

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Predicción del Rendimiento Maderable de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en Dos Plantaciones en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca

Por:

ELADIO CORTÉS MARTÍNEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Predicción del Rendimiento Maderable de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en Dos
Plantaciones en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca

Por:

ELADIO CORTÉS MARTÍNEZ

TESIS

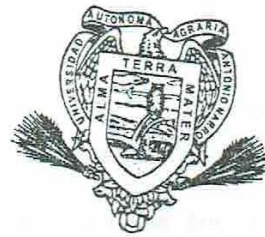
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría



Dr. Celestino Flores López
Asesor Principal



DEPARTAMENTO FORESTAL

M.C. José Aniseto Díaz Balderas
Coasesor

Ing. Juan Morales Hernández
Coasesor



Dr. Gabriel Callegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2017

DEDICATORIA

A mis padres: Hipólito Cortés García y Marcelina Martínez Pérez por darme la vida, por todo su cariño, consejos y esfuerzo que hicieron para poder salir adelante, por su apoyo moral y económicamente brindado durante toda la carrera, por creer en mí y por inculcarme los valores éticos para ser quien soy, gracias por dejarme la mejor herencia que es el estudio.

A mi hermano Jaime Cortés Martínez y esposa Celitaí Ramírez , y por todo su apoyo a lo largo de la carrera, por sus consejos y por compartir momentos inolvidables y por ser una gran familia, y a su hijo Valentín Cortés Ramírez por alegrarme los días, porque a pesar de lo que pase siempre me regala una sonrisa.

A mi hermano Mateo Cortés Martínez por compartir momentos inolvidables, por su gran amistad y por todo el apoyo que me ha brindado a lo largo de la carrera.

A todos mis tíos (as), por sus consejos, por sus ánimos y por su apoyo moral que me han brindado a lo largo de toda la carrera y por todos aquellos momentos a su lado.

A todos mis primos (as), sobrinos (as), por su amistad y por los buenos momentos que hemos vivido en el trayecto de la vida, por todo su apoyo en las buenas y en las malas.

A la Lic. Micaela Ramírez Ramírez por su apoyo incondicional, por sus ánimos y consejos brindados durante todo este tiempo, por estar conmigo en las buenas y en las malas, por la confianza que ha depositado en mí y por todo el amor que me ha brindado.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco principalmente a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por haberme dado la oportunidad de salir adelante, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A mi *ALMA MATER* Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de formarme profesionalmente.

Al departamento forestal, personal académico y administrativo por el apoyo y las enseñanzas durante todo el trayecto de la carrera.

Al Dr. Celestino Flores López por brindarme el apoyo como profesor en clases y sobre todo asesor de esta tesis, por su gran paciencia, dedicación y confianza en la realización de este trabajo, así como su amistad a lo largo de la carrera.

Al Ingeniero Juan Morales Hernández por su apoyo brindado durante este trabajo de tesis y por sus consejos en el trayecto de la vida.

Al M.C. Aniseto Díaz Balderas por su valiosa colaboración en la revisión de este trabajo de tesis, además por todo el apoyo que mostró como profesor.

Al señor Leonilo Jacinto Sánchez y familia por el apoyo brindado, durante el levantamiento de los datos y por su gran amistad.

A David Jacinto Sánchez, Eduardo Cortés, Mateo Cortés, Micaela Ramírez, Carmela Sandoval y Oscar López por el apoyo brindado en el levantamiento de los datos de campo.

A mis amigos de la carrera de Ingeniero Forestal Zoila de la Cruz Ramírez, Araceli Granados Pérez, Juan Carlos Hernández Martínez, Juan Romero Hernández Méndez, Rosario Gómez Canseco por los momentos vividos dentro y fuera de la universidad.

Esta tesis fue apoyada con el proyecto de investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con clave 38111-425103001-2192 como responsable Dr. Celestino Flores López, además con el apoyo de la Sociedad de Amanecer del Pacífico S.C. de R.L. en Miahuatlán, Oaxaca.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general	4
1.2 Objetivos específicos	4
1.3 Hipótesis	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Plantaciones forestales comerciales en México.....	5
2.1.1 Problemática de las plantaciones	5
2.2 Plantaciones forestales comerciales en Oaxaca.....	7
2.3 Plantaciones forestales comerciales en Miahuatlán, Oaxaca	7
2.3.1 Descripción de la especie del estudio.....	8
2.4 Estimación de rendimiento en plantaciones.....	8
2.4.1 Calidad de sitio en plantaciones forestales.....	9
2.4.2 Niveles de densidad y crecimiento de rodales.....	10
2.4.3 Ecuaciones para estimar el crecimiento y rendimiento.....	12
2.4.4 Estudios y aplicaciones del rendimiento maderable	13
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1 Descripción del área de estudio	15
3.2 Antecedentes de las plantaciones del área de estudio	19
3.3 Evaluación del rendimiento maderable	19

3.3.1	Diseño de muestreo.....	19
3.3.2	Variables evaluadas	20
3.3.3	Modelos de crecimiento para estimar el índice de sitio	20
3.3.4	Determinación de la edad base	22
3.3.5	Construcción de la curva guía y las curvas anamórficas.....	22
3.4	Determinación de la calidad de sitio.....	25
3.5	Estimación del volumen	26
3.6	Modelos para predecir el rendimiento maderable en volumen.....	27
3.7	Comparación del rendimiento entre las dos plantaciones	28
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1	Índices de sitio para <i>Pinus pseudostrobus</i>	29
4.1.1	Determinación del modelo de ajuste.....	29
4.1.2	Determinación de la edad base	30
4.1.1	Gráficas de curvas de índice de sitio	31
4.2	Determinación de la calidad de sitio para cada plantación.....	31
4.3	Tabla de volumen actualizada para <i>Pinus pseudostrobus</i>	33
4.4	Modelos de rendimiento maderable en volumen.....	35
4.5	Comparación del rendimiento entre las dos plantaciones	36
5	CONCLUSIONES	39
6	RECOMENDACIONES.....	40
7	LITERATURA CITADA	41

ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Resultados encontrados de trabajos relacionados con el rendimiento maderable.....	14
Cuadro 2.	Superficies y especies plantadas de los predios donde se ubican las dos plantaciones de <i>Pinus</i> en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.	15
Cuadro 3.	Aspectos ecológicos de las dos propiedades donde se encuentran las dos plantaciones “Rancho Río San José” ubicada en el municipio de San Sebastián Río Hondo y “Santa Ana y Ojo de Agua” perteneciente al municipio de San Miguel Suchixtepec y al Distrito de Miahuatlán, de Porfirio Díaz Oaxaca.....	18
Cuadro 4.	Estudios realizados en las plantaciones forestales del predio “Rancho Río San José” y “Santa Ana y Ojo de Agua”, perteneciente al Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	20
Cuadro 5.	Modelos de crecimiento utilizados para la estimación del índice de sitio.....	21
Cuadro 6.	Rango de edades y las cinco calidades de sitio que fueron utilizadas para la asignación de calidad de sitio a cada plantación de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	25
Cuadro 7.	Especificaciones de las clases de calidad de sitio para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	26
Cuadro 8.	Tabla de volumen para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. en la Sierra Sur. Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca (Zúñiga, 2013b).....	26
Cuadro 9.	Índices de sitio y calidad de sitio asignada a cada una de las plantaciones de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	33

Cuadro 10. Tabla de volumen para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. de dos plantaciones en la región Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	34
Cuadro 11. Volumen por hectárea para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. de dos plantaciones en la región Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Mapa de localización de las plantaciones del predio “Rancho Río San José”, Municipio de San Sebastián Río Hondo, distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	16
Figura 2. Mapa de localización de las plantaciones en el predio “Santa Ana y Ojo de Agua” Municipio de San Miguel Suchixtepec, distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	17
Figura 3. Diagrama de dispersión de altura dominante de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. y la curva de ajuste con el modelo de Chapman-Richards.....	29
Figura 4. Curva de incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), de las plantaciones de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	31
Figura 5. Familia de curvas anamórficas de índice de sitio para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. con edad base de 21 años en las plantaciones de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	32

RESUMEN

En el presente estudio se estimó el rendimiento maderable medio anual para *Pinus pseudostrubus* Lindl. en dos plantaciones comerciales en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca. La información utilizada fue de 50 sitios permanentes de 100 m², evaluados anualmente desde el año 2005 al 2015, las variables medidas fueron diámetro normal, alturas y edad. Para estimar los índices de sitio se utilizaron las variables de edad, altura dominante, se construyeron curvas anamórficas seleccionando uno de los cuatro modelos no lineales: Schumacher, Chapman-Richards, Weibull y Gompertz. En cuanto a la estimación del volumen por sitio y por hectárea de cada plantación se utilizó la ecuación de Meyer modificada de un estudio previo para estas plantaciones. Para el rendimiento en volumen se probaron tres modelos basados en el modelo de Schumacher, seleccionando el de mejor ajuste en los estadísticos de comparación. Se realizó una comparación de medias con la prueba de *t* de Student con un nivel de confianza de 95% para comparar el rendimiento medio anual entre las dos plantaciones.

Los índices de sitio obtenidos fueron cinco en un rango de 13.45 a 25.45 m, con separación entre índices de tres metros. El modelo de rendimiento de mejor ajuste fue el modelo 2 que incluye las variables edad, índice de sitio y área basal. El rendimiento fue diferente entre las dos plantaciones, la plantación de “Santa Ana y Ojo de Agua” tiene mayor rendimiento como resultado de mejor índice de sitio, principalmente.

Palabras claves: índice de sitio, volumen, rendimiento, plantaciones forestales, *Pinus pseudostrobus* Lindl.

ABSTRACT

In the present study the average annual yield for *Pinus pseudostrubus* Lindl was estimated. In two commercial plantations in Miahuatlán of Porfirio Díaz, Oaxaca. The information used was 50 permanent sites of 100 m², evaluated annually from 2005 to 2015, the measured variables were diameter adbreas heigth, height and age. To estimate the site indexes, the variables of ege and dominat age were used the age dominant height variables with, anamorphic curves were constructed by selecting one of the four non-linear models: Schumacher, Chapman-Richards, Weibull and Gompertz. As for the estimation of the volume per site and per hectare of each plantation was used the modified Meyer equation from a previous study for these plantations. For the volume yield, three models based on the Schumacher model were tested, selecting the one with the best fit in the comparison statistics. A comparison of means was performed with the Student *t* test an confidence level of 95% to compare the mean annual yield between the two plantations.

The site indexes obtained were five in a range of 13.45 to 25.45 m, with a separation between indices of three meters. The best fit performance model was the model 2 which includes the variables age, site index and basal area. The yield is different between the two plantations, the plantation of "Santa Ana and Ojo de Agua" has higher yield as a result of better site index, mainly.

Keywords: site index, volume, yield, forest plantations, *Pinus pseudostrubus* Lindl.

1 INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales comerciales a nivel mundial, se establecieron para satisfacer las demandas de madera y fibra principalmente, que anteriormente eran extraídas de los bosques naturales para fines industriales (CONAFOR, 2001). Las superficies de plantaciones fueron aumentando, debido a que existe mucha demanda de productos maderables y no maderables, del año 1995 al 2000 se tuvo un registro de una superficie plantada aproximadamente de 187 millones de hectáreas, de esta superficie se estima que la mitad tiene fin industrial, la cuarta parte con fin comercial y el otro cuarto tiene otros usos. Al respecto las especies de rápido crecimiento y de rotación breve como son el *Eucalyptus*, *Acacia*, los pinos y otras especies forman las principales especies útiles con periodos de rotación media en las zonas templadas y boreales (FAO, 2000).

Con referencia a lo anterior, se destaca la importancia que tienen las plantaciones forestales, ya que contribuyen con beneficios de carácter ambiental, social y económico, ya que se utilizan para combatir la desertificación, absorbe las emisiones de carbono, protege los recursos edafológicos e hidrológicos, diversifica el paisaje y mantiene la biodiversidad, entre otras (CONAFOR, 2009).

En este sentido, México inició con un área de plantaciones de cierta importancia de 0.2 millones de hectáreas. La mayor parte de las plantaciones establecidas por primera vez en México fueron a mediados o a finales del decenio de 1950, aunque casi toda la superficie hoy en día tiene menos de 20 años, es decir la mayor parte de las áreas se encuentran en su segunda rotación. Esto representa una alta prioridad para el desarrollo del sector forestal en México, debido a que se busca con ello, el incremento de la producción maderable, el aumento de la oferta de la madera, el desarrollo tecnológico y la competitividad de la industria forestal, aumento del ingreso por actividad forestal en las áreas rurales del país y por último la conservación ambiental y ecológica (CONAFOR, 2001).

Dentro de las especies que más se plantan en México destacan para las especies latifoliadas *Switenia macrophylla* King, *Cedrela odorata* L., *Eucalyptus* spp.,

Gmelina arborea Robx, *Tectona grandis* L.f., *Gliricida sepium* Jacq Kunth ex Walp, *Brosimum allicastrum* Sw., *Leucaena leucocephala* Lam., *Tabebuia rosea* Bertol., *Acacia* spp. *Ceiba pentandra* L., *Enterolobium cyclocarpum* Jacq. En cambio para las especies de coníferas se encuentran *Pinus pseudostrobus* Lindl., *P. caribaea* Juddpatterson, *P. chiapensis* Chapin, *P. patula* Oscarangel, *P. tropicalis* Gray, *P. montezumae* L, *P. engelmannii* C., *P. douglasiana* Martínez, *P. michoacana* Martínez y *P. arizonica* Engelm (Sosa, 1992).

Dentro de los bosques de coníferas en México, los pinos son catalogados como el primer género de árboles en distribución y área. Además en México representan el grupo de las especies que sustentan a la industria forestal. Del total del recurso forestal, los pinos representan aproximadamente el 81% de la explotación, más de 2,350 industrias utilizan los pinos en forma de productos sólidos y fibras, por lo tanto las plantaciones forestales comerciales son una buena opción, ya que se puede aumentar de manera significativa la producción de madera, además se puede lograr mayores rendimientos por hectárea a corto plazo, y de esta forma sean menos intervenidos los bosques naturales (Bermejo y Pontones, 1999).

Cabe señalar que de acuerdo a las plantaciones forestales establecidas en todo el país con diferentes propósitos, pocas de ellas son las que se han estudiado, por lo que es necesario realizar una evaluación que ayude a recopilar información, ya que la respuesta es para tener un elemento de juicio en la toma de decisiones, y que la información derivada de la evaluación debe estar dentro de un contexto que le permita ser comparable con otras evaluaciones, algunas de estas evaluaciones pueden ser sobrevivencia, salud, crecimiento, rendimiento maderable entre otras, las evaluaciones aportan datos muy valiosos desde un punto de vista técnico, económico y social, además que son una herramienta en la toma de decisiones a largo plazo, por lo tanto, el estudio que se realice será la base para el prestador de servicios forestales en la toma de decisiones silvícolas para las plantaciones (Torres y Magaña, 2001).

A pesar de que no hay duda acerca de la importancia del uso de los modelos de rendimiento para facilitar el proceso de toma de decisiones, algunas regiones y países, como México, aplica el manejo de la mayoría las especies forestales, sin tener

conocimiento de la tasa de crecimiento y rendimiento a lo largo del tiempo (Valdez-Lazalde y Lynch, 2000). Por lo que existen pocos estudios acerca de este tema, la mayoría de los estudios de rendimiento se han realizado en bosques naturales (Valdez-Lazalde y Lynch, 2000; Monárrez-González y Ramírez-Maldonado, 2003; Santiago-García *et al.*, 2014) sin embargo, en plantaciones forestales comerciales son pocos los estudios que se han realizado, por lo tanto es necesario realizar estudios acerca de este tema (Martínez *et al.*, 2015).

En efecto el estudio de crecimiento y la producción maderable ya sea en árboles o radales es muy importante para la planificación y administración forestal. Los sistemas de crecimiento y rendimiento son un conjunto de herramientas cuantitativas esenciales muy útiles para realizar un buen manejo forestal y con ello tomar buenas decisiones silvícolas. Mientras tanto con un inventario adecuado, los modelos de crecimiento proporcionan datos confiables para determinar el rendimiento de madera sostenible, y examinar los impactos del manejo forestal y la cosecha de los bosques (Uranga, 2014).

Debido a que se carece de información sobre plantaciones en la región de la Sierra Sur del estado de Oaxaca, se realizó el trabajo sobre rendimiento maderable en volumen en dos plantaciones de *Pinus*, las cuales son de las primeras que se establecieron en terrenos con régimen de propiedad privada, las plantaciones fueron establecidas con iniciativa propia de los propietarios, además cabe señalar que estas plantaciones actualmente reciben mantenimiento ya que se desarrollan diferentes actividades silvícolas como son labores de limpieza, podas, aclareos y algo muy importante que es el monitoreo mediante la evaluación de sitios permanentes de muestreo. Se encuentran ubicadas en dos municipios que son San Sebastián Río Hondo y San Miguel Suchixtepec, pertenecientes al distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, por lo que consistirá en la construcción un modelo para predecir el rendimiento maderable en volumen para la especie de *Pinus pseudostrobus*, con la finalidad de tener una herramienta que ayude a tomar decisiones de manejo silvícola.

1.1 Objetivo general

Estimar el rendimiento maderable en volumen de dos plantaciones de *Pinus pseudostrobus* Lind. a 21 años de establecimiento en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

1.2 Objetivos específicos

- Estimar los índices de sitio para las parcelas evaluadas en cada plantación de *Pinus pseudostrobus* Lind y determinar la calidad de sitio para cada plantación.
- Estimar el rendimiento maderable en volumen con una ecuación que relacione la función de índice de sitio, la edad y el área basal.
- Comparar el rendimiento maderable medio anual entre predios y entre plantaciones.

1.3 Hipótesis

Ho: El rendimiento maderable medio anual es igual entre las dos plantaciones.

Ha: El rendimiento maderable medio anual entre plantaciones de *Pinus pseudostrobus* establecidas, es diferente como consecuencia de calidad de sitio y densidad principalmente.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Plantaciones forestales comerciales en México

México es un país que por su potencial para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales puede mejorar el escenario de su balanza comercial en productos forestales si incrementa la superficie. El establecimiento de plantaciones forestales en nuestro país, se ha limitado principalmente a la protección de áreas degradadas, y pocos son los ejemplos de plantaciones establecidas con fines comerciales. Sin embargo, 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 escasez y alejamiento de las fuentes productoras (Martínez *et al.*, 2006).

Las primeras plantaciones que se establecieron en México fueron las siguientes; la compañía “Fibracel, S.A.”, en 1953 estableció aproximadamente 5 mil hectáreas de plantaciones de *Eucalipto ssp.* y *Melia azederach* y otras latifoliadas en Tamuín, San Luis Potosí, más tarde en 1974 y 1977 se establecieron plantaciones de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* y *Pinus oocarpa*, en la Sabana, la Trinidad y San Juan Jaltepec, Oaxaca, los aprovechamientos de estas plantaciones se dieron después de 1981. Posteriormente en 1984 se establecieron plantaciones de *Pinus caribaea* en Santiago Tutla, San Juan Mazatlán, Oaxaca, más adelante fue las plantaciones de PROFORTARAH, en Chihuahua y Sinaloa con especies de *Pinus spp.* (CONAFOR, 2009).

Las especies maderables que más se han plantado en México del año 2000-2014 han sido *Cedrela odorata* con 36,346 ha, *Eucalyptus spp.* con 32,452 ha, *Tectona grandis* con 25,324 ha, *Gmelina arborea* con 24,061 ha, *Pinus spp.* con 23,950 ha *Swietenia macrophylla* con 7,693 ha, *Tabebuia rosea* con 5,071 ha y otras especies con 16,564 ha (CONAFOR, 2009).

2.1.1 Problemática de las plantaciones

La problemática actual que limita establecer plantaciones comerciales es por la sobrerregulación ambiental, el acceso a la tierra por los inversionistas y por la

inseguridad sobre las políticas de gobierno. Asimismo, las fuentes de crédito, el financiamiento o el capital de riesgo para el desarrollo de las plantaciones son limitadas o poco accesibles, además no existe subsidios que vayan orientados a incentivar el desarrollo de las industrias que están ligadas a los proyectos de plantaciones, por lo que se dificulta la integración de la cadena productiva (CONAFOR, 2001).

Por otra parte, las plantaciones forestales en México han tenido poco resultado de acuerdo al esfuerzo y recursos que se le invierte, el problema fundamental es que no se le ha dado seguimiento, en virtud de que el éxito de los programas actuales debe medirse el porcentaje de sobrevivencia en campo, así como por el crecimiento y rendimiento de madera que se tiene y no por lo que se produce en vivero, ya que eso es la primer etapa y al tiempo de llevar la planta a campo es donde hay mayor mortalidad, además para hacer de las plantaciones forestales (García *et al.*, 2011).

Debido que no se le da importancia a los programas de plantaciones, en el ámbito forestal se han utilizado una gran variedad de especies de coníferas y hojosas, las cuales presentan una baja sobrevivencia y reducidos incrementos, en respuesta a diversos factores como: el establecimiento de las plantaciones sin tener ningún objetivo específico para lo que se requiere, la mala selección de especies y densidades, así como la falta de manejo silvícola, por lo que se requiere de apoyos de instancias de gobierno u organizaciones no gubernamentales, para contar con recursos disponibles para poder invertir en el mantenimiento (Muñoz *et al.*, 2011).

Debido al problema que se tiene en la actualidad como la sobrerregulación ambiental, el acceso a la tierra por los inversionistas, las fuentes de crédito, entre otras, el Gobierno Federal cada vez está más interesado y convencido de los beneficios que proporcionan las plantaciones forestales, por ello otorga subsidios para dar solución a los problemas que representan como: las altas tasas de deforestación causadas por la tala ilegal, cambios de uso de suelo no autorizados, incendios forestales, plagas y enfermedades, agricultura migratoria, la sobreexplotación de los recursos naturales entre otros (CONAFOR, 2001).

2.2 Plantaciones forestales comerciales en Oaxaca

La superficie autorizada para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales (PFC) en Oaxaca es de 14,510 hectáreas, las superficies de PFC establecidas con el apoyo de PRODEPLAN es de 23 mil ha, resalta la superficie establecida en la cuenca del Río Papaloapan, que sobresalen ligeramente 11 mil ha, principalmente de *Eucalipto*, teca, caoba, cedro, melina y pino. Se estima que estas plantaciones tienen un potencial productivo de 248 mil m³/año. Se calcula que para el Estado de Oaxaca las plantaciones actuales y las proyectadas de acuerdo al potencial, podrían generar para el año 2030 un volumen de cosecha de madera acumulable cerca de 11.2 millones de m³ rollo de madera con una tendencia creciente (Sosa, 2007).

Dentro de las especies del género *Pinus*, Sosa (2007) en el Programa Estratégico Forestal del Estado de Oaxaca (PEFO) 2007-2030 recomienda las siguientes especies para plantaciones forestales comerciales; *Pinus patula* Schiede, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus ayacahuite* Roezl, *Pinus oaxacana* Mirov, *Pinus maximinoi* Mtz. y *Pinus michoacana* Mtz. Las plantaciones que se destacan en superficie son la del municipio de Santiago Yaveo con poco más de 4,000 hectáreas, después de ellos solo un grupo compuesto por San Vicente Lachixio, San Juan Elotepec y San Sebastián de Las Grutas, conjunta 2,000 hectáreas, la región de Tuxtepec también tiene una plantación de aproximadamente de 1,000 hectáreas de eucalipto, caoba y cedro.

2.3 Plantaciones forestales comerciales en Miahuatlán, Oaxaca

En los años 90 un grupo de pequeños propietarios de los municipios de San Sebastián Río Hondo, Santa María Ozolotepec, San Mateo Río Hondo y San Miguel Suchixtepec dirigidos por su responsable técnico forestal, se organizan para llevar acabo el manejo forestal de sus bosques, la producción de planta en vivero y las primeras reforestaciones en la región, todo esto fue con recursos propios.

En la región, a partir de 1993 por iniciativa de los dueños de bosque y su responsable técnico forestal (Ing. Juan Morales Hernández), establecen los primeros viveros forestales, para producir planta para las primeras reforestaciones en la región,

del periodo de 2001 al 2006 se tienen establecidas 249 ha de plantaciones de coníferas del género *Pinus*, para la producción de madera y 3 ha para la producción de árboles de navidad, todas estas con un registro de plantación forestal comercial (Morales, 2008).

2.3.1 Descripción de la especie del estudio

Pinus pseudostrobus es un árbol de tronco recto, de hasta 20-40 m y a veces hasta 45 m de altura y 80-100 cm de diámetro, la corteza es gruesa, escamosa, con placas alargadas y fisuras longitudinales profundas, de color café oscuro a café-gris. Las ramillas son delgadas, lisas con las bases de las hojas (de los fascículos) pequeñas y decurrentes, siendo glaucas primero, fascículos extendidos o más frecuente flácidos, pedúnculos persistiendo por 2-3 años. Acículas en fascículos de 5, raro 4 o 6, de 20-30 cm de longitud y de 0.8-1.3 mm de ancho. Conos solitarios o en pares, más raro en verticilos de 3-4, en pedúnculos cortos y robustos, dejando escama basal en las ramillas cuando caen de 7-16 cm x 6-13 cm cuando abren. Escamas del cono 140-190, abriendo gradualmente, por lo general gruesas y lignificadas; apófisis de ligera a frecuentemente levantadas, sobre todo en un lado del cono, de color café opaco con el tiempo se vuelve grisáceo. Semillas 5-7 x 3-4.5 mm, con la ala articulada de 20-25 x 7-10 mm, cubriendo parte de un lado de la semilla. Hábitat montano hasta altas montañas en pinares y bosques de encino, es muy común y se encuentra mezclada con otras especies de pino o con otras coníferas. Distribución principalmente en el eje volcánico transversal (centro de México) y hacia el sur hasta el oeste de Honduras. Hacia el norte existen poblaciones en Sinaloa y Durango así como el sureste de Coahuila/Nuevo León. Se encuentra en altitudes que van de 850-3250 msnm (Farjon *et al.*, 1997).

2.4 Estimación de rendimiento en plantaciones

El rendimiento es regularmente referido como aquella parte del crecimiento que es cosechable o explotable (Torres y Magaña, 2001). El volumen maderable por unidad de superficie representa la variable de mayor interés para el administrador e inversionista forestal, se estima a partir de un modelo por regresión en el cual el volumen por hectárea está en función de las variables de totalidad del rodal. Su

estimación final abunda en un sistema de crecimiento y rendimiento maderable del cual se desprenden las tablas de producción en volumen. En esta forma de estimarlo como un sistema es más confiable, flexible y realista, ya que en las variables involucradas se trabaja con modelos dinámicos de crecimiento que permita realizar simulaciones ante diferentes alternativas de manejo silvícola y evaluar su efecto en términos de crecimiento y rendimiento (Tamarit, 2013).

La predicción del crecimiento y rendimiento se puede realizar de dos formas: una explícita y otra implícita. La predicción explícita se refiere a que esta predicción se realiza con un modelo que predice tácticamente la condición futura del rodal. Por lo contrario, la predicción implícita requiere el uso de uno o varios modelos que predicen explícitamente un conjunto de variables, a partir de las cuales es posible recuperar la condición futura de un rodal (Torres y Magaña, 2001).

Una vez que se disponga de datos, puede construirse un modelo matemático y ajustarlo a dichos datos, un modelo matemático consiste en un conjunto de ecuaciones o gráficos que muestran las relaciones cuantitativas entre las variables. El ajuste de un modelo puede ser estadístico, usando por ejemplo la regresión lineal, o puede ser subjetivo, trazando líneas a través de los datos en gráficas. Existe una función genuina para el crecimiento de los árboles basada en una ley natural, aunque hay algunas como la función de Chapman-Richard, que representa parcialmente los procesos de crecimiento (FAO, 1981).

2.4.1 Calidad de sitio en plantaciones forestales

La calidad de sitio es la suma de muchos factores ambientales: la profundidad del suelo, su textura, las características de sus perfiles, su composición mineral, lo pronunciado de las pendientes, la exposición, el microclima la especies que viven sobre él y otros más. La productividad de los terrenos forestales se define, en gran parte por la calidad de sitio, que se estima mediante la máxima cosecha de madera que el bosque produce en un tiempo determinado. Dentro de un cierto microclima, la calidad de sitio determina el tipo y manejo de un rodal. La calidad del terreno es una cuestión esencial en el manejo de los rodales encaminada a la producción de varias

combinaciones de productos forestales. No es posible tomar decisiones validas de tipo silvícola si no se hace referencia a la calidad de sitio (Daniel *et al.*, 1982).

El índice de sitio es el indicador más sensible de la calidad de sitio que las expresiones de las tablas de rendimiento en volumen de productividad debido a que la altura del árbol dominante, en una edad particular representa la máxima altura alcanzable, en contraste, el volumen normal de la tabla de rendimiento representa tan solo el volumen promedio que se encontró en un cierto periodo, además, el índice del terreno puede ser determinado rápida y fácilmente para una especie que componen un rodal mezclado de edad uniforme y escasamente poblado (Daniel *et al.*, 1982).

La altura de un rodal uniforme a una edad dada, es un buen indicador del potencial productivo de ese tipo de bosque en ese sitio particular. Por eso, la construcción de curvas de altura/edad para diferentes clases de sitio, es el primer paso para la construcción de modelos de crecimiento y rendimiento. Sin embargo la altura promedio de un rodal es usualmente sensitiva no solo a la edad y la clase de sitio, sino también a la densidad del rodal. Por consiguiente, se usa normalmente la altura dominante en la definición de la altura del rodal. La altura dominante es casi insensible a diferencias de densidad de los rodales (FAO, 1981).

2.4.2 Niveles de densidad y crecimiento de rodales

La densidad del rodal es el segundo factor de importancia, después de la calidad de sitio, para la determinación de la productividad de un sitio forestal, esto es muy importante, ya que la densidad del rodal es el principal factor que el silvicultor puede manipular durante su desarrollo. Antes de establecer los principios de la cuantificación de la densidad de los rodales es necesario aclarar el término de población y densidad. Se define como población a “un indicio más o menos subjetivo del número de árboles, comparado con el número de ellos que produce los mejores resultados”, mientras que la densidad es “la medida cuantitativa de la población de árboles expresada, sea relativamente como un coeficiente que toma números normales, área basal o volumen como unidad, o absolutamente en términos del número de árboles, del área basal total o volumen por unidad de área” (Daniel *et al.*, 1982).

El crecimiento es un proceso dinámico y su dimensión requiere del monitoreo permanente. A pesar de ello, es posible realizar una evaluación estática, sin embargo esta solo puede ofrecer información sobre crecimiento promedio en variables dasométricas de interés, más no una idea dinámica del crecimiento. Una estrategia de reconstrucción del crecimiento es evaluar el desarrollo de las plantaciones de diferente edad y creciendo en diferentes condiciones de sitios. El objetivo de evaluar el crecimiento de la plantación es definir su dinámica de desarrollo así como su probable rendimiento a una fecha determinada (Torres y Magaña, 2001).

La evaluación del crecimiento regularmente va acompañada de la evaluación de variables adicionales que le permiten relacionarse con los medios físico y biológico. La información de crecimiento generalmente es usada para construir modelos de predicción y simulación de rendimiento del arbolado bajo diferentes condiciones de desarrollo. Estos modelos, en el largo plazo resultan ser herramientas más importantes del administrador de la plantación para identificar las mejores políticas de manejo, sea cual sea el objetivo de la plantación (Daniel *et al.*, 1982).

Para correlacionar las alturas de los árboles dominantes con la edad es necesario conocer la ley de crecimiento biológico tanto individual como de la población. En el desarrollo de un individuo o de una población el proceso presenta tres fases distintas: juventud, madurez y senectud. Analizando la forma y la tendencia de los crecimientos biológicos en función del tiempo, se puede observar que se puede asimilar a la forma de una "S", por lo que se le denomina sigmoide. La tendencia, reflejada en una curva, comienza en un valor referencial cero, pasando a crecer gradualmente hasta alcanzar un punto de inflexión, continua creciendo con menor intensidad hasta llegar a un punto de tangencia máxima y partir de este punto comienza un proceso asintótico. Conociendo las tendencias de crecimiento en función del tiempo, surgieron varias ecuaciones matemáticas para representarla, que se obtienen mediante técnicas de regresión para estimar la evolución de una población (Araujo e Iturre, 2006).

2.4.3 Ecuaciones para estimar el crecimiento y rendimiento

Las ecuaciones de crecimiento y rendimiento pueden desarrollarse a partir de datos que no identifican los árboles individuales. Por lo tanto, el crecimiento puede determinarse como la diferencia en el volumen total de la parcela (o área basal) en dos medidas nuevas, y no directamente de los datos de árboles individuales. Dichas estimaciones pueden ser satisfactorias cuando todos los árboles están presentes en ambas medidas, pero cuando hay mortalidad, puede ser difícil conciliar las repetidas medidas. Los cálculos usualmente asumen que los árboles no cambian de rango. Esta hipótesis rara vez es satisfactoria, y siempre es preferible utilizar datos en los que se identifican los árboles individuales (Vanclay, 1994).

Un buen modelo se tiene que planear. No se puede simplemente combinar varias relaciones casualmente formuladas y esperar obtener predicciones confiables. Se debe tener en cuenta el diseño del modelo al inicio de la construcción del modelo, se debe de considerar lo siguiente; qué modelo se utilizará, qué insumos se proporcionarán, qué resultados se requieren, los datos disponibles para el montaje del modelo, y los recursos disponibles para construir, probar y usar el modelo. La ecuación de Schumacher-Clutter ha sido tratada con algún detalle porque es un ejemplo importante que ilustra algunos conceptos de la formulación del modelo. Pensando en los procesos de crecimiento, formulando una hipótesis y construyendo una ecuación sobre esta base, Schumacher (1939) ideó un modelo de crecimiento y rendimiento que ha demostrado ser útil, confiable y ampliamente utilizado para muchos rodales de igual duración (Vanclay, 1994).

Los modelos de rendimiento disponibles reflejan diferentes prácticas silvícolas, filosofías de modelado y niveles de complejidad matemática. Por lo tanto, los agrupamientos de modelos de rendimiento pueden basarse en una variedad de características. Las poblaciones objetivo a las que se aplican las predicciones pueden agruparse de la siguiente manera; en bosque natural y en plantaciones. Los modelos de predicción de rendimiento pueden ser categorizados por la complejidad del enfoque matemático involucrado, ya sea por modelos en forma tabular, o por modelos como ecuaciones y de valores de unidad de área. Por ecuaciones esta la predicción directa

de los valores de unidad de área y los valores de unidad de área obtenido por suma, de tal forma que se pueden hacer para árboles individuales o por clases de árboles (Clutter *et al.*, 1983).

2.4.4 Estudios y aplicaciones del rendimiento maderable

Los modelos de crecimiento y rendimiento total y comercial son herramientas que facilitan la toma de decisiones por al menos tres razones, una de ellas es que permite predecir rendimientos y consecuentemente optimizar la cosecha del bosque, permite evaluar los regímenes de tratamientos de manejo alternativo y por ultimo puede usarse como una herramienta para controlar rendimientos, ya que sin la ayuda de estas herramientas es difícil de desarrollar planes de manejo forestal (Valdez-Lazalde y Lynch, 2000).

Las aplicaciones de los modelos de rendimiento como tabla o gráfico pueden ser utilizado directamente para el planificador forestal, para mantener al día los datos del inventario, como un programa que pueda producir una tabla o gráfico de crecimiento y rendimiento para un conjunto particular de tratamientos (FAO, 1981).

El estudio del crecimiento y el rendimiento ya sea en árboles o rodales forestales es fundamental para la planificación y la administración forestal. Los sistemas de crecimiento y rendimiento son un conjunto de herramientas cuantitativas esenciales de las cuales los forestales hacen uso para un buen manejo forestal y con base a esto toman decisiones silvícolas, ya que los modelos de crecimiento representan la dinámica de los bosques además que determinan los impactos del manejo forestal y esta información puede ser obtenida de parcelas permanentes (Uranga, 2014).

En cuanto a los estudios, estos están más enfocados a bosques naturales, algunos estudios se muestran en el Cuadro 1, en cuanto a plantaciones son muy escasos los estudios, algunos trabajos encontrados son los siguientes; en Zacualpan Estado de Veracruz se realizó un estudio sobre crecimiento y rendimiento maderable en plantaciones de *Pinus patula* Schiede ex Schitdl. et Cham. En este mismo lugar se realizó un estudio de crecimiento maderable y biomasa área en plantaciones jóvenes de *Pinus patula* (Romo *et al.*, 2014). En el Estado de Tabasco también se realizó un

trabajo sobre índices de sitios y producción maderable en plantaciones forestales de *Gmelina arborea* (Martínez *et al.*, 2015).

Cuadro 1. Resultados encontrados de trabajos relacionados con el rendimiento maderable.

Trabajo de investigación	Resultados encontrados
<p>Predicción del rendimiento maderable de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham. A través de modelos de distribución diamétrica (Santiago-García <i>et al.</i>, 2014).</p>	<p>La comparación de medias con la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para las predicciones de volumen total obtenidas con los dos sistemas de distribuciones diamétricas, indica que no hay diferencias significativas entre el volumen total predicho por ambos sistemas.</p>
<p>Predicción del rendimiento en masas de densidad excesiva de <i>Pinus duranguensis</i> Mtz. en el estado de Durango (Monárrez-González y Ramírez-Maldonado, 2003).</p>	<p>En cuanto a las funciones de crecimiento en altura el modelo que mejor se ajustó fue el de Chapman-Richards y para el diámetro el de Schumacher. Para el índice de sitio el modelo que presenta más confiabilidad es el de Chapman-Richards, en su modalidad polimórfica por el método de la diferencia algebraica.</p>
<p>Ecuaciones para estimar volumen comercial y total en rodales aclareados de <i>Pinus patula</i> en Puebla, México (Valdez-Lazalde y Lynch, 2000).</p>	<p>La ecuación de Schumacher y Hall se ajustó mejor a los datos y fue seleccionada para determinar, cuantitativamente, el papel de las intensidades de aclareo en el rendimiento de volumen total y comercial de los rodales bajo estudio.</p>

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

El trabajo se realizó en dos plantaciones que se encuentran dentro de dos pequeñas propiedades en los municipios San Sebastián Río Hondo y San Miguel Suchixtepec los cuales pertenecen al Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz de la Sierra Sur del estado de Oaxaca, las características geográficas se muestra en el Cuadro 2 y los mapas se muestran en las Figuras 1 y 2.

Cuadro 2. Superficies y especies plantadas de los predios donde se ubican las dos plantaciones de *Pinus* en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Propiedad	Municipio	Especies plantadas	Año de plantación	Superficie plantada /año
Rancho Río San José	San Sebastián	<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	1994	4.788 ha
		<i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Look		
		<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	1995	
		<i>P. oaxacana</i> Mirov		
	Río Hondo	<i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Look	2001	4.028 ha
		<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.		
		<i>P. douglasiana</i> Mart	2002	
		<i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Look		
Santa Ana y Ojo de Agua	San Miguel	<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	1995	1.723 ha
		<i>P. douglasiana</i> Mart		
		<i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Look		
	Suchixtepec	<i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Look	1996	2.328 ha
		<i>P. ayacahuite</i> Ehren		
		<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.		

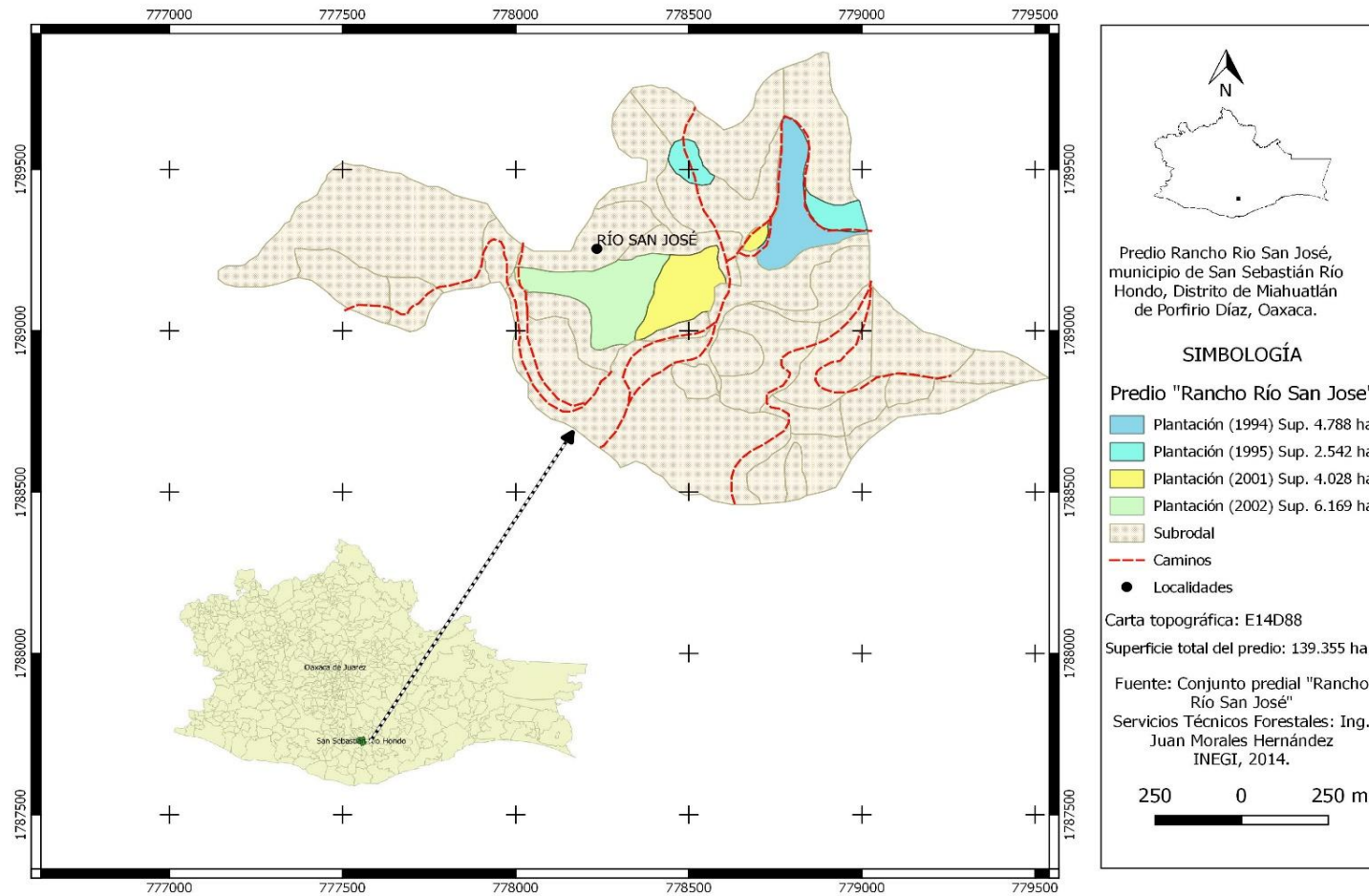


Figura 1. Mapa de localización de las plantaciones del predio “Rancho Río San José”, Municipio de San Sebastián Río Hondo, distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

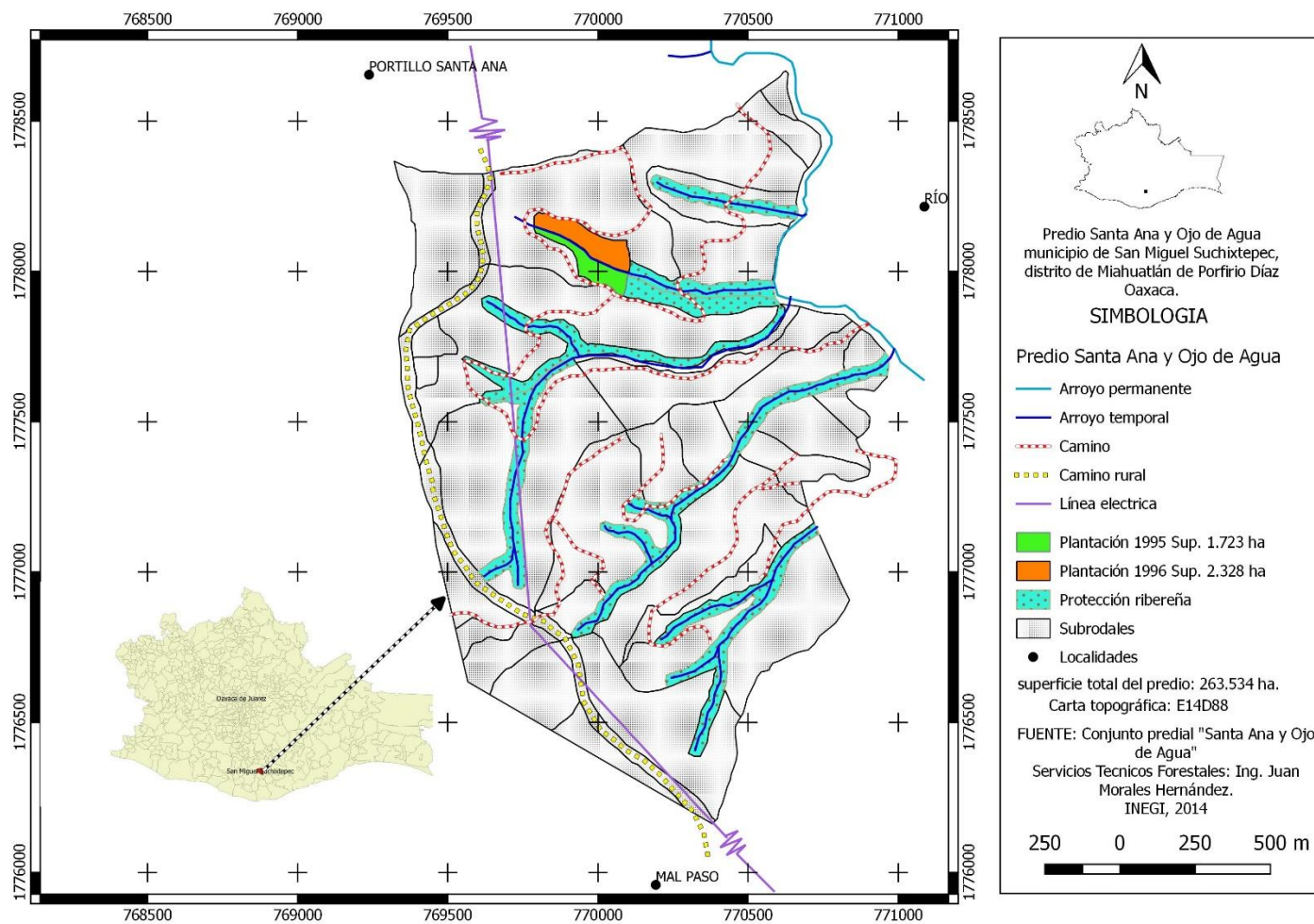


Figura 2. Mapa de localización de las plantaciones en el predio "Santa Ana y Ojo de Agua" Municipio de San Miguel Suchixtepec, distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz Oaxaca.

Las dos plantaciones forestales donde se realizó el estudio comparten características ecológicas similares, como es el clima, la cuenca hidrológica a la que pertenecen, la geología que es similar en toda la región Sierra Sur, el mismo tipo de suelo, tipos de vegetación, y la fauna, como se puede observar en el Cuadro 3, lo que los hace diferente es la altitud ya que el predio “Rancho Río San José” se encuentra a 2776 msnm y el predio de “Santa Ana y Ojo de Agua” a 2341 msnm.

Cuadro 3. Aspectos ecológicos de las dos propiedades donde se encuentran las dos plantaciones “Rancho Río San José” ubicada en el municipio de San Sebastián Río Hondo y “Santa Ana y Ojo de Agua” perteneciente al municipio de San Miguel Suchixtepec y al Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Clima	Hidrología	Geología	Edafología	Vegetación	Fauna
El clima para las dos propiedades es Cb (w2) (w) igw”: Son climas que por su temperatura son templados, con temperatura media anual de 12° a 18°C, y que por su humedad son del grupo de subhúmedos de los más húmedos, la oscilación anual de las temperaturas medias mensuales es menor de 5°C (isotermal) (García, 1998).	Los municipios donde se encuentran las plantaciones pertenecen a la región hidrológica Costa de Oaxaca (RH21), cuenca del Río Copalita y subcuenca Río Copalita (CONABIO-INIFAP, 1995) ;(INEGI, 2014).	Para la región Sierra Sur del estado de Oaxaca la geología consta de rocas metamórficas que es la transformación de un tipo de roca y otra, se forman a partir de rocas ígneas sedimentarias e incluso de otras rocas metamórficas (CONABIO-INIFAP, 1995).	El tipo de suelo que se encuentran es; Acrisol húmico (Ah) que tienen un horizonte A úmbrico o 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. (CONABIO-INIFAP, 1995).	Bosque de pino y pino-encino. Comunidad constituida por diferentes especies de Pinos y de <i>Quercus</i> (encino) en proporciones variables. Además se presenta vegetación conformada por arbustos y vegetación herbácea que integran el sotobosque (CONABIO-INIFAP, 1995).	Las especies de fauna las más comunes observadas son: venado cola blanca (<i>Odocoileus virginianus</i> Zimmermann), Tejón (<i>Nasua narica</i> L.), Armadillo (<i>Dasyopus novemcintus</i> L.), Conejo (<i>Sylvilagus floridanus</i> J. A. Allen), Tlacuache (<i>Didelphys marsupialis</i> L.), Ardilla gris (<i>Sciurus socialis</i> Warner), Codorniz común (<i>Colinus virginianus</i> L.). Víbora de cascabel (<i>Crotalus triseratus</i> Wagler)(Morales, 2008).

3.2 Antecedentes de las plantaciones del área de estudio

A principio de 1990 por iniciativa propia de los dueños se elaboran los estudios de manejo integral forestal (EMIF) a nivel municipal donde participaron 3 municipios para dar inicio con el aprovechamiento de sus bosques, en 1994 se establecen las primeras plantaciones de *Pinus* en el predio denominado “Rancho Río San José” en el municipio de San Sebastián Río Hondo y la propiedad denominada “Santa Ana y Ojo de Agua” en el municipio de San Miguel Suchixtepec.

Para el establecimiento de la plantación en el predio “Rancho Río San José” la procedencia del germoplasma forestal fue de dos localidades, una parte de la semilla fueron recolectadas en la “Ranchería el Jefe” y la comunidad de “San Bernardo” pertenecientes al Municipio de San Sebastián Río Hondo, el resto de las especies se colectó en los rodales cerca donde se estableció la plantación. Para la plantación del predio “Santa Ana y Ojo de Agua” fue colectada en el cerro Simialtepec. Los sitios que se eligieron para plantar fueron en áreas abandonas dedicadas a la agricultura y el pastoreo, antes del establecimiento de la plantación se realizaron actividades de limpieza. La plantación se realizó en época de lluvias, el sistema de plantación fue el de cepa cuatro con dimensiones de 20 x 20 x 30 cm, con un espaciamiento de 2.5 x 2.5 m, con una densidad de 1600 árboles/ha, el sistema de trazado fue de tres bolillo, por las condiciones que tiene el terreno, actualmente se le da mantenimiento como son limpieza, podas y aclareos (Cortés, 2010).

Por otra parte, cabe señalar que en las dos plantaciones existen sitios permanentes que se han venido evaluando y de la misma forma realizando estudios desde el año 2006, por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, como se muestra en el Cuadro 4.

3.3 Evaluación del rendimiento maderable

3.3.1 Diseño de muestreo

La evaluación se realizó en sitios permanentes establecido por Sandoval (2006) donde el diseño de muestreo fue sistemático, colocando el primer sitio en un punto aleatorio, donde la intensidad de muestreo fue de 2.83%, de tal forma que los sitios

fueron de 100 m² de forma circular a una distancia de 40.5 m entre sitios (Sandoval, 2006).

Cuadro 4. Estudios realizados en las plantaciones forestales del predio “Rancho Río San José” y “Santa Ana y Ojo de Agua”, perteneciente al Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Año en que fue realizado el estudio	Título de los estudios realizados
2006	Evaluación de sobrevivencia, estado sanitario y crecimiento de plantaciones de pinos en Miahuatlán, Oaxaca (Sandoval, 2006).
2010	Crecimiento de diámetro y altura para tres plantaciones de pinos en Miahuatlán Oaxaca (Cortés, 2010).
2013	Índice de sitio para tres especies de <i>Pinus</i> en plantaciones mixtas en Miahuatlán, Oaxaca (Zúñiga, 2013a)
2013	Tablas de Volúmenes para Plantaciones de Tres especies de Pino en Miahuatlán, Oaxaca (Zúñiga, 2013b).
2015	Crecimiento en plantaciones de tres especies de pinos a 20 años de establecidas en Miahuatlán, Oaxaca (López, 2015).

3.3.2 Variables evaluadas

Las variables que se midieron son las siguientes: el diámetro se tomó con una cinta diamétrica a 1.30 m, un árbol por categoría diamétrica de los árboles que se encontraron dentro del sitio. También se tomó la altura total y por último el diámetro de la copa con una cinta métrica, todas estas variables se anotaron en un formato que previamente fue elaborado.

3.3.3 Modelos de crecimiento para estimar el índice de sitio

Para la elaboración de índices de sitio, los modelos de crecimiento que son más usuales en los estudios del ámbito forestal son el de Chapman-Richards, Schumacher, Weibul y el modelo de Gompertz, utilizado en diferentes estudios por López *et al.*

(2009), Martínez *et al.* (2015), Rojo-Martínez *et al.* (2005), Mares *et al.* (2004;), la ecuación de los modelos se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. 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, E=edad, B=parámetros.

Los modelos de crecimiento que se muestran en el Cuadro 5, se analizaron en el programa estadístico Statistical Analysis System SAS 9.0, utilizando los datos de edad y altura dominante de diez evaluaciones del año 2005 al año 2015 de la especie de *Pinus pseudostrobus* de las dos plantaciones, mediante el procedimiento de la regresión con PROC NLIN, para ver la distribución de los datos de tal forma que se puede observar la curva de ajuste del modelo, ya que a veces puede haber convergencia pero la curva no se ajusta a los datos tomados en campo, esto quiere decir que no es representativa en la distribución.

Después de que se analizaron los modelos, se procedió a calificar el modelo que obtuvo el mejor ajuste, mediante los estadísticos: R^2 (Ecuación 1), R^2_{aj} (Ecuación 2), CME, F-calculada, el modelo de mejor ajuste se determinó considerando el que tuviera los valores más altos de R^2 , R^2_{aj} , que debe ser cercano a uno y el valor más bajo en el CME, donde el CME y F-calculada lo proporciona el programa y los demás valores fueron calculados, los valores estadísticos se muestran en el Apéndice 1 y 2.

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

Dónde:

R^2 = coeficiente de determinación

SCE= suma de cuadrados del error

SCT= suma de cuadrados del total

$$R^2_{aj} = 1 - \frac{CME}{CMT} \quad (2)$$

Dónde:

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

CME = cuadrado medio del error

CMT = cuadrado medio del total

3.3.4 Determinación de la edad base

La edad base es el número de años que se eligen para determinar un índice de sitio, también se le conoce como la edad de referencia o edad de índice (Zepeda y Rivero, 1984), para este caso se determinó la edad base de las dos plantaciones, a través del análisis de crecimiento en base al valor del incremento medio anual máximo (IMA) (Ecuación 3) y el incremento corriente anual máximo (ICA) (Ecuación 4) para ver en donde se interceptan y es el punto que nos indica la edad base, para obtener los valores del ICA e IMA, pero al ser plantaciones jóvenes no hay intercepción, por lo que se utilizó la edad mayor hasta las últimas evaluaciones que se tiene que es la edad de 21 años la gráfica muestra en la Figura 4.

$$IMA = \frac{\text{Estimados de altura dominante}}{\text{Edad}} \quad (3)$$

$$ICA = \frac{(\text{Altura mayor} - \text{altura menor})}{(\text{Edad mayor} - \text{edad menor})} \quad (4)$$

3.3.5 Construcción de la curva guía y las curvas anamórficas.

El método de la curva guía es un procedimiento ideado para construir sistema de curvas anamórficas de índices de sitio, familias paralelas con pendiente constante pero con intercepción al origen de las variables, indica el comportamiento medio del crecimiento en altura dominante de varias masas coetáneas (Clutter *et al.*, 1983), por lo tanto, una vez elegido el modelo que tuvo mejor ajuste para estimar la altura en *Pinus pseudostrobus*, se construyó la curva guía que fue el método que se eligió para la construcción de curvas anamórficas, el modelo que mejor se ajustó fue el de Chapan-Richards (Ecuación 5); se utilizó el modelo de ajuste y la gráfica de dispersión

de los datos de las alturas dominantes donde en el eje de las (x) se graficó la edad en el eje de las (y) la altura dominante, como se muestra en la Figura 4, la ecuación del modelo que se ajustó fue la siguiente.

$$\text{Ecuación de Chapman-Richards } H = B_0 [1 - \text{EXP}^{-B_1 \cdot E}]^{B_2}$$

$$H = 4624423(1 - \text{EXP}^{-0.000000255 \cdot \text{Edad}})^{1.0199} \quad (5)$$

Donde:

H: altura

Exp: exponente e 2.71828

B_0, B_2, B_3 : parámetros estimados

Después se determinó la amplitud que habría entre las curvas anamórficas, para este caso se eligió cinco curvas de tal forma que cubriera la distribución de los datos, se eligieron dos inferiores a partir de la curva guía y dos superiores, para la amplitud se utilizó la altura estimada superior con la altura estimada inferior esto dividido entre el número de curvas elegidas como se muestra a continuación (Ecuación 6), esto fue para las dos plantaciones.

$$A_m = (Y_s - Y_i) / C \quad (6)$$

Dónde:

A_m : amplitud de las curvas

Y_s : estimado superior

Y_i : estimado inferior

C: número de curvas seleccionadas

$$A_m = (19.2419 - 3.2046) / 5 = 16.0373 / 5 = 3.2074$$

Utilizando la ecuación para determinar la amplitud de las curvas se encontró que existe una diferencia de 16.0373 m de diferencia entre la altura inferior y la altura superior, como se determinaron cinco calidades de sitio, al aplicar la ecuación dio que

la amplitud debe ser de 3.2074 m, pero para ser más práctico se redondea a 3 metros, y además que es una distancia que es común utilizada para índices de sitio (Zepeda y Rivero, 1984).

Posteriormente se tuvo que señalar el índice de sitio promedio de la plantación de *Pinus pseudostrobus* fue de 19.45 m a la edad base de 21 años, que es la edad de la plantación en la última evaluación debido a que no hubo intercepción del ICA e IMA por la etapa de desarrollo de la plantación, a la curva guía se le restó dos veces la amplitud de la curva y se le sumó dos veces la amplitud de tal manera que diera las cinco curvas para poder graficarlas en el programa de Excel las Ecuaciones son 7,8,9,10 y 11.

Para clases superiores $IS_h + 3$

Para clases inferiores $IS_h - 3$

$$IS \text{ Clase I} = (IS_h) + 3 \quad (7)$$

$$IS \text{ Clase II} = (IS_h) + 3 \quad (8)$$

$$IS \text{ Clase III} = (IS_h) \quad (9)$$

$$IS \text{ Clase IV} = (IS_h) - 3 \quad (10)$$

$$IS \text{ Clase V} = (IS_h) - 3 \quad (11)$$

Dónde:

IS: índice de sitio para la calidad de estación

IS_h : índice de sitio promedio

Nota: El 3 representa la amplitud estimada en metros en este caso dió de 3.2074 m por lo que se redondeó a 3 m, para ser práctica la aplicación.

Con los índices de sitio se determinó el coeficiente de proporcionalidad, para cada índice de sitio, para poder construir las curvas y que tengan la misma distancia, cada índice de sitio fue dividido entre el índice de sitio promedio como se muestra en la Ecuación 12.

$$CP = IS_i / IS_h \quad (12)$$

CP: Coeficiente de proporcionalidad

IS_i: número de curvas 1,2,...,5.

IS_h: índice de sitio promedio

3.4 Determinación de la calidad de sitio

Para determinar la calidad de sitio que le corresponde a cada plantación, mediante las curvas anamórficas, se elaboró por rangos de edad y de calidad de sitio para ver qué calidad le corresponde a diferentes edades desde la edad 3 a la edad de 21 años que es la máxima edad que se tiene, como se muestra en el Cuadro 6, después de eso se le asignó la calidad a cada sitio y sobre la calidad que es más dominante de acuerdo al número de sitios por plantación fue la manera de como se le asignó la calidad a cada plantación, ya que en una plantación se encontraron hasta tres calidades de sitio de acuerdo a la ubicación de cada sitio ya que no tiene la misma calidad de sitio.

Cuadro 6. Rango de edades y las cinco calidades de sitio que fueron asignadas para cada plantación de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Rango de edad (años)	Rango por calidad de sitio (m)				
	Calidad I	Calidad II	Calidad III	Calidad IV	Calidad V
1 a 5	5.19-5.88	4.50-5.18	3.81-4.49	3.11-3.80	0.60-3.10
5 a 10	10.53-11.93	9.13-10.52	7.72-9.12	6.31-7.71	3.11-6.30
10 a 15	15.93-18.05	13.80-15.92	11.67-13.79	9.54-11.66	6.31-9.53
15 a 20	21.36-24.20	18.51-21.35	15.65-18.50	12.79-15.64	9.54-12.79
20 a 21	22.46-25.45	19.46-22.45	16.46-19.45	13.46-16.45	12.80-13.45

Para las clases de sitios se identificaron cinco clases con números romanos y se le asignó una calificación a cada una y están dados por el índice de sitio y el rango de la calidad elegida a la edad de 21 años, lo que nos demuestra cómo es la condición del lugar en base al crecimiento de *Pinus pseudostrobus* (Cuadro 7).

Cuadro 7. Clases de calidad de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Calidad de estación	Calificación
I	Muy buena
II	Buena
III	Regular
IV	Mala
V	Muy mala

3.5 Estimación del volumen

Para la estimación del volumen se utilizó la ecuación que fue determinada por Zúñiga (2013b), (Ecuación 13) con la que realizó una tabla de volumen para la especie de *Pinus pseudostrobus* en las mismas plantaciones (Cuadro 8).

$$\text{Meyer modificada } V = a+bD+cDH+dD^2+eD^2H. \quad (13)$$

Sustituyendo los valores en la ecuación quedó de la siguiente manera.

$$V= 0.03266+ (-0.01257*D)+ (0.00288*D*H)+ (0.000087*D^2)+0.000015*D^2*H)$$

Dónde; V= volumen, D= diámetro normal (m), H= altura (m), a, b, c, d, e, f= parámetros

Cuadro 8. Tabla de volumen para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en la Sierra Sur. Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca (Zúñiga, 2013b).

Categoría diamétrica (cm)	Alturas (m)							
	5	10	15	20	25	30	35	40
5	0.045821	0.119668	0.193514	0.267360	0.341206	0.415053	0.488899	0.562745
10	0.067005	0.218390	0.369775	0.521160	0.672545	0.823930	0.975315	1.126700
15	0.096211	0.328828	0.561444	0.794060	1.026676	1.259293	1.491909	1.724525
20	0.133440	0.045098	0.768520	1.086060	1.403600	1.721140	2.038680	2.356220
25	0.178691	0.584848	0.991004	1.397160	1.803316	2.209473	2.615629	3.021758
30	0.231965	0.730430	1.228895	1.727360	2.225825	2.724290	3.222755	3.721220
35	0.293261	0.887728	1.482194	2.076660	2.671126	3.265593	3.860059	4.454525
40	0.362580	1.056740	1.750900	2.445060	3.139220	3.833380	4.527540	5.221700

Nota: los volúmenes sombreados en la tabla corresponde a las categorías diamétricas presentes al momento de la evaluación.

Con los datos de las diez evaluaciones se calculó el volumen y con la ecuación que se mencionó anteriormente se actualizó la tabla de volumen, que ya existe anteriormente que se muestra en el Cuadro 8, para eso se analizaron los datos de las diez evaluaciones realizadas de las dos plantaciones para ver los diámetros mínimos y máximos para ver que altura le corresponde y ver si existen nuevas categorías para agregarlas a la tabla de volumen, de tal forma que en la tabla de volumen aparezcan los datos reales hasta el año 2015. Cabe mencionar que la ecuación determinada por Zúñiga (2013b), es confiable ya que el volumen es congruente con los datos de diámetros y alturas que se tienen por lo que no se encontraron datos extremos.

3.6 Modelos para predecir el rendimiento maderable en volumen

Para la predicción del rendimiento se usaron las ecuaciones basadas en el modelo de Schumacher (Clutter *et al.*, 1983 y Vanclay, 1994), utilizando datos de diez mediciones desde el año 2005 al 2015 que se tomaron en campo, se ajustaron tres Ecuaciones 14, 15 y 16.

$$\text{Modelo 1: } \ln V = B_1 + B_2 (1/E) + B_3 (1/IS) + B_4 \ln (A) \quad (14)$$

$$\text{Modelo 2: } \ln V = B_1 + B_2 (1/E) + B_3 (IS) + B_4 \ln (A) \quad (15)$$

$$\text{Modelo 3: } \ln V = B_1 + B_2 (1/E) + B_3 \ln (IS) + B_4 \ln (A) \quad (16)$$

Dónde:

V= volumen por hectárea (m³)

E= Edad promedio del rodal (años)

IS= Índice de sitio

A= Área basal por hectárea (m²)

B₁, B₂, B₃, B₄= Parámetros estimados

La base de datos de los 50 sitios se acomodó por cada año de medición, se calculó el área basal por sitio y después se extrapoló a hectárea. En seguida se calculó el volumen por sitio y por hectárea, además se determinó el índice de sitio con la ecuación que se ajustó para las curvas de índice de sitio que fue con el modelo de

Chapman-Richards para obtener el índice de sitio promedio. Por último estas variables fueron transformadas a logaritmo natural, de tal forma que los datos se ajustaran a la ecuación para correr los datos en el programa de Statistical Analysis System (SAS versión 9.0), mediante el procedimiento PROC REG, seleccionando el modelo que tuvo el mejor ajuste.

Después para determinar cuál es la ecuación de rendimiento que mejor estima el volumen mediante los estadísticos que fueron proporcionados por el programa Statistical Analysis System (SAS versión 9.0), se tomó el modelo que tuviera el R^2 y R^2_{aj} más altos y el CME más bajo ya que las ecuaciones utilizadas se expresan en las mismas unidades Barrena *et al.*, (s/f) (Apéndice 2).

Por último, con la ecuación que tuvo el mejor ajuste, se estimó el rendimiento en volumen con los datos promedios del diámetro normal y la altura total de cada sitio, se estimó el rendimiento de cada sitio para después obtener el rendimiento en volumen promedio por hectárea y de la misma forma obtener el rendimiento en volumen en $m^3/ha/año$. Después del resultado obtenido se hizo la transformación ya que estaba en logaritmo natural.

3.7 Comparación del rendimiento entre las dos plantaciones

Para poder comparar las plantaciones, se compararon a una misma edad ya que son de diferentes años de establecimiento, la plantación del predio “Rancho Río San José” que son del año 1994 y 1995, los datos se compararon a la edad de 19 años, siendo la misma para el predio “Santa Ana y Ojo de agua” que fueron establecidas en 1995 y 1996. Pero además el predio “Rancho Río San José” tiene plantaciones que fueron establecidas en el 2001 y 2002 estas dos se compararon a la edad de 13 años.

Para hacer la comparación se empleó la prueba de media de t de Student con un nivel de confianza de 95%, para determinar si el rendimiento maderable en volumen es diferentes en las dos plantaciones, para eso se calcularon los promedios y las varianzas para cada plantación y para cada predio.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Índices de sitio para *Pinus pseudostrobus*

4.1.1 Determinación del modelo de ajuste

El modelo que tuvo mejor ajuste para la estimación del crecimiento en altura para *Pinus pseudostrobus* fue el modelo de Chapman-Richards, la ecuación es la siguiente: $H=4624423(1-EXP(0.000000255*Edad))^{1.0199}$, ya que presenta el valor más alto de $R^2_{aj}=0.9509$, $R^2=0.9998$, el valor más bajo del CME=7.2695, y F-calculada de 5526.78; después el que destaca también fue el de Gompertz con un $R^2_{aj}=0.9508$, $R^2=0.9997$, CME= 7.2696 y valor de F-calculada de 3687.32 (Apéndice 1), por lo que es un modelo que toma buena representación en la distribución de los datos. Algo similar reporta Mares (2004) y Cornejo (2005) en un estudio de índices de sitio para *Pinus herrerae* Martínez en Cd, Hidalgo, Michoacán y Rojo-Martínez *et al.* (2005) para bosques naturales.

En la Figura 3 podemos observar la distribución de los datos de las alturas dominantes de *Pinus pseudostrobus*, así mismo se muestra la curva de ajuste, que toma buena representación de los datos de los árboles, cabe mencionar que las dos plantaciones tienen características similares.

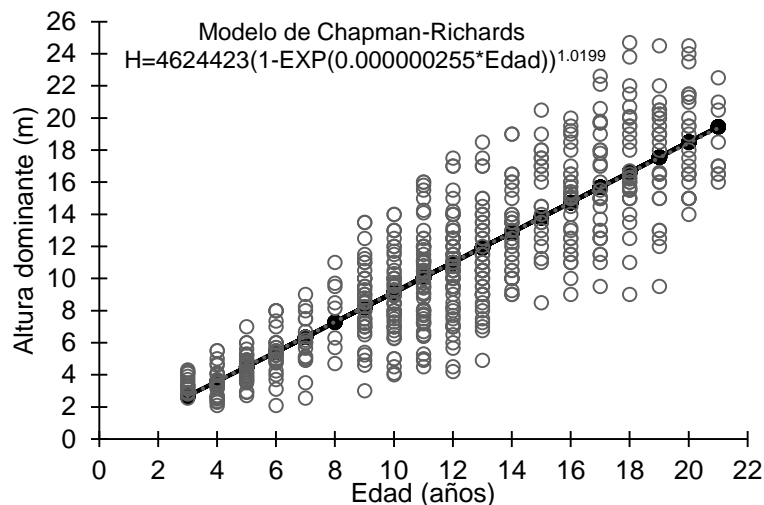


Figura 3. Diagrama de dispersión de altura dominante de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y la curva de ajuste con el modelo de Chapman-Richards.

En cuanto a plantaciones forestales comerciales Zúñiga (2013a) y Cortés (2010) reportan que en estas mismas plantaciones realizó un estudio de índices de sitio, donde el modelo de Chapman-Richards fue el que mejor se ajustó. Barrero-Medel *et al.* (2010) encontraron algo similar en una plantación de *Pinus caribaea* Morelet var. *Caribaea*, en la Provincia de Pinar del Río Cuba. Arteaga-Martínez (2000), también encontró lo mismo en plantaciones de *Pinus pseudostrobus* en Ayotoxtla, Guerrero.

4.1.2 Determinación de la edad base

Se determinó la edad base de las plantaciones, a través del análisis de crecimiento en base al valor del incremento medio anual (IMA) y el incremento corriente anual (ICA) para ver en donde se interceptan, resulta que en la plantación aún no hay intercepción por lo que la plantación todavía es joven y está en pleno desarrollo, por lo que se tomó la edad de 21 años que es la última evaluación que se hizo al que correspondió un índice promedio de 19.45 m, con un rango de 13.45 a 25.45 m (Figura 4), por lo que están creciendo a un IMA de 0.82-0.92 m/año, Calvillo *et al.* (2005) reportan que en bosques naturales de *Pinus herrerae* el IMA máximo en altura es de 0.60 m/año, Muñoz; (2012), reporta que en la Sierra Purépecha, Michoacán, en una plantación de *Pinus pseudostrobus* el IMA en altura para es de 1.04 m/año, por lo que el crecimiento es diferente en una plantación que en un bosque natural; Pensado-Fernández *et al.* (2014) mencionan que el crecimiento en altura es mayor en plantaciones a diferencia de regeneración natural.

Por otra parte Mares (2004) reporta que en un estudio realizado en bosques naturales de *Pinus herrerae* en Cd. Hidalgo, Michoacán, encontró un índice promedio de 19.46 m, con un rango de altura de 13 a 25 m, donde además utilizó una equidistancia de 3 metros entre curvas al representar cinco calidades de estación. Cornejo (2005), Zepeda y Rivero (1984) y Aguilar (1997) señalan que en *Pinus* la edad base se alcanza cuando la especie llega a su madurez reportan que la edad base se encuentra partir de la edad de 32-50 años en árboles de mayores de 60 años de edad para bosques naturales.

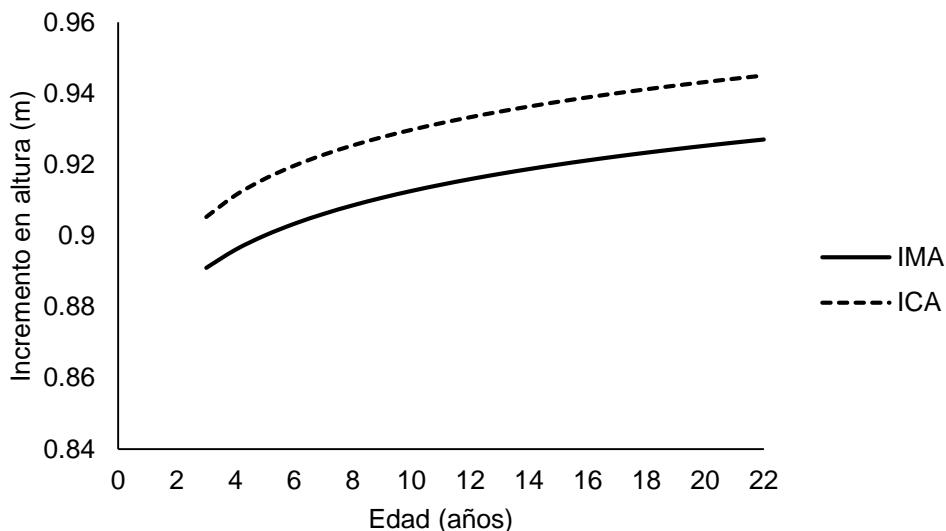


Figura 4. Curva de incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), de las plantaciones de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

4.1.1 Gráficas de curvas de índice de sitio

Por medio del método de la curva guía se construyeron las curvas de índices de sitio con el modelo de Chapman-Richards que fue el que mejor se ajustó, esto fue a la edad base de 21 años que es la edad que tiene las plantaciones, ya que no hubo intercepción del ICA e IMA, se determinaron 5 calidades de sitio la clase I, II, III, IV, V, que les corresponde las siguientes alturas según el orden 25.45, 22.45, 19.45, 16.45, y 13.45 m (Figura 5).

4.2 Determinación de la calidad de sitio para cada plantación

Al asignarle la calidad de sitio a cada plantación se observó que la plantación del predio “Santa Ana y Ojo de Agua” representa la mejor calidad (II), en calificación es buena, y la plantación del predio “Rancho Río San José” también se encuentra en la calidad (II) y es la plantación del 2002, el resto de las plantaciones representan una calidad de estación (III), en calificación es regular, por lo que se puede decir que en el predio “Rancho Río San José” la plantación establecida en el 2002 crece más rápido que las plantaciones establecidas en el año 1994, 1995 y 2001, por lo que puede haber una característica que haga diferente para que pueda crecer más rápido, una de estas

características puede ser la altitud ya que el predio “Rancho Río San José” presenta una altura de 2776 msnm y el predio “Santa Ana y Ojo de Agua” presenta una altura de 2341 msnm, y de forma más particular el tipo de suelo ya que en los mapas de edafología viene de una forma general y en campo se observa diferenciaciones ya que hay partes que son suelos rocosos y en otras áreas hay suelos más arcillosos, por otra parte también la procedencia del germoplasma ya que para el predio de “Santa Ana y Ojo de Agua” viene de árboles con mejores fenotipos, en el Cuadro 9 podemos observar la calidad de sitio que le corresponde a cada plantación a diferentes edades.

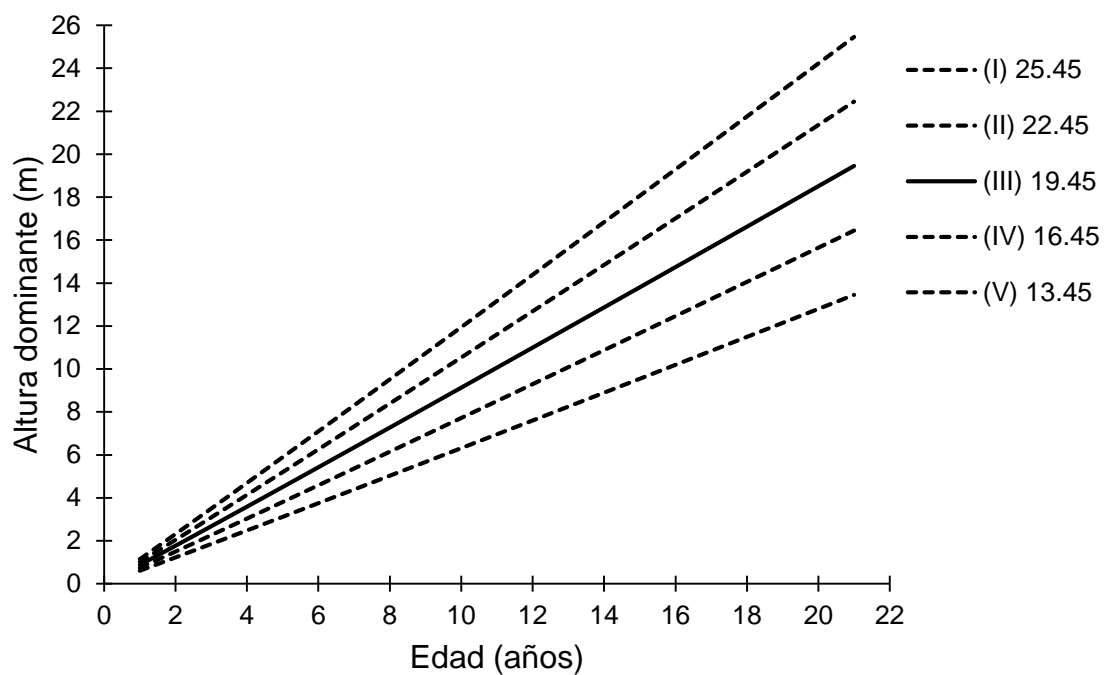


Figura 5. Familia de curvas anamórficas de índice de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl. con edad base de 21 años en las plantaciones de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

En un estudio de índices de sitio en las mismas plantaciones pero con cinco especies de *Pinus*, Zúñiga (2013a) menciona que el predio “Santa Ana y Ojo de Agua” la plantación de 1995 y 1996 presentan una calidad de sitio III que es una calidad regular, en cambio el predio “Rancho Río San José”, la plantación de 1994 presenta una calidad de sitio IV que corresponde a una calificación mala, la plantación 1995 presenta calidad V que corresponde a una calidad muy mala, la plantación 2001

presenta calidad IV que corresponde a calidad mala y la plantación 2002 presenta calidad III que una calidad regular de acuerdo a las condiciones del lugar, por lo que el predio de “Santa Ana y Ojo de Agua” presentan mejor calidad de sitio

Cuadro 9. Índices de sitio y calidad de sitio asignada a cada una de las plantaciones de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Propiedad	Municipio	Especie	Año de plantación	Índice de sitio (m)	Calidad de sitio
Rancho Río San José	San Sebastián	<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	1994	19.45	III
	San Sebastián	<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	1995	19.45	III
	Río Hondo	<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	2001	19.45	III
	Río Hondo	<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	2002	22.45	II
Santa Ana y Ojo de Agua	San Miguel	<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	1995	22.45	II
	Suchixtepec	<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	1996	22.45	II

De acuerdo a Návar *et al.* (2001) mencionan que las calidades más bajas en crecimiento en altura son porque los sitios están pobres, con suelos pocos profundos y rocosos. Por otra parte cabe mencionar que la calidad de sitio está determinada por la productividad de una localidad, en el momento que se efectúa la estimación, y se debe realizar a nivel de especie. Por otra parte el método de índice de sitio es la metodología más utilizada en la clasificación de la calidad de las áreas forestales Hernández-Ramos *et al.* (2014). A pesar de que presenta ciertas limitaciones para ofrecer estimaciones certeras de la calidad de sitio de rodales jóvenes, por lo que conviene idear o adoptar otro tipo de procedimiento que permita solventar tal inconveniente (Zepeda y Rivero, 1984).

4.3 Tabla de volumen actualizada para *Pinus pseudostrobus*

Al actualizar la tabla de volumen para *Pinus pseudostrobus*, se encontraron dos categorías más en el diámetro normal que corresponde a la categoría de 35 cm y 40 cm que en la tabla de volumen realizada por Zúñiga (2013b), no aparecen, cabe

mencionar que la ecuación utilizada para estimar el volumen fue congruente ya que no hay datos de volumen que se alteran de acuerdo a los diámetros y alturas que se encontraron como se muestra en el Cuadro 10. También se determinó el volumen por sitio de cada plantación para obtener el volumen por hectárea de cada plantación por medio de la ecuación de Meyer modificada, los volúmenes de cada plantación aparecen en el Cuadro 11.

Cuadro 10. Tabla de volumen para *Pinus pseudostrobus* Lindl. de dos plantaciones en la región Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Categoría diamétrica (cm)	Altura (m)				
	5	10	15	20	25
5	0.045860	0.119735	0.193610	0.267485	0.341360
10	0.067160	0.218660	0.370160	0.521660	0.673160
15	0.096560	0.329435	0.562310	0.795185	1.028060
20	0.134060	0.452060	0.770060	1.088060	1.406060
25	0.179660	0.586535	0.993410	1.400285	1.807160
30	0.233360	0.732860	1.232360	1.731860	2.231360
35	0.295160	0.891035	1.486910	2.082785	2.678660
40	0.365060	1.061060	1.757060	2.453060	3.149060

Nota: los volúmenes sombreados en la tabla corresponde a las categorías diamétricas presentes al momento de la evaluación.

Cuadro 11. Volumen por hectárea para *Pinus pseudostrobus* Lindl. de dos plantaciones en la región Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca

Propiedad	Municipio	Especie	Año de plantación	Volumen por hectárea (m ³)
		<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	1994	315.568034
Rancho Río	San Sebastián	<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	1995	252.316546
San José	Río Hondo	<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	2001	130.425198
		<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	2002	193.162951
Santa Ana y	San Miguel	<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	1995	398.687293
Ojo de Agua	Suchixtepec	<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	1996	331.570308

Para el volumen en cada plantación se encontró que de los dos predios el que presenta mayor volumen por hectárea es el predio de “Santa Ana y Ojo de Agua” ya que la plantación establecida en 1995 tiene un volumen de 398.687293 m³/ha, la plantación establecida en 1996 tiene un volumen de 331.570308 m³, comparado con el predio “Rancho Río San José” en la plantación establecida en 1994 tiene un volumen de 315.568034 m³/ha, a pesar de que tiene un año más de edad; la plantación de 1995 tiene un volumen de 252.316546 m³/ ha, por lo que está relacionado con la calidad de sitio ya que la plantación de “Santa Ana y Ojo de Agua” tiene una calidad II que es buena y el predio “Rancho Río San José” tiene una calidad III que es regular.

Por otra parte entre la plantación establecida en el 2001 y 2002 en el predio “Rancho Río San José” se observa que tiene mayor volumen la plantación del 2002 con un volumen de 193.162951 m³/ha, y la del 2001 tiene un volumen más bajo de 130.425198 m³/ha, eso se debe a que la plantación del 2002 tiene calidad de sitio II, en cambio la plantación del 2001 tiene calidad III, de manera particular en el área donde existe parte de la plantación establecida en el 2001 el suelo es un poco rocoso y eso influye para el crecimiento en altura (Návar *et al.*, 2001).

En un estudio realizado por Sáenz (2013), en plantaciones de restauración de *Pinus herrerae* en el estado de Michoacán reporta que a la edad de 24 años alcanzan a tener un volumen de 353.1 m³/ha, con una altura promedio de 21 metros. Monroy, (1998), reporta que los volúmenes encontrados en plantaciones de *Pinus patula* del Cofre de Perotes y Huayacocotla, Veracruz van de 149.32 a 445.28 m³/ha, con índices de sitio de 18, 26, 30, 34 y 39 m.

4.4 Modelos de rendimiento maderable en volumen

De acuerdo a los tres modelos de rendimiento que fueron ajustados, el que tuvo mejor ajuste al modelo 2 ($\ln V = B_1 + B_2 (1/E) + B_3 (IS) + B_4 \ln (A)$) (Ecuación 17) que incluye el área basal como indicador de la densidad, ya que tuvo los valores más altos de $R^2 = 0.999809$, $R^2_{aj} = 0.965233$, y el valor más bajo en el CME = 0.01522, con 568 observaciones, siguiéndole el modelo 3 ($\ln V = B_1 + B_2 (1/E) + B_3 \ln (IS) + B_4 \ln (A)$) con un $R^2 = 0.999809$, $R^2_{aj} = 0.965221$ y un CME = 0.01523 los valores estadísticos

aparecen en el Apéndice 2. La ecuación de mejor ajuste correspondiente quedó de la siguiente manera:

$$\text{Modelo 2: } \ln V = 1.13046 + -0.79167 (1/E) + 0.02463 (IS) + 0.89332 \ln (A) \quad (17)$$

Dónde:

V= volumen por hectárea (m^3)

E= Edad promedio del rodal (años)

IS= Índice de sitio

A= Área basal con corteza por hectárea (m^2)

B₁, B₂, B₃, B₄= Parámetros estimados

Con este modelo es posible obtener el rendimiento actual de la plantación, con solo determinar el área basal con corteza, la edad y el índice de sitio, con este modelo se puede conocer el rendimiento medio actual por hectárea por año de la plantación, cabe mencionar también que el rendimiento en volumen que se tiene es acumulativo desde la fecha que se estableció la plantación hasta la edad comparada.

4.5 Comparación del rendimiento entre las dos plantaciones

Al comparar el rendimiento maderable en volumen, el incremento medio anual IMA a la edad de 19 años para la plantación del predio “Rancho Río San José” es de 3.0456 $m^3/ha/año$ y el incremento medio anual IMA de la plantación del predio “Santa Ana y Ojo de Agua” es de 4.8129 $m^3/ha/año$. La comparación de medias se arrojó que el rendimiento maderable en volumen es diferente ya que $|t_c| > t_{\alpha/2} n-2$ g.l. el valor de $|t_c| = 2.474$ y $t_{\alpha/2} n-2$ g.l. = 2.060 por lo que quiere decir que se rechaza la hipótesis nula.

Además al hacer la comparación de la plantación 2001 y 2002 del predio “Rancho Río San José”, se tiene que el incremento medio anual IMA a la edad de 13 años de la plantación del año 2001, es de 1.3048 $m^3/ha/año$ y para la plantación del 2002 es de 11.8581 $m^3/ha/año$. Al hacer la comparación de medias se obtuvo que el rendimiento maderable en volumen es diferente ya que $|t_c| > t_{\alpha/2} n-2$ g.l., el valor de $|t_c| = 2.6831$ y $t_{\alpha/2} n-2$ g.l. = 2.064.

Por lo tanto el índice de sitio influye en gran parte para tener mejor rendimiento, por lo que las diferencias son debido a que las dos plantaciones tienen diferentes calidades de sitio, y se puede deber algunos factores como son la profundidad del suelo, la altitud y la exposición, ya que de forma general las características son similares si se considera lo contenido en los mapas de edafología, de forma particular el predio “Rancho Río San José” el suelo en partes es pedregoso y se encuentra en una altitud mayor, por otra parte la exposición de la plantación la mayor parte es exposición Sur en cambio el predio “Santa Ana y Ojo de Agua” el suelo es más arcilloso, la altitud es menor y tiene dos exposiciones Norte y Sur, por lo tanto en la exposición norte existe mayor humedad y al haber mayor humedad el crecimiento puede ser mayor.

Por otra parte también puede deberse al fenotipo, ya que la plantación del predio “Santa Ana y Ojo de Agua” viene de mejores fenotipos, y la plantación del predio “Rancho Río San José” los fenotipos son menores (comunicación personal Ing. Juan Morales Hernández). Zobel y Talbert (1988), mencionan que el mejoramiento genético junto con las actividades de manejo se logra mayores crecimientos y además se solucionan los problemas de producción y abastecimiento de materia prima. Balcorta-Martínez y Vargas-Hernández (2004), también mencionan que la variación fenotípica influye en el volumen y la densidad de la madera, Klepac (1983) menciona que en el mismo sitio y bajo las mismas condiciones siendo la misma especie y la misma variedad, muestran incrementos en altura muy diferentes debido al factor genético.

En un estudio realizado por Monárrez y Ramírez (2003) reportan que en un trabajo sobre predicción de rendimiento para *Pinus duranguiensis* Mtz. el modelo que tuvo mejor ajuste fue el modelo 1, donde las variables son la edad, índice de sitio y el área basal, donde el área basal es el indicador de la densidad. En cuanto a los rendimientos en volumen García (1996) reporta que para la especie de *Pinus greggii* en plantaciones tiene rendimientos que van de 5 a 13 m³/ha/año en la Sierra Purépecha de Michoacán Bertrand (2008) reporta que para *Pinus oocarpa* Schiede tiene rendimientos de 8 m³/ha/año, en plantaciones forestales en Zamorano, Honduras.

Los rendimientos obtenidos en las dos plantaciones son bajos en comparación con el rendimiento que tiene *Pinus patula* a la edad de 19 años con índice de sitio de 26 m, ya que esta especie alcanza un IMA de 10.1 en el estado de Hidalgo (Santiago-García *et al.*, 2013). Pero comparado con *Pinus michoacana* son buenos ya que Sáenz *et al.* (2011) mencionan que esta especie tiene un incremento medio anual IMA de 3.0 y 6.5 m³/ha/año.

De acuerdo con Klepac (1983), el rendimiento influyen varios factores como son la luz, el agua y los nutrientes, la humedad, la temperatura y otros presentes en los ecosistemas, ya que se ven afectados el diámetro y la altura, debido al aumento de estas dos dimensiones depende la productividad, por otra parte la calidad del suelo influye bastante en el crecimiento e incremento en altura, por lo que es necesario clasificar al suelo con base en la altura y edad del árbol ya que la altura del árbol frecuentemente se toma como un indicador de la calidad de estación.

Por otra parte Daniel *et al.* (1982) mencionan que la productividad de los terrenos forestales se define en gran parte por la calidad de sitio, que se estima mediante la máxima cosecha de madera que el bosque produce en un tiempo determinado. Dentro de un cierto microclima, la calidad de sitio determina el tipo y manejo de un rodal. La calidad del terreno es una cuestión esencial en el manejo de los rodales encaminada a la producción de varias combinaciones de productos forestales.

5 CONCLUSIONES

Los índices de sitio a partir del modelo de Chapman-Richards describe el crecimiento en altura de las dos plantaciones de *Pinus pseudostrobus* en función de la edad, por lo tanto la familia de curvas anamórficas representa el intervalo de dispersión por lo que son adecuadas para calificar el índice de sitio de las dos plantaciones.

El modelo de rendimiento maderable medio anual presento buen ajuste con las variables utilizadas, por lo que se puede decir el índice de sitio, influye en gran parte para tener mejores rendimientos, entre mayor índice de sitio tenemos mayores rendimientos.

En cuanto a la comparación del rendimiento medio anual entre las dos plantaciones se encontró que son diferentes y se rechaza la hipótesis nula.

6 RECOMENDACIONES

Los sitios permanentes deberán de ampliarse al menos a 500 m² para tener suficiente información, como resultado de los diferentes aclareos que estarán realizando durante los diferentes turnos de aprovechamiento.

La tabla de volumen y el modelo de rendimiento para *Pinus pseudostrobus* Lindl preferentemente debe ser aplicable para los predios donde se realizó el estudio y para que pueda ser utilizada en esa misma cuenca Copalita debe ser aplicable en áreas que tengan calidad de sitio similares o que tengan plantaciones con la misma especie. También se deberá ajustar la tabla presente de acuerdo a los diferentes tiempos de crecimiento de las plantaciones.

7 LITERATURA CITADA

- Aguilar R., M. 1997. Estudio de crecimiento de *Pinus douglasiana* Martínez y *Pinus lawsonii* Roehl en la región central de Michoacán. Revista Ciencia Forestal. 22(81): 42-70.
- Araujo, P.A. e Iturre, M.C. 2006. Ordenación de bosques. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina. 61 p.
- Arteaga-Martínez, B. 2000. Evaluación dasométrica de plantaciones de cuatro especies de pinos en Ayototxtla, Guerrero. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 6(2) 151-157.
- Balcorta-Martínez, H.C. Y J.J. Vargas-Hernández. 2004. Variación fenotípica y selección de árboles en una plantación de melina (*Gmelina arborea* Linn., Roxb.) de tres años de edad. Revista Chapingo Serie de Ciencias Forestales y del Ambiente. 9(2): 13-19.
- Barrena A., V., Dancé C., J. y Sáenz Y., D. (s/f). Metodología para la selección de ecuaciones de volumen. Revista Forestal del Perú. 13(2):1-10.
- Barrero-Medel, H., Mothe, F., Nepveu, G., Álvarez-Lazo, C.D., García-Corona I. Y Guera, M. 2010. Anamorphic site index curves for *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret and golfari plantations belonging to the Macurije Integral Forest Company in the Province of Pinar del Río, Cuba. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 17(2):245-252.
- Bermejo V., B. P. José B. 1999. Los pinos mexicanos y su utilización como especies introducidas de alto potencial en varios países del mundo. Segundo simposio sobre avances en la producción de semilla en América Latina. Santo Domingo Republica Dominicana. 301 p.
- Bertrand C., J. 2008. Determinación del rendimiento de las plantaciones forestales de la escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras. Honduras. 92 p.
- Calvillo G., J.C., E.H. Cornejo O., S. Manzano V., C. Flores L. 2005. Estudio epidométrico para *Pinus herrerae* Martínez en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán, México. Foresta Veracruzana 7(1):5-10.

- Clutter J.L., Fortson, J.C., Piennar, L.V., Brister, G.H., y Bailey, R.L. 1983. Timber management, a quantitative approach. John Wiley y Sons. USA. 233 p.
- CONABIO-INIFAP 1995. Carta de edafología. Carta E14D88. Escala 1: 250000. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- CONAFOR. 2001. Evaluación PRODEPLAN 2001. México. 113 p.
- CONAFOR. 2009. Programa de desarrollo de plantaciones forestales comerciales, a 15 años de su creación. México. 198 p.
- CONAFOR. 2013. Inventario estatal forestal y de suelos Oaxaca 2013. México. 174 p.
- Cornejo O., H.E., 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. 28(3):213-219.
- Cortés M., J.P. 2010. Crecimiento de diámetro y altura para tres plantaciones de pinos en Miahuatlán Oaxaca. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila.73 p.
- Daniel T.W., Helms J.A., Backer F.S. 1982. Principios de silvicultura. Segunda edición. McGRAW-HILL. Mexico.487 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2000. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2000. [en línea] Departamento de montes. Disponible de <http://www.fao.org/docrep/005/y1997s/y1997s09.htm#bm9>. [Fecha de 28 noviembre 2016].
- FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1981. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Roma 105 p.
- Farjon A., J.A. Pérez de la rosa y B.T. Styles. 1997. Guía de campo de los pinos de México y América central. Editorial Susy Dickerson. Instituto Forestal de Oxford, Universidad de Oxford. 158 p.
- 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 E. 1998. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. Quinta edición. México. 98 p.
- García M., J.J. 1996. Coníferas promisoras para reforestaciones de la Sierra Purépecha. Agenda técnica Núm. 2. Uruapan, Michoacán, México. 79 p.
- Hernández-Ramos, J., García-Magaña, J.J., Olvera-Delgadillo, E.H., Velarde-Ramírez, J.C., García-Cuevas, X. y Muñoz-Flores, H.J. 2014. Site index for *Pinus greggii* Engelm. Plantations Metztlán, Hidalgo, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente.1 (1): 168-176.
- INEGI 2014. Cartas topográficas. Carta E14D88. Escala 1:250 000. México.
- INIFAP. 2011. Especies promisoras de clima templado para plantaciones forestales comerciales en Michoacán. México. 236p.
- Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Segunda edición. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de enseñanza. Investigación y servicio en bosques. Chapingo, México. 297 p.
- López H., J.A. y Valles Gándara A.G. 2009. Modelos para la estimación del índice de sitio para *Pinus duranguensis* Martínez en San Dimas Durango. Revista Ciencia Forestal en México 34(105): 187-198.
- López M., C. E. 2015. Crecimiento en plantaciones de tres especies de Pinos a 20 años de establecidas en Miahuatlán, Oaxaca. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buena Vista Saltillo, Coahuila. 72 p.
- Mares A., O., Cornejo Oviedo, E.H., S., Valencia M., y C. Flores L. 2004. Índice de sitio para *Pinus herrerae* Martínez en Cd. Hidalgo, Michoacán. Revista Fitotecnia Mexicana 27(1): 77-80.
- Martínez R., R., H.S. Azpíroz Rivero, J.L. Rodríguez de la O., V.M. Cetina Alcalá, M.A. Gutiérrez Espinoza. 2006. Importancia de las plantaciones forestales de *Eucalyptus*. Ra Ximhai 2 (3): 815-846.
- Martínez Z., M. Domínguez-Domínguez, A. Juárez-García, L.M. López-López, V. de-la-cruz-arias y J. Álvarez-Martínez. 2015. Site index and timber production in forest plantations of *Gmelina arborea* in Tabasco, México. Fitotecnia mexicana 38 (4):415-425.

- Monárrez-Gonzales, J.C. y H. Ramírez-Maldonado. 2003. Predicción del rendimiento en masas de densidad excesiva de *Pinus duranguensis* Mtz. en el estado de Durango. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente 9 (1):45-56.
- Monroy R., C. 1998. Produzca madera aserrada de pino: establezca plantaciones de pino colorado. División Forestal. INIFAP. México, 42 p.
- Morales H., J. 2008 estudio regional forestal. UMAFOR no. 20-08. "Amanecer del pacífico" S.C. de R.L ("Silvicultores Del Río Copalita" A.C) Oaxaca. 223 p.
- Muñoz F., H.J., Sáenz R., J.T., García S., J.J., Hernández M., E. y Anguiano C., J. 2011. Areas with potential for comercial timber plantations of *Pinus pseudostrobus* Lindl, and *Pinus greggii* Engelm. in Michoacán. Revista Mexicana Ciencia Forestal. 2(5):30-44.
- Návar, J., González, N. y Graciano, J. 2001. Ecuaciones para estimar el rendimiento e incremento en biomasa total en plantaciones forestales de Durango, México. [En línea] http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/30_Navar.PDF [Fecha de 21 marzo 2017].
- Pensado-Fernández, J.A., L.R., Sánchez-Velásquez, M. del R., Pineda-López y F. Díaz-Fleischer. 2014. Plantaciones forestales vs. Regeneración natural in situ: el caso de los pinos y la rehabilitación en el Parque Nacional Cofre de Perote. Botanical Sciences. 92(4): 617-622.
- Pompa G., M., Velázquez martinez, A., Ramírez Maldonado H., Rodríguez Franco C., Serrano Gálvez E.1998. Sistema de cubicación para el género *Pinus* en la UCODEFO No. 7 "Norigachi-Guachochi" Chihuahua. Revista Ciencia Forestal en Mexico 3 (83): 54-66.
- Rentería-Anima J.B. y Ramírez-Maldonado H. 1999. Sistema de cubicación para *Pinus cooperi* blanco mediante ecuaciones de ahusamiento en Durango. Revista Chapingo serie de Ciencias Forestales y del Ambiente 4(2): 315-321.
- Romo G., D., H. Navarro Garza, H.M. de los santos posadas, O. Hernández Romero y López Upton. 2014. Wood growth and aerial biomass in young plantations of *Pinus patula* Schuede ex Schltld. Et Cham. In Zacualpan, Veracruz. Revista Mexicana Ciencia Forestal 5(23):79-91.

- Sáenz R., J., F.J., Villaseñor R., H.J.A., Rueda S., y J.A., Prieto R. 2013. Evaluación de plantaciones de restauración en tres municipios del estado de Michoacán. Folleto técnico Núm. 32. Uruapan, Michoacán, México. 33 p.
- Sáenz R., J., H.J. Muñoz F., y A. Rueda S. 2011. Especies promisoras de clima templado para plantaciones forestales comerciales en Michoacán. Uruapan, Michoacán, México. 236 p.
- 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.
- Santiago-García W., H.M. De los Santos-Posadas, G. Ángeles-Pérez, J.J. Corral-Rivas., J.R. Valdez-Lazalde, D. H. Del Valle-Paniagua. 2014. Predicción del rendimiento maderable de *Pinus patula* Schl. et cham. a través de modelos de distribución diamétrica. *Agrociencia* 48(1): 87-101.
- Sosa C., V.E. 1992. Política nacional de fomento las plantaciones forestales industriales. SARH. Subsecretaría forestal. Proyecto mecanografiado. 50 p.
- Sosa C., V.E. 2007. Programa Estratégico Forestal del Estado de Oaxaca (PEFO) 2007-2030. 250 p.
- Tamarit U., J.C. 2013. Cubicación, crecimiento y rendimiento maderable e inventario operativo para *Tectona grandis* en el sureste de México. Tesis profesional. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, estado de México. 108 p.
- Torres R., J. M, y O. S. Magaña T. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Editorial Limusa y grupo Noriega editores. México D.F. 451 p.
- UNICEDER-UACh. 2001. Evaluación del programa nacional de reforestación estado de Oaxaca (PRONARE 2000-2001). Mexico.55 p.
- Uranga V., L.P. 2014. Crecimiento y rendimiento maderable en plantaciones de *Pinus patula* en Zacualpan Veracruz. Tesis profesional. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, estado de México. 105 p.
- Valdez-Lazalde, J.R., Lynch T.B. (2000). Merchantable and total volumen equations for thinned natural stands of *patula* en Puebla, México. *Agrociencia* 6 (34): 747-758.

- Vanclay, J.K. 1994. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forest. CAB International, Wallingford UK as.330 p.
- Zepeda B., E.M y P., Rivero B.1984. Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio: ejemplificación del método de la curva guía. Revista ciencia forestal 51(9): 4-38.
- Zobel, B., y J. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Limusa. México. 545 p.
- Zúñiga H., J.V. 2013a. Índice de sitio para tres especies de *Pinus* mixtas Miahuatlán, Oaxaca. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buena Vista Saltillo, Coahuila. 69 p.
- Zúñiga V., N. C. 2013b. Tablas de volúmenes para plantaciones de tres especies de pino en Miahuatlán, Oaxaca. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buena Vista Saltillo, Coahuila. 62 p.

APÉNDICE

Apéndice 1. Valores de los parámetros estadísticos de los modelos utilizados para crecimiento en altura de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en las dos plantaciones en Miahuatlán, Oaxaca.

Modelo	Ecuación	R ²	R ² aj	CME	F-Calculada	B ₀	B ₁	B ₂
Schumacher	$H = \text{EXP}^{(B_0 + B_1/E)}$	0.9997	0.9497	8.1648	4892.76	3.4357	-11.7742	
Chapman – Richards	$H = B_0 [1 - \text{EXP}^{(B_1 * E)}]^{B_2}$	0.9998	0.9509	7.2794	5526.78	4624423	0.255E-7	1.0199
Weibull	$H = B_0 [1 - \text{EXP}^{(-B_1 * (E^{B_2}))}]$	0.9996	0.9457	8.0243	3322.66	26658	0.00006	0.7865
Gompertz	$H = B_0 \text{EXP} [-\text{EXP}^{(B_1 - (B_2 * E))}]$	0.9997	0.9508	7.2796	3687.32	31.0556	1.0798	0.0865

R²= coeficiente de determinación, R²aj= coeficiente de determinación ajustado, CME= cuadrado medio del error, B₀, B₁, B₂=parámetros de estimación, E= edad, exp=función exponencial.

Apéndice 2. Valores de los parámetros estadísticos de los modelos utilizados para estimar el rendimiento en volumen de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en las dos plantaciones de Miahuatlán, Oaxaca.

Modelo	Ecuación	R ²	R ² aj	CME	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
1	$\text{Ln } V = B_1 + B_2 (1/E) + B_3 (1/IS) + B_4 \text{Ln } (A)$	0.999806	0.964593	0.01550	1.94994	-159.98820	139.95480	0.89392
2	$\text{Ln } V = B_1 + B_2 (1/E) + B_3 (IS) + B_4 \text{Ln } (A)$	0.999809	0.965233	0.01522	1.13046	-0.79167	0.02463	0.89332
3	$\text{Ln } V = B_1 + B_2 (1/E) + B_3 \text{Ln } (IS) + B_4 \text{Ln } (A)$	0.999809	0.965221	0.01523	0.26300	0.84348	0.97066	0.89038

R²= coeficiente de determinación, R²aj= coeficiente de determinación ajustado, CME= cuadrado medio del error, B₁, B₂, B₃, B₄=parámetros de estimación, Ln= logaritmo natural, V= volumen, IS= índice de sitio, E= edad, A= área basal.