccionador debe conocer muy bien el ámbito de variabilidad de la especie en la valoración individual, para saber con exactitud cuál es un árbol superior, por lo que se requiere realizar un recorrido previo por la población para tener una buena idea de la variación que existe; considerando que para algunas características cuantitativas que no son afectadas por la edad se puede fijar un valor mínimo (Ipinza, 1998a).

Cuando se aplica el método de valoración individual y se calcula el diferencial de selección con respecto a la media de los cinco mejores vecinos más el árbol candidato, se puede decir que se ha definido como población base solo aquella parte del rodal que formará parte de la cosecha al final del turno. En tal 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, el resultado será la ganancia con respecto al rodal final y no de todo el rodal. Zobel y Talbert (1988) describen este método como la selección de los individuos basándose solamente en sus fenotipos, sin importar la información en torno al rendimiento de sus ancestros,

fratrias, pro genie o parentesco. Funciona mejor en características altamente heredables donde el fenotipo es un buen reflejo del genotipo, siendo el único tipo de selección que se puede aplicar en rodales naturales o en plantaciones en donde el parentesco es desconocido.

2. Método de árboles de comparación: se aplica cuando, de acuerdo a los objetivos, se comparan las características del árbol candidato con relación a los 5 mejores árboles dentro de una vecindad, normalmente en un círculo de 10 a 20 metros de radio a partir del árbol candidato como centro. Se anotan los puntajes asignados a todos los árboles para posteriormente obtener el diferencial de selección mediante cálculos o el puntaje final del árbol candidato, el cual depende de la superioridad del candidato con respecto a los de comparación, dicha superioridad se obtiene comparando el promedio de los árboles vecinos, incluyendo al candidato (Ipinza, 1998a).

La ventaja de este método es que compara árboles vecinos que sean de la misma edad, por lo que se elimina el efecto de las diferencias de edad y de sitio, lo que hace que la heredabilidad aumente y, por tanto, la ganancia genética (Ipinza, 1998a).

Este método no es aplicable en bosques disetáneos o heterogéneos, se emplea más bien en rodales naturales coetáneos o en plantaciones donde generalmente se encuentran árboles vecinos, suficientes para realizar la comparación fenotípica apropiada, especialmente de las características más afectadas por la edad o en rodales multietáneos puros donde las características no sean afectadas por la edad. El utilizar un sistema de selección mediante árboles testigos o por comparación permite realizar una selección más eficiente y objetiva de los árboles plus, también ayuda a explicar las diferencias ambientales dentro de los rodales (Zobel y Talbert, 1988).

3. Método de selección por regresión o de la línea base: es aplicable en rodales naturales multietáneos pie a pie o disetáneos. Se debe conocer con certeza la edad de cada árbol candidato y si su volumen supera el predicho por la regresión edad - volumen, entonces el árbol se puede seleccionar. Generalmente, 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 método es importante respecto a las características del

crecimiento, ya que las características cualitativas normalmente solo se determinan basándose en el fenotipo del árbol candidato, sin hacer comparaciones entre otros árboles. Se puede expresar en términos absolutos, porcentaje o en relación con la desviación estándar (Ipinza, 1998a).

2.4 Crecimiento de árboles plus

La fase aplicada del mejoramiento genético forestal radica en el desarrollo de árboles mejorados, además de la producción en masa del material mejorado. Los mejores árboles se pueden multiplicar mediante regeneración por semilla o bien por propagación vegetativa. Para obtener ganancias constantes, todos los programas de mejoramiento genético forestal deben incluir en alguna etapa de su desarrollo a la producción de semillas, las cuales provienen de áreas semilleras como son, rodales naturales o plantaciones que estén cerca de la madurez. No existe una edad específica para su establecimiento, sin embargo, el rodal debe tener la edad suficiente para producir semilla y los árboles deben tener una copa de gran cobertura con el fin de producir grandes cosechas de semilla. El rendimiento de alguna de las características en la madurez no se puede estimar de manera fácil cuando se utilizan árboles jóvenes debido a las diferencias que existen en las curvas de crecimiento en menos de la mitad de la edad de rotación. Por estas razones es más favorable evaluar un árbol selecto cada cierto tiempo, ya que cuando llegan a la etapa de madurez, su fenotipo ya no cambia, lo que hace más asertiva la selección del mejor individuo, lo contrario pasa cuando se evalúan árboles de edades tempranas ya que su crecimiento se ve modificado con el tiempo y, por ende, puede cambiar el criterio de la selección inicial. En el caso de los pinos del sur, se recomiendan rodales de 20 y 40 años de edad para ser usados como áreas semilleras, mientras que para *Pinus caribaea* y *Pinus ocarpa* sean rodales de 10 a 20 años. Pero en general, deben tener una superficie mínima de 4 hectáreas; es necesario que se realice un aclareo en rodales a una edad bastante temprana para que los árboles retenidos desarrollen copas sanas y de gran extensión para poder producir grandes cosechas de semillas (Zobel y Talbert, 1988).

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

La evaluación de la ganancia genética tiene una alta importancia práctica en todo programa de mejoramiento, pues permite conocer el grado de efectividad del trabajo que se realiza, así

como valorar mediante proyecciones financieras, si conviene 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 su heredabilidad, así como de la variación genética presente y la intensidad de selección, por lo tanto, también del diferencial de selección (Zobel y Talbert, 1988).

La heredabilidad se define como la proporción de la variación existente en una población que es atribuible a diferencias genéticas entre los individuos, indica el grado al cual los progenitores transmiten sus características a las siguientes generaciones y es importante para estimar los beneficios que se pueden obtener de los programas de selección. Se expresa como la proporción entre la varianza genética y la varianza fenotípica. Es importante recalcar que la heredabilidad es una propiedad no solo de un carácter, sino también de la población, del ambiente en donde se desarrolla el individuo, y de la forma en que se mide el fenotipo. Dado que el valor de la heredabilidad depende de la magnitud de todos los componentes de la varianza, un cambio en cualquiera de estas la afectará (Falconer, 1990; Zobel y Talbert, 1988)

Para saber si existe un cambio dentro de las propiedades genéticas entre una generación y otra, se necesita comparar generaciones sucesivas en el mismo punto de ciclo de vida de los individuos, ese cambio se produce por la selección, en donde lo que más interesa es el cambio de la media de la población, con la finalidad de que exista un mejoramiento genético simultáneo de varios caracteres, estos hacen que los genotipos se separen con base en características fenotípicas como altura total, diámetro normal, rectitud del fuste, características de la copa, entre otras. El diferencial de selección (S) es un valor útil en el cálculo de la heredabilidad, ya que es la superioridad promedio de los progenitores seleccionados en medida de la selección aplicada; el valor fenotípico medio de los individuos seleccionados como progenitores y se expresa como la desviación de la media de la población antes de que se haga la selección (Cerón y Sahagún, 2005; Falconer, 1990).

El diferencial de selección se puede predecir si se mantienen dos condiciones: la primera es que los valores fenotípicos del carácter bajo selección se distribuyan de manera normal y la segunda es que la selección sea por truncamiento, es decir, cuando 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 dos 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, siendo esta la que mide la variabilidad, es una propiedad del carácter y la población, y asienta las unidades en las cuales se expresa la respuesta, como libras, milímetros, metros, setas, etc. (Falconer, 1990).

La respuesta a la selección se puede generalizar si el diferencial de selección se expresa en términos de desviación estándar de forma fenotípica σ_p . Este diferencial de selección estandarizado S/σ_p se llama intensidad de selección y su símbolo es i . Por lo tanto, el diferencial de selección es $S=i\sigma - p$ (Falconer, 1990).

Zobel y Talbert (1988) mencionan que los mejores árboles plus con respecto a la población original de donde fueron tomados los indica la intensidad de selección fenotípicamente hablando, la cual depende de la proporción de la población que se incluye en el grupo seleccionado y, mientras 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, o sea, 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 $(S) / (\sigma - p) = i = (z) / (p)$ (Falconer, 1990).

En esta forma, dada únicamente la proporción seleccionada, p , se puede encontrar en cuantas desviaciones estándar, la media de los individuos seleccionados excederá la media de la población base de los individuos seleccionados: es decir, la intensidad de selección i (Falconer, 1990).

2.6 Estudios relacionados con diferencial de selección

Respecto al tema, Balcorta y Vargas (2004), muestran la 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. Se estimó 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.

Por otro lado, Vallejos *et al.* (2010) proponen una metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. La metodología está basada 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. Lo que permite crear un registro del árbol plus y validar la superioridad fenotípica del árbol según los caracteres, volumen comercial y calidad. Mediante esta metodología se obtiene 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 22.88% en volumen comercial y un 21.83% en calidad.

Otro estudio relacionado con el tema es el que Espitia *et al.* (2011) realizaron con el objetivo de estimar la ganancia genética esperada en la selección fenotípica de árboles plus, en 5316 ha comerciales de teca en Córdoba para el diámetro a la altura del pecho, altura comercial, volumen comercial y calidad del fuste. La selección se basó en la evaluación fenotípica del árbol candidato y sus cuatro mejores vecinos en un radio de 20 m, calificando, de manera individual, la calidad de las primeras cuatro trozas de 2,5 m de largo. La ganancia genética se estimó mediante el producto del diferencial de selección X heredabilidad en sentido estricto promedio reportada. Se construyó un índice de selección que integró de forma ponderada el volumen (60%) con la calidad (40%). De 46 árboles seleccionados, dieciocho fueron clasificados como plus. Al seleccionar y clonar los dieciocho mejores árboles, se esperan ganancias genéticas de 5.52%; 17.50%; 41.71% y 9.59%, para el diámetro, altura, volumen y calidad del fuste, respectivamente. Los resultados proponen un progreso genético importante de la teca en Córdoba, siempre y cuando se amplíe la base genética del programa

y se comprueben los resultados mediante ensayos genéticos en varias zonas productoras potenciales.

2.7 Plantaciones de enriquecimiento de acahual

El método de enriquecimiento de acahual en las selvas se define como un sistema de rotación en donde se mezclan especies de Alto Valor con otras que viven en su entorno natural; las que son maderables se establecen antes de los cinco años, en la primera fase del acahual y pueden ser cosechados en el primer turno o bien se pueden convertir en un sistema permanente a mediano plazo. Las especies utilizadas para un enriquecimiento son de lento y rápido crecimiento, estas ayudan a que las de lento crecimiento se establezcan, lo que permitirá que puedan tener un crecimiento por competencia y como producto, una madera de mejor calidad (Soto-Pinto *et al.*, 2011). *Cedrela odorata* L. reúne esas características, ya que tiene una gran importancia ecológica porque se denomina como una especie secundaria y al mismo tiempo primaria, por ser pionera en la vegetación secundaria de varias selvas, encontrándose también en el estrato superior de las selvas maduras; además, es utilizada para reforestar zonas degradadas de selva y zonas secas semiáridas, usándose para la conservación del suelo, rehabilitar lugares donde anteriormente se practicaba la minería y también para evitar la erosión del suelo (Andrade y Solís, 2004).

Otra especie forestal que es considerada como una de las más valiosas en toda América latina por la fina madera que se obtiene para ebanistería para tallados, instrumentos musicales, muebles, entre otros, es *Swietenia macrophylla* King. Esta puede establecerse como una plantación de enriquecimiento donde la vegetación anterior ha sido afectada por diversos problemas, por lo que representa una alternativa de producción para mejorar la productividad y sostenibilidad del suelo en regiones aptas para su producción (Cruz, 2003).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Antecedentes del área de estudio

La plantación de enriquecimiento de acahual se estableció en áreas que desde hace años se utilizaron para agricultura y ganadería extensiva con la aplicación del Sistema tradicional de la roza tumba-quema en ciclos de 5 a 10 años para la recuperación de la fertilidad del suelo, por un lapso de más de 50 años (Morales, 1997).

En el año 2017 se realizó una selección de árboles de *Cedrela odorata* L. en plantaciones de enriquecimiento de acahual en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca, ubicadas en los predios El Pénjamo y El Carnizuelo, siendo el origen genético de dos procedencias, la primera es de la región Cañada Zoquiapan, Boca de los Ríos, Atlatlauca, y la segunda procedencia de Boca del Monte, Matías Romero, Región del Istmo. Hasta ese año, la edad que tenían era de 21 años, tomando como base 572 árboles en una superficie total de 102 hectáreas, 72 hectáreas para El Pénjamo y 30 para el Carnizuelo; identificando 143 árboles candidatos a árboles plus, por poseer características superiores al resto, los cuales se georreferenciaron y señalaron para evaluar diferentes variables como diámetro, altura, volumen, forma de copa, rectitud, poda natural, diámetro de copa, y el volumen de copa determinado a partir de una fórmula para volumen esférico. Se seleccionaron los 20 mejores árboles basándose en la puntuación general (Martínez, 2018).

El 22 de julio del año 2021 se realizó una nueva evaluación de los árboles existentes en los predios antes mencionados, a la edad de 25 años; de los 491 árboles vivos que se localizaron, se hizo el registro de los datos de las variables: diámetro normal (DN), altura (H), altura de fuste limpio (HFL), diámetro de copa (DC) y grosor de corteza (GC). Con la finalidad de saber y comparar el diferencial de selección de alguna desviación estándar en los Incrementos de dichas variables.

3.2 Descripción del área de estudio

El presente estudio se realizó en plantaciones de enriquecimiento de acahual de 25 años de edad en los predios El Pénjamo y El Carnizuelo los cuales tienen una superficie de 72 y 30

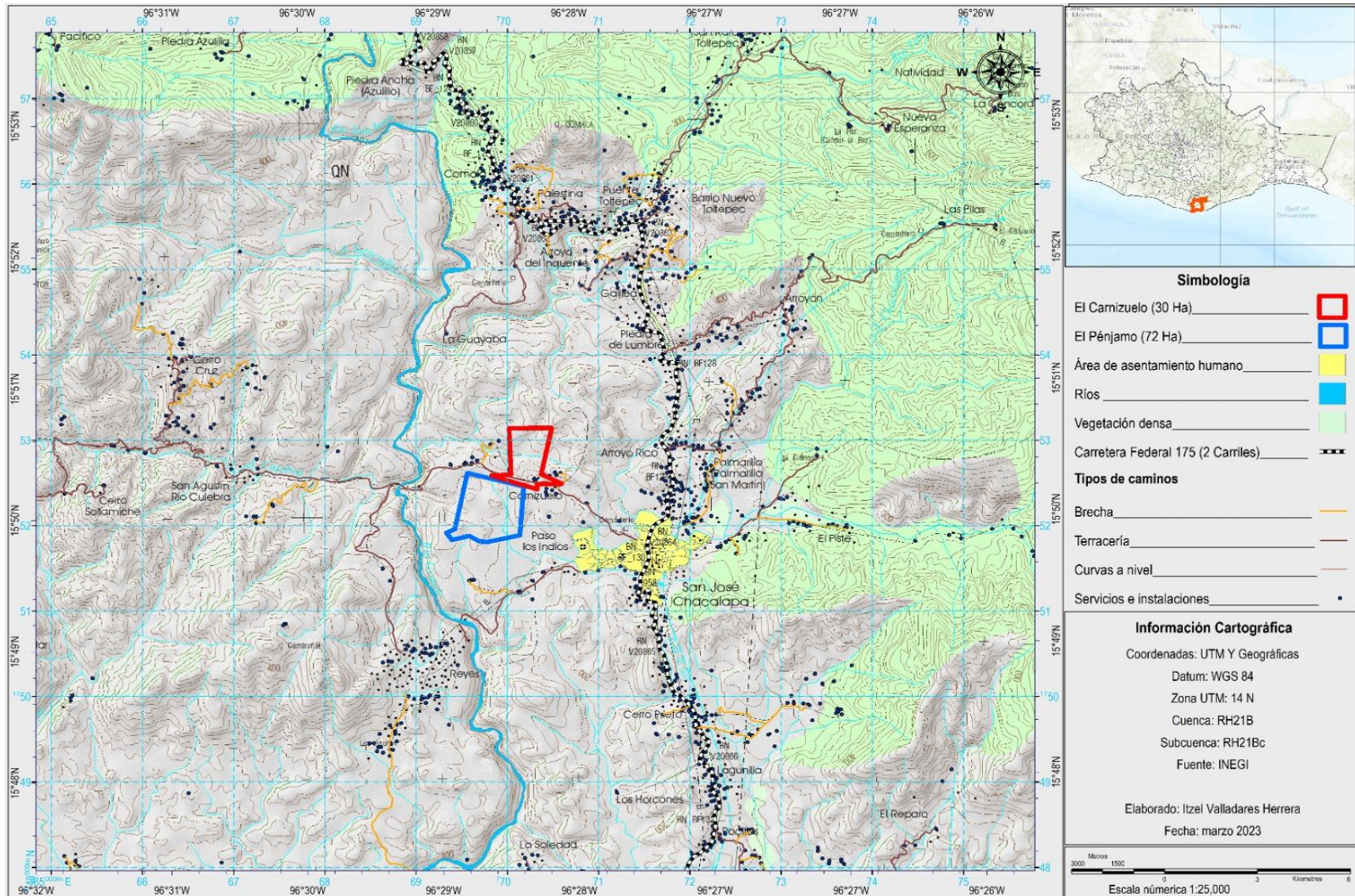


Figura 1. Localización de plantaciones de *Cedrela odorata* L., en los predios El Pénjamo y El Carnizuelo, San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca (INEGI, 2017).

hectáreas, respectivamente. Estos se localizan en la comunidad San José Chacalapa, en la región Costa de Oaxaca, entre las coordenadas 15° 50' 16.290" de latitud norte y 96° 28' 59.753" de longitud oeste, a una altitud de entre 0 y 1400 msnm., en el municipio de San Pedro Pochutla, al sur del estado de Oaxaca, el cual tiene colindancias; al norte con los municipios de Pluma Hidalgo y San Mateo Piñas, al este con el municipio de Santa María Huatulco, al sur con el Océano Pacífico, al oeste con los municipios de Santa María Tonameca y Candelaria Loxicha (INEGI 2010a; INEGI, 2017).

3.3 Aspectos ecológicos

3.3.1 Orografía y edafología

La plantación se ubica en terrenos con lomeríos a una altitud promedio de 250 msnm, que se caracterizan por tener buen drenaje debido a su topografía, estos lomeríos tienen un área hacia el mar llamada llanura costera y después de estas, pequeñas áreas de humedales (manglares), mientras que por el lado norte hacia la sierra con un área caracterizada como pie de monte o de sierra donde se practica la cafecultura. Dentro del predio “El Carnizuelo” se presentan dos tipos de suelos; el cambisol y el regosol, el primero se caracteriza por ser suelos jóvenes con algún cambio que se puede observar en el contenido de arcilla o el color entre sus capas u horizontes debido a las acumulaciones moderadas de calcio, hierro, manganeso y arcilla. Son de moderada a alta vulnerabilidad a la erosión y por lo general, son buenos con fines agrícolas y son usados intensamente. El segundo tipo de suelo está presente también en el predio “El Pénjamo”, en México constituyen el segundo tipo de suelo más importante por su extensión (19.2%), son suelos pedregosos, de color claro en general y parecidos bastante a la roca que les ha dado origen cuando no son profundos. Son comunes en las regiones montañosas o áridas de México y su fertilidad va de moderada a alta (Morales, 1997; INEGI, 2015).

3.3.2 Hidrología

Dentro de los predios solo existen corrientes intermitentes, de acuerdo con INEGI (2010b) está dentro de la Región Hidrológica RH21-Bc Costa de Oaxaca (Puerto Ángel), en la cuenca del Río Copalita y Otros, y en la subcuenca de San Pedro Pochutla y Río Tonameca.

3.3.3 Clima

El tipo de clima que se presenta en ambos predios es Awo, el cual se define por ser cálido subhúmedo, con lluvias en verano de menor humedad en invierno. La temperatura promedio anual es de 26 °C, presentándose las temperaturas más altas durante los meses de abril a agosto y del mes de noviembre a enero las más bajas. Los meses de mayor precipitación son de junio a septiembre y cuando menos se presentan lluvias abarca los meses de enero a abril (García, 1988).

De acuerdo a CONAGUA (2023), los meses donde hay exceso de agua es en el mes de junio y septiembre, ya que está por encima de la curva de temperaturas. Durante los primeros 4 meses del año se observa déficit o periodo de aridez, ya que las precipitaciones que se presenta son bajas (Figura 2).

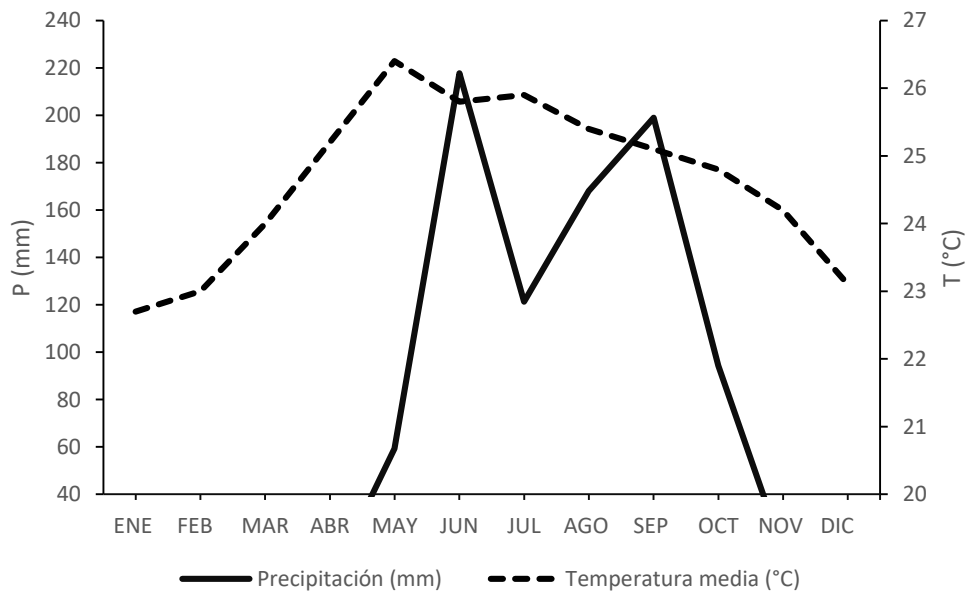


Figura 2. Climograma (1991-2020), Estación Tonameca, Oaxaca. Clave 20303. (CONAGUA, 2023).

3.3.4 Vegetación

En el área de estudio se distinguen 2 tipos de vegetación muy similares, la selva mediana caducifolia para ambos predios y una mínima parte de selva mediana subcaducifolia en el

predio de “El carnizuelo” de acuerdo a los datos de INEGI (2013). Es necesario mencionar que la vegetación nativa se vio afectada por distintos factores como son; la agricultura, terrenos para ser usados con fines agrícolas extensivos y extracción de combustible leñoso, sin embargo, en la actualidad se está recuperando mediante la presencia de vegetación herbácea y arbustiva en áreas destinadas para la conservación. Se ha hecho mediante plantaciones de especies de importancia maderable con son: *Cedrela odorata* L. (cedro rojo), *Swietenia macrophylla* (caoba), *Tabebuia donnell-smithii* (primavera) y *Tabebuia rosea* (macuil) (Morales, 1997).

3.4 Remedición de árboles selectos

El 22 de julio del 2021 se hizo una remedición de los árboles padres y testigos que se preseleccionaron en la plantación, teniendo como guía las coordenadas de cada uno de ellos, anotando en el formato las mediciones de las variables: diámetro normal (DN), altura (H), altura de fuste limpio (HFL), diámetro de copa (DC) y grosor de corteza (GC). Se observó que el árbol candidato de una clave, también forma parte del árbol testigo de una clave diferente. Se obtuvo como población base, un total de 491 individuos vivos, incluyendo 369 árboles testigos más 122 árboles candidatos, de los cuales se calculó la media y la desviación estándar, así como el coeficiente de variación para posteriormente obtener el diferencial de selección y la intensidad de selección.

Para definir y garantizar que los árboles que se seleccionaron sean dominantes fue oportuno calcular el volumen de cada uno de ellos. Por ello se realizó una comparación con relación a esa característica entre los árboles candidatos y los testigos utilizando tabla de volúmenes locales (Hernández, 2013).

La ecuación de predicción del volumen total 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 a 1.3 de altura del fuste (cm)

H = Altura (m)

Otra variable que se determinó para caracterizar a la población base y a los árboles candidatos es el volumen de copa, en donde la fórmula se relacionó al de un segmento esférico por 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 fórmula del segmento esférico, en m³

π = Valor de 3.1416

S = Diámetro de copa (m)

h = Altura de copa (m)

3.5 Selección de árboles plus

Para el presente estudio se seleccionaron 20 mejores árboles de los 122 candidatos mediante una asignación de puntos para cada variable como son diámetro, altura, volumen total, forma

FORMATO PARA SELECCIONAR ÁRBOLES SUPERIORES

I.- Datos generales:

No. De árbol: C-4
 Plantación: Enriquecimiento de acahual Evaluador: Itzel Valladares Herrera
 Estado: Oaxaca Municipio: San Pedro Pochutla Poblado: San José Chacalapa
 Propiedad: Privada Paraje: Carnizuelo Empresa: Agrosilvícola San José S. P. R de R.l
 Altitud: 233 msnm Latitud N: 140770071 Longitud W: 1752081
 Seleccionador: Celestino Flores L. y Juan Morales H. Fecha: 22 de Julio de 2021

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

Características del árbol candidato:

1.- Edad (años)..... 25
 2.- Altura (m)..... 32
 3.- D.A.P. (cm)..... 52.40
 4.- Volumen (m³)..... 4.24
 5.- Copa..... 2
 6.- Rectitud del fuste..... 3.50
 7.- Poda natural..... -1.50
 8.- Ajuste por edad..... 0
 *Suma de puntaje de
 4 a 7..... 13.64

No. De árbol testigo	Altura total (m)	D.N. (cm)	D.C. (cm)	Vol. (cm ³)	Edad
1	31.00	38.70	8.40	2.92	25
2	27.00	35.40	7.15	2.33	25
3	22.50	37.00	9.18	1.58	25
Total	80.5	111.1	24.73	6.83	25
\bar{x}	26.83	37.03	8.24	2.28	25

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	4.24	2.28	5
Altura	32	26.83	8.64
*Suma de puntaje			13.64
PUNTAJE TOTAL			27.28

V.- Fotografía del árbol selecto.



IV.- Observaciones:

No existe presencia de plagas u otros.

Figura 3. Formato para seleccionar árboles superiores de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.).

Existe un diseño de instrucciones para poder interpretar la Figura 3, las cuales se presentan a continuación:

1.- Instrucciones para otorgar el puntaje al candidato:

Altura= $[(Ac / At * 100) - 100]$ donde: Ac = Altura del candidato

At = Altura \bar{x} 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 = $Vc/Vt = \text{Volumen del candidato} / \text{Volumen } \bar{x} \text{ de los testigos.}$

4.- ICA en volumen= $ICA \text{ Vol. C} / ICA \text{ Vol. t} = ICA \text{ en Volumen del candidato} / ICA \text{ en Volumen } \bar{x} \text{ de los testigos.}$

5.- IMA en volumen= $IMA \text{ Vol. C} / IMA \text{ Vol. t} = IMA \text{ en Volumen del candidato} / IMA \text{ en Volumen } \bar{x} \text{ de los testigos.}$

Se otorga 1 punto al candidato por cada 10% que exceda a los árboles testigos.

6.- 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).

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

8.- 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.

9.- 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.
- B. Se puede aceptar un árbol con valor negativo solo cuando tenga un alto puntaje en volumen, aunque muestren un valor negativo ya sea en copa o rectitud del fuste, ya que son variables que se pueden manejar con labores silvícolas.
- C. Ningún candidato deberá evidenciar ataques de insectos o enfermedades y bifurcaciones, entre otros.
- 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, mientras que en plantaciones puede ser menor (SCFI, 2016).

de copa, rectitud, y poda natural, utilizando el formato tomado del manual para el establecimiento de unidades productoras de germoplasma forestal (Figura 3), así mismo señala las especificaciones para la evaluación de árbol candidato (Flores *et al.*, 2014).

3.6 Definición de la población base y estimación del diferencial de selección

El análisis de datos se realizó en el programa Excel 2016, donde se obtuvo la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación de 12 características variables: altura, diámetro normal, volumen, volumen de copa, ICA en diámetro, IMA en diámetro, ICA en altura, IMA en altura, ICA en Volumen, IMA en volumen, ICA en Vol. de copa, e IMA en vol. de copa de la población base (491 individuos) y de los mejores árboles seleccionados (20 individuos), estos datos sirvieron para la obtención del diferencial y de la intensidad de selección. Cabe resaltar que la población base se conformó por 122 individuos seleccionados como candidatos, más los 3 árboles más cercanos a ellos considerados como testigos, los cuales sumaron un total de 369 individuos. En el estudio que Balcorta y Vargas (2004) realizaron en una plantación de melina, también tomaron como población base los árboles candidatos más los árboles evaluados en los 15 sitios de muestreo establecidos.

Respecto a los mejores árboles seleccionados, Kothari (1990) considera que una muestra representativa debería ser al menos del 10% de la población; por lo tanto, se seleccionaron 20 árboles como superiores de los 122 árboles candidatos, que representa el 16.4% de la población, también se tomó en cuenta la referencia de Balcorta y Vargas (2004) quienes seleccionaron 20 árboles fenotípicamente superiores, así mismo se consideró la calificación final de las puntuaciones y porcentajes de los árboles candidatos respecto a los árboles testigos (Figura 3).

De acuerdo a los resultados obtenidos hasta ese momento, se pudo obtener el diferencial de selección, restando la media de la población base a la media de los 20 individuos seleccionados, calculando también su porcentaje (Falconer, 1990).

$$S = i\sigma - p.$$

Donde:

S= diferencial de selección

$i\sigma$ = media de la población seleccionada

p = media de la población base

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).

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

Donde:

I = intensidad de selección

S = diferencial de selección

$\sigma-p$ = desviación estándar de la población base

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización fenotípica de la plantación

El coeficiente de variación nos permite saber que tan dispersos están los datos con respecto a la media de las variables. Cuando los coeficientes de variación son mayores del 20 % muestran que existe una amplia variación fenotípica en la capacidad de crecimiento de los árboles de la plantación Balcorta y Vargas, 2004. En el Cuadro 1 se muestran los valores promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de la población base, donde el coeficiente de variación más alto fue el incremento corriente anual (ICA) en volumen de copa con 267.33 %, debido a que se presentaron volúmenes de copa muy diferentes con valores extremos, por ejemplo árboles con volúmenes de copa de 38.98 m³ hasta 10,133.98 m³, el volumen de copa tuvo un resultado idéntico al del incremento medio anual (IMA) siendo de 67.03 %, con estas características se puede visualizar las copas más dominantes por los diámetros que presentan. El siguiente C.V. más alto fue el ICA en altura y diámetro con un 70.60 % y 70.66 % respectivamente, mientras que el ICA en volumen total fue de 59.80%, sin embargo, fueron menores para el diámetro y el IMA en diámetro de 14.31 %, para la altura y el IMA en altura fue de 14.70 %, cabe mencionar que el volumen total combina las variables de diámetro y altura en una sola el cual fue de 29.68 %, mismo valor para el IMA en volumen total.

Referente a los resultados que aquí se presentan, son similares a los que Cepeda (2004) reporta en un estudio donde el C.V. fue de 16.65 % para el diámetro, 14.52 % en altura y 44.22 % en volumen. También Balcorta y Vargas (2004) mencionan que la altura promedio en una plantación de *Gmelina arborea* fue de 7.4 m, con una desviación estándar de 1.9 m, y un coeficiente de variación de 26 %, el diámetro promedio fue de 10.6 cm, con una desviación estándar de 2.9 cm y un coeficiente de variación de 27 %, mientras que el volumen promedio por árbol en la población muestreada fue de 0.035 m³, con una desviación estándar de 0.021 m³ y un coeficiente de variación de 60 %.

Cuadro 1. Valores promedio, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación de las características de los árboles de *Cedrela odorata* L. evaluadas para la población base (n = 491).

Variables	Población base (n=491)		
	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)
Altura (m)	25.54	3.65	14.31
Diámetro (cm)	40.31	5.93	14.70
Volumen (m ³)	2.43	0.72	29.68
ICA en volumen (cm ³)	0.15	0.09	59.80
IMA en volumen (cm ³)	0.10	0.03	29.68
ICA en diámetro (cm)	0.84	0.59	70.66
IMA en diámetro (cm)	1.61	0.24	14.70
ICA en altura (cm)	1.01	0.72	70.60
IMA en altura (cm)	1.02	0.15	14.31
ICA en Vol. De copa (cm ³)	162.15	433.46	267.33
IMA en Vol. de copa (cm ³)	117.38	78.68	67.03
Volumen de copa (m ³)	2934.55	1967.15	67.03

Dónde: ICA= Incremento corriente anual, IMA= Incremento medio anual, Vol.= volumen, m= metros, cm= centímetros, m³= metros cúbicos.

4.2 Comparación fenotípica entre años y calificación de árboles candidatos y árboles plus.

4.2.1 Comparación fenotípica de árboles selectos entre 2017-2021

Las diferencias de los árboles que se observan en la Figura 4 se caracterizan por el crecimiento que existió del año 2017 al 2021, lo que puede modificar la calificación de los mismos, dado que de manera fenotípica presentan rasgos más sobresalientes en comparación con la mayoría de la población, en la línea punteada se observan los árboles que se consideraron como superiores, ya que es evidente que el crecimiento tanto en diámetro como en altura y volumen fueron amplios. Martínez (2018) califica al árbol identificado como C-82 con una puntuación de -2.08, valor que cambia para el año 2021 por presentar un Incremento Corriente Anual en Volumen, considerable, por lo tanto, la calificación otorgada fue de 31.46, ocurriendo lo mismo para los demás árboles plus.

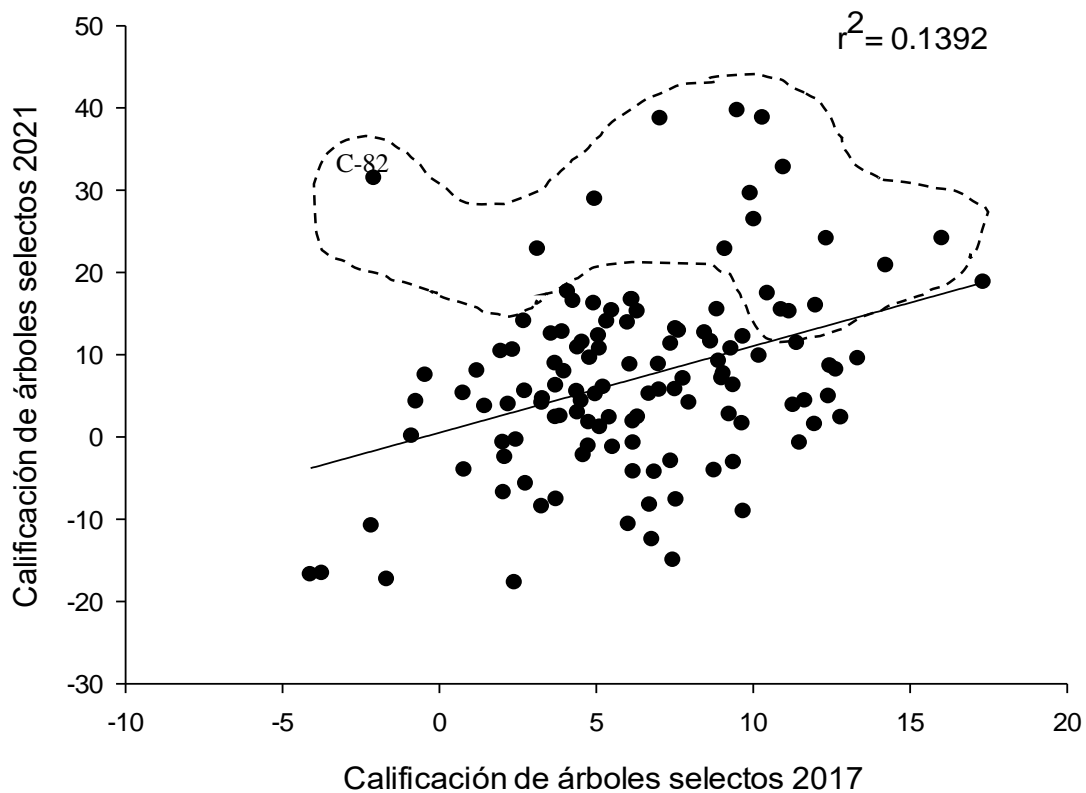


Figura 4. Calificaciones de árboles plus del 2017 y 2021 de *Cedrela Odorata* L. en Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Los árboles plus se señalan en un círculo con líneas punteadas.

4.2.2 Calificación de árboles candidatos y árboles plus

Teniendo como árboles candidatos 122 individuos, se obtuvieron los puntajes para cada uno de ellos, de los cuales solo 20 fueron seleccionados como superiores. En la Figura 5 se muestra que 40 árboles presentan una calificación menor a 0 debido a que el promedio de las variables de los árboles que se eligieron como testigos son superiores al candidato, principalmente en diámetro y en altura, por lo tanto, tuvieron puntuación negativa.

Los individuos que se seleccionaron con base en el mayor puntaje son superiores a 13 puntos hasta los 38 puntos, mientras que la población se concentra en los 3 puntos, por lo que se sugiere que, si en otra evaluación se requiere seleccionar más árboles en esta plantación, se haga en los árboles que resulten con puntajes mayores a 13 puntos para que sean aceptados.

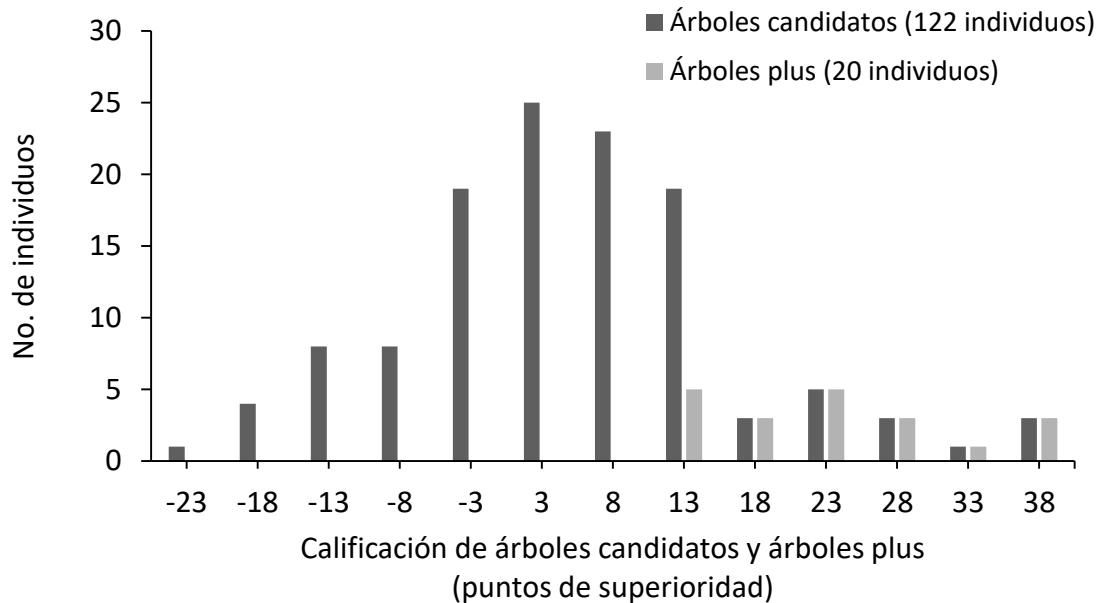


Figura 5. Frecuencias por puntaje total de árboles candidatos a árboles plus de *Cedrela odorata* L. en San José Chacalapa Pochutla Oaxaca.

Es preciso señalar que las puntuaciones de los árboles candidatos son diferentes a las utilizadas para la selección de *Pinus arizonica* Engelm. en el estado de Chihuahua, ya que fueron de 3 a 51 puntos, donde los 20 mejores árboles de la población seleccionada tuvieron calificaciones mayores de 28 puntos y la mayor parte de la población se concentró en la categoría de 15 puntos (Santiago, 2004). Por otro lado, Cepeda (2004) obtuvo una puntuación para *Pinus durangensis* Martínez en el estado de Chihuahua, mínima de 5.6 y máxima de 62.6 puntos. Esto quiere decir que, dado que el puntaje obtenido en este estudio se encuentra dentro de ese rango de calificación, por lo que son aceptables.

Es necesario aclarar que la calificación final de cada candidato está en función de los puntos obtenidos en las características, altura, volumen, copa, rectitud, poda y ajuste por edad, en el último punto, para este estudio no hubo variaciones de edad, pues se tomó como referencia que para el año 2021 la plantación tenía 25 años, sin embargo, Santiago (2004) reporta variación en edades que van desde 45 hasta 125 años.

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

En el Cuadro 2 se presentan los valores promedio, la desviación estándar y coeficiente de variación para la población base (491 individuos) y los árboles seleccionados (20 individuos), también se muestra el diferencial de selección y la intensidad de selección obtenida para cada una de las características de interés. Se observa que las medias de todas las variables de los árboles seleccionados son superiores a las de la población base, al igual que las desviaciones estándar, siendo el diámetro el de mayor valor con 6.03 cm, y la altura con 3.36 cm considerado para la selección, mientras que, dentro de las variables que caracterizan a los individuos seleccionados, por los rasgos peculiares físicos que presentan lo cual hace que se distingan de los demás, las desviaciones estándar con mayor valor fueron las relacionadas con el volumen de copa, así como el ICA e IMA en volumen de copa, con 2,927.04 cm³, 520.68 cm³ y 117.08 cm³, respectivamente. Cabe mencionar que las diferencias que existen entre los árboles selectos y la población base son significativas, ya que las desviaciones estándar que presentan son altas.

En lo que respecta al diferencial de selección, se obtuvo 3.35 m (13.13 %) en altura, 6.54 cm (16.24 %) en diámetro y 0.92 (37.67 %) en volumen total, mientras que Martínez (2018) reporta un diferencial de selección para la misma plantación de cedro rojo de 2.84 m (13.23 %) en altura, 4.80 cm (13 %) en diámetro y 0.60 cm (32.75 %) en volumen total, por lo que los resultados obtenidos en el año 2021 son mayores.

En otros estudios de tres especies diferentes, el diferencial de selección en altura fue de 2.7 m para *Tabebuia donnell-smithii* R., 2.1 m en *Tabebuia rosea* B. y 3.8 m para *Gmelina arborea* Linn., Roxb, mientras que en diámetro el diferencial de selección fue de 5.07 cm, 4 cm y 4.5 cm, respectivamente, lo que refleja que el resultado obtenido en diámetro y altura para *Cedrela odorata* son similares e incluso superan dichos valores, además estas características se asocian al volumen total, lo cual permite la selección (Meza, 2001; Balcorta y Vargas, 2004).

Por otro lado, el diferencial de selección en volumen que se obtuvo para las mismas especies fueron; para *Tabebuia donell-smithii* R. P. 1.18 m³, para *Tabebuia rosea* B. un valor de 0.66 m³ y para *Gmelina arborea* Linn., Roxb fue de 0.056 m³, mientras que en este estudio el

diferencial de selección obtenido en la selección de *Cedrela odorata* representa el 37.67 % sobre la media que fue de 0.92 m³ y una intensidad de selección de 1.27, esto último equivale a 1 desviación estándar, lo que significa que se puede obtener ganancia en esta característica aunque la heredabilidad fuera menor de 20, que es considerado como el valor promedio de heredabilidad en el crecimiento en volumen aceptable para la selección (Meza, 2001; Balcorta y Vargas, 2004).

Otra de las variables que más destacó fue el volumen de copa, que presenta el 74.51 % sobre la media de la población base, así como el incremento corriente anual que es de 200.05 %. La copa es una parte importante de los árboles en general, ya que contribuyen a la producción primaria, dado que sus dimensiones reflejan la vigorosidad del individuo, por ejemplo, si se tiene una copa alta y densa, se dice que el crecimiento es vigoroso, lo contrario pasa con las copas con poco desarrollo y poco densas, pues reflejan condiciones desfavorables de crecimiento debido diferentes factores como la competencia, estrés por humedad o a la influencia de la defoliación por insectos, y enfermedades de las hojas, etc. (Schomaker *et al.*, 1999).

Se obtuvo que, dado a la amplia variación fenotípica en las características de crecimiento, en casi todas las características se generó un diferencial de selección mayor al 30 % con respecto a la media de la población base. Destacando el ICA en volumen con 61.53% y el volumen en donde el diferencial de selección fue de 0.92 m³ que corresponde al 37.67 % de la media en la población base y una intensidad de selección de 1.27. Por otro lado, el ICA en volumen de copa resultó con un diferencial de selección de 200.05 %, el IMA un 74.52 % y el volumen de copa un 74.51 % de la media de la población base. Esto quiere decir que la respuesta a la selección es aceptable en estas características debido a que los diferenciales de selección se relacionan con las ganancias genéticas, por lo que se pueden presentar en las siguientes generaciones de los árboles seleccionados (Balcorta y Vargas, 2004).

Con respecto a la intensidad de selección, los valores más altos en el presente estudio, se presentaron en las variables volumen con 1.27 y crecimiento medio anual en volumen con 1.27 también, seguido del volumen de copa con 1.11 y el diámetro con 1.10, mientras que

Cuadro 2. Valores promedio, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación, diferencial de selección e intensidad de selección de las características de los árboles de *Cedrela odorata* L. evaluadas para la población base (n = 491) y de la población seleccionada (n=20).

Variables	Población base (n=491)			Población seleccionada (n=20)			D.S	D.S %	I.S	I.S*
	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)				
Altura (m)	25.54	3.65	14.31	28.89	3.36	11.63	3.35	13.13	0.92	0.74
Diámetro (cm)	40.31	5.93	14.70	46.86	6.03	12.87	6.54	16.24	1.10	0.86
Volumen (m ³)	2.43	0.72	29.68	3.35	0.78	23.37	0.92	37.67	1.27	1.04
ICA en volumen (cm ³)	0.15	0.09	59.80	0.24	0.10	39.80	0.09	61.53	1.03	
IMA en volumen (cm ³)	0.10	0.03	29.68	0.13	0.03	23.37	0.04	37.67	1.27	
ICA en diámetro (cm)	0.84	0.59	70.66	1.10	0.67	61.25	0.26	31.25	0.44	
IMA en diámetro (cm)	1.61	0.24	14.70	1.87	0.24	12.87	0.26	16.24	1.10	
ICA en altura (cm)	1.01	0.72	70.60	1.45	0.60	41.20	0.43	42.76	0.61	
IMA en altura (cm)	1.02	0.15	14.31	1.16	0.13	11.63	0.14	13.29	0.93	
ICA Vol. De copa (cm ³)	162.15	433.46	267.33	486.53	520.68	107.02	324.38	200.05	0.75	
IMA en Vol. de copa (cm ³)	117.38	78.68	67.03	204.85	117.08	57.16	87.47	74.52	1.11	
Volumen de copa (m ³)	2934.55	1967.15	67.03	5121.15	2927.04	57.15	2186.60	74.51	1.11	0.36

Dónde: ICA= Incremento corriente anual, IMA=Incremento medio anual, Vol.= volumen, m=metros, cm=centímetros, m³=metros cúbicos, D. S= Diferencial de Selección, D.S%=Diferencial de Selección en porcentaje, I.S= Intensidad de Selección (en desviaciones estándar). *(Martínez, 2018). Las variables con sombreado gris corresponden a las evaluadas para la selección de árboles plus y las variables sin coloración gris corresponden a la caracterización de individuos.

las demás características también tuvieron valores de 1 o cercanos a 1, por ejemplo, la altura con 0.92. Zobel y Talbert (1984) definen la intensidad de selección como la distancia que existe entre el promedio del conjunto de árboles seleccionados y el promedio de los candidatos, entre mayor sea esa distancia, el nivel de superioridad de los individuos aumenta, lo que es favorable en los programas de mejoramiento genético.

Santiago (2004) reporta una intensidad de selección en *Pinus arizonica* Engelm. en el estado de Chihuahua de 1.25 para altura, 1.01 en diámetro y 1.27 en volumen, mencionando que, si se ampliaran los datos de la población original con los valores promedios de todas las localidades existentes, las ganancias podrían ser mayores, pudiendo obtener un diferencial de selección de 2 a 3 desviaciones estándar, requeridas cuando se seleccionan árboles en bosques naturales (Wright, 1976). Por lo anterior se puede decir que los valores de intensidad de selección son aceptables, ya que excedieron en al menos una desviación estándar al promedio de la población original.

5. CONCLUSIONES

La intensidad de selección en la selección de árboles plus en plantaciones comerciales de *Cedrela odorata* L. es superior o igual a una desviación estándar en al menos 7 características que es el diámetro, el volumen total, el ICA e IMA en volumen total, el IMA en diámetro, el volumen de copa y el ICA en volumen de copa.

Se logró obtener el diferencial de selección para las características planteadas, los resultados tuvieron valores mayores a los reportados en el año 2017 que en el año 2021, donde el Incremento Corriente Anual (ICA), Incremento Medio Anual (IMA) en diámetro, altura, volumen de copa y volumen total, tuvieron resultados positivos en la selección.

Se seleccionaron 20 árboles plus de *Cedrela odorata* L. mediante el método de árboles testigos, eligiendo aquellos individuos que obtuvieron un puntaje de 13 a 38 puntos de superioridad.

6. RECOMENDACIONES

Aumentar el número de individuos de la población base para lograr obtener valores más efectivos de diferencial de selección e intensidad de selección.

Dar seguimiento al proceso de selección de árboles, eligiendo aquellos que tengan un puntaje de superioridad al menos de 13 puntos.

Colectar muestras de semillas y realizar pruebas de progenie para el establecimiento de un huerto semillero con el germoplasma de los árboles plus de cedro rojo y así seguir reproduciendo la especie.

7. LITERATURA CITADA

- Alba-Landa, J., A. Aparicio-Rentería, F. H. Zitácuaro-Contreras y E. O. Ramírez-García. 2005. Establecimiento de un ensayo de progenie de *Pinus oaxacana* Minrov en los Molinos, Municipio de Perote, Veracruz. *Foresta Veracruzana*, Xalapa, México, 7: 33-36.
- 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 p.
- 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. 1988. Classification and selection of seed sources. Danida Forest Seed Centre. B.1. Hoersholm Dynamical. 37 p.
- Bello, D., y Navarrete., T. 1997. Procedimiento de selección de árboles plus de roble y raulí. 8 p. Técnicos forestales. Instituto forestal, sede Concepción. Camino Concepción - Coronel km 7,5. Casilla 109 C, Concepción, Chile.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2023. [Fecha de consulta: 3 de octubre de 2023]. Disponible en: <<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>>.
- Cepeda, V. M. A. 2004. Variación fenotípica en árboles selectos de *Pinus durangensis* Martínez en Chihuahua. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México. 71 p.
- Cerón R., J. J. y J. Sahagún C. 2005. Un índice de selección basado en componentes principales. *Agrociencia* 39: 667-677.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2015a. Programa de financiamiento a Plantaciones Forestales Comerciales. [En línea] Obtención de apoyos para la

producción y mantenimiento de plantaciones forestales comerciales. [Fecha de consulta: 20 de enero de 2023]. Disponible en: <<https://www.gob.mx/conafor/acciones-y-programas/programa-de-financiamiento-a-plantaciones-forestales-comerciales>>.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2015b. Manual para el establecimiento de unidades productoras de germoplasma forestal. [En línea] Gerencia de Restauración Forestal. [Fecha de consulta: 30 de enero de 2023]. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/docs/Manual_para_el_establecimiento_de_unidades_productoras_de_Germoplasma_Forestal.pdf>.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2017. Plantaciones Forestales Comerciales. [En línea] Plantación Forestal Comercial [Fecha de consulta: 03 de enero de 2023]. Disponible en: <<https://www.gob.mx/conafor/documentos/plantaciones-forestales-comerciales-27940>>.

Cruz Fernández, M. 2003. La caoba, una alternativa para áreas deforestadas de la Huasteca Potosina. Campo Experimental Huichihuayán. CIRNE. INIFAP. Folleto para productores no.4. San Luis Potosí, México. 15 p.

Espitia C., M., Murillo G., O. y Castillo P., C. 2011. Ganancia genética esperada en teca (*Tectona grandis* L.f.) en Córdoba, Colombia. Colombia Forestal, 14(1), 81-93.

Falconer, D. S. 1990. Introducción a la genética cuantitativa. México, D.F.: Compañía Editorial Continental. México. 383 p.

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.

Fernández-Pérez, L., N. Ramírez-Marcial y M. González-Espinosa. 2013. Reforestación con *Cupressus lusitanica* y su influencia en la diversidad del bosque de pino-encino en Los Altos de Chiapas, México. Botanical Sciences, 91: 207-216.

- Flores L., C. 2000. Selección de árboles plus en el estado de Chihuahua. In: Primer Congreso Nacional de Reforestación. PRONARE-SEMARNAT. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México. 4 p.
- 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.
- García, M. E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen; 4^a. ed. México. 217 p.
- Gieck, K. y Gieck, R. 2003. Manual de fórmulas técnicas. 19a Edición. Editorial Alfaomega, México. 736 p.
- 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). 2010a. Compendio de información geográfica municipal 2010. San Pedro Pochutla, Oaxaca. [Fecha de consulta: 27 de enero de 2023]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/20/20012.pdf>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010b. Red hidrográfica edición 2.0. Cuenca R. Copalita y Otros. Región H. Costa de Oaxaca (Puerto Ángel). [Fecha de consulta: 22 de febrero de 2023]. Disponible en: <<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825006900>>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2013. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000 serie V Conjunto Nacional Puerto Escondido. [Fecha de consulta: 22 de febrero 2023]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825567736>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2015. Guía para la interpretación de la cartografía Edafología Escala 1: 250 000 Serie III. 60 p.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2017. Información Topográfica D14B18 San José Chacalapa. Escala 1:50 000 serie III. [Fecha de consulta: 22 de febrero 2023]. Disponible en: <<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463815389>>.
- Ipinza, C. R. 1998a. Métodos de selección de árboles plus. Apuntes curso mejora genética forestal operativa. Valdivia, Chile: Instituto Forestal, 105-127 p.
- Ipinza, C. R., L. R. Vergara. 1998b. Diseño de huertos semilleros. Apuntes de curso mejora genética forestal operativa. Southern University of Chile. 129-151 p.
- Kothari, C.R. (2004). Research methodology: Methods and techniques (2nd ed.). New age international.
- Ledig, F. T. 1974. An analysis of methods for the selection of trees from wild stands. Forest Science. 20:2-16.
- Márquez, A.C. y Lara O. F. 1999. Plantas medicinales de México II composición, usos y actividad biológica. UNAM. 35-37 pp.
- Martín, M., y Álvarez. 2003. Tendencias en mejora genética forestal. Material vegetal de reproducción, manejo, conservación y tratamiento. Universidad de Córdoba. 21 p.
- Martínez-Vázquez, J. 2018. Variación Fenotípica y Selección de Árboles de *Cedrela odorata* L. en Plantaciones Comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México. 56 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. Colegio de la Frontera Sur, Quintana Roo. 95 p.

- Morales H., J. 1997. Programa de manejo forestal de las plantaciones forestales en San José Chacalapa, Pochutla y Candelaria Loxicha, Oaxaca. Agrosilvícola San José S.P.R. de R.L. Pochutla, Oaxaca. 31 p.
- Morales O. E. R., y T. L. G. Herrera. 2009. Cedro (*Cedrela odorata* L.) Protocolo para su colecta, beneficio y almacenaje. Región xii península de Yucatán departamento de conservación y restauración de ecosistemas forestales programa de germoplasma forestal. 23 p.
- Pennington, T.D. y J. Sarukán. 1998. Árboles tropicales de México. Segunda edición. UNAM - Fondo de Cultura Económica. México, 523 p.
- Prüller, R. 2003. Forest genetic resources working papers. Forest Resources Development Service, Forest Resources division. FAO, Rome 50 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 No° 20, Mérida, Venezuela, 169-179 p.
- Rescala, P. J. 2017. Criterios para la obtención de Germoplasma del programa nacional forestal. Zapopan, Jalisco, México, 11 p.
- Ramos, E. A. y Domínguez, T. G. 2016. Selección de árboles de bolaina blanca (*Guazuma crinita* mart.) como candidatos a árboles plus para ensayos de rejuvenecimiento y brotación. *Ecología Aplicada* 15(2):115-123.
- Santiago, P.R. 2004. Variación fenotípica en árboles selectos de *Pinus arizonica* Engelm. en Chihuahua. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México, 69 p.
- Schomaker M, S. y Zanoch, K. Stolte. 1999. Tree crown condition indicator. USDA. Servicio forestal. Hoja informativa sobre el seguimiento de la salud forestal 4 pp.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2018. Anuario estadístico de la producción forestal 2018. Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. México. 298 p.
- 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: 22 de enero de 2023]. Disponible en: <<http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-aa-169-scfi-2016.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. 30 de diciembre de 2010. [Fecha de consulta: 20 de enero de 2023]. Disponible:<https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf>.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2022. Reglas de operación del Programa Desarrollo Forestal Sustentable para el Bienestar. [En línea] Diario Oficial de la Federación. 29 de diciembre de 2022. Recuperado el 21 de enero de 2023. Disponible: <https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5676155&fecha=29/12/2022#gsc.tab=0>.
- Soto-Pinto, L., M. Anzueto-Martínez, Sotero-Quechulpa. 2011. El acahual mejorado un prototipo agroforestal. El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. 28 p.
- 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.

- Vanegas-López, M. 2016. Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias. CONAFOR, CONABIO, GEF-PNUD. México. 158 p.
- Wright, Jonathan 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.
- Zobel, B., y J. Talbert. 1984. Applied Forest Tree Improvement. John Wiley y Sons. New York. 510 p.