

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Índice de Sitio para Tres Especies de *Pinus* en Plantaciones Mixtas,

Miahuatlán, Oaxaca

Por:

JOSÉ VALENTIN ZUÑIGA HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Marzo del 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Índice de Sitio para Tres Especies de *Pinus* en Plantaciones Mixtas,
Miahuatlán, Oaxaca

Por:

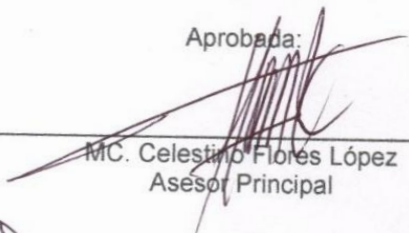
JOSÉ VALENTIN ZUÑIGA HERNÁNDEZ


TESIS:


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

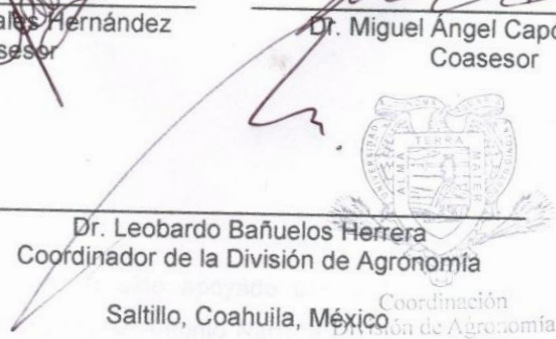
INGENIERO FORESTAL

Aprobada:


MC. Celestino Flores López
Asesor Principal


Ing. Juan Morales Hernández
Coasesor


Dr. Miguel Angel Capó Arteaga
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Salttilo, Coahuila, México
Coordinación
División de Agronomía

Marzo 2013

Este proyecto de tesis ha sido apoyado por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 13-30-3613-2122, a cargo del M.C. Celestino Flores López.

DEDICATORIA

A Dios, por el milagro de nuestra existencia como ser vivo, así mismo por Fe, esperanza, alegría y protección que me ha brindado y por asignarme en esa familia humilde y amorosa de la que soy miembro.

A mis padres Celestino Zúñiga Cruz y Josefina Hernández Alarcón por haberme dado el amor y comprensión en cada uno de los momentos de mi vida, por darme siempre su apoyo moral e inculcarme los valores éticos y por siempre sentirse orgullosos de mí, que es lo más importante para un hijo.

A mis tíos José Luis Zúñiga González y Leticia Villegas Jácome que han sido mis segundos padres, por otorgarme la herencia más grande que tendré (la educación), por haber culminado el nivel superior con éxito al darme la confianza y de ser mi guía en el camino de la vida.

A mis hermanos Jovita, Verónica, Nancy del Carmen, Jorge Alberto, Juan Valentín, Hugo, Miguel Ángel, Gustavo Adolfo por haber compartido momentos inolvidables en cada una de las etapas de mi corta vida, y por demostrarme que la amistad de hermanos siempre será suficiente para resolver cualquier problemática entre nosotros.

A mi familia en general, tíos, primos sobrinos, por siempre brindarme cariño y animo de seguir estudiando y de culminar mi carrera de ingeniero forestal con éxito.

A mis amigos Mirna Cruz Méndez, Paola Aidé Cepeda Carmona, Víctor Manuel Rivas del Bosque, Evelio García Camilo, Emanuel López Matías, Sergio Cruz García, Mauricio Pérez Zarate y Jorge Yair Palma Zarate, por ser como de mi familia en Saltillo Coahuila, brindarme su apoyo incondicionalmente y haberme regalado momentos de alegría.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Educación y Capacitación Forestal No. 1 Manuel Martínez Solórzano, por haber formado en mí las primeras bases del conocimiento en la rama de la forestaría misma que siempre han servido de referencia para lograr con éxito mi carrera de ingeniero forestal.

A mi “*ALMA MATER*” la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de formarme dentro de la carrera de Ingeniero Forestal y haber enriquecido mis conocimientos para enfrentar de forma positiva a una vida laboral.

A los profesores del Departamento Forestal por haberme compartido sus conocimientos en cada una de las sesiones impartidas de las materias asignada del programa docente de la carrera de ingeniero forestal.

Al M.C. Celestino Flores López por la asesoría brindada durante la realización de este trabajo, dicha asesoría a la que él le prestó tiempo suficiente para que se tuviera éxito en la presentación del proyecto de tesis, y por compartir su extenso conocimiento en el ramo forestal.

Al Ing. Juan Morales Hernández por su apoyo en la estancia de las evaluaciones, además por su colaboración en la revisión del trabajo de tesis.

Al Dr. Miguel Ángel Capó Arteaga por su colaboración en la revisión del trabajo de tesis.

Al Ing. Bartolomé Santiago García por transmitirnos sus conocimientos en el área laboral y por siempre tener disponibilidad al realizar las actividades.

A mis compañeros Mirna Cruz Méndez y Nancy del Carmen Zúñiga Villegas por el apoyo brindado en la realización de la evaluaciones.

A la familia Cortés Martínez y a la familia Jacinto Sánchez por habernos brindado su hospitalidad en cada una de las evaluaciones realizadas.

A los trabajadores, Armando, Mateo, Heladio, Juan y Jorge por el apoyo brindado en las evaluaciones, y el reconocimiento del área del estudio.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | Página |
|--|--------|
| ÍNDICE DE CUADROS..... | lii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | lv |
| RESUMEN..... | v |
| ABSTRACT..... | vi |
| 1 INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Objetivo..... | 4 |
| 2 REVISIÓN DE LITERATURA..... | 5 |
| 2.1 Plantaciones forestales comerciales en el mundo..... | 5 |
| 2.2 Plantaciones forestales comerciales en México..... | 5 |
| 2.3 Plantaciones forestales comerciales en Oaxaca..... | 7 |
| 2.4 Plantaciones Forestales Comerciales en Miahuatlán, Oaxaca... | 8 |
| 2.4.1 Descripción de las especies de <i>Pinus</i> del estudio..... | 9 |
| 2.5 Problemática del establecimiento de las plantaciones forestales comerciales en México..... | 10 |
| 2.5.1 Propuesta de solución a la problemática del establecimiento de plantaciones forestales comerciales..... | 10 |
| 2.6 Justificación del establecimiento de las plantaciones forestales comerciales..... | 11 |
| 2.7 Evaluación de plantaciones forestales comerciales..... | 12 |
| 2.7.1 Modelos de Crecimiento..... | 12 |
| 2.7.2 Evaluación de calidad de sitio..... | 13 |
| 2.7.3 Metodología para la estimación del índice de sitio..... | 14 |
| 2.7.4 Curva guía..... | 14 |
| 2.7.5 Curvas anamórficas y polimórficas..... | 15 |
| 3 MATERIALES Y MÉTODOS..... | 17 |
| 3.1 Descripción del área de estudio..... | 17 |

| | |
|--|----|
| 3.1.1 Localización geográfica..... | 17 |
| 3.1.2 Aspectos ecológicos..... | 20 |
| 3.1.3 Actividades productivas..... | 21 |
| 3.1.4 Prácticas silvícolas en las plantaciones..... | 21 |
| 3.2 Evaluación de crecimiento en las plantaciones..... | 22 |
| 3.2.1 Diseño de muestreo..... | 22 |
| 3.2.2 Variables evaluadas..... | 23 |
| 3.2.3 Base de datos..... | 23 |
| 3.2.4 Modelos de crecimiento..... | 23 |
| 3.2.5 Método de la curva guía..... | 25 |
| 3.2.6 Construcción de la curva guía..... | 26 |
| 3.2.7 Determinación de la edad base..... | 27 |
| 3.2.8 Determinación de la amplitud de curvas..... | 28 |
| 3.2.9 Construcción de la familia de curvas anamórficas..... | 28 |
| 3.2.10 Determinación de la calidad de sitio..... | 30 |
| 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 32 |
| 4.1 Determinación del modelo matemático..... | 32 |
| 4.2 Determinación de la edad base..... | 35 |
| 4.3 Curvas anamórficas de índice de sitio con edad base de 18 años, para <i>Pinus pseudostrobus</i> , <i>Pinus patula</i> y <i>Pinus douglasiana</i> | 37 |
| 4.4 Determinación del índice de sitio para los predios de plantación..... | 39 |
| 5 CONCLUSIONES..... | 42 |
| 6 RECOMENDACIONES..... | 43 |
| 7 LITERATURA CITADA..... | 44 |
| APÉNDICE..... | 50 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | Página |
|--|--------|
| Cuadro 1. Localización geográfica, especies, superficie plantada/especie, año de plantación y superficie total de cada predio plantado, en Distrito de Miahuatlán Oaxaca..... | 17 |
| Cuadro 2. Aspectos ecológicos de las localidades de Río San José, Latinas, Río Yubto, Santa Ana y Ojo de Agua | 20 |
| Cuadro 3. Modelos de crecimiento utilizados para la estimación del índice de sitio..... | 24 |
| Cuadro 4. Especificaciones de las clases de calidad de sitio..... | 31 |
| Cuadro 5. Valores de los parámetros estadísticos de los modelos analizados para el conjunto de datos de las especies <i>Pinus pseudostrobus</i> , <i>Pinus patula</i> y <i>Pinus douglasiana</i> | 34 |
| Cuadro 6. Calidad de estación, índice de sitio y rango de calidad a una edad base de 18 años para las tres especies de <i>Pinus</i> en plantación Miahuatlán Oaxaca..... | 40 |
| Cuadro 7. Índices de sitio y asignación de la calidad de sitio para el conjunto de predios evaluado en las localidades del municipio de Miahuatlán, Oaxaca..... | 41 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|---|--------|
| Figura 1. Ubicación predial de plantaciones en “Río San José”, Municipio de San Sebastián Río Hondo, Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca (Cortés, 2010)..... | 18 |
| Figura 2. Ubicación predial de plantaciones en “Santa Ana y Ojo de Agua”, Municipio San Miguel Suchixtepec, Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca (Cortés, 2010)..... | 18 |
| Figura 3. Ubicación predial de plantaciones en “Lastina y Río de Yubto”, Municipio San Miguel Suchixtepec, Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz (Cortés, 2010)..... | 19 |
| Figura 4. Comparación de las líneas de ajuste de las tres especies de <i>Pinus</i> con la línea de ajuste final (curva guía) construida con el modelos Chapman – Richards con una edad base de 18 años..... | 32 |
| Figura 5. Diagrama de dispersión de las tres especies de <i>Pinus</i> , y la curva de ajuste construida con el modelo Chapman-Richards misma que funcionará como la curva guía para la construcción de las curvas anamórficas con edad base de 18 años, Miahuatlán, Oaxaca..... | 35 |
| Figura 6. Curva de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual IMA en altura de las tres especies de <i>Pinus</i> en plantaciones, Miahuatlán, Oaxaca..... | 36 |
| Figura 7. Familia de curvas anamórficas de índice de sitio para <i>Pinus pseudostrobus</i> , <i>Pinus patula</i> y <i>Pinus douglasiana</i> con edad base de 18 años. Plantación Miahuatlán, Oaxaca..... | 39 |
| Figura 8. Familia de curva anamórficas de <i>Pinus pseudostrobus</i> , <i>Pinus patula</i> y <i>Pinus douglasiana</i> con edad base de 18 años, presentando los límites de cada una de las calidades de sitio..... | 40 |

RESUMEN

El propósito del presente estudio fue determinar el índice de sitio para *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula* y *Pinus douglasiana* en plantaciones Miahuatlán, Oaxaca. Se utilizó información proveniente de 85 sitios permanentes de 100 m², dónde se realizaron seis evaluaciones anuales consecutivas desde 2005 al 2011 de las cuales dos fueron evaluadas en este estudio (2010-2011) y las restantes estimaciones fueron datos de evaluaciones previas. Las variables evaluadas fueron edad y altura dominante. Para ajustar los pares edad-altura se probaron cuatro modelos no lineales y se eligió el de mejor ajustes en base a los estadísticos de R^2_{adj} , R^2 , CME. Para la determinación de los índices de sitio se utilizó el método de curva guía con una edad base de 18 años.

El modelo de Chapman-Richards fue el de mejor ajuste presentando los valores más altos de coeficiente de determinación ajustado ($R^2_{adj} = 0.9973$) y coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9974$), y el valor más bajo de cuadrado medio del error (CME=0.2401). En la construcción de la familia de curvas anamórficas se definieron cinco curvas con una equidistancia de tres metros, obteniendo índices de sitio de 22.17 (I), 19.17 (II), 16.17 (III), 13.17 (IV) y 10.17 (V) correspondiente a las calidades de sitio indicada con número romano. Los predios del ejido de San Miguel Suchixtepec y San Sebastián Río Hondo presentan buena calidad estación en base a los índices de sitio encontrados.

Palabras clave: índice de sitio, calidad de estación, curva guía, curvas anamórficas

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the site index for *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula* and *Pinus douglasiana* plantations in Miahuatlán, Oaxaca. We used information of 85 permanent plots (100 m²), they were evaluated each year consecutively from 2005 to 2011 of which two years were evaluated in this study (2010-2011) and the rest was information of previous studies. The variables measured were age and dominant height. To adjust the height-age pairs were tested four nonlinear models and chose the best settings based on statistical R^2_{adj} , R^2 and CME. To determine the site index was used the guide curve method a base age of 18 years.

The Chapman-Richards model was the best fit presented higher values of adjusted coefficient of determination ($R^2_{adj} = 0.9973$) and coefficient of determination ($R^2 = 0.9974$), and the lowest value of mean square error (CME = 0.2401). In the construction of the family of curves were defined five anamorphic curves with an equidistance of three meters, obtaining site indexes 22.17 (I), 19.17 (II), 16.17 (III), 13.17 (IV) and 10.17 (V) corresponding the qualities of the site indicated with Roman numbers. The properties of the common land of San Miguel Suchixtepec and San Sebastian Río Hondo have good quality according to station site indexes found.

Keywords: site index, site quality, guide curve, anamorphic curves.

1 INTRODUCCIÓN

La plantación de árboles tiene una importancia creciente para satisfacer las necesidades de madera de la población mundial en constante crecimiento y para mejorar los niveles de vida, como así mismo para contrarrestar la menor disponibilidad de madera y otros productos forestales provenientes de los bosques naturales. También se necesitan plantaciones en los casos en que se desea rehabilitar zonas despojadas de vegetación arbórea, como terrenos afectados por la salinidad, y dónde se necesita la regeneración rápida de la cubierta vegetal (Palmberg-Lerche y Ball, 1998).

Originalmente las plantaciones forestales fueron encaminadas para sustituir los casos de falla de la regeneración de los bosques naturales y para restaurar algunas áreas afectadas por daños ocasionados por el hombre o accidentes naturales, pero han crecido como una alternativa de producción intensiva más controlada en cuanto a la uniformidad de sus productos y la mayor productividad por unidad de superficie (Martínez, 2005).

Lo anterior fue la causa del surgimiento de las plantaciones forestales comerciales que son el establecimiento, cultivo y manejo de vegetación forestal en terrenos temporalmente forestales o preferentemente forestales, cuyo objetivo principal es la producción de materias primas forestales destinadas a su industrialización y/o comercialización (CNEUM, 2003).

Una de las ventajas de las plantaciones forestales comerciales con respecto a los bosques naturales, es el control de la densidad de los árboles en la población. Mediante el establecimiento de espaciamientos predeterminados, para obtener en el tiempo y espacio árboles con dimensiones uniformes. Esto contrasta notablemente con los bosques o selvas naturales dónde la población es heterogénea y debido a la forma a la especie y al tamaño de árboles presentes, únicamente se puede aprovechar algunos individuos por hectárea (Patiño, 1995).

Actualmente en el mundo está aumentando el potencial de las plantaciones forestales para atender parcialmente la demanda que pesa sobre los bosques naturales, con fines industriales. Aunque representan sólo el 5% de la cubierta forestal mundial, se estima que las plantaciones forestales en el año 2000 suministraban alrededor del 35% de la madera en rollo del mundo, con un aumento previsto hasta el

44% para el año 2020 lo cual quiere decir que una plantación forestal comercial es ocho veces más productivo que un bosque natural (FAO, 2001).

Sin embargo, las plantaciones forestales en México, se han limitado principalmente a protección y regeneración, y pocos son los ejemplos de poblaciones establecidas con fines comerciales. También debe señalarse que en la actualidad muchas industrias y organizaciones ligadas a la actividad forestal, están estableciendo o planean establecer plantaciones para satisfacer parte de sus necesidades en materia prima, ante la inminente escasez y “alejamiento” de las fuentes productoras en algunas regiones del país (Martínez *et al.*, 2006).

Otra de las desventajas en el establecimiento de plantaciones forestales comerciales son problemas técnicos, financieros y de organización, que han imposibilitado plantar áreas aprovechadas, área perturbadas, o bien, terrenos de alto potencial productivo (Torres y Magaña, 2001).

Pero una de las parte más importante en el tema de la plantaciones es que el gobierno federal está interesado en el desarrollo en magnitud de las plantaciones forestales comerciales por lo cual estableció el Programa para el Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales (PRODEPLAN), que tiene como meta apoyar el desarrollo de 875,000 ha para el año 2025 otorgando subsidios hasta por el 65% de los costos de establecimiento (FAO, 1998).

Así mismo se han estado abriendo otros tipos de financiamiento para los pequeños propietarios en la formación de plantaciones forestales comerciales por parte de la banca, así como de (FIRA) por medio de créditos forestales; ya que están seguros de que esta actividad es totalmente rentable por el rendimiento que se ha logrado comparado con bosque naturales, demostrado en evaluaciones de rentabilidad (Del Castillo, 1996).

En un escenario en el que los recursos naturales cada día son más escasos, las tendencias mundiales apuntan hacia su protección, conservación y fomento con el fin de disminuir el deterioro ambiental a lo cual se le dará una gran importancia a las plantaciones forestales por lo tanto los productos o servicios que brinde como tal serán mejor pagados por ser multifuncional, el financiamiento a estos proyectos será mejor valorados por su alta rentabilidad (Zamudio *et al.*, 2010).

Estos pueden ser algunos de los factores por lo cual las plantaciones forestales comerciales tendrán cada vez más importancia como fuente de madera industrial, lo cual permitirá reducir potencialmente el nivel de extracción de madera en los bosques naturales (FAO, 1999).

Los datos relativos a la productividad a largo plazo de las plantaciones forestales siguen siendo escasos, y sin ellos los profesionales forestales no pueden demostrar adecuadamente hasta qué punto son idóneas sus técnicas silvícolas y no pueden refutar las afirmaciones de que la existencia de rotaciones sucesivas de especies arbóreas de crecimiento rápido ocasionan inevitablemente el deterioro del suelo (Evans, 1988).

Por esta razón tendremos que abordar el tema de las evaluaciones de plantaciones forestales que es una actividad relevante en su administración, independientemente que se cuente con guías bien definidas sobre el manejo. Tales herramientas generalmente solo están disponibles para zonas dónde han existido años de investigación sobre alternativas de manejo de plantaciones, y aun en esos casos, la evaluación de plantaciones siempre será necesaria (Torres y Magaña, 2001). Estas evaluaciones generalmente están enfocadas a determinar el rendimiento de la plantación, por lo tanto, las evaluaciones son necesarias para obtener la productividad del área, que se puede definirse como el máximo volumen de madera que se puede obtener en un lugar y tiempo determinado (Frau y Montecinos, 2006).

En muchas comunidades en México han buscado el asesoramiento técnico para estimar el rendimiento de plantaciones producto de reforestación con el objetivo de conocer si la inversión realizada en éstas se recuperará por lo tanto las evaluaciones de producción de la plantación son importante para dar la respuesta, además que se considera como una herramienta importante para realizar los estudios de manejo de plantaciones forestales.

Este ha sido el caso de la región sierra sur de Oaxaca dónde se localizan los municipios de San Mateo Río Hondo, San Sebastián Río Hondo y San Miguel Suchixtepec, dónde los pequeños propietarios consideraron la necesidad de iniciar con la evaluación de sus plantaciones forestales para tener información de la productividad de éstas, así mismo saber que sus ingresos serán recompensados con los incrementos presentados en las plantaciones y determinar la especie más recomendable para cada

uno de los predios así como realizar un mejor manejo forestal dentro del área, esta son las razones de este trabajo el cual presenta el siguiente objetivo:

1.1 Objetivo

Determinar índice de sitios para *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula*, y *Pinus douglasiana* en plantaciones mixtas en los predios de pequeños propietarios, Miahuatlán, Oaxaca.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Plantaciones forestales comerciales en el mundo

En las plantaciones forestales del mundo se han utilizado un gran número de especies, entre las que destacan las especies de rápido crecimiento, como lo es el eucalipto y las de lento crecimiento algunas especies de *Pinus*. El 70% de todas las plantaciones industriales se encuentran en las áreas tropicales y subtropicales que son las zonas en dónde han tenido mayor influencia las plantaciones y se han utilizado mayormente especies de eucaliptos o pinos. La teca alcanza el 15%; otras especies de latifoliadas el 12 %; y otras especies de coníferas, el 3% (Musálem, 2006).

Hablando específicamente del género *Pinus* las especies más empleadas en el mundo son: *Pinus radiata* D. Don, *P. patula* Schl. et Cham, *P. caribea* Morelet, que abarcan el 25% de la superficie de maderas blandas cultivadas para uso industrial en el mundo y son consideradas de rápido crecimiento, mientras que los pinos de crecimiento más lento como lo son *P. kesiya* Royle ex Gordon, *P. massoniana* Lamb, *P. merkusii* Jungh & de Vriese, *P. roxburghii* Sarg, *P. halepensis* Mill, *P. pinaster* Ait y *P. wallichiana* A.B. Jacks constituyen alrededor del 36% (Palmberg-Lerche y Ball, 1998).

Respecto a proyectos establecidos se considera que las principales plantaciones comerciales de coníferas se localizan en el Sur de Estados Unidos, Brasil, Chile y Nueva Zelanda, por otro lado las plantaciones de latifoliadas, en este caso de eucalipto, se ubican en Brasil y Sudáfrica (Musálem, 2006).

2.2 Plantaciones forestales comerciales en México

Las plantaciones forestales en un país con alto índice de deforestación como es el caso de México que se estima aproximadamente 314,000 ha anuales lo que equivale a 260,000 m³ por año, deberían ser prioritarias dentro de las actividades de las dependencias oficiales y empresas particulares ya que mediante ellas se podrían, no solo disminuir sino dar alternativas, para abastecer de materia prima a la industria forestal, así como equilibrar el número de importaciones que existe por la demanda insatisfecha de productos forestales (Contreras y Rodríguez, 1992; CONAFOR, 2004).

Esta es la razón del porque se presentaron los primeros intentos de reforestación o plantaciones forestales que se han venido realizando en el sureste de México desde hace 40 años, habiéndose establecido anualmente pequeñas áreas de 150 a 200 ha anuales, distribuidas en diversos municipios de la península de Yucatán. Las especies que se utilizaron fueron principalmente, el cedro rojo (*Cedrela Odorata* L.) y la caoba (*Swietenia macrophylla* King) (Cedeño y Villa, 1978).

En México, las primeras experiencias concretamente hablando del establecimiento de plantaciones forestales comerciales, datan de la década de los 60's cuando la empresa Fibracel, S.A. establece en el estado de San Luis Potosí, plantaciones con fines de producción de materia prima para la fabricación de tableros aglomerados, abarcando 2500 ha con varias especies de eucalipto (Caballero, 2000). Un siguiente proyecto fue la plantación de unas 50 ha para la producción de fósforos por parte de la Compañía Cerillera La Central, en Chalco Estado de México, con álamo (*Populus deltoides* Michx) establecida a mediados de los cincuentas, que en los setentas fue removida con fines ornamentales para colocar los árboles más estéticos en el paseo Tollocan y otros parques, finalmente en 1976 fue cortada en su totalidad para la obtención de materias primas celulósicas para la Fábrica de Papel de San Rafael (Caballero, 2000).

También la paraestatal PROFORTARAH (Productos Forestales de la Tarahumara) estableció entre 1975 y 1978, 6,500 ha de plantaciones de diferentes especies de pinos en la Sierra de Chihuahua; hasta la fecha no han sido aprovechadas con fines comerciales (Vera, 1990).

Otro antecedente que se considera el más relevante que se ha tenido en la materia, lo constituye la plantación comercial hecha en La Sabana, Oaxaca, realizada por Fábricas de Papel Tuxtepec, a partir de la década de los 70's, en un área de 9000 ha, de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, con el propósito de producir materia prima para la elaboración de celulosa para papel periódico (Musálem, 2006).

Por otra parte en 1996, la empresa internacional Smurfit Cartón y Papel de México S.A. de C.V. da inicio a un proyecto de 28,000 ha en el Estado de Campeche con *Gmelina arborea* Robx y en 1998 dos empresas nacionales dan inicio a proyectos en los Estados de Sinaloa y Nayarit (9,000 ha) y en los Estados de Oaxaca y Veracruz (21,000 ha) respectivamente con *Eucalyptus spp.*, la empresa Plantaciones Forestales

de Tehuantepec, S.A. de C.V. (Arteaga y Castelán, 2008).

Todas las especies que se utilizaron en los diferentes casos, por ejemplo las especies de *Eucalyptus spp.* Estas especies son recomendables ya que unas de las características más notables de las plantaciones forestales es que sean especies de rápido crecimiento y alta productividad por unidad de área, y por lo consiguiente, uniformidad y calidad de producción (Contreras y Rodríguez, 1992). En México la superficie cubierta por plantaciones forestales comerciales (PFC) de diversas especies a nivel nacional alcanza aproximadamente 117,479 ha, de las cuales las especies maderables representan un 85.2%, distribuidas básicamente en los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche, siendo el cedro rojo y el eucalipto, las especies que mayormente se han plantado. El resto de la superficie de PFC corresponde a especies no maderables. Además de estos, hay otros seis estados que se han involucrado de forma significativa a esta actividad los cuales son: Puebla, Oaxaca, Chiapas, Jalisco, Michoacán, y Guerrero, que presenta importantes superficies de PFC. Los nueve estados cubren casi el 90% de la superficie establecida de PFC maderable en el país (CONAFOR-COLPOS, s/f).

2.3 Plantaciones Forestales Comerciales en Oaxaca

Posteriormente, se tiene documentado al proyecto “La Sabana” consistente en una plantación de *Pinus caribaea var. hondurensis* Sénécl y otras especies de pinos tropicales, ubicada sobre una superficie de 9,000 ha, plantadas en varios municipios de la Región Mixe del Estado de Oaxaca, realizada con el objetivo original de abastecer con 150,000 m³ de madera en rollo por año a la empresa FAPATUX (Fábricas de Papel Tuxtepec S. A. de C. V.). Estas plantaciones se iniciaron en 1974. La primera cosecha se realizó a partir de 1985 cuando las primeras plantaciones efectuadas en 1974 alcanzaban los 21 años de edad. El primer año se cosecharon, a manera de prueba, 500 m³ de madera en rollo (CONAFOR-COLPOS, s/f).

En 1994 FAPATUX transfirió al Gobierno del Estado de Oaxaca la superficie de terrenos federales plantados, mientras que las plantaciones establecidas en terrenos comunales pasaron a poder de los propietarios de las tierras mismos que constituyeron

diversas empresas forestales con el objeto de comercializar al mejor postor los volúmenes respectivos (CONAFOR-COLPOS, s/f).

Por otra parte en 1997 la empresa Plantaciones de Tehuantepec S.A. de C.V., presentó un proyecto para el establecimiento de 20 mil ha de eucaliptos, en la región del istmo, con una inversión de 18 millones de dólares. La empresa obtuvo el permiso para plantar 1,643 ha en 1998, el resultado que se tiene hasta ahora es de 150 ha en Nuevo Ixcatlán y Yugope, y 730 ha en San Juan Cotzocón y Santiago Yaveo (Arteaga y Ángel, 2008).

2.4 Plantaciones forestales comerciales en Miahuatlán, Oaxaca

En la región sur del estado de Oaxaca, también existen proyectos de plantaciones que comenzaron como reforestación que es el caso de los municipios de San Miguel Suchixtepec, 1995, San Sebastián Río Hondo y Santa María Ozolotepec, 1996 que dirigidos por su Responsable Técnico Forestal, se organizaron para llevar a cabo el manejo forestal de sus bosques, la producción de planta en vivero y las primeras reforestaciones en la región, todo ello con recursos propios. Después en el 2005, se constituyen formalmente como grupo en “Amanecer del Pacífico, Sociedad Cooperativa de Responsabilidad Limitada”, (S.C. de R.L.) y como una estrategia para frenar la atomización de la tierra que se da por transferencia o herencia de padres a hijos de constituyen en: “Agrosilvícola San José”, Sociedad de Producción Rural, de Responsabilidad Limitada (S.P.R. de R.L.); “Santa Ana Productores”, S.P.R. de R.L., “Agrosilvicultores Río San José”, S.R.P. de R.L; que son de carácter familiar lo cual les da un fortaleza de trabajo dado que está definida la participación de cada uno de los socios y por otra parte como organización pueden ser partícipes de los apoyos y subsidios y así también afrontar a las obligaciones fiscales, de esta manera están dentro del proceso de articulación de la Cadena Productiva Forestal integrando a la fecha la etapa tres (Industria) y únicamente les faltaría la última que es la Mercadotecnia, de ahí la importancia del fortalecimiento de la Silvicultura de bosques nativos y de las Plantaciones Forestales Comerciales; 20 años de trabajo (Cortés, 2010; Morales, 2013).

Ahora cuenta con predios definidos como plantaciones forestales, de diferentes edades con diferentes especies de *Pinus* las cuales son *P. pseudostrobus* Lindl, *P. oaxacana* Mirov, *P. patula var. longepedunculata* Loock, *P. maximinoi* H.E. Moore, *P. douglasiana* Martínez.

2.4.1 Descripción de las especies de *Pinus* del estudio

Pinus patula var. longepedunculata, tiene una altura media comprendida entre 20 y 30 m, diámetro normal de 30 a 40 cm. El tronco es recto, de buena forma. El fuste comercial varía de 10 a 20 m. El cono es serótino de 5 a 8 cm de largo, 2 a 3 cm de ancho. Semillas pequeñas y oscuras con 5 mm de largo y 3 mm de ancho (Vela, 1976).

Pinus pseudostrobus Lindl, es un árbol que alcanza de 20 a 40 m de altura, con un diámetro normal de 80-100 cm. Tronco monopódico, cilíndrico, el fuste libre de ramas alcanza las mitad de las altura total. Conos ovoides de 8 a 10 cm de largo y 5-7 cm de ancho color marrón. Semilla de 6 mm de largo y 3 mm de ancho, de color marrón oscuro (Farjon y Styles, 1997).

Pinus oaxacana Mirov., este árbol alcanza de 25-40 m de altura, con un diámetro normal de 1 metro; El tronco monopódico, recto, cilíndrico. Fuste comercial 15 a 28 m. Los conos de 10-14 cm de largo, de color marrón amarillento, las semillas llegan a medir hasta 10 mm de largo y 6 mm de ancho (Perry, 1990)

Pinus maximinoi H.E. Moore, árbol mediano de altura alcanzando de 20 a 40 m, con un diámetro normal de 70 a 90 cm. Tronco monopódico, recto, cilíndrico y con gran parte del fuste limpio de ramas. Conos oblicuo de 5-8 cm de largo y 10-15 cm de ancho, color marrón rojizo. Semilla es de color marrón oscuro, casi negro 5-7 mm de largo y 5 mm de ancho (Farjon y Styles, 1997).

Pinus douglasiana Martínez, árbol de media altura alcanzando de 20 a 45 m, con un diámetro normal de 80 a 100 cm. Tronco monopódico, recto y cilíndrico. Fuste comercial 10 a 25 m. Conos de 7-10 cm de largo y 10-15 cm, café rojizo. Semillas de color grisáceo obscuro, de 4-5 mm de largo y 3-3.5 mm de ancho (Farjon y Styles, 1997).

2.5 Problemática del establecimiento de las plantaciones forestales comerciales en México

Las plantaciones forestales en México no han tenido resultados de acuerdo al esfuerzo y recursos invertidos en ellas. El problema fundamental es que no se les ha dado el seguimiento requerido, en virtud de que el éxito de los programas actuales debe medirse por el porcentaje de supervivencia en el campo, así como por el crecimiento y rendimiento de madera y no por el número de plantas que se producen en los viveros. Además, para hacer de las plantaciones forestales una actividad económica rentable, es necesario proporcionar apoyos a los productores, a través del Gobierno Federal y la banca nacional (García *et al.*, 2011).

Otros de los problemas lo representan dueños y poseedores del recurso que no ven ventajas económicas en las plantaciones, debido a que el bosque natural de que disponen no les costó producirlo. Por otra parte ha existido inseguridad para invertir en plantaciones, debido a que los aspectos legales de tenencia de la tierra han sido desfavorables (Prieto y Ciro, 1998). Porque la singular características de la tenencia de la tierra en México limita poder compactar la superficie que se requiere para establecer complejos industriales de gran magnitud, ya que estos proyectos de plantaciones que se esperan consolidar en México se ubican en el rango de las 20,000 ha (Reed, 2006).

También otro problema es el encarecimiento de estímulos económicos directos e indirectos para las plantaciones forestales, como los aplicados en los países que han desarrollado estos programas y que les han dado buenos resultados. Además las bajas tasas de rentabilidad, la recuperación de la inversión a largo plazo y los ingresos hasta la cosecha, hacen que la falta de incentivos sea un fuerte obstáculo para desarrollar plantaciones (CONAFOR-COLPOS, s/f).

2.5.1 Propuestas de solución a la problemática del establecimiento de plantaciones forestales comerciales

Compactar la superficie que requiere un desarrollo de gran magnitud como puede ser una fábrica de celulosa, se necesita asociar a los dueños de tierras, las compañías plantadoras y la industria que dependerán de la madera producida, esto no

es algo imposible ya que se tiene el caso de FORMEX con una superficie plantada de 12,000 ha, dónde ya están es su segundo ciclo y están recolectando brotes por si misma cuenta y creando nuevas plantaciones con el apoyo y asesoría de la empresa (Reed, 2006).

Una propuesta más es que actualmente en México existe una política de estímulo a las plantaciones forestales comerciales. Ésta se orienta a través del PRODEPLAN, dependiente de la Comisión Nacional Forestal, dónde el esquema de financiamiento se proporciona a través de subsidios directos para el establecimiento y mantenimiento de plantaciones a diferentes periodos. El PRODEPLAN inició su operación en 1997 y desde su creación pretende el establecimiento de una superficie de 875,000 ha de plantaciones durante un periodo de 25 años. Con ello se estima alcanzar una producción anual de 18 millones de m³ (Sánchez *et al.*, 2006).

Otra propuesta es cuando hablamos de la banca de desarrollo, particularmente los Fondos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) y el Fondo de Capitalización e Inversión del Sector Rural (FOCIR) que alienta a los dueños del bosque, inversionistas e industriales, con préstamos blando para el financiamiento de plantaciones forestales con fines comerciales. El FIRA apoya hasta con 90% del crédito, tanto para el establecimiento y mantenimiento, como para el aprovechamiento, la industrialización y la comercialización de los productos resultantes (García *et al.*, 2011).

2.6 Justificación del establecimiento de Plantaciones Forestales Comerciales

El problema básicamente consiste en una reducción de las selvas y bosques originales, ocasionadas por la agricultura nómada, incendios forestales, desmontes con fines ganaderos, explotaciones selectivas de un número reducido de especies, limitaciones en la regeneración natural y problemas demográficos, factores que dada la complejidad de los mismos seguirán persistiendo, haciendo cada vez más difícil la regeneración natural de las selvas, con tendencia a una disminución considerable o dejando en su lugar selvas degradadas y acahuales de escaso o nulo valor comercial y con fuertes perturbaciones en el ecosistema en general (Cedeño y Villa, 1978).

Como consecuencia de lo anterior se ha resentido, la falta de materia prima para las industrias forestales. Para poder contar con materia prima que satisfaga las

necesidades de la industria y se produzcan nuevas fuentes de trabajo, se ha pensado que una de las probables soluciones sería la de establecer plantaciones forestales, las cuales deberán de tener una rentabilidad y rendimiento notable para lo cual se necesitará de evaluaciones constantes, el tema de la rentabilidad se ha visto reflejado en que el uso de las especies de rápido crecimiento sean mayor y las prácticas se realicen en zonas tropicales ya que tiene un mayor valor comercial (Cedeño y Villa, 1978; Musálem, 2006).

2.7 Evaluación de plantaciones forestales comerciales

2.7.1 Modelos de crecimiento

El crecimiento de un árbol o de una masa forestal está representado por su desarrollo. Es decir, por el aumento en sus dimensiones de altura, diámetro, área basal y volumen. Este crecimiento, en un periodo determinado se denomina incremento y representa un aumento en la cantidad de tejido acumulado de floema y xilema en forma de corteza y madera respectivamente (De la Fuente *et al.*, 1998).

El conocimiento de la dinámica del crecimiento de las masas forestales constituyen la aplicación en trabajos de silvicultura para el buen manejo de los recursos, así como la información básica para el cálculo de la rentabilidad de su producción, la toma de decisiones referidas a la conveniencia o no de la plantación de una especie en especial y la planificación para el asentamiento de industrias que utilicen su madera como materia prima, de esta manera la forestación constituye al desarrollo de la región. El fomento de las plantaciones forestales debe estar respaldado por una estimación fundamentada de su crecimiento (Zepeda y Ramírez, 1984, Gaillar *et al.*, 2002).

Para estimar los crecimientos e incrementos existen los modelos de crecimiento convencionales que describen la productividad indirectamente a través de la determinación del índice de sitio, en dónde el indicador más utilizado es la altura dominante a una edad base, por lo cual se hace necesaria la descripción de un modelo que represente, lo más cerca posible de la realidad, la relación edad-altura dominante, lo cual nos llevan a estimar una calidad de sitio (Barrero *et al.*, 2011).

En el caso del estudio de estimación del índice de sitio para *Pinus duragensis* Martínez en San Dimas, Durango dónde se utilizaron 13 modelos matemáticos entre los que destacaron, Chapman-Richards, Schumacher y Weibull dónde el de Schumacher fue el que representó el mejor ajuste para poder elaborar las curvas de índice de sitio (López y Valle, 2009).

Uno más de los estudios fue la estimación de índice de sitio para *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen en los estados de Puebla y Veracruz, México dónde se utilizaron una serie de modelos los cuales fueron Weibull, Payanden y Wang, Schumacher y Chapman-Richards, dónde estos últimos dos representaron un ajuste muy aceptable generando un coeficiente de determinación por encima de los 0.95, los cuales representan que son modelos que brindan buen ajuste para realizar una buena estimación de índice de sitio (Rodríguez y Arteaga, 2005).

Otro estudio fue en el que se estimó el índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. en la región de CD. Hidalgo, Michoacán, el modelo de crecimiento que brindó mejor resultado fue el de Gompertz, teniendo como resultado un cuadrado medio del error de 11.145 que es considerado bajo, además de presentar un coeficiente de determinación de 0.973 que es un dato considerado aceptable (Cornejo *et al.*, 2005).

2.7.2 Evaluación de calidad de sitio

Se entiende por calidad de sitio, la capacidad de determinada área para producir vegetación forestal como resultado de la interacción de diversos factores del medio, que influye en el crecimiento y producción de las especies silvícolas (Aguilar y Aguilar, 1991).

Un método práctico, que ha resultado ser aceptable para estimar la calidad de estación, es el método del índice de sitio, que utiliza a la vegetación mediante la relación edad-altura dominante ya que es fácilmente medible y está menos sujeto a la influencia de factores (densidad) que puedan alterar su índice de representatividad (Benavides y Manzanilla, 1993).

Además el método de índice sitio presenta una gran ventaja el de ser cuantitativo, es decir se puede expresar numéricamente y compararse con otros métodos, y siendo totalmente objetivo (Benavides, 1993)

El concepto de calidad de estación es manejado como sinónimo de calidad de sitio. También se dice que es la capacidad productiva del suelo en relación a alguna especie (Aguilar y Aguilar, 1991). Y es considerado como uno de los parámetros necesarios para la elaboración de planes de manejo ya que permite clasificar los bosques o rodales según su potencial productivo (Sánchez y Del Castillo, 2001).

Ligado al párrafo anterior se destaca que el método de desarrollo silvícola (MDS) sigue el mismo principio ya que formula series de ordenación en base a la calidad del sitio misma que será utilizada para la asignación del tratamiento silvícola (SARH, 1985).

2.7.3 Metodología para la estimación de índice de sitio.

El método del índice de sitio es un proceso mediante el cual es posible estimar la calidad de sitio de rodales coetáneos, generalmente puros, con base en relaciones altura dominante- edad regidas por índices de sitio de otra manera está regido por una altura dominante alcanzada en el rodal a través de una edad determinada que usualmente se considera edad base o de referencia. La edad base se puede fijar en el momento en que los incrementos corriente y medio anual se interceptan y posteriormente construir la curva guía (Zepeda y Rivero, 1984).

2.7.4 Curva guía

La curva guía es la tendencia que indica el comportamiento medio del crecimiento en altura dominante de varias masas coetáneas. Representan el patrón de crecimiento en altura dominante que se supone sigue en promedio, un conjunto de rodales coetáneos, lo cual ayuda a la construcción de curvas anamórficas y polimórficas, lo cual en la construcción de una familia de curvas anamórficas la altura de una de dos curvas cualquiera, a cualquier edad, es una proyección constante de la altura de la otra a la misma edad, por esta razón también son conocidas curvas proporcionales (Zepeda y Rivero, 1984).

2.7.5 Curvas anamórficas y polimórficas

Cada una de las curvas representa la tendencia promedio de una clase de calidad de sitio a lo largo del tiempo y se etiqueta con un número romano o con el valor del índice de sitio que rige o caracteriza a esa tendencia promedio (Clutter *et al.*, 1983).

Curvas anamórficas es una familia de curvas proporcionales a una promedio, el punto de inflexión es a la misma edad para todas ellas, presentan una misma pendiente, y la tasa de crecimiento es constante para todos los sitios, por otra parte las curvas polimórficas son curvas no proporcionales una de otra sino que presenta diferentes curvas para las distintas clases de índice de sitio y fueron desarrolladas para reflejar variaciones de tasas de crecimiento en diferentes sitios, por lo que el punto de inflexión se presenta diferentes edades, y existen dos tipos las articuladas y no articuladas (Clutter *et al.*, 1983).

Dicha diferencia que existe entre las curvas anamórficas y polimórficas hace ser más práctica la utilización de curvas anamórficas por la razón de que al asignar la calidad de sitio al rodal o subrodal fácilmente se identifica al cual pertenece, además que de una forma indirecta el MDS te obliga a que se deben de realizar este tipo de curva porque al realizar ordenación del bosque es necesario asignar la calidad de sitio a cada rodal (Díaz, 2013).

Las curvas anamórficas y polimórficas pueden desarrollarse a partir de información de crecimiento en altura, provenientes de parcelas permanentes y del análisis troncal sin embargo, comúnmente están basados de varias parcelas temporales de muestreo. Para obtener esta información se debe considerar los criterios para determinar cuál será la altura de referencia (altura media, altura dominante o estatura) para la elección de los árboles de muestra, porque cada altura presenta ventajas y desventajas, particularmente en altura dominante tiene la desventaja de que en la masa forestal se produce un intercambio de las altura que forman el piso dominante y los árboles dominantes no son siempre los mismos en cada momento del turno, al menos en las primeras edades de la masa, así también que los árboles dominantes en ocasiones presentan condiciones excepcionales de origen genético ajeno a la calidad de estación (Ortega y Montero, 1988).

Por otra parte la ventaja que se puede señalar de la altura dominante como parámetro indicador de la producción es que es menos sensible a los aclareos y en general, a cualquier tratamiento silvícola, mismo que no sucede con la altura media por la razón que tiende a aumentar en los aclareos (Ortega y Montero, 1988).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área de estudio.

3.1.1 Localización geográfica

El área de trabajo del presente estudio se encuentra en las plantaciones forestales ubicadas en tres pequeñas propiedades en los municipios de San Sebastián Río Hondo y San Miguel Suchixtepec dichos municipios pertenecen al Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz de la Sierra Sur del Estado de Oaxaca, a continuación se presenta con detalle la referencia geográfica y descripción de la plantación en el Cuadro 1; Figura 1, 2 y 3.

Cuadro 1. Localización geográfica, especies, superficie plantada/especie, año de plantación, y superficie total de cada predio plantado, en Distrito de Miahuatlán Oaxaca.

| Localidad | Municipio | Especie | Año de Plantación. Superficie (ha) | Latitud | Longitud | Altitud (msnm) | Superficie total (ha) |
|--------------------------|-------------------------|--|---------------------------------------|--------------|--------------|----------------|-----------------------|
| Río san José | San Sebastián Río hondo | <i>P. pseudostrobus</i> Lindl <i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Look | 1) 1994 (4.788 ha) | 16° 09'58.3" | 96° 23'08.6" | 2789 | 17.906 |
| | | <i>P. pseudostrobus</i> Lindl <i>P. oaxacana</i> Mirov <i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Look | 2) 1995. (2.542 ha) | 16° 09'52.6" | 96° 23'07.1" | 2778 | |
| | | <i>P. pseudostrobus</i> Lindl <i>P. douglasiana</i> Mart <i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Look | 3) 2001. (4.407 ha) | 16° 09'61.8" | 96° 23'08.8" | 2780 | |
| | | <i>P. pseudostrobus</i> Lindl <i>P. douglasiana</i> Mart <i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Look | 4) 2002 (6.169 ha) | 16° 09'55.2" | 96° 23'06.3" | 2791 | |
| Lastinas y Río Yubto | San Miguel Suchixtepec | <i>P. oaxacana</i> Mirov <i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Look | 1) 1993 (5.968 ha) | 16° 02'56.6" | 96° 25'14.3" | 2187 | 9 |
| | | <i>P. maximinoi</i> H. E. Moore | 2) 1997 (3.102 ha) | 16° 03'01.6" | 96° 25'15.3" | 2160 | |
| Santa Ana y Ojo de Agua. | San Miguel Suchixtepec | <i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Look <i>P. pseudostrobus</i> Lindl | 1) 1995 (1.723 ha) | 16° 03'01.8" | 96° 28'04.3" | 2331 | 4.051 |
| | | <i>P. patula</i> var. <i>Longepedunculata</i> Look <i>P. ayacahuite</i> Ehren. | 2) 1996 (2.328 ha) | 16° 03'04.8" | 96° 28'03.4" | 2335 | |
| | | <i>P. pseudostrobus</i> Lindl | | | | | |

msnm: metros sobre el nivel del mar.

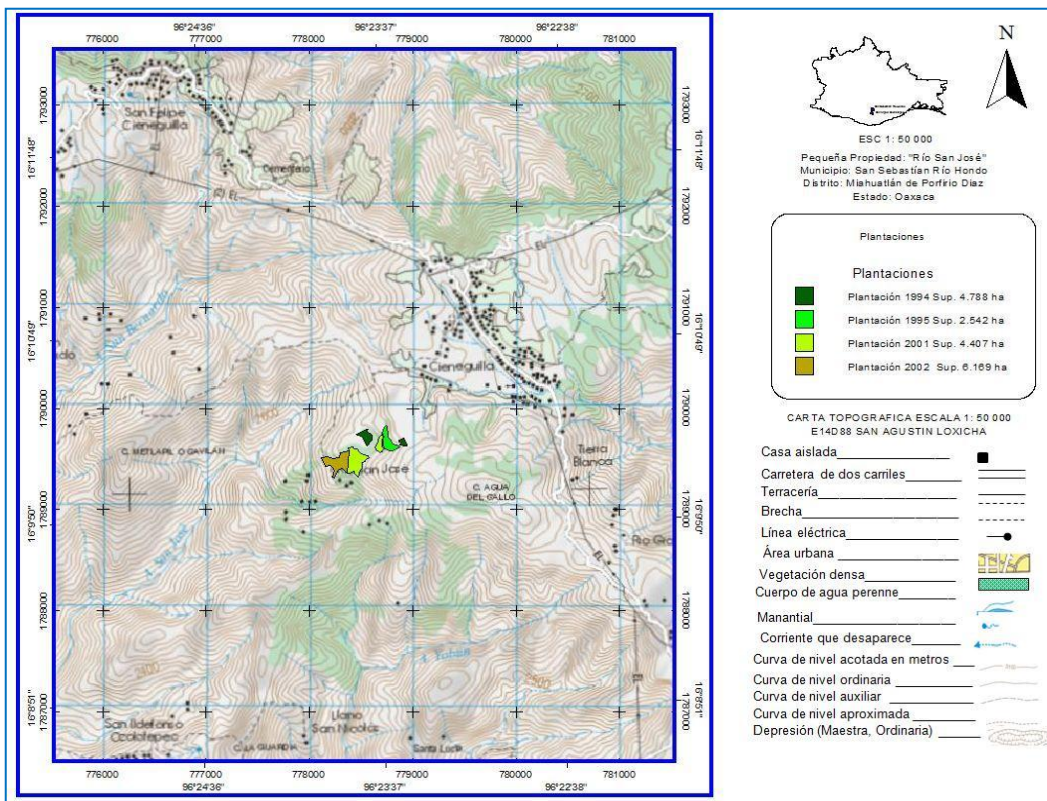


Figura 1. Ubicación predial de plantaciones en “Río San José”, Municipio de San Sebastián Río Hondo, Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca (Cortés, 2010).

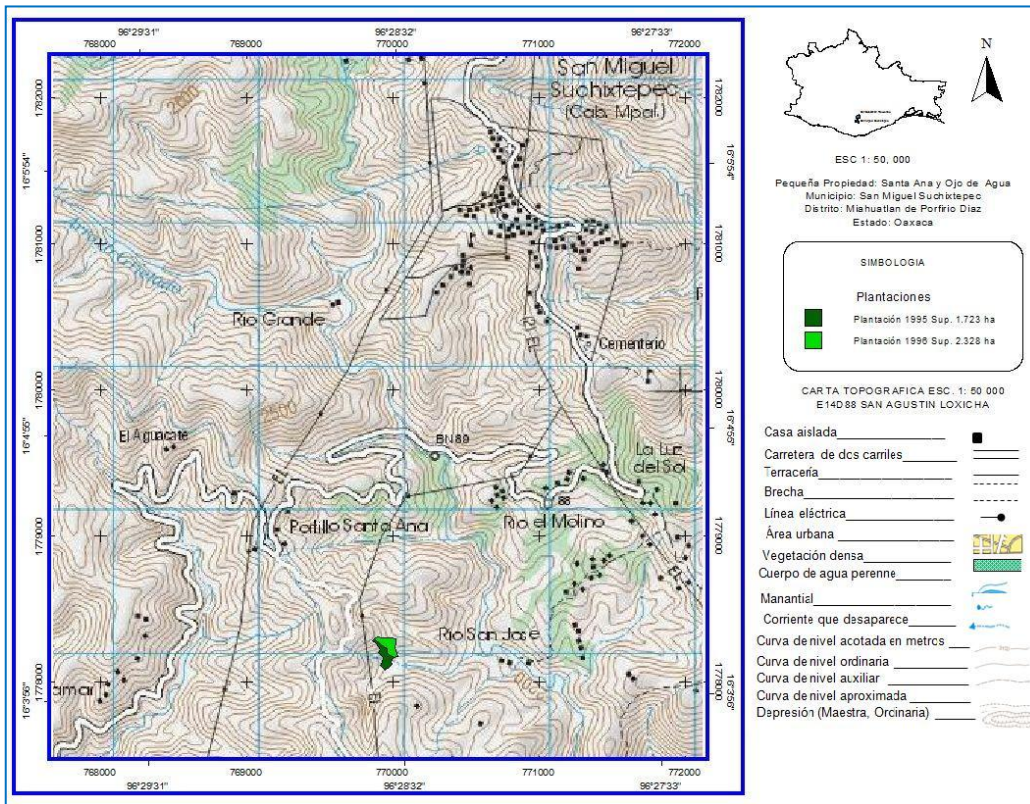


Figura 2. Ubicación predial de plantaciones en “Santa Ana y Ojo de Agua”, Municipio San Miguel Suchixtepec, Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca (Cortés, 2010).

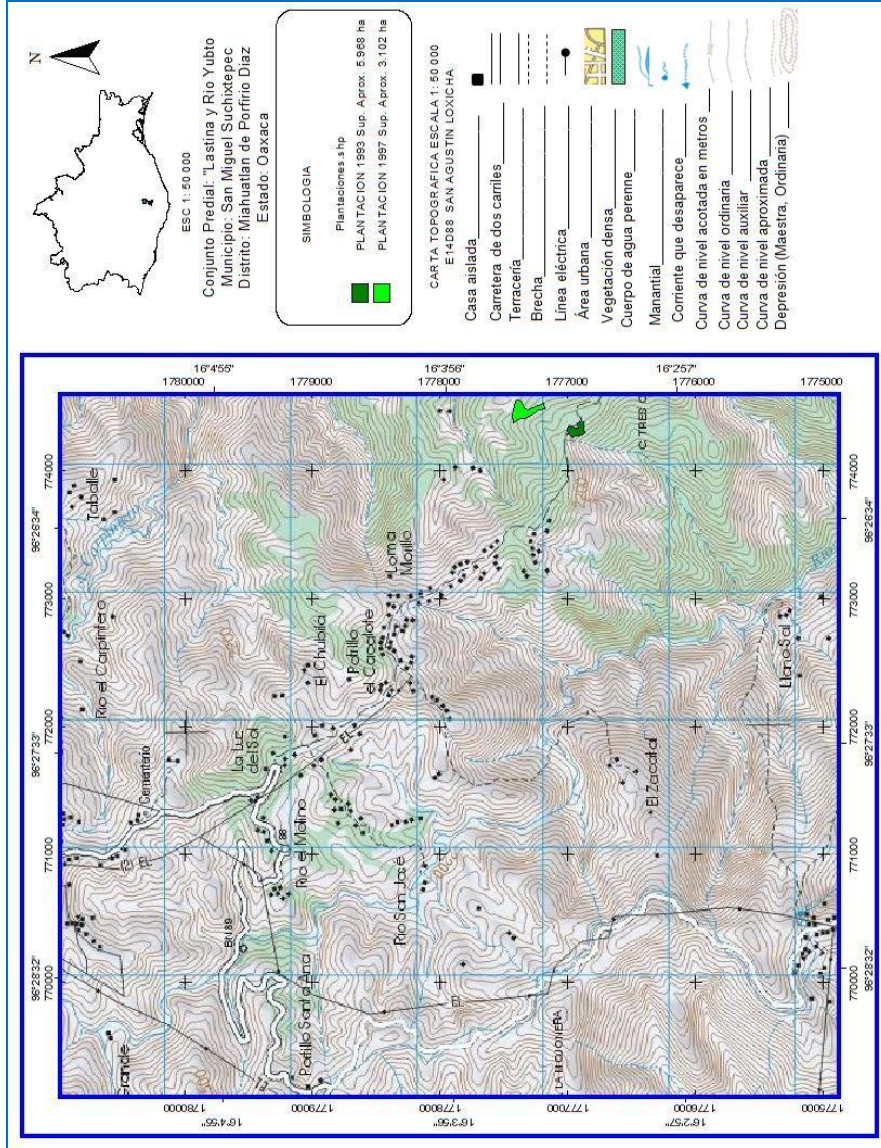


Figura 3. Ubicación predial de plantaciones en “Lastina y Río de Yubto”, Municipio San Miguel Suchixtepec, Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca (Cortés, 2010).

3.1.2 Aspectos ecológicos

La información de clima, geología, edafología, hidrología y vegetación fue obtenida de cartas temáticas extraída de CONABIO pero descritas por UMAFOR 20-08 (2008), y el caso de clima por García (1981), las cuales se encuentran resumidas en el (Cuadro 2).

Cuadro 2. Aspectos ecológicos de las localidades de Río San José, Latinas, Río Yubto, Santa Ana y Ojo de Agua.

| Aspectos ecológicos | Predios | | |
|---------------------|---|----------------------|-------------------------|
| | Río san José | Lastinas y Rió Yubto | Santa Ana y ojo de agua |
| Clima | A C (w2) | A C (w2) y C (w2) | A C (w2) |
| Geología | Se encuentra sobre sustrato geológico de rocas ígneas intrusitas, calizas, areniscas, lutitas, así como de rocas metamórficas, sobre suelos arcillosos poco profundos ricos en materia orgánica y moderadamente ácidos. | | |
| Edafología | Acrisol húmico | Acrisol húmico | Acrisol húmico |
| Hidrología | Pertenece a la subcuenca hidrológica cepalita la que es perteneciente a la cuenca hidrológica del río copalita las cuales conjuntamente pertenecen a la región hidrológica de costa de Oaxaca (puerto ángel). | | |
| Vegetación | Bosque de coníferas | Bosque de coníferas | Bosque mesófilo |
| Fauna | Venado cola blanca (<i>Odocoileus virginianus</i> Zimmermann), jabalí (<i>Tayassu tajacu</i> L.), oso hormiguero (<i>Tamandua mexicana</i> Linnaeus), ardilla voladora (<i>Glaucomyss volans</i> L.), onza (<i>Herpailurus yaguarundi</i> É. Geoffroy Saint-Hilaire), tigrillo (<i>Leopardos wiedii</i> Schinz), puma (<i>Puma concolor</i> L.) martucha (<i>Potos flavus</i> Schreber), perro de agua (<i>Lutra longicaudis</i> Olfers) y tucán verde (<i>Aulachorhynchus prasinus</i> Gould). | | |

Fuente: García, 1981; UMAFOR 20-08, 2008; INEGI, 1988.

(A) C (w2): Corresponde a un clima semicálido, templado subhúmedo, temperatura media anual de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C, con precipitación anual entre 1200 a 2,000 mm (García, 1981).

C (w2): Corresponde a un clima Templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C, subhúmedo, precipitación anual de 200 a 1,800 mm y precipitación en el mes más seco de 0 a 40 mm; lluvias de verano del 5 al 10.2% anual (García, 1981).

Acrisol húmico: Es un suelo que tienen un horizonte A úmbrico, con un contenido elevado de materia orgánica en el horizonte B o ambas características. Los horizontes superiores profundos, ácidos y fuertemente lixiviados presentan muchos problemas para su utilización (UMAFOR 20-08, 2008).

3.1.3 Actividades productivas

Las principales actividades económicas de manera general son cinco, ordenadas del valor de importancia la primera es la silvicultura, esta se realiza principalmente en los municipios de San Sebastián Río Hondo, San Miguel Suchixtepec, San Mateo Río Hondo, La segunda actividad económica es la agricultura de temporal y de subsistencia, esta se realiza en todos los municipios de la región. La tercera actividad económica es la cafecultura, esta se lleva a cabo en los municipios de San Mateo Río Hondo. Esta actividad fue el principal sustento durante décadas. La cuarta actividad es la ganadería donde no es comercial dentro de los municipios del estudio solo es una actividad de autoconsumo. Por último el comercio es otra de las actividades que se realiza en todos los municipios pero en una minoría de la población (UMAFOR 20-08, 2008).

3.1.4 Prácticas silvícolas en las plantaciones

La principal práctica silvícola que se realizan en las plantaciones estudiadas (Apéndice 1, 2 y 3), son podas de ramas misma que se iniciaron aproximadamente 10 años, donde unas de las principales características que debería tener el arbolado para realizarle la poda fue la altura la cual debería ser superior a dos metros o bien en base a la cantidad de follaje del árbol, prácticamente la poda consistió en eliminar el primer verticilo, esto fue decidido en base a experiencia de los propietarios y asesoría del

ingeniero Juan Morales Hernández, al inicio estas podas se realizaban de una forma irregular tomando diferente sitios o fracciones del total cada año , hasta en el año del 2010 se practicó una poda uniforme dentro de toda la plantación incluyendo a todas las especies existentes, esto principalmente en el predio de Río San José que es el lugar dónde más le han dado importancia al manejo de las plantaciones, desde entonces las podas se realizan anualmente y se inician en el mes de octubre y finalizan en el mes de febrero.

Los demás predios también practican las podas aunque aún sigue practicándola de forma irregular ya que abarcan fracciones pequeñas de la superficie total de predio, pero consideran los mismos criterios de podas de los propietarios de Río San José.

Durante la podas realizadas se han encontrado con enfermedades como es el caso de la escoba de bruja y cola de zorra mismas que son causadas por hongos fitopatógenos, las cuales han sido observada y no causan la mortalidad de los árboles, la presencia que preocupa es la del muérdago ya que está presente en la sitios cercanos a la plantación principalmente en el bosque nativo, esta plaga puede causar la mortalidad de los árboles ya demostrada en los árboles del mismo bosque.

Por otra parte los propietarios de las plantaciones no han aplicado fertilización durante la vida de la plantación ya que sería una actividad de muy alto costo lo cual no les costaría sustentarlo ya que son plantaciones jóvenes de las cuales no han obtenidos aún beneficio económico.

3.2 Evaluación de crecimiento en plantaciones

3.2.1 Diseño de muestreo

El diseño de muestreo que se empleo fue el sistemático apoyado de sitios permanentes que fueron establecidos por (Sandoval, 2006), con una intensidad de muestro del 2.83%, con una equidistancia entre sitio de 40.5 m y el tamaño de los sitio de 100 m² de forma circular, la intensidad de muestreo está a un nivel aceptable por la razón de que manual de verificación de PRODEPLAN asigna una intensidad de muestreo del 0.75% cuando son superficies de 20.1 a 50 ha, y el área de estudio

cumple con este requisito teniendo una superficie total de 31.027 ha en total, superando el nivel requerido lo cual se transmite a mayor confiabilidad de nuestros resultados.

3.2.2 Variables evaluadas

Las variables dasométricas comprendidas en el muestreo fueron identificación especie, número de árboles por sitio, edad de plantación, diámetro normal a diferentes alturas del árbol (0, 0.30, 1.30, 2.30 y 3.30 m), altura total del árbol, grosor de corteza a 0.30 y 1.30 y por último el diámetro de copa, algo muy importante es que esta mediciones se realizaron en un árbol representativo por categoría y especie de cada uno de los sitios que fueron muestreados.

3.2.3 Base de datos

Se utilizó una base de datos de evaluaciones de distintos años que va desde 2005-2011 de aproximadamente 85 sitios promedio por especie las cuales son: *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula* y *Pinus douglasiana*, de la cual las medidas de altura dominante y edad por sitio de los diferentes años serán las útiles para la determinación del índice de sitio.

Se realizó un diagrama de distribución por especie con las variables altura (m) y edad (años) para observar los puntos aberrantes (Apéndice 4,5 y 6) mismo que fueron eliminados de la base de datos, dichos puntos consisten en observaciones que no síguela misma tendencia en el diagrama ya que se puede tratar de información errónea proveniente de la captura y registro o también de árboles incorporados de forma natural que fueron contemplado en el inventario, se eliminan con el objeto de disminuir el efecto de desviación.

3.2.4. Modelos de crecimiento

Los modelos de crecimiento seleccionados para determinar el índice de sitio son modelos que comúnmente se utilizan para la estimación de este parámetro en los que destacan Schumacher, Chapman – Richards y Weibull utilizados por estos autores

(Benavides y Manzanilla, 1993; Madrigal y Ramírez, 1995; López y Valle, 2009 y Rodríguez y Arteaga, 2005) los cuales han sido utilizados en este estudio, pero también se agregó un modelo más a la lista que es el de Gompertz (Cuadro 3) el cual ha dado ajustes aceptables en los estudios de los autores (Cornejo *et al.*, 2005; Mares *et al.*, 2004)

Cuadro 3. Modelos de crecimiento utilizados para la estimación del índice de sitio

| Nombre del modelo | Ecuación |
|-----------------------|--|
| 1. Schumacher | $H = \text{Exp}^{(B_0 + (B_1/E))}$ |
| 2. Chapman – Richards | $H = B_0 [1 - \text{Exp}^{(B_1 * E)}]^{B_2}$ |
| 3. Weibull | $H = B_0 [1 - \text{Exp}^{(B_1 * (E^{B_2}))}]$ |
| 4. Gompertz | $H = B_0 \text{Exp} [-\text{Exp}^{(B_1 - (B_2 * E))}]$ |

Dónde; H=altura dominante, E=edad, Exp= función exponencial, B₀, B₁ y B₂=parámetros.

Los modelos de crecimiento se analizaron en el paquete estadístico de SAS 9.0 correlacionando los datos de altura dominante y edad por especie utilizando el procedimiento de PROC NLIN, en la cual primeramente se observó la distribución de los datos con la curva ajustada así como la gráfica de residuales ya que en ocasiones la convergencia aplica pero la curva ajustada no es representativa en la distribución de los datos y la gráfica de residuales presenta rangos distantes del cero, los anteriores gráficos también se utilizaron para saber que tanto se aproximaban los parámetros elegidos a los parámetros de ajuste.

Una vez analizado el comportamiento de cada uno de los modelos se determinó en base a los estadísticos: R², R²_{adj}, CME y F-Calculada, el modelo de mejor ajuste considerando los valores más altos de R², R²_{adj} y el valor bajo de CME mismo que se pueden observar en los Apéndice 7, 8 y 9. Algunos de estos resultados se obtuvieron directamente del programa estadístico SAS 9.0 como es el caso de CME y F-calculada, en el caso de R² y R²_{adj} se requirió su cálculo a partir de las siguientes ecuaciones:

$$R^2 = 1 - \frac{SCE}{SCT}$$

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{CME}{CMT}$$

dónde:

R^2 = coeficiente de determinación

R^2_{adj} = coeficiente de determinación ajustado

SCE = suma de cuadrados del error

SCT = suma de cuadrados del total

CME = cuadrados medios del error

CMT = cuadrados medios totales.

3.2.5 Método de la curva guía

Una vez elegido el modelo se procedió a construir la curva de ajuste con los estimados del modelo a través de las gráficas de dispersión de los árboles dominantes de cada especie relacionando altura dominante (y) y edad(x) para lo cual se utilizó el programa de Sigmaplot versión 10.0, y se pueden observar en los Apéndices 10,11 y 12, por otra parte la asignación de los modelos por especie quedaron de la siguiente manera:

Pinus pseudostrobus: Chapman - Richards

Pinus patula: Weibull

Pinus douglasiana: Gompertz

Para obtener los estimados de cada modelo por especie se ocuparon las ecuaciones siguientes:

Estimados de *Pinus pseudostrobus*

$$H = 2485449 \left[1 - \text{Exp}^{(0.000000643 * (E^{0.7865}))} \right]$$

Estimados de *Pinus patula*

$$H = 442762 \left[1 - \text{Exp}^{(0.000002 * (E^{1.0097}))} \right]$$

Estimados de *Pinus douglasiana*

$$H=32.1755* \text{Exp} \left[-\text{Exp}^{(1.1105-(0.0981*E))} \right]$$

dónde:

H= estimado de altura dominante

E= edad

Exp= función exponencial.

Después de realizar este procedimiento se observó que la tendencia de la distribución de los árboles dominantes eran similares y seguían una mismo patrón por lo que se optó realizar una gráfica de dispersión grupal de las especies (Apéndice 13) y se volvieron a trazar las curvas de ajustes con los modelos asignados y las mismas ecuaciones utilizadas anteriormente, se confirmó que las curvas siguen la misma tendencia (Apéndice 11), por ello se decidió ajustar los estimados de las tres curvas de ajuste y formar una sola, misma que representaría un promedio de las tres (Figura 6), la cual tendría una mejor proporción a lo largo del diagrama de distribución general (Figura 7), para ello se volvió a utilizar el programa de SAS 9.0 para obtener los parámetros del mejor modelo, en este caso fue Chapman–Richards el que presentó el mejor ajuste en base a los estadísticos R^2 , R^2_{adj} , CME (Cuadro 5) y fue el modelo que se ocupó para la construcción de la curva guía.

3.2.6. Construcción de curva guía

Se construyó la curva guía ya que fue el método que se utilizó para la construcción de curvas anamórficas en este caso se ocupó el modelo de Chapman-Richards que presentó el mejor ajuste de los demás modelos, el cual presenta la siguiente ecuación:

$$H= B_0[1-\text{Exp}^{(B_1*E)}]^{B_2}$$

dónde:

H= estimados de altura dominante

E= edad

Exp= función exponencial

B_0 , B_1 y B_2 = Parámetros.

La ecuación se utilizó para obtener los estimados de altura para cada año (1-18), después de obtenidos estos estimados se procedió a realizar una gráfica con la relación altura dominante-edad que dio como resultado la formación de la curva guía.

La fórmula que se ocupó para obtener los estimados fue:

$$H = 418431 \left[1 - \text{Exp}^{(-0.000000643 * E)} \right]^{0.8939}$$

Una vez obtenidos los estimados se procedió a realizar la curva con la relación, estimados de altura dominante-edad, la cual sería la curva que daría el origen las curvas anamórficas a través de una edad base y una amplitud estimada.

3.2.7. Determinación de la edad base

En este caso se ocupó como referencia las curvas de ICA e IMA dónde se tomaría en cuenta la intercepción de las curvas como el punto que indica la edad base, en el caso la intercepción no se logró ya que la plantación es joven y se traduce a que aún tiene un incremento ascendente lo cual hace que las curvas de ICA e IMA tenga una tendencia paralelas, por ello se determinó que la edad base correspondiente sería de 18 años que representa la edad máxima de la plantación y que es la mejor referencia ya que hasta esta edad la plantación no deja disminuir ICA e IMA.

$$\text{ICA} = \frac{\text{Estimados de altura dominante}}{\text{diferencia de edad}}$$

$$\text{IMA} = \frac{\text{Estimados de altura dominante}}{\text{edad}}$$

3.2.8. Determinación de amplitud de curvas anamórficas.

Para la construcción de las curvas anamórficas es necesario establecer una amplitud igual para que el número de curvas elegidas cubra en su mayoría a la distribución grupal de las especies, en nuestro caso se eligió un número de cinco curvas, dos inferiores y dos superiores a la curva guía, y se utilizó la siguiente ecuación para determinar dicha amplitud:

$$Am = (Y_s - Y_i) / C$$

$$Am = (16.1759385 - 3.26048312) / 5 = 12.915 / 5 = 2.58 \approx 3.$$

dónde:

Am: amplitud de curvas

Y_s: estimado superior

Y_i: estimado inferior

C: curvas seleccionadas.

La diferencia de las alturas extremas fue de 12.915 m por lo que se optó considerar cinco clases de calidades de sitio con una amplitud de 3 m ya que el resultado correspondiente a la amplitud de cada curva es de 2.58 m y tomando en cuenta un redondeo a número entero obtuvimos 3 como es más adecuado ya que ha sido utilizado y mencionado como el más común (Zepeda y Rivero, 1984) y en dicho trabajo también tienen una diferencia de altura extremas de 12 m.

3.2.9. Construcción de la familia de curvas anamórficas

Para la construcción de la familia de curvas anamórficas primeramente se estimó el índice de sitio para cada una de las clases de calidad de sitio consideradas, de las cuales a la curva guía se le señaló como la calidad III por ser la calidad promedio que también funcionó de referencia para construir las demás.

Para ello se tuvo que señalar el índice de sitio promedio en este caso fue de 16.17 m que corresponde a la intercepción de la curvas guía con la edad base de 18 años, para así mismo poder determinar los índices de sitios para la construcción de las curvas restantes dónde se ocupó la siguiente ecuación:

para clases superiores

$$IS=IS_h +3$$

para clases inferiores

$$IS=IS_h -3$$

dónde:

IS: índice de sitio para la calidad de estación correspondiente

IS_h: índice de sitio promedio

Nota: El 3 representa la amplitud estimada en metros que fue de 2.58 m y optó por utilizar 3 por ser la más común (Zepeda y Rivero, 1984).

Una vez que se obtuvo el índice de sitio para cada curva se procedió a determinar el coeficiente de proporcionalidad para cada índice de sitio el cual sería utilizado para que las curvas construidas mantengan la amplitud asignada.

$$CP=\frac{IS}{IS_h}$$

dónde:

CP: coeficiente de proporcionalidad

IS: Índice de sitio para la calidad de estación correspondiente

IS_h: Índice de sitio promedio.

Por último los estimados de altura que el modelo seleccionado arrojó, se les realizó un proceso más, ya que por ser la curva guía fue tomada como de referencia y se hizo una relación directa con el coeficiente de proporcionalidad de cada índice de sitio obteniendo una serie de datos (Apéndice 13) esto para que la construcción de la familias de curvas anamórficas sean proporcionales lo cual se representó de la siguiente forma:

$$H= B_0[1-\text{Exp}^{(B_1 * E)}]^{B_2} * CP$$

dónde:

H: estimados de altura dominante para construcción de curvas anamórficas

E: edad

Exp: función

B₀, B₁ y B₂= parámetros

CP: coeficiente de proporcionalidad

3.2.10 Determinación de la calidad de sitio

Una vez que se concluyó la construcción de las curvas anamórficas se determinó las clases de calidad dicha de otra forma es determinar la amplitud de cada curva, por lo cual se debe realizar una nueva división para que al momento de decidir a qué calidad de sitio corresponde un predio, rodal o sitio sean más preciso al señalarlo por lo cual se construyeron subcurvas las cuales indicarán el límite de la clase, lo dicho anteriormente se realizó de la siguiente forma:

para clase superiores

$$IS = IS_h + 1.5$$

para clases inferiores

$$IS = IS_h - 1.5$$

dónde:

IS: índice de sitio para la calidad de estación correspondiente

IS_h: índice de sitio promedio

Nota: El 1.5 representa la mitad de la equidistancia original en metros, esto para que el rango de las clases de calidad de sitio sean proporcionales.

Las clases de calidad se identificaron con números romanos y se le asignó un calificativo a cada una de ellas, estos calificativos están dados por el índice de sitio y el rango de la calidad de sitio de la edad base elegida (18 años), lo cual se puede observar en el Cuadro 4. Este calificativo es para señalar que tan buena o mala

condiciones presenta el lugar en base al desarrollo o dinámica de crecimiento que tiene cada una de las especies evaluadas.

Cuadro 4. Especificaciones de las clases de calidad de sitio

| Calidad de estación | Calificativo |
|---------------------|--------------|
| I | Muy buena |
| II | Buena |
| III | Regular |
| IV | Mala |
| V | Muy mala |

A cada uno de los sitios evaluados en los diferentes años a partir de año 3 al 18 se les designo un rango de calidad con respecto a la tendencia de las curvas anamórficas para asignarle la calidad de sitio individual, después de haberle asignado la calidad de sitio de identificaron a que predio pertenecía, para con ello se pudiera dar un calificación representativa al predio de plantación a través de la calidad de sitio con mayor presencia (Apéndice 13).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Determinación del modelo matemático

En la determinación del modelo matemático para definir la curva guía para el índice de sitio, primero se observó el comportamiento de las líneas de ajuste que corresponde a cada una de las tres especies de *Pinus* y se obtuvo que el comportamiento de las tres línea de ajuste presenta una misma tendencia por lo que se optó construir una curva de ajuste para las tres especie del estudio la cual se puede observar claramente en la (Figura 4) dónde dicho comportamiento está marcado, al crear una línea de ajuste promedio de las tres buscamos una mayor precisión en nuestra curva guía y una buena construcción de las curvas anamórficas para *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula* y *Pinus douglasiana*.

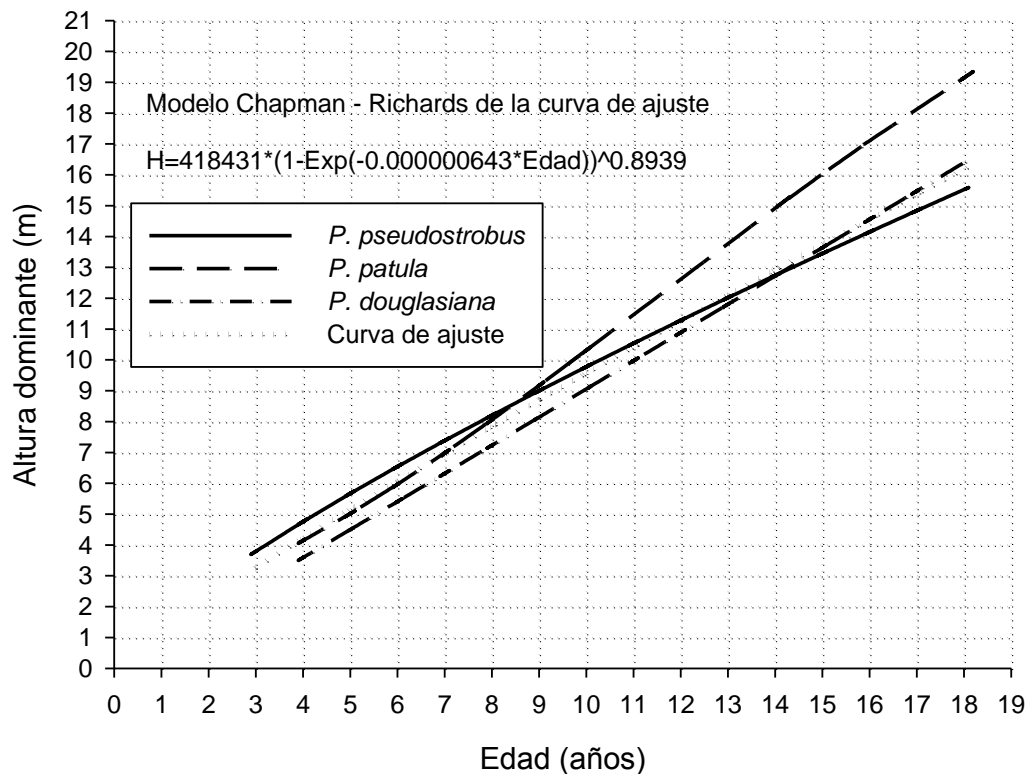


Figura 4. Comparación de las líneas de ajuste de las tres especies de *Pinus* con la línea de ajuste final (curva guía) construida con el modelos Chapman – Richards con una edad base de 18 años.

En base a la Figura 4 y a Cortés (2010) se puede decir a partir del sexto año *Pinus patula* presenta una mayor velocidad de crecimiento que las demás especies y se mantienen así hasta la máxima edad (18 años), lo contrario pasa con *Pinus pseudostrobus* que en los primeros cuatro años presenta un crecimiento más acelerado que las otras especies de *Pinus* y a partir de ahí la velocidad de crecimiento disminuye y comienza a presentar crecimientos más lentos que *Pinus patula* y *Pinus douglasiana*, por otro lado *Pinus patula* tiene una velocidad de crecimiento menor en los primeros años pero su velocidad es constante lo cual hace que al final presente un mayor ICA e IMA promedio de las tres especies.

Considerando lo anterior la estimación del índice de sitio se pudiera ver afectada por el diferente comportamiento de la dinámica de crecimiento de cada una de las especies pero en conjunto la masa forestal es coetánea y las condiciones climáticas muy similares en la mayoría de los predios, lo cual corresponde a una de las características en la que se basa este modo de evaluación indirectas de calidades de sitio, (Ortega y Montero 1988), cabe mencionar que el método de índice de sitio se puede aplicar para las especie de interés en conjunto siempre y cuando se parta de la altura dominante y que sean las especies adaptadas al sitio (Spurr y Barnes, 1980).

Por otra parte, la mayoría de los estudios que considera la estimación de índice de sitio, siempre lo han realizado a nivel de especie (Benavides y manzanilla,1993; Monroy, 1996; Aguilar, 1997; Mares *et al.*, 2004; Espejel, 2004; Rodríguez y Arteaga, 2005; Cornejo *et al.*, 2005; López, 2010; Paúl, 2011; Hernández, 2012;) a través de análisis troncales obtenidos de bosque naturales en dónde existe combinación de especie y sin embargo tradicionalmente en un bosque bajo manejo, el índice de sitio se obtiene a partir de la especie dominante y no se considera la mezcla de especie por lo tanto se desconoce el efecto consecuente de no tomar en cuenta todas las especies involucradas a un rodal determinado.

Considerando lo anterior, se trabajó en base al conjunto de datos referente a las tres especies de *Pinus* obtenidos de los sitios permanentes, se obtuvo que de los cuatro modelos utilizados Chapman-Richards y Weibull fueron los de mayor ajuste, pero se trabajó con Chapman-Richards para la construcción de la curva guía por ser el del mejor ajuste con R^2_{adj} 0.9973 R^2 0.9974 y CME 0.2401, tales resultados se pueden observar en el Cuadro 5. Al igual en los trabajos presentados por Mares *et al.*, (2004)

en *Pinus herrerae* Mart, Rodríguez y Arteaga (2005) en *Pinus chiapensis* (Mart.) Andresen, señalan que el modelo de Chapman-Richards presentó un mayor ajuste para la elaboración de curvas anamórficas. Por otra parte, en los estudios de índice de sitio presentados por Cornejo *et al.*, (2005), López (2010) en *Pinus montezumae* y *Pinus patula* respectivamente encontraron que el modelo de Gompertz fue el de mayor ajuste para la creación de curvas, mientras que en este estudio dicho modelo fue el de menor ajuste.

Cuadro 5. Valores de los parámetros estadísticos de los modelos analizados para el conjunto de datos de las especies *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula* y *Pinus douglasiana*

| Modelo | Ecuación | R ² | R ² _{adj} | CME | F-calculada | Parámetros | | |
|--------------------|--|----------------|-------------------------------|--------|-------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | | | B ₀ | B ₁ | B ₂ |
| Schumacher | $H = \text{Exp}^{(B_0 + B_1/E)}$ | 0.9953 | 0.9949 | 0.2497 | 59619.0 | 3.1341 | -8.2059 | |
| Chapman – Richards | $H = B_0 [1 - \text{Exp}^{(B_1 * E)}]^{B_2}$ | 0.9974 | 0.9973 | 0.2401 | 162087.0 | 418431 | 6.43E-7 | 0.8939 |
| Weibull | $H = B_0 [1 - \text{Exp}^{(B_1 * (E^{B_2}))}]$ | 0.9973 | 0.9972 | 0.2431 | 162087.0 | 1898220 | 6.43E-7 | 0.8939 |
| Gompertz | $H = B_0 \text{Exp} [-\text{Exp}^{(B_1 - (B_2 * E))}]$ | 0.9942 | 0.9940 | 0.4498 | 103834.0 | 24.2922 | 0.9347 | 0.1003 |

R²=coeficiente de determinación, R²Adj=coeficiente de determinación ajustado, CME=cuadrado medio del error, B₀, B₁, B₂= parámetros, E= edad, Exp= función exponencial.

La diferencia que existe en los valores estadísticos de los modelos matemáticos obtenidos en este estudio son mínimas, por ejemplo en el estadístico de R²_{adj} el mayor es de 0.9974 y el menor de 0.9942 se nota claramente que es mínima la diferencia y en el estadístico CME el menor es de 0.2401 y el mayor de 0.4498 que aún sigue siendo mínima, estas diferencias implica que cualquier modelo de los probados pueden ser útiles y por la razón de ser el modelo más práctico en base a número de parámetros que contiene, Schumacher sería la mejor opción, mismo que se ha utilizado con frecuencia en la construcción de curvas anamórficas como es el caso de los estudios presentados por Aguilar (1997) en *Pinus douglasiana*, Espejel (2004) y Paúl (2011) en *Pinus patula*. Lo anterior ilustra que en la elección del modelo a utilizar no depende de la especie del estudio sino más bien de la distribución del conjunto de datos obtenidos en campo.

Por otra parte podemos observar en la Figura 5 la representación de la curva guía sobre la distribución de los datos de árboles dominantes, dónde se puede apreciar que el ajuste tiene forma adecuada conforme a la distribución de los datos de árboles

dominantes de las tres especies de *Pinus* y se aprecia una misma tendencia de la distribución de los árboles dominantes.

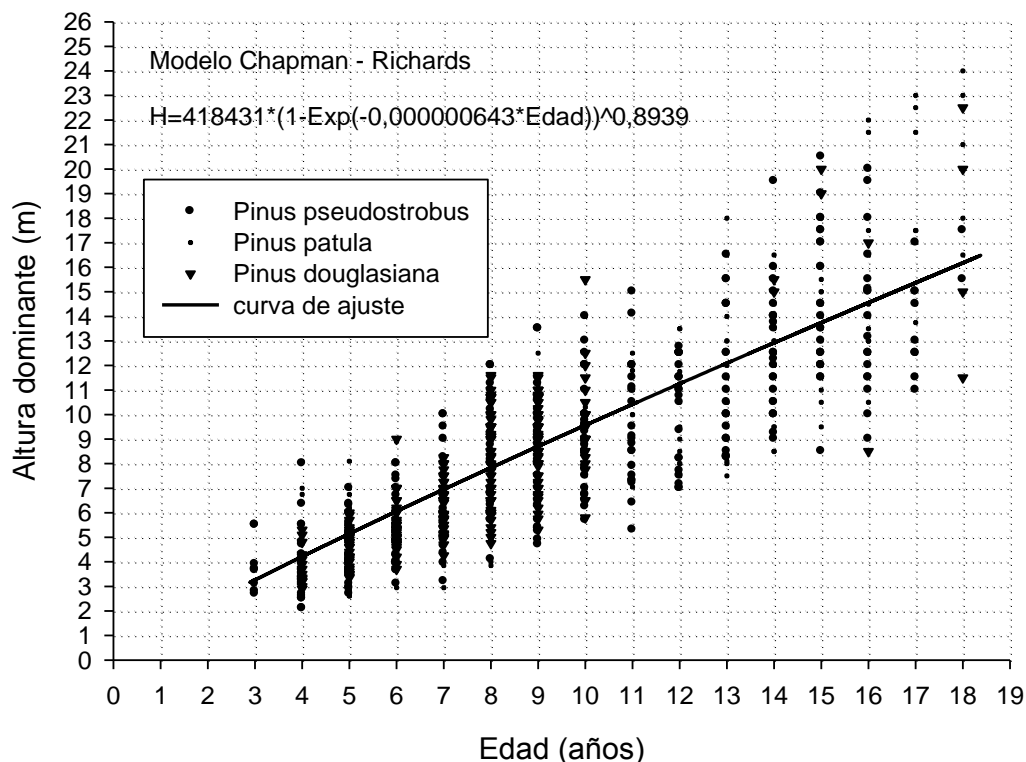


Figura 5. Diagrama de dispersión de las tres especies de *Pinus*, y la curva de ajuste construida con el modelo Chapman-Richards misma que funcionará como la curva guía para la construcción de las curvas anamórficas con edad base de 18 años, Miahuatlán Oaxaca.

4.2 Determinación de la edad base

En primera instancia se determinó la edad base, a través del análisis de crecimiento en base al valor del IMA máximo en estado maduro pero graficando el ICA E IMA (Figura 6) resulta que la tendencia de las curvas no se cruzan, esto por efecto de la edad juvenil de la plantación que corresponde a 18 años y que se encuentra en pleno crecimiento. Cabe señalar que en coníferas el cruce del ICA e IMA se presenta en edades maduras, considerando los estudios (Aguilar, 1997; Cornejo *et al.*, 2005; Mares *et al.*, 2004; López, 2010; y Hernández, 2012) dónde se encontraron árboles que

alcanzaban edades de 70 - 140 años y obteniendo edades base de 32-42 años, mientras los árboles de este estudio tienen una edad inferior a la edad base mínima que presentan los estudios anteriores, por esta razón la edad de 18 que es la edad máxima que presenta la plantación se tomó de referencia para la construcción de la curva guía.

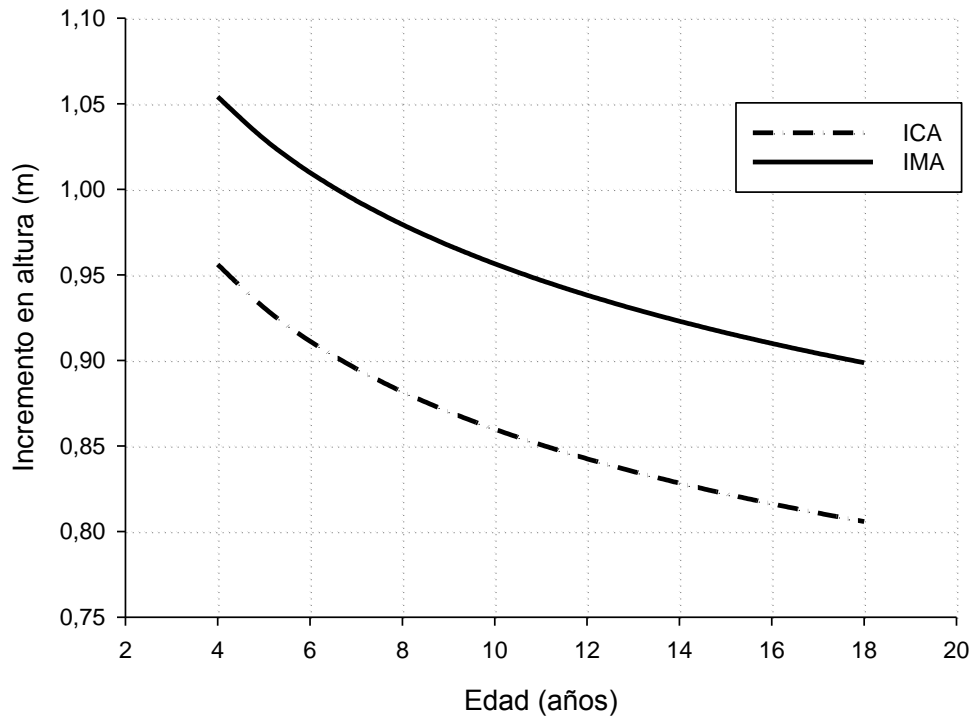


Figura 6. Curva de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual IMA en altura de las tres especies de *Pinus* en plantaciones, Miahuatlán, Oaxaca.

Considerando los incrementos presentados en la Figura 6, las plantaciones evaluadas presentan crecimientos similares a los bosques naturales y además buen desarrollo, por lo tanto la edad base definida es singular, considerando que los resultados mínimos de ICA e IMA en altura fue $0,81 \text{ m año}^{-1}$ y $0,90 \text{ m año}^{-1}$ respectivamente, mientras los puntos máximos fue $0,95 \text{ m año}^{-1}$ y $1,05 \text{ m año}^{-1}$, además que *Pinus patula* tiene una dinámica de crecimiento más favorables (Cortés, 2010) que las demás especies por lo tanto debería de presentar valores más elevados similares a los que presenta Paúl (2011) en su estudio de un bosque natural dónde los valores de ICA e IMA mínimos corresponde a $0,75 \text{ m año}^{-1}$ y $1,07 \text{ m año}^{-1}$ y los superiores a $1,19 \text{ m año}^{-1}$ y $1,70 \text{ m año}^{-1}$. Los incrementos encontrados en nuestro

estudio son altos y probablemente es porque la plantación se encuentra en etapa juvenil, etapa en la que se presenta los mayores incrementos, mientras que en las etapas maduras pasa lo contrario, este es el caso de los estudios presentados en otras especies como es el caso de Benavides y Manzanilla (1993) en *Pinus oocarpa* Schiede, Quiñones (1995) en *Pinus cooperi*, Hernández (2012) en *Pinus montezumae* Lamb a una edad base de 45, 60 y 42 respectivamente presentan resultados de ICA e IMA inferiores comparados a nuestro estudio.

4.3 Curvas anamórficas de índice de sitio con edad base de 18 años para *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula* y *Pinus douglasiana*

En la construcción de la familia de las curvas anamórficas se ocuparon 941 observaciones (árboles dominantes) anuales provenientes de parcelas permanentes de seis evaluaciones anuales, la familia de curvas se construyeron con una edad base de 18 años cumpliendo con una equidistancia de tres metros y con un número de cinco curvas contando a la curva guía, este número de curvas a la equidistancia ya mencionada cubren la dispersión a lo largo de la distribución de las observaciones (Figura 7). La curva guía fue construida con el modelo de Chapman-Richards y a partir de ésta se construyeron las curvas inferiores y superiores.

Por otro lado, el número de curvas más recomendable para la construcción de la familia de curvas anamórficas tiene una relación directa con el rango de distribución que se encuentra en la base de datos y el número de curvas que se quiere probar, buscando siempre lo práctico en la aplicación de los resultados. Por la razón anterior el MDS recomienda cinco curvas con tres metros o con un número de curvas menor pero manteniendo la amplitud de tres a cuatro metros, y en caso en que el rango de distribución implique utilizar un número mayor de curvas lo recomendable es incrementar la amplitud entre curvas, ya que si se utiliza un número mayor a cinco curvas se perdería la parte práctica en la aplicación del estudio cuando se realicen las series de ordenación porque probablemente el número de predios correspondiente a una calidad serán pequeños y la superficie correspondiente a cada tratamiento también, por esta razón el MDS te da la segunda opción de utilizar tres curvas con seis metros (Benavides y Manzanilla, 1993; Díaz, 2013).

Los índices de sitio resultantes fueron 10.17, 13.17, 16.17, 19.17, 22.17 correspondientes a la calidad V, IV, III, II y I respectivamente, el índice mayor que fue de 22.17 refleja un desarrollo importante dentro de plantación este índice está representado principalmente por *Pinus patula* el cual tiene una mayor presencia dentro de la calidad (I) en comparación con las demás especies que tiene mayor presencia en las calidades inferiores.

En particular para de *Pinus pseudostrobus* podemos, se encontró que los índices de sitios son buenos en comparación como el estudio de Aguirre y Zepeda (1985) dónde el índice que corresponde a la calidad mejor (I) fue de 22.75 m con una edad base de 50 años y edad total de hasta 100 años, mientras que en este estudio se encontró un índice máximo de 19.17 m correspondiente a la calidad (II) con una edad base y total de 18 años misma que no representa la mitad de edad del estudio en comparación, eso indica que en la dinámica de crecimiento y la edad temprana presentada en *Pinus pseudostrobus* superara rápidamente el índice de sitio con “quien” se le compara, por la razón de que a la edad de 18 años los árboles del estudio Aguirre y Zepeda (1985) no superaban aún los 11 m de altura.

Por otra se encuentra *Pinus patula* con la particularidad de encontrarse con mayor presencia dentro la clase (I) comparado principalmente con *Pinus douglasiana* por tener secciones de plantaciones de la edad máxima (18 años), mientras que *Pinus pseudostrobus* presenta una edad máxima de 16 años. *Pinus patula* presenta índice de sitio bueno con 22.17 m en la clase (I) comparado a los índices de sitio de la clase (I) reflejada a la edad de 18 años de los estudios de Espejel (2004) con 12 m, López (2010) con 14 m y Paúl (2011) con 19 m, todos en *Pinus patula*. Pero por lo contrario presenta índice de sitio regular si se le compara a los obtenidos en el estudio de Monroy (1996) con 25 m como índice de sitio de la clase (I) a la edad de 18 años también en *Pinus patula*.

Por último *Pinus douglasiana* también presente en la clase (I) con índice de sitio de 22.17 m, y se le considera bueno índice en comparación al estudio presentado por Aguilar (1997) en dónde índice de sitio que representa en la clase (I) a la edad de 18 años es inferior con 18 m, esto refleja que el área de plantación presenta mejores

condiciones para que *Pinus douglasiana* tenga mejor desarrollo que en el caso de la región central de Michoacán lugar dónde se realizó el estudio (Aguilar, 1997).

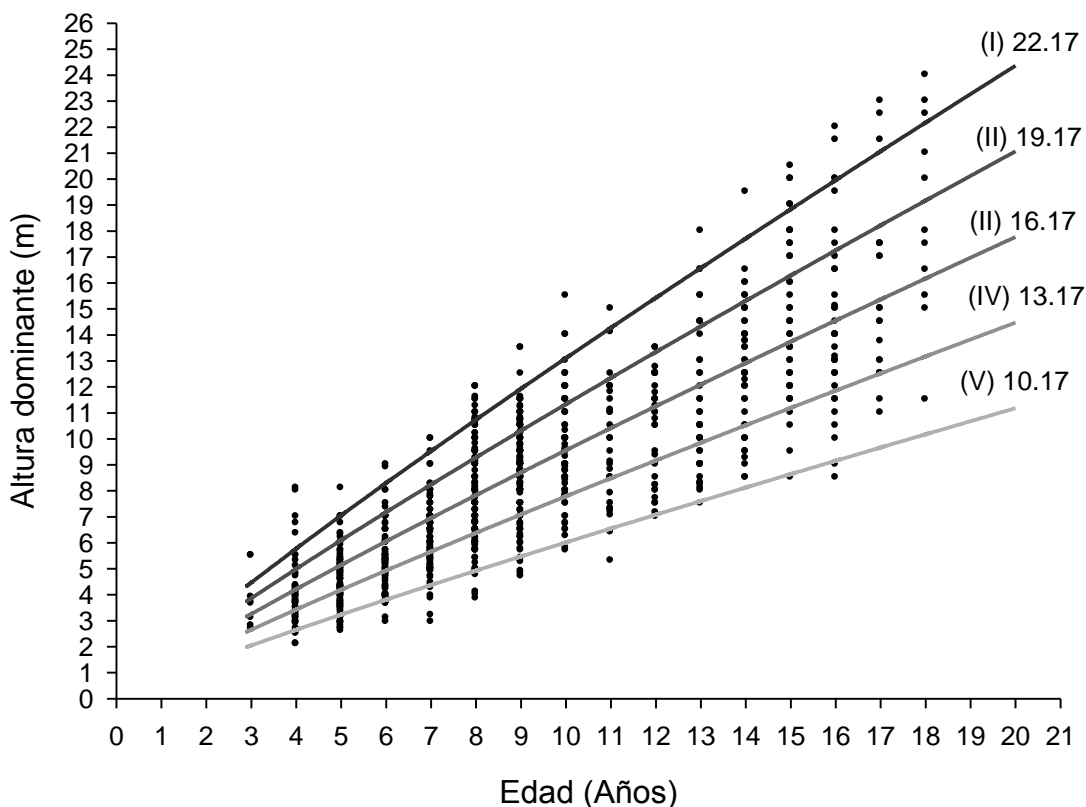


Figura 7. Familia de curvas anamórficas de índice de sitio para *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula* y *Pinus douglasiana* con edad base de 18 años. Plantación Miahuatlán Oaxaca.

4.4 Determinación de índice de sitio para los predios de plantación

Para asignar el índice de sitio que corresponde a cada predio se establecieron límites en las curvas anamórficas para poder identificar la altura dominante, así mismo la calidad de estación promedio perteneciente al predio (Figura 8), los límites correspondieron al rango de índices de sitios de la edad base (18 años), determinados por la amplitud de las curvas de tres metros, se puede apreciar en el (Cuadro 6) dónde se observa que los rango respetan dicha amplitud además de que si abarca de a cada índice de sitio en su respectiva calidad.

Cuadro 6. Calidad de estación, índice de sitio y rango de calidad a una edad base de 18 años para las tres especies de *Pinus* en plantación Miahuatlán Oaxaca.

| Calidad de estación | Calificativo | Índice de sitio (m) | Rango de la calidad (m) |
|---------------------|--------------|---------------------|-------------------------|
| I | Muy buena | 22.17 | 20.67 – (+) |
| II | Buena | 19.17 | 17.67 – 20.66 |
| III | Regular | 16.17 | 14.67 – 17.66 |
| IV | Mala | 13.17 | 11.67 – 14.66 |
| V | Muy mala | 10.17 | Menor a 11.67 |

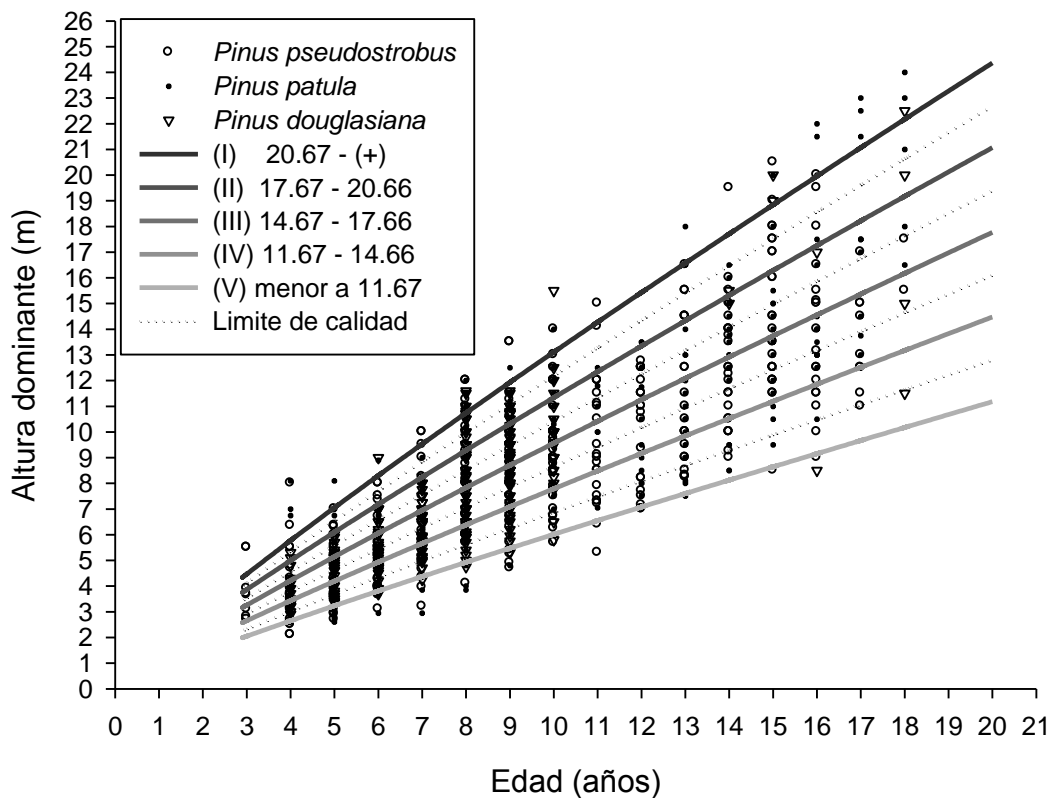


Figura 8. Familia de curva anamórficas de *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula* y *Pinus douglasiana* con edad base de 18 años, presentando los límites de cada una de las calidades de sitio.

Se establecieron rangos de las calidades de sitios a los largo de las curva respetando los límites de altura dominante (Figura 8). Estos rangos auxiliaron para ubicar la altura dominante promedio de cada predio, dónde el predio Lastinas y Río Yubto del municipio San Miguel Suchixtepec representa la mejor calidad (II) que los demás predios, con una superficie de 5.94 ha de 9.07 ha totales de dicho predio, dónde puede decirse que presenta buenas condiciones para el buen desarrollo de *Pinus patula*, ya que la calidad (II) cubren un mayor porcentaje de superficie.

Por otra parte el predio Río San José municipio de San Sebastián Río Hondo presentó la calidad (V) en una superficie correspondiente a 2.54 ha de 17.90 ha pertenecientes a este predio, dónde las especies plantadas es *Pinus pseudostrobus* y *Pinus patula*. En este predio la calidad que abarca mayor superficie es la calidad (IV) con 9.19 ha, en dónde se encuentra una combinación de las tres especies (Cuadro 7).

Cuadro 7. Índices de sitio y asignación de la calidad de sitio para el conjunto de predios evaluado en las localidades del municipio de Miahuatlán, Oaxaca.

| Predio | Localidad | Especie | Año de plantación (superficie) | Índice de sitio (m) | Calidad de sitio |
|--|-------------------------|---|--------------------------------|---------------------|------------------|
| Río San José | San Sebastián Río Hondo | <i>P. pseudostrobus</i> Lindl <i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Look | 1) 1994 (4.788 ha) | 13.67 | IV |
| | | <i>P. pseudostrobus</i> Lindl <i>P. oaxacana</i> Mirov <i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Look | 2) 1995 (2.542 ha) | | |
| | | <i>P. pseudostrobus</i> Lindl <i>P. douglasiana</i> Mart <i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Look | 3) 2001 (4.407 ha) | 13.67 | IV |
| | | <i>P. pseudostrobus</i> Lindl <i>P. douglasiana</i> Mart <i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Look | 4) 2002 (6.169 ha) | | |
| Lastinas y Río Yubto | San Miguel Suchixtepec | <i>P. oaxacana</i> Mirov <i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Look | 1) 1993 (5.968 ha) | 19.67 | II |
| | | <i>P. maximinoi</i> H. E. Moore | 2) 1997 (3.102 ha) | | |
| | | <i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Look <i>P. pseudostrobus</i> Lindl | 1) 1995 (1.723 ha) | 16.67 | III |
| <i>P. patula</i> var. <i>Longepedunculata</i> Look <i>P. ayacahuite</i> Ehren. <i>P. pseudostrobus</i> Lindl | 2) 1996 (2.328 ha) | | | | |

En el predio de Santa Ana y Ojo de Agua se presentó una sola calidad que fue la (III) con la superficie total de 4.05 ha con una combinación de especie de *Pinus patula* y *Pinus pseudostrobus*, pero de las dos especies *Pinus patula* tiene una mayor cantidad de árboles dominante dentro del predio a lo que se traduce que existe mejores condiciones para *Pinus patula* que para *Pinus pseudostrobus*.

5 CONCLUSIONES

La distribución de los pares de datos (Altura dominante / Edad) de las tres especies *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula* y *Pinus douglasiana*, tienen relación estrecha en crecimiento.

El modelo Chapman-Richards presentó el mejor ajuste para describir en conjunto el crecimiento de las tres especies de pino a la edad base de 18 años.

Los índices de sitio de 10.17, 13.17, 16.17, 19.17, 22.17 que fueron obtenidos a una edad base de 18 años reflejan las variantes de la calidad de sitio en los predios.

La familia de curvas anamórficas de cinco curvas con tres metros de amplitud presenta una buena cobertura del diagrama de dispersión de los datos utilizados.

6 RECOMENDACIONES

Revisar la intensidad de muestreo de los sitios permanentes en base a la variabilidad actual, con el propósito de optimizar el muestreo.

Las parcelas permanentes necesitan mantenimiento como la remarcación de los árboles dominantes por categoría, por la razón de que se puede presentar confusión de los árboles representativos a la hora de la evaluación. Por otra parte se debe identificar los árboles incorporados naturalmente porque a medida del tiempo pueden causar confusión.

Considerar nuevamente en años posteriores la determinación de índices de sitios sobre todo si se van a desarrollar aclareos, dónde cambia la dinámica de crecimiento y los valores de índice de sitio.

7 LITERATURA CITADA

- Aguilar R., M. 1997. Estudio de crecimiento de *Pinus douglasiana* Martínez y *Pinus lawsonii* Roehl en la región central de Michoacán. *Ciencia Forestal en México*, 22 (81): 40-69.
- Aguilar R., M. y D. Aguilar S. 1991. Determinación de la calidad de estación en los bosques de la comunidad indígenas de nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. *Ciencia Forestal en México*, 16 (69): 35-38.
- Aguirre C., O. A. y E.M. Zepeda B. 1985. Estimación de índice de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lind. De la región de Iturbide Nuevo León. *Ciencia Forestal en México*, (10):50-64.
- Arteaga M., B. y L. Ángel A. 2008. Plantaciones forestales de Tehuantepec, S.A DE C.V. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México, 163 p.
- Arteaga M., B. y M. Castelán L. 2008. Plantaciones forestales comerciales en el sureste mexicano. División de ciencias forestales, Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo México, 163 p.
- Barrero M., H., M. Frédéric., G. Nepveu., D. Álvarez L., I. García C. y M. Guera. 2011. Curvas anamórficas de índice de sitio para plantaciones de *Pinus caribea* Morelet var. *Caribea* Barret y Golfari de las empresa forestal integral macurije (EFI) en la provincia de Pinar del Río, Cuba. Chapingo serie Ciencia Forestales y del Ambiente, 17 (2): 245-252.
- Benavides S., J.D. 1993. Estimación de índice de sitio en bosques de coníferas. SARH, INIFAP, Guadalajara, Jalisco, México. Folleto técnico (1). 19 p.
- Benavides S., J.D. y H. Manzanilla B. 1993. Estimación de la calidad de sitio mediante índice de sitio de *Pinus oocarpa* Schiede, para el ADF Tapalpa, estado de Jalisco. *Ciencia Forestal en México*, 18(74): 121-138.
- Caballero D., M. 2000. La actividad forestal en México. Tomo 1. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo estado de México. 275 p.
- Cedeño S., O. y A.B Villa S. 1978. La *Gmelina arborea*, posible solución a las plantaciones forestales en el trópico mexicano. *Ciencia Forestal*, 13(3): 19-29.
- Clutter J. L., J. C. Forston., L. V. Pienaar., G. H. Brister, y R. L. Bailey. 1983. Timber management: a quantitative approach. John Wiley & sons, Inc. New York. 333 p.

- CONAFOR. 2004. Baja el índice de deforestación en México [en línea]. CONAFOR 2004 [fecha de consulta: 03 de julio del 2012]. Disponible en: <http://fox.presidencia.gob.mx/buenasnoticias/?contenido=16205&pagina=308>
- CONAFOR-COLPOS. s/f. Situación actual y perspectiva de plantaciones forestales comerciales en México. CONAFOR, 448 p.
- Congreso Nacional de los Estados Unidos Mexicanos (CNEUM). 2003. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable 2003 [en línea]. CNEUM 2003 [fecha de consulta: 24 marzo 2011]. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/Leyes.Biblio/pdf/259.pdf>
- Contreras G., J. y B. Rodríguez S. 1992. Método de plantación en *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.). Oken bojón. Ciencia Forestal en México, 17 (72): 100-105.
- Cornejo O., E.H., J.A. Pereyra G., O. Mares A., S. Valencia M. y C. Flores L. 2005. Índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. En la región de CD. Hidalgo, Michoacán. Fitotecnia mexicana, 28 (03): 213-219.
- Cortés M., J.P. 2010. Evaluación de crecimiento de plantaciones de *Pinus* en Miahuatlán, Oaxaca. Tesis profesional, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo Coahuila. 32 p.
- De la Fuente E., A., A. Velázquez M., J.M Torres R., H. Ramírez M., C. Rodríguez F. Y A. Trinidad S. 1998. Predicción del crecimiento y rendimiento de *Pinus rudis* Endl. En pueblos mancomunados, Ixtlán, Oaxaca. Ciencia forestal en México, 23 (84): 1-8.
- Del Castillo C., P. 1996. Evaluación financiera de plantaciones forestales comerciales. Maderas y bosques, 2 (1): 3-8.
- Díaz B., J.A. 2013. Comunicación personal. Profesor y Jefe de Programa de la Carrera Docente Ingeniero Forestal del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. diaz_balderas@hotmail.com.
- Espejel M., J. 2004. Estimación de índice de sitio para *Pinus patula* Schl et Cham, en el ejido Acuaco, municipio de Zaragoza, Puebla. Tesis profesional, Universidad Autónoma de Chapingo, México. 64 p.

- Evans, J. 1988. La producción sostenible de madera en plantaciones forestales [en línea]. FAO 1988 [fecha de consulta: 21 marzo]. Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/w7126s/w7126s00.htm>>.
- FAO 1999. Situación de los bosques del mundo [en línea]. FAO 1999. [Fecha de consulta: 20 marzo 2011]. Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/w9950s/w9950s00.HTM>>.
- FAO 1998. Situación de la actividad forestal en México [en línea]. FAO 1998. [Fecha de consulta: 1 agosto 2011]. Disponible en: <<http://www.fao.org/UNFAO/Bodies/NAFC/nafc98/NAFC4-S.HTM>>
- FAO. 2001. Recursos Genéticos Forestales [en línea]. FAO 2001. [Fecha de consulta: 1 agosto 2011]. Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/004/y2316s/y2316s0b.htm#bm11>>.
- Farjon A. y B. T. Styles. 1997. Flora Neotropical *Pinus*. The New York Botanical Garden, New York, E.U. 291p.
- Frau M., C. y R. Montecinos G. 2006. Comparación de redes neuronales y regresión lineal para estimar la productividad de sitios en plantaciones forestales utilizando Geomática. *Bosque*, 27 (1): 35-43.
- Gaillar D., C., M. pece., M. Juárez D. y N. Ríos. 2002. Estimación del crecimiento y producción de una plantación de paraíso gigante (*Melia azedarach* var. *gigantea*) sin riesgo en la provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Ciencias forestales*, 1(9): 127-140
- García C., X., B. Rodríguez S. y J. Islas G. 2011. Evaluación financiera de plantaciones forestales de caoba en Quintana Roo. *Ciencia Forestal*, 2 (7): 7-25.
- García D., E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. UNAM. México, D.F. 213 p.
- Hernández R., A. 2012. Determinación del turno e índice de sitio para *Pinus montezumae* Land. Tesis profesional, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista Saltillo Coahuila. 62 p.
- INEGI. 1988. Mapas de suelos dominantes FAO/UNESCO/ISRIC. Esc. 1: 1000 000. México.

- López H., E.N. 2010. Índice de sitio para *Pinus patula* Schl. et Cham., en Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca. Tesis profesional, Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo. México. 63 p.
- López H., J.A. y A.G Valles G. 2009. Modelos para la estimación del índice de sitio para *Pinus durangensis* Martínez en San Dimas Durango. Ciencia Forestal en México, 34 (105): 187-198.
- Madrigal H., S y H. Ramírez M. 1995. Comparación de nueve modelos empíricos para la determinación de índice de sitio en Michoacán. Ciencia Forestal en México, 78 (20): 35-58.
- Mares A., O., E.H. Cornejo O., S. Valencia M. y C. Flores L. 2004. Índice de sitio para *Pinus herrerae* Martínez en Cd. Hidalgo, Michoacán. Fitotecnia mexicana, 1(27): 77-80.
- Martínez R., R. 2005. Reseña de silvicultura de plantaciones forestales comerciales de Miguel Ángel Musálem. Ra Ximhai, 1 (2): 421-425.
- Martínez R., R., H.S. Azpíroz R., J.L. Rodríguez D., V.C. Cetina A. y M. A. Gutiérrez E. 2006. Importancia de las plantaciones de *Eucaliptus*. Ra Ximhai, 2 (3): 815-846.
- Monroy R., C.R. 1996. Índice de sitio para *Pinus patula* Schl. et Cham. En la región de Huayacocotla, estado de Veracruz. Ciencia Forestal en México, 21 (80): 57-77.
- Morales H. J. 2013. Comunicación personal. Asesor técnico responsable de las plantaciones de evaluadas en Miahuatlán, Oaxaca. cpfoax@yahoo.com.mx.
- Musálem M. A. 2006. Silvicultura de plantaciones forestales comerciales. División de Ciencias Forestales, Departamento de Ecología y Silvicultura. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo México. 211 p.
- Ortega A. y Montero G. 1988. Evaluación de la calidad de las estaciones forestales. Revisión bibliográfica. Ecología ICONA, (2): 155-184.
- Palmberg-Lerche, C. y J. Ball. 1998. El estado actual de las plantaciones forestales en América Latina y el Caribe y examen de las actividades relacionadas con el mejoramiento genético. Departamento de montes FAO, Roma (Italia). 13 p.
- Patiño V., F. 1995. El establecimiento de plantaciones forestales. Ciencia Forestal en México, 20 (77): 69-96.

- Paúl R., A. 2011. Índice de sitio y predicción de altura en base al diámetro para *Pinus patula* Schl. et Cham., en Ixtlán de Juárez Oaxaca. Tesis profesional, Universidad de la Sierra Juárez, Oaxaca México, 64 p.
- Perry J. P., Jr. 1991. The pines of México and Central America. Timber Press. Portland, Oregon. 231p.
- Prieto R., A. y J. Ciro H. 1998. Perspectiva de las plantaciones forestales en el estado de Durango. INIFAP. Durango, Dgo. 288-297.
- Quiñones C., A. 1995. Evaluación de la calidad de sitio y del efecto de la densidad en bosques del estado de Durango. Tesis profesional de maestría, Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México. 129 p.
- Reed S., M. 2006. Destino del trópico. Forestal, entrevista 9 (4): 4-14 p.
- Rodríguez A., M. y B. Arteaga M. 2005. Índices de sitio para *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen, en los estados de Veracruz y Puebla, México. Chapingo, series ciencias forestales y del ambiente, 11 (1): 39-44.
- Sánchez M., E.A., M.D. González G., D.H. Del Valle P. y J.R Valdez L. 2006. SIPLAN: Sistema de información para administrar plantaciones comerciales en México. Madera y Bosques 12(2): 77-90.
- Sánchez V., N.M. y R.F Del castillo S. 2001. Calidad de estación para *Pinus chiapensis* (Mart.) Andresen en El Rincón, Oaxaca, México. Foresta veracruzana 3(2):9-12
- Sandoval G., C. 2006. Evaluación de sobrevivencia, estado sanitario y crecimiento de plantaciones de pinos en Miahuatlán, Oaxaca. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo Coahuila. 57 p.
- Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1985. Normas mínimas para la formulación de estudios dasonómicos en bosques. Dirección general de aprovechamientos forestales. México D.F.298 p.
- Spurr S. H. and Barnes B. V. 1980. Forest Ecology. Third Edition. New York. John Wiley and Sons. 687 p.
- Torres R., J. y O. Magaña T. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Limusa. 472 p.
- UMAFOR 20-08. 2008. Estudio regional de Miahuatlán-Pochutla, Oaxaca. UMAFOR 20-08, 177p.

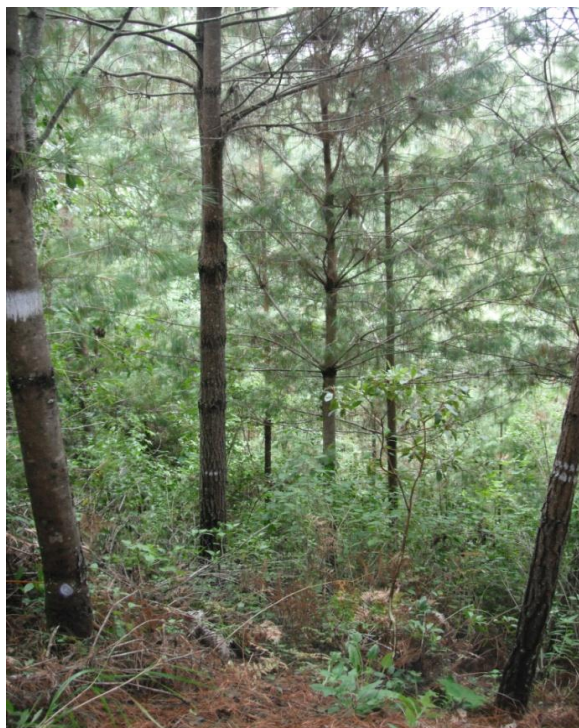
- Vela G., L. 1976. *Pinus patula* una importante especie mexicana de pino. Ciencia Forestal, 1 (1): 12-20.
- Vera C.G. 1990. Estudio de la investigación silvicultural de las plantaciones forestales en México p. 103-116. En actas Cuarta Reunión del Grupo de Trabajo IUFRO SI.07-09. (Antigua, Guatemala). 3-7 Abril 1989. 675 p.
- Zamudio S., F.J., R. Lozano J.L., y C. Carrillo J. 2010. Evaluación financiera y de riesgo de una plantación forestal comercial en Zihuateutla, Puebla. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 16 (1): 69-78.
- Zepeda B., E.M. y H. Ramírez M. 1984. Análisis de diez procedimientos para estimar incrementos volumétricos de coníferas. Ciencia Forestal, 52 (9): 34-52.
- Zepeda B., E.M y P. Rivero B. 1984. Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio: ejemplificación del método de la curva guía. Ciencia Forestal, 51(9):3-38.

APÉNDICE

Apéndice 1. Plantaciones forestales del predio Río San José, municipio de San Sebastián Río Hondo, Miahuatlán Oaxaca.



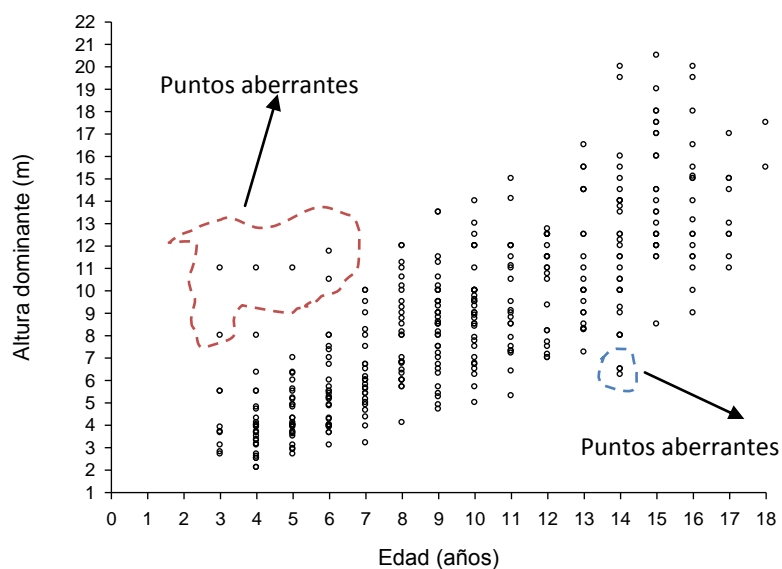
Apéndice 2. Plantaciones forestales del predio Santa Ana y Ojo de agua, municipio San Miguel Suchixtepec Miahuatlán Oaxaca.



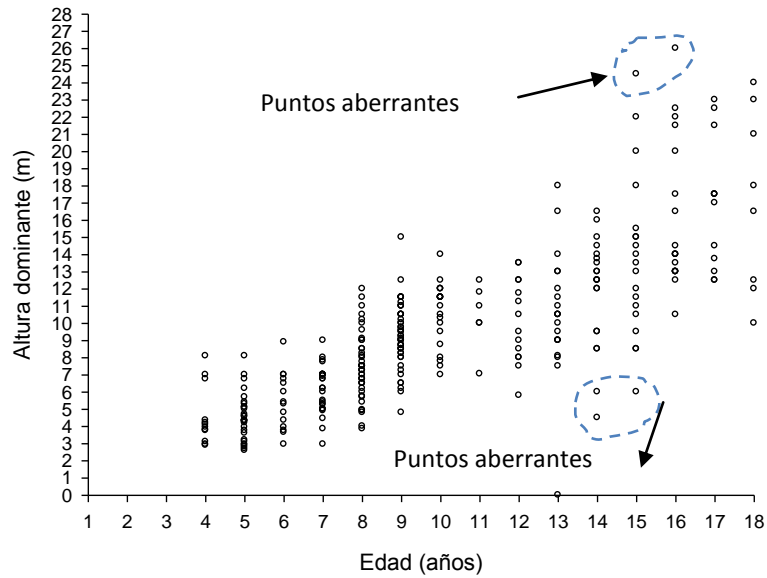
Apéndice 3. Plantaciones forestales del predio Lastinas y Río Yubto, municipio de San Miguel Suchixtepec, Miahuatlán Oaxaca.



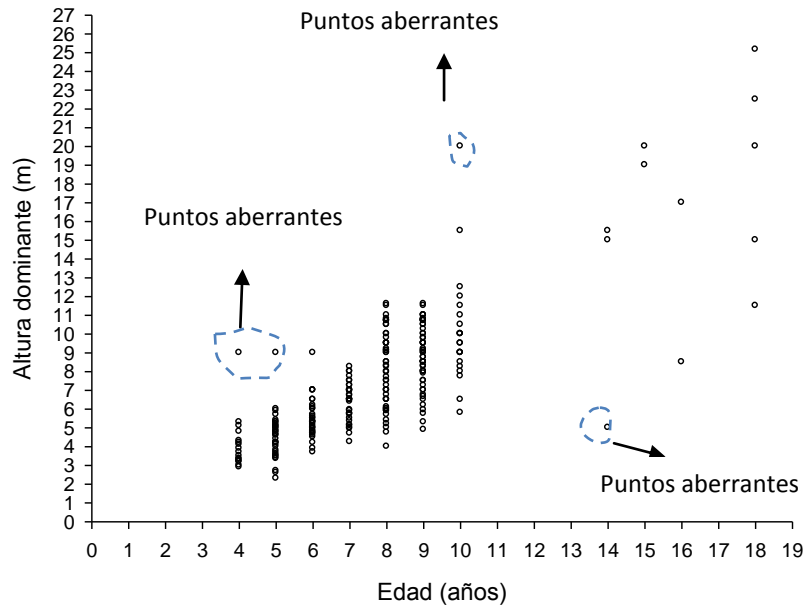
Apéndice 4. Diagrama de distribución para datos *Pinus pseudostrobus*, y la señalización de los puntos aberrantes que fueron eliminados de la base de datos.



Apéndice 5. Diagrama de distribución para datos *Pinus patula*, y la señalización de los puntos aberrantes que fueron eliminados de la base de datos.



Apéndice 6. Diagrama de distribución para datos *Pinus douglasiana* y la señalización de los puntos aberrantes que fueron eliminados.



Apéndice 7. Valores de los parámetros estadísticos de los modelos analizados para el conjunto de datos de la especie de *Pinus pseudostrobus*

| Modelo | Ecuación | R ² | R ² _{adj} | CME | F-calculada | Parámetros | | |
|--------------------|--|----------------|-------------------------------|--------|-------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | | | B ₀ | B ₁ | B ₂ |
| Schumacher | $H = \text{Exp}^{(B_0 + B_1/E)}$ | 0.9542 | 0.9533 | 5.8356 | 1000.57 | 3.1092 | -7.8163 | |
| Chapman – Richards | $H = B_0 [1 - \text{Exp}^{(B_1 * E)}]^{B_2}$ | 0.9555 | 0.9546 | 5.6707 | 1031.06 | 118353 | 6.43E-7 | 0.7865 |
| Weibull | $H = B_0 [1 - \text{Exp}^{(B_1 * (E^{B_2}))}]$ | 0.9565 | 0.9556 | 5.6705 | 1021.06 | 2485449 | 6.43E-7 | 0.7865 |
| Gompertz | $H = B_0 \text{Exp} [-\text{Exp}^{(B_1 - (B_2 * E))}]$ | 0.9553 | 0.9539 | 5.7557 | 677.08 | 22.73 | 0.7951 | 0.0962 |

R²=coeficiente de determinación, R²Adj=coeficiente de determinación ajustado, CME=cuadrado medio del error, B₀, B₁, B₂= parámetros, E= edad, Exp= función exponencial.

Apéndice 8. Valores de los parámetros estadísticos de los modelos analizados para el conjunto de datos de la especie de *Pinus patula*

| Modelo | Ecuación | R ² | R ² _{adj} | CME | F-calculada | Parámetros | | |
|--------------------|--|----------------|-------------------------------|--------|-------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | | | B ₀ | B ₁ | B ₂ |
| Schumacher | $H = \text{Exp}^{(B_0 + B_1/E)}$ | 0.9483 | 0.9470 | 7.8223 | 751.80 | 3.4199 | -10.6731 | |
| Chapman – Richards | $H = B_0 [1 - \text{Exp}^{(B_1 * E)}]^{B_2}$ | 0.9548 | 0.9537 | 6.8402 | 865.63 | 632335 | 1.752E-6 | 1.0097 |
| Weibull | $H = B_0 [1 - \text{Exp}^{(B_1 * (E^{B_2}))}]$ | 0.9568 | 0.9557 | 6.8202 | 863.57 | 442762 | 2.2E-6 | 1.0097 |
| Gompertz | $H = B_0 \text{Exp} [-\text{Exp}^{(B_1 - (B_2 * E))}]$ | 0.9544 | 0.9527 | 6.9833 | 765.97 | 6141.9 | 1.9945 | 0.0124 |

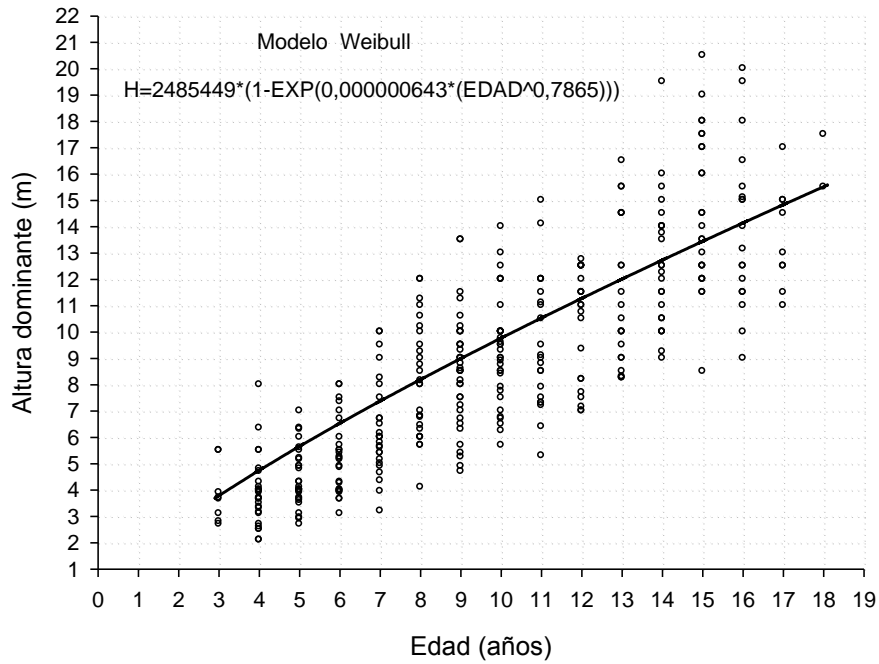
R²=coeficiente de determinación, R²Adj=coeficiente de determinación ajustado, CME=cuadrado medio del error, B₀, B₁, B₂= parámetros, E= edad, Exp= función exponencial.

Apéndice 9. Valores de los parámetros estadísticos de los modelos analizados para el conjunto de datos de la especie de *Pinus douglasiana*

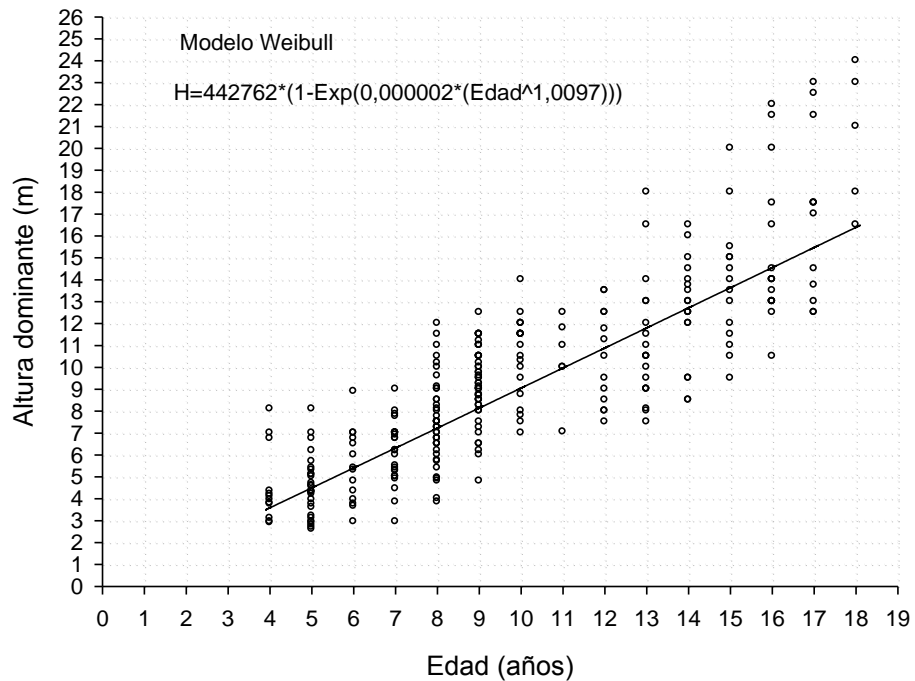
| Modelo | Ecuación | R ² | R ² _{adj} | CME | F-calculada | Parámetros | | |
|--------------------|--|----------------|-------------------------------|--------|-------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | | | B ₀ | B ₁ | B ₂ |
| Schumacher | $H = \text{Exp}^{(B_0 + B_1/E)}$ | 0.9673 | 0.9661 | 3.1727 | 812.47 | 3.4783 | -10.918 | |
| Chapman – Richards | $H = B_0 [1 - \text{Exp}^{(B_1 * E)}]^{B_2}$ | 0.9725 | 0.9715 | 2.6631 | 973.20 | 3567843 | 6.43E-7 | 1.0671 |
| Weibull | $H = B_0 [1 - \text{Exp}^{(B_1 * (E^{B_2}))}]$ | 0.9725 | 0.9715 | 2.6631 | 973.20 | 1370887 | 6.43E-7 | 1.0671 |
| Gompertz | $H = B_0 \text{Exp} [-\text{Exp}^{(B_1 - (B_2 * E))}]$ | 0.9732 | 0.9717 | 2.3464 | 652.58 | 32.1755 | 1.1105 | 0.0981 |

R²=coeficiente de determinación, R²Adj=coeficiente de determinación ajustado, CME=cuadrado medio del error, B₀, B₁, B₂= parámetros, E= edad, Exp= función exponencial.

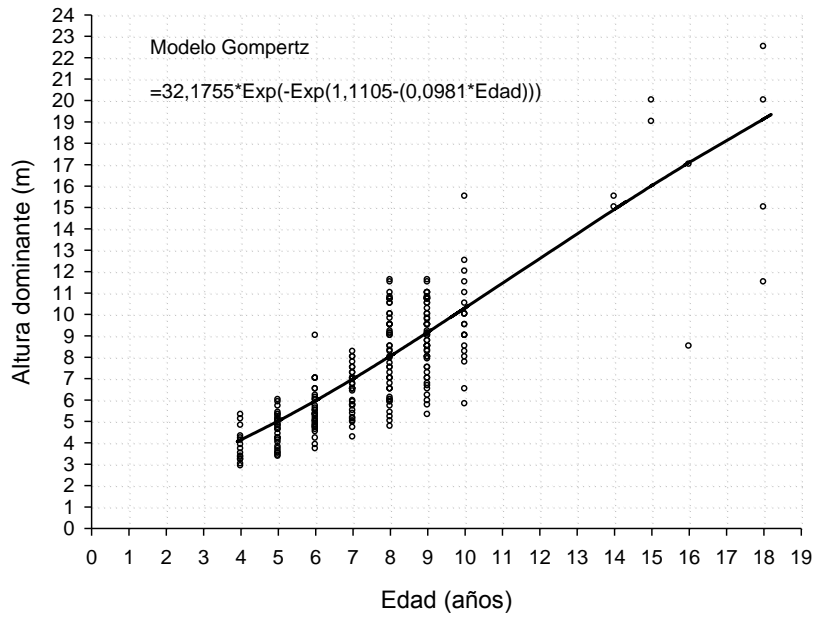
Apéndice 10. Diagrama de distribución y curva de mejor ajuste de *Pinus pseudostrobus* construida con el modelo Weibull el cual fue el mayor ajuste para la especie.



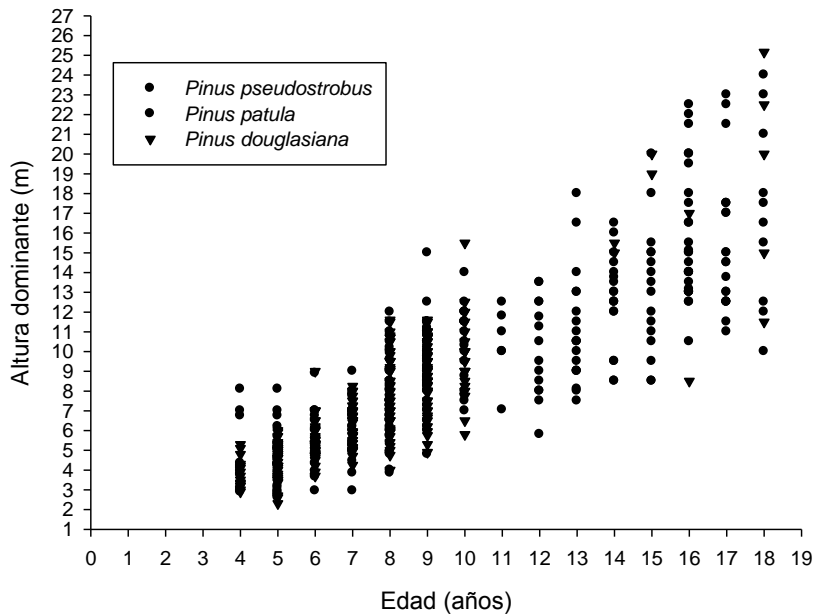
Apéndice 11. Diagrama de dispersión y curva de mejor ajuste para *Pinus patula* construida con el modelo Weibull.



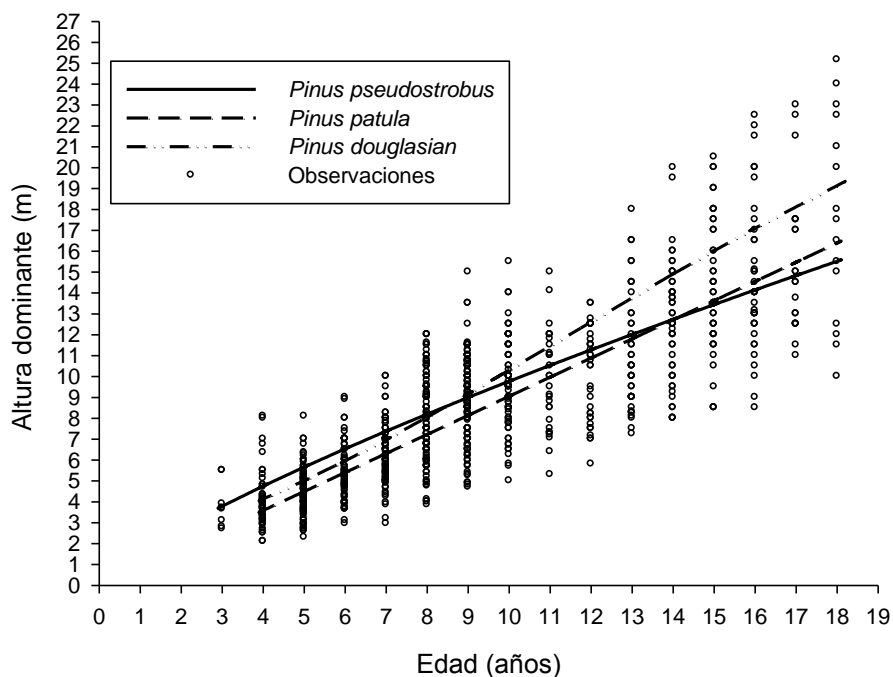
Apéndice 12. Diagrama de dispersión y curva de mejor ajuste para *Pinus douglasiana* construida con el modelo Gompertz.



Apéndice 13. Diagrama de distribución de las tres especie del estudio, con 903 pares de datos (Altura dominante / Edad) proveniente de parcelas permanentes de los municipios San Sebastián Río Hondo y San Miguel Suchixtepec, Miahuatlán Oaxaca.



Apéndice 14. Construcción de las curvas de ajuste por especie en el diagrama de distribución general, comprobando que sigue una misma tendencia.



Apéndice 15. Base de datos y coeficiente de proporcionalidad para la construcción de la familia de curvas anamórficas.

| Edad | Calidad (I) CP 1.37 | Calidad (II) CP 1.18 | Calidad (III) CP 1 | Calidad (IV) CP 0.81 | Calidad (V) CP. 0.63 |
|------|------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| 3 | 4.46986573 | 3.86517443 | 3.26048312 | 2.65579181 | 2.05110051 |
| 4 | 5.78065552 | 4.99863826 | 4.21662101 | 3.43460375 | 2.6525865 |
| 5 | 7.05675152 | 6.10210175 | 5.14745198 | 4.19280221 | 3.23815244 |
| 6 | 8.30586401 | 7.18223211 | 6.0586002 | 4.93496829 | 3.81133639 |
| 7 | 9.5329744 | 8.24333684 | 6.95369928 | 5.66406172 | 4.37442416 |
| 8 | 10.7415586 | 9.28842167 | 7.83528471 | 6.38214775 | 4.92901078 |
| 9 | 11.9341755 | 10.3196992 | 8.70522292 | 7.09074666 | 5.47627039 |
| 10 | 13.1127842 | 11.3388637 | 9.56494315 | 7.79102261 | 6.01710208 |
| 11 | 14.2789315 | 12.3472525 | 10.4155735 | 8.48389454 | 6.55221554 |
| 12 | 15.433868 | 13.3459471 | 11.2580263 | 9.17010548 | 7.08218465 |
| 13 | 16.5786248 | 14.3358392 | 12.0930537 | 9.85026814 | 7.60748259 |
| 14 | 17.7140663 | 15.3176762 | 12.9212862 | 10.5248961 | 8.12850601 |
| 15 | 18.840927 | 16.2920932 | 13.7432594 | 11.1944257 | 8.6455919 |
| 16 | 19.9598383 | 17.2596362 | 14.5594342 | 11.8592321 | 9.15903003 |
| 17 | 21.0713486 | 18.2207794 | 15.3702103 | 12.5196412 | 9.66907205 |
| 18 | 22.1759385 | 19.1759385 | 16.1759385 | 13.1759385 | 10.1759385 |

CP: Coeficiente de proporcionalidad

Apéndice 13. Rangos de las cinco calidades de sitio por año, utilizadas para realizar la calificación promedio de los predios.

| EDAD | Rango por calidad de sitio | | | | |
|------|----------------------------|--------------|---------------|--------------|-------------|
| | Calidad (I) | Calidad (II) | Calidad (III) | Calidad (IV) | Calidad (V) |
| 3 | > 4.16 | 3.56-4.16 | 2.95-3.55 | 2.35-2.98 | <2.35 |
| 4 | > 5.39 | 4.61-5.39 | 3.82-4.60 | 3.04-3.81 | <3.04 |
| 5 | >6.58 | 5.62-6.58 | 4.67-5.61 | 3.71-4.66 | <3.71 |
| 6 | >7.74 | 6.62-7.74 | 5.50-6.61 | 4.37-5.49 | <4.37 |
| 7 | >8.89 | 7.60-8.89 | 6.31-7.59 | 5.02-6.30 | <5.02 |
| 8 | >10.02 | 8.56-10.02 | 7.11-8.55 | 5.66-7.10 | <5.66 |
| 9 | >11.13 | 9.51-11.13 | 7.90-9.50 | 6.28-7.89 | <6.28 |
| 10 | >12.23 | 10.45-12.23 | 8.68-10.44 | 6.90-8.68 | <6.90 |
| 11 | >13.31 | 11.38-13.31 | 9.45-11.37 | 7.51-9.44 | <7.51 |
| 12 | >14.39 | 12.30-14.39 | 10.21-12.29 | 8.13-10.20 | <8.13 |
| 13 | >15.46 | 13.21-15.46 | 10.97-13.21 | 8.78-10.96 | <8.78 |
| 14 | >16.52 | 14.12-16.52 | 11.72-14.11 | 9.33-11.71 | <9.33 |
| 15 | >17.57 | 15.02-17.57 | 12.47-15.01 | 9.92-12.46 | <9.92 |
| 16 | >18.61 | 15.91-18.61 | 13.21-15.90 | 10.51-13.20 | <10.51 |
| 17 | >19.65 | 16.80-19.65 | 13.94-16.80 | 11.09-13.93 | < 11.09 |
| 18 | >20.67 | 17.67-20.67 | 14.67-17.46 | 11.67-14.66 | <11.67 |