

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Tablas de Volúmenes para Plantaciones de Tres especies de Pino
en Miahuatlán, Oaxaca

Por:

NANCY DEL CARMEN ZUÑIGA VILLEGAS

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2013

AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Tablas de Volúmenes para Plantaciones de Tres Especies de Pino en Miahuatlán,
Oaxaca

Por:

NANCY DEL CARMEN ZUÑIGA VILLEGAS

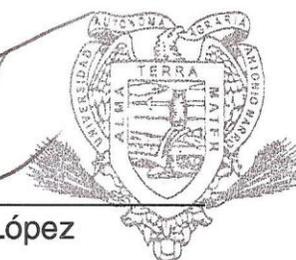
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada

M.C. Celestino Flores López
Asesor Principal



DEPARTAMENTO FORESTAL

Ing. Juan Morales Hernández
Coasesor

M.C. Salvador Valencia Manzo
Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2012

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

DEDICATORIA

A mis Padres:

Leticia Villegas Jácome y José Luis Zuñiga González, por darme el don de la vida, Gracias mamá y papá por todo su cariño demostrado a pesar de la distancia, por la confianza infinita, pero sobre todo por creer en mí y brindarme todo el apoyo necesario para obtener la herencia más valiosa. Este trabajo lleno de esfuerzos va por ustedes.

A mis Hermanas:

Karla Leticia y Cinthia Maribel Zuñiga Villegas, por el apoyo manifestado durante estos cinco años lejos de casa, por jamás abandonarme.

A mi Hermano:

José Valentín Zuñiga Hernández, por brindarme día a día su compañía, conocimientos, y sobre todo por permitirme vivir tantas experiencias a su lado durante esta etapa de nuestras vidas.

A mi Abuelito:

Faustino Zuñiga Cruz, por darme su amor y sus conocimientos empíricos sobre el campo mexicano, pero sobre todo por tener siempre una sonrisa para mí.

A mis Tías:

Elizabeth Zuñiga González y Miriam Villegas Jácome y familia., por su gran cariño y por estar siempre en cada viaje realizado, por hacerme sentir como una hija.

A mi Familia en general:

A mis tíos, primos, sobrinos y demás familia que siempre estuvieron animándome para seguir adelante.

A mis Amigos:

En especial a Mirna Cruz Méndez y Familia, Víctor Manuel Rivas del Bosque y Familia, Paola Aidé Cepeda Carmona y Familia, y Berenice Bonilla Morales, que junto a mi estuvieron viviendo las experiencias de la vida universitaria, así como aquellos que a pesar de la distancia los recuerdos no se olvidan.

A mis Compañeras de casa:

Wendolyn Zapata Barrón y Daniela Campillo Fernández, por brindarme tardes y noches de alegría y felicidad, apoyo cuando era necesario y cuando no también.

A mis Compañeros de Fútbol Rápido:

En especial al entrenador Emmanuel Palacio Urrutia y a cada una de las chicas y de los chicos de los equipos representativos ya que sin duda fueron parte de esta maravillosa vida estudiantil.

Y a cada una las personas que creyeron en mí y en este proyecto de vida y que en este momento mi mente deja escapar.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a DIOS, el arquitecto de mi universo, por haberme brindado la existencia y dar la fortaleza necesaria para vivir cada momento de mi vida, gracias por darme la oportunidad de salir adelante y por tener la capacidad de demostrarme a mí misma que con esfuerzo, dedicación y fe las metas se pueden alcanzar.

A mi *ALMA MATER* la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, por darme la oportunidad de formarme profesionalmente en esta máxima casa de estudios

AI DEPARTAMENTO FORESTAL, personal académico y administrativo, por el apoyo y enseñanzas brindadas durante este trayecto de vida.

AI M.C. CELESTINO FLORES LÓPEZ, por brindarme el apoyo como profesor en clases y como asesor de esta tesis, por su gran paciencia, dedicación y confianza para la realización de este trabajo.

AI ING. JUAN MORALES HERNÁNDEZ, por su apoyo y colaboración en este trabajo de tesis.

AI M.C. SALVADOR VALENCIA MANZO, por su valiosa colaboración en la revisión de este trabajo de tesis, además por todo el apoyo que mostró como profesor y por sus valiosos consejos.

AI Ing. BARTOLOMÉ SANTIAGO GARCÍA, y a mis compañeros y amigos MIRNA CRUZ MÉNDEZ y JOSÉ VALENTÍN ZUÑIGA HERNÁNDEZ por el apoyo brindado en las evaluaciones.

A las familias CORTÉS MARTÍNEZ y JACINTO SÁNCHEZ por haberme brindado su hospitalidad en cada una de las evaluaciones realizadas de este trabajo.

A los trabajadores DON ARMANDO, MATEO, HELADIO, JUAN Y JORGE por ese gran apoyo brindado en cada una de las evaluaciones, sin ellos el tiempo hubiese sido mayor.

A MIS COMPAÑEROS DE LA GENERACIÓN CXV DE LA CARRERA DE INGENIERO FORESTAL, por los momentos extraordinarios y otros no tanto, dentro y fuera de la universidad, ya que sin duda serán de aprendizaje.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Plantaciones forestales en Oaxaca	4
2.1.1 Antecedentes de las primeras plantaciones en Oaxaca	4
2.2 Plantaciones de coníferas	5
2.2.1 Especies utilizadas en Oaxaca	5
2.2.2 Especies de <i>Pinus</i> utilizadas en la plantación del estudio	6
2.3 Evaluación de plantaciones forestales	7
2.3.1 Variables dasométricas evaluadas	7
2.3.2 Importancia de la elaboración de tablas de volúmenes	7
2.4 Tablas de volúmenes	8
2.4.1 Modelos y estadísticos de evaluación	9
2.4.2 Tipos de tablas y procedimiento de elaboración	10
2.4.3 Validación de tablas de volumen	11
3 MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1 Localización del área de estudio	12
3.1.1 Localización geográfica	12
3.1.2 Aspectos ecológicos	12
3.2 Muestreo y selección del arbolado	15
3.3 Estimación de volumen por tipos dendrómétricos	16
3.4 Análisis estadístico	17
3.5 Validación de la ecuación	19
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1 Selección de modelos para tablas de volúmenes	21

4.2 Validación de resultados	25
4.2.1 Validación del modelo para <i>Pinus pseudostrobus</i>	25
4.2.2 Validación del modelo para <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i>	26
4.2.3 Validación del modelo para <i>Pinus douglasiana</i>	26
4.2.4 Raíz cuadrada del error medio cuadrático(REMC) y diferencia agregada (DA)	26
4.3 Tablas de volúmenes	31
5 CONCLUSIONES	33
6 RECOMENDACIONES	34
7 LITERATURA CITADA	35
APÉNDICE	40

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Localización geográfica, años de plantación, superficie plantada hectárea por año y superficie total de cada predio plantado, en el Distrito de Miahuatlán, Oaxaca	12
Cuadro 2. Modelos empleados para la elaboración de tablas de volúmenes para tres especies del genero <i>Pinus</i> en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca.	18
Cuadro 3. Modelos comparados y estadísticos empleados para la elaboración de tabla de volúmenes para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca.	22
Cuadro 4. Modelos comparados y estadísticos empleados para la elaboración de tabla de volúmenes para <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca.	23
Cuadro 5. Modelos comparados y estadísticos empleados para la elaboración de tabla de volúmenes para <i>Pinus douglasiana</i> Martínez en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca.	24
Cuadro 6. Validación de las cinco mejores ecuaciones de volumen por medio de los errores de estimación (valores absolutos de las diferencias) para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	27
Cuadro 7. Validación de las cinco mejores ecuaciones de volumen por medio de los errores de estimación (valores absolutos de las diferencias) de <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock.	28
Cuadro 8. Validación de las cinco mejores ecuaciones de volumen por medio de los errores de estimación (valores absolutos de las diferencias) de <i>Pinus douglasiana</i> Martínez.	29
Cuadro 9. Estadísticos resultantes de la validación de la ecuación perteneciente al modelo seleccionado por especie.	30
Cuadro 10. Tabla de volumen para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca.	31

Cuadro 11. Tabla de volumen para <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca.	32
Cuadro 12. Tabla de volumen para <i>Pinus douglasiana</i> Martínez en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca.	32

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación predial de plantaciones en “Rancho Río San José”, Municipio de San Sebastián Río Hondo, Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.	13
Figura 2. Ubicación predial de plantaciones en “Santa Ana y Ojo de Agua” y “Lastina y Río Yubto”, Municipio San Miguel Suchixtepec, Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.	14

RESUMEN

Las tablas de volúmenes son herramientas utilizadas para cuantificar las existencias de madera en el bosque. Por lo cual se elaboraron tres tablas de volúmenes para tres especies forestales *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula* y *Pinus douglasiana* dentro de plantaciones forestales en los predios: “Rancho Río San José”, “Lastinas y Río Yubto” y “Santa Ana y Ojo de Agua” ubicados en los municipios de San Sebastián Río Hondo el primer predio y en San Miguel Suchixtepec los restantes, ambos municipios pertenecientes al Distrito de Miahuatlán, Oaxaca.

La elaboración de tablas de volúmenes de fuste total árbol con corteza se realizó mediante modelos con variables combinadas, donde primeramente se estimó el volumen individual de cada árbol por medio de tipos dendrómétricos. Se probaron 11 modelos, que incluyeron aritméticos y logarítmicos, utilizando el programa de regresión PROC REG del Sistema de Análisis Estadístico (SAS), los estadísticos empleados para la elección del mejor modelo fueron el coeficiente de determinación (R^2), cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV) e índice de Furnival (I), siendo este el de mayor jerarquía. Para comparar los modelos en el proceso de validación se consideraron las técnicas estadísticas entre los valores estimados y los valores reales de volumen. Es por ello que se recomienda el cálculo de diferencias absolutas, raíz cuadrada del error medio cuadrático y diferencia agregada.

El modelo que presentó mayor bondad de ajuste para las tres especies fue $V=a+bD+cDH+dD^2+eD^2H$, quedando como resultado las siguientes ecuaciones: *Pinus pseudostrobus* $V= 0.03266+ (-0.01257*D)+ (0.00288*D*H)+ (0.000087*D^2)+ (0.000015*D^2*H)$, *Pinus patula* var. *longepedunculata* $V= 0.03087+ (-0.01397*D)+ (0.00328*D*H)+ (0.000173*D^2)+(0.000004*D^2*H)$ y *Pinus douglasiana* $V= 0.05127+ (-0.012560*D)+ (0.0028*D*H)+ (-0.000087*D^2)+ (0.000027*D^2*H)$. En cuanto a la validación de la ecuación, se comprobó que es confiable, puesto que los valores de los volúmenes estimados son semejantes al volumen real.

Palabras claves: Tablas de volúmenes, plantaciones forestales, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula* var. *longepedunculata* y *Pinus douglasiana*.

ABSTRACT

Volume tables are tools used for quantifying wood existence in the forest. For this reason, our objective were make three volume tables to plantations of *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula* and *Pinus douglasiana*, which are located in “Rancho Río San José”, “Lastinas and Río Yubto” and “Santa Ana and Ojo de Agua” in the towns of San Sebastian Río Hondo and San Miguel Suchixtepec corresponding to Miahuatlán District in Oaxaca.

The elaboration of volume tables to total stem tree with bark was made through by combined variables model, where firstly the individual volume of each tree was cubed by dendrometrical types. The 11 models were tested, which included arithmetic and logarithmical, using the regression program PROC REG of Statistic Analysis System (SAS), the statistics used for selecting the best model were the determination coefficient (R^2), mean square error (MSE), coefficient variation (CV) and the Furnival index (I) being this last the one with mayor hierarchy. In order to compare the models in the validation process had to be considered the statistics techniques between the estimate values and the real volume values. Then, the calculation of absolute differences, root mean square and the added difference are recommended

The model presented the highest goodness-of-fit from the three species was $V=a+bD+cDH+dD^2+eD^2H$. The result were the following equations: *Pinus pseudostrobus* $V= 0.03266+ (-0.01257*D)+ (0.00288*D*H)+ (0.000087*D^2)+ (0.000015*D^2*H)$, *Pinus patula* var. *longepedunculata* $V= 0.03087+ (-0.01397*D)+ (0.00328*D*H)+ (0.000173*D^2)+(0.000004*D^2*H)$ y *Pinus douglasiana* $V= 0.05127+ (-0.012560*D)+ (0.0028*D*H)+ (-0.000087*D^2)+ (0.000027*D^2*H)$. In the validation, the equations were found to be reliable, because the estimated volume values are similar to the actual volume.

Key words: Volume tables, forest plantations, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula* var. *longepedunculata* and *Pinus douglasiana*.

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente en el mundo las plantaciones forestales van en aumento, ya que se estima una superficie de bosques a nivel mundial de aproximadamente 3,869 millones de hectáreas. Sin embargo, las plantaciones forestales solamente alcanzan aproximadamente 187 millones de hectáreas, lo que representa solamente el 4.8% de toda la superficie (CONAFOR, s.f.)

En México las plantaciones forestales comerciales, representan un panorama que data desde 1930, en la actualidad son una estrategia de incremento de la producción, disminución de la presión sobre los bosques naturales y un instrumento para reducir la dependencia de productos forestales de otros países (CONAFOR, s.f.).

Sin embargo, en el estado de Oaxaca a pesar que es una de las entidades más grandes del país en superficie forestal los recursos forestales no se aprovechan íntegramente y las acciones en restauración y reforestación de terrenos forestales son lentas (INEGI, 1993).

El interés por las plantaciones forestales comerciales iniciaron con el establecimiento de la primera plantación a nivel comercial de *Pinus* en México, la cual fue establecida en Tuxtepec, Oaxaca; dicha plantación fue realizada por el gobierno a través de un fideicomiso entre 1974 y 1983 con el objetivo de abastecer principalmente a la fábrica de papel FAPATUX en el mediano y largo plazo con alrededor de 10,000 hectáreas; durante el periodo de 1997 y 2000 la SEMARNAP apoyó a seis proyectos de plantaciones en Oaxaca, las regiones beneficiadas fueron: Papaloapan, Bajo Mixe y Costa como una vía para la recuperación de tierras al uso forestal, con un poco más de 11,000 hectáreas (SEMARNAP, 2000).

El monitoreo de plantaciones forestales en México ha sido escaso y los pocos trabajos se refieren a evaluación del crecimiento por lo tanto es importante continuar las evaluaciones tanto en poblaciones para manejo de bosques naturales como plantaciones; por lo tanto evaluar el crecimiento de una plantación es de gran importancia, ya que permite conocer la dinámica de desarrollo, así como su probable rendimiento a una edad o fecha determinada (Torres y Magaña, 2001).

De igual manera una de las variables a conocer en todo estudio de manejo para llevar a cabo un aprovechamiento forestal es el volumen de los árboles que se

aprovecharán antes de que éstos sean derribados; mediante mediciones de diámetro y altura se puede estimar el volumen de un árbol o bien del rodal a ser aprovechado. En este proceso es recomendable usar tablas de volúmenes de al menos dos variables, para estimar el volumen del árbol, dada su mayor precisión (Torres y Magaña, 2001; Tenorio, 2003).

Para ser estimaciones de volumen se proponen las tablas de volumen ya que tienen el propósito de proporcionar una tabulación que exprese el “contenido medio” de árboles en pie de diversos tamaños y especies (Avery, 1967).

Las tablas de volúmenes son de gran importancia, ya que son el cimiento de la silvicultura y de los métodos de ordenación de montes (Romahn *et al.*, 1994).

Por lo tanto el uso de las tablas de volumen puede ser una herramienta para establecer un manejo más adecuado, mejor control de los aprovechamientos maderables y el monitoreo de plantaciones, con lo cual se garantiza un manejo sustentable del recurso forestal. Además las tablas de volumen son una herramienta cotidiana, principalmente son utilizadas por los prestadores de servicios técnicos forestales, en la estimación del volumen (Tenorio, 2003).

A finales de los 60's y principios de los 70's cuando el Inventario Nacional Forestal estaba en operación, se produjeron masivamente ecuaciones de volumen para diversas especies y prácticamente para todas las regiones del país. Sin embargo, dada la generalidad de esas ecuaciones y las disponibilidades metodológicas, hoy se puede considerar que muchas de ellas son obsoletas (Rentería, 1995), sin embargo se siguen utilizando. En el estado de Oaxaca se continúan utilizando las tablas de volúmenes que fueron generadas hace más de veinte años.

Actualmente la estructura de los rodales ha cambiado por el tiempo, tanto en sus condiciones dasométricas como epidométricas, por lo que es necesario la generación de nuevas tablas de volúmenes, pues la falta de actualización de estas implica que haya una sobreevaluación o subevaluación de las existencias reales del volumen maderable en sus bosques, dicha situación puede alterar los planes anuales de corta y en general la buena planeación de aprovechamiento del recurso maderable (Tenorio, 2003).

En la región sur del estado de Oaxaca, donde se encuentran los municipios de San Sebastián Río Hondo y San Miguel Suchixtepec existe la sobreexplotación del

bosque, incendios forestales, clandestinaje y desmontes. A principios de los años 90's el manejo del bosque fue dirigido por un responsable técnico forestal, el cual después de 10 años de trabajo y con los resultados obtenidos, en el año 2000 se incorporan nuevos productores a su esquema de trabajo; de esta manera en junio del año 2003 el Sr. Luis Cortés y Hermanos obtuvieron la Mención Honorífica del Premio al Mérito Ecológico; en julio de ese mismo año, en grupo obtienen la Mención Honorífica del Premio Nacional al Mérito Forestal en la categoría de Manejo Forestal y Silvicultura Comunitaria (Cortés, 2010).

Es por lo anterior que surge la necesidad de evaluar las plantaciones forestales, en los municipios de San Sebastián Río Hondo y San Miguel Suchixtepec, ya que en esta región del estado no se cuenta con tablas de volumen de las especies plantadas y además se requieren estimar las existencias reales para la propuesta de los programas de manejo, por tal motivo se realiza este trabajo.

1.1 Objetivo general

Elaborar tablas de volúmenes fuste total árbol con corteza a partir de ecuaciones con variables combinadas para tres especies forestales *Pinus pseudostrobus* Lindl, *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock y *Pinus douglasiana* Martínez, desarrolladas en una plantación forestal comercial de pequeños propietarios en Miahuatlán, Oaxaca.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Plantaciones forestales en Oaxaca

El Estado de Oaxaca ha sido una de las entidades sobresalientes en el sector forestal de México, ha sido pionero en las actividades relacionadas con el manejo sustentable de los bosques (Sosa, 2004). Oaxaca posee una superficie total de 9.5 millones de ha, de las cuales 7.1 son de vocación forestal constituida por un amplio mosaico vegetativo, según el gradiente de altitud y condiciones climáticas específicas de cada región de los cuales 5.1 se encuentran arboladas, el 2.7 son bosques templado y 2.4 son selvas tropicales húmedas y secas, 0.1 lo conforman vegetación de otros tipos y el 1.9 corresponden a áreas perturbadas (Díaz y Díaz, 2007).

Con sus 5.1 millones de hectáreas el estado de Oaxaca ocupa el tercer lugar en cuanto a superficie arbolada a nivel nacional y respecto al potencial maderable ocupa de igual manera el tercer lugar en producción con 291 millones de m³ rollo por años (Díaz y Díaz, 2007).

2.1.1 Antecedentes de las primeras plantaciones en Oaxaca

En la década de los 50's, los principales bosques de Oaxaca fueron concesionados por decreto presidencial y por un período de 25 años a dos empresas: Fábricas de Papel Tuxtepec, S.A., empresa dedicada a producir papel periódico y la Compañía Forestal de Oaxaca, empresa que fabricaba triplay y madera aserrada, en la Sierra Sur (Merino-Pérez, 2004).

Entre 1974 y 1983 el Gobierno Federal, a través del Fideicomiso para el desarrollo del Plan de Estructuración de Bosques Artificiales (FIDEBA), con el propósito de abastecer a la planta de celulosa de Fábrica de Papel Tuxtepec (Fapatux), ubicada en Tuxtepec, plantó aproximadamente 9 mil hectáreas en San Juan Cotzocón, dentro del Distrito Mixe, en terrenos sujetos a procesos erosivos y desgastados por décadas de uso agropecuario no acorde a la vocación natural del suelo. Las especies plantadas fueron pinos tropicales Esta plantación, fue denominada posteriormente "Ing. Jorge L. Tamayo" en honor a su principal promotor. En 1983 fue suspendida y prácticamente

abandonada debido al cambio de administración federal; para el año 2000 solo existían unas 6 mil hectáreas de la plantación original (Monreal, 2005).

Por otro lado, durante los años de 1988 a 1994, el gobierno federal desarrolló las primeras acciones dirigidas a diseñar un programa de apoyo a las plantaciones forestales comerciales (PFC), el cual consistía en el otorgamiento de incentivos fiscales (Fierros, s.f.).

Para el año de 1997, con la entrada del Programa de Desarrollo de Plantaciones (PRODEPLAN), se incorporan nuevos proyectos de plantaciones, dicho programa se fue popularizando a partir del año 2000 (Monreal, 2005).

Actualmente las plantaciones forestales son una de las opciones más viables para incrementar la productividad del sector y reducir la presión en el uso de los bosques naturales (Fierros, s.f.).

2.2 Plantaciones de coníferas

2.2.1 Especies utilizadas en Oaxaca

Oaxaca cuenta con 24 especies nativas y tres variedades de coníferas siendo éstas el grupo más dominante de gimnospermas. Sin embargo, la delimitación de especies es aún provisional. De las seis familias de coníferas vivientes, cuatro de ellas tienen representantes nativos en el estado: Cupressaceae, Pinaceae, Podocarpaceae, Taxaceae; las coníferas en Oaxaca se distribuyen en altitudes superiores a los 1,500 msnm. En particular el género *Pinus* representa (seguido de los encinos) el segundo grupo de todo el volumen maderable del estado. Los distritos de Sola de Vega e Ixtlán concentran 65.2% (162 816 m³) del pino extraído (INEGI, 1997; Del Castillo *et al.*, 2004).

El *Pinus oaxacana* Mirov es la principal especie que conforma los bosques de Oaxaca (Mortenson, 1969).

Dentro del estado para la explotación comercial de coníferas, se han introducido algunas especies exóticas de pino, donde destaca *Pinus caribaea* Morelet en la plantación de la Sabana, para la Fábrica de papel Tuxtepec (Fapatux). Las 9,000 ha de la plantación se cedieron al gobierno en 1994 cuando la fábrica dejó de usar este

material. Actualmente *P. caribaea* parece haber escapado del cultivo en lugares cercanos a Tuxtepec. En la Mixteca se ha tratado de introducir pinos piñoneros con propósitos de fijación de suelo y de obtención de recursos económicos con la venta del piñón (Del Castillo *et al.*, 2004).

2.2.2 Especies de *Pinus* utilizadas en la plantación del estudio

Las especies de *Pinus* utilizadas en la plantación del estudio son las siguientes: *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock, *Pinus douglasiana* Martínez, *Pinus oaxacana* Mirov, *Pinus ayacahuite* Ehren y *Pinus maximinoi* H.E. Moore, las cuales se encuentran plantadas en los predios de “Rancho Río San José” en el municipio de San Sebastián Río Hondo, “Lastina y Río Yubto” y “Santa Ana y Ojo de Agua” pertenecientes al municipio de San Miguel Suchixtepec.

De las seis especies antes mencionadas en este estudio sólo se evaluaron tres, las cuales se describen a continuación:

El *Pinus pseudostrobus* alcanza alturas de 30 a 40 m y ocasionalmente hasta 45 m, con diámetros de 40 a 80 cm. El fuste es generalmente recto, la corteza es áspera y agrietada, de color marrón en la vejez; las acículas son delgadas (alrededor de 0.7 a 0.9 mm de espesor) en fascículos de 5, flexibles, 20 a 30 cm de largo; los conos son ovoides, ligeramente curvados, casi simétricos de 8 a 10 cm de largo y 5 a 7 cm de ancho (abierto), éstos presentan un color café claro, en grupos de 2 ó 3; sus semillas son pequeñas, de unos 6 mm de largo, de color marrón oscuro; el ala de la semilla es articulada, de 20 a 23 mm de largo (Perry, 1991).

Pinus patula var. *longepedunculata*, es un pino con un fuste recto, con una altura de 20 a 35 m y de hasta 1 m de diámetro; la corteza en los árboles maduros es de color marrón y de 3 a 4 m arriba del fuste cambia a color rojizo y muy escamoso; las acículas se presentan en fascículos de 3 a 4, ocasionalmente de 5, de 15 a 25 cm de largo, flexibles, de color verde pálido; presentan conos largos-cónicos, 5 a 8 cm de largo, 2 a 3 cm de ancho; las semillas son pequeñas, muy oscuras, las cuales tiene 5 mm de largo y 3 mm de ancho, el ala de la semilla es de 15 mm de largo y 5 mm de ancho, se caracteriza por crecer en los sitios secos y rocosos, sin embargo su mayor crecimiento es en suelos profundos y bien drenados (Perry, 1991).

Finalmente el *Pinus douglasiana* alcanza una altura de 30 a 35 m y de 50 a 75 cm de diámetro. La copa es generalmente redondeada y densa; la corteza es de color marrón rojizo oscuro, áspera; las acículas son de color verde amarillento, en fascículos de 5, de 20 a 30 cm de largo, vainas persistentes de color marrón; conos en grupos de 3 a 5, café rojizo, de 7 a 10 cm de largo, pedúnculos escamosos de 1 a 2 cm de largo que permanecen unidos a los del cono cuando se cae; semillas de color grisáceo obscuro, de 4 a 5 mm de largo (Perry, 1991).

2.3 Evaluación de plantaciones forestales

El crecimiento de un rodal está representado por el aumento en sus dimensiones en altura, diámetro, área basal y volumen. Este crecimiento, considerado en un período de tiempo determinado se denomina incremento. Para determinar o conocer su crecimiento se requiere de mediciones constantes y esta información del crecimiento generalmente es usada para construir modelos de predicción y simulación del rendimiento del árbol bajo diferentes condiciones de desarrollo. Por lo tanto, la importancia del crecimiento e incremento de las plantaciones forestales, recae en el interés de los silvicultores para determinar su proyección a un determinado tiempo de aprovechamiento para así darle un mejor manejo ya que influyen factores como la densidad y los tratamientos silvícolas (Torres y Magaña, 2001; Calvillo, 2003).

2.3.1 Variables dasométricas evaluadas

Herrera (1995) menciona que las mediciones necesarias en campo para la elaboración de tablas de volumen se enfocan a variables dendrométricas siendo básicamente el diámetro, la altura total o comercial y el volumen.

2.3.2 Importancia de la elaboración de tablas de volúmenes

Dentro de la dasonomía, particularmente en la rama de manejo forestal, las tablas o ecuaciones de volúmenes, son una herramienta de uso actual para desarrollar programas de manejo forestal sustentable y otras acciones en torno a la administración

de los recursos forestales, con fines maderables. Generalmente son ecuaciones generadas para determinadas especies y lugares. En la actualidad existe un número considerable de ecuaciones de volumen, aunque no suficientes, que han sido publicadas con escasa distribución, lo que impide el empleo de las más adecuadas (Escobar, 2007).

En el manejo de ecosistemas forestales es una necesidad primordial, la elaboración de tablas de volúmenes apropiadas para especímenes arbóreos de mayor importancia económica, por lo que resulta ser una condición fundamental dentro de un ordenamiento ecológico sustentable, el establecimiento de estos sistemas dasométricos (Jiménez *et al.*, 1998).

Quiñónez (2002) menciona que de no actualizarse las tablas de volumen para un determinado lugar o región, habrá una sobreestimación o subestimación de las existencias reales de madera por hectárea y, por lo tanto, un cálculo erróneo de la posibilidad de producción anual.

2.4 Tablas de volúmenes

Husch *et al.* (1972) definen tabla de volúmenes “como una expresión tabulada que establece los volúmenes de árboles de acuerdo a una o más de sus dimensiones fáciles de medir, tales como el diámetro normal, la altura y la forma”. En tanto, Cailliez (1980) define a las tablas de volumen como una tarifa, fórmula o gráfica, la cual proporciona el volumen de un árbol o un grupo de ellos por medio de algunas variables denominadas “entradas de la tabla o tarifa”; pueden elaborarse para una sola especie o para un grupo de especies y para una o varias localidades.

El inicio del uso de dichas tablas, está asociado al año de 1804, en Alemania, Henrich Cotta recibió el crédito de haber elaborado la primera tabla de volumen para la cubicación de especies de *Fagus sylvatica* (Spurr, 1952).

Para el caso de México, el primer trabajo reportado fue el de Martínez en 1938, quien elaboró tablas de volumen y coeficientes para árboles de *Pinus teocote* Schl. *et* Cham. con y sin corteza, calculados para categorías diamétricas de 5 en 5 cm y alturas de 2 en 2 m (Carrillo *et al.*, 2004).

2.4.1 Modelos y estadísticos de evaluación

Las tablas de volumen han sido hoy en día reemplazadas por las ecuaciones de volumen, esto es, por modelos matemáticos capaces de representar el volumen medio de madera por árbol a partir de variables independientes. Sin embargo, el término tabla ha persistido como un término genérico para expresar una tabla de volumen derivada de una ecuación de volumen (Romero, 2005).

En la elaboración de tablas de volúmenes, Ortiz (1990) elaboró tablas de volúmenes para *Pinus cooperi*, *P. herrerae*, *P. durangensis*, y *P. teocote*, utilizando la técnica de análisis troncal, en donde ensayó el modelo de Schumacher en su versión lineal.

Para *Pinus rudis* Endl., en San Miguel Aloapan, Oaxaca, se elaboró una tabla de volúmenes, en la cual se probó el modelo de Schumacher, utilizando diámetro normal y altura total como variables independientes para estimar el volumen (Aguirre, 1991).

Pompa (1997) elaboró tablas de volúmenes fustales con y sin corteza para las especies de *Pinus arizonica*, *P. chihuahuana*, *P. durangensis*, *P. engelmannii*, *P. leiophylla* y *P. lumholtzi*, en el estado de Chihuahua, México; ensayó los modelos Aritméticos: Variable Combinada, Australiana, Meyer modificada, Comprensible, Naslund y de Takata; y de los Modelos logarítmicos: Schumacher, Korsun, Modelo de Dwigh, Variable combinada y el Modelo de Thornber; eligiendo el de la Variable Combinada en su versión logarítmica para la elaboración de tablas de volúmenes.

En cuanto a la elección de la mejor ecuación de volumen debe hacerse lo más objetivamente posible, tomando en cuenta los siguientes criterios: R^2 , cuadrados medios del error, y si fuera necesario los valores del índice de Furnival (Barrena *et al.*, 1986).

Romero (2005) utilizó los siguientes criterios para la selección de modelos, donde trato de que se cumplieran al menos dos o más de ellos:

- R^2 o pseudo R^2 alta (cercano a 1).
- Cuadrado medio del error bajo.
- Coeficiente de regresión estadísticamente significativo (diferentes de cero).
- Consideraciones particulares (interpretación biológica) y práctica.

2.4.2 Tipos de tablas y procedimiento de elaboración

Las tablas de volúmenes pueden clasificarse como tablas regionales, locales, estándar, gráficas, de una entrada, de dos entradas, tarifas, comerciales, totales, etcétera. Estas tablas y/o ecuaciones de volumen a su vez pueden clasificarse de acuerdo con siete criterios según Romahn *et al.* (1994):

- Número de variables consideradas
- Procedimiento de construcción
- Extensión geográfica del área de aplicación
- Unidades en que se construye.
- Cantidad del volumen individual de árboles en que se basan
- Tipo de material taxonómico que interviene
- Aplicables a árboles individuales o a masas arboladas

Es importante considerar que las ecuaciones de volumen deben ser elaboradas por cada taxón y por sitio, lo que obedece a que los ámbitos de crecimiento pueden variar entre taxa y de un lugar a otro. Por lo que toda tabla será de aplicación limitada a una superficie forestal, la cual estará dada por la información levantada en el área de muestreo. En general las tablas locales, poseen un área de aplicación más restringida que la que corresponde a las tablas estándar (Prodan *et al.*, 1997).

Caballero y Frola (1976) mencionan que las etapas fundamentales en la construcción de tablas de volúmenes son las siguientes:

- Elección de la muestra
- Mediciones de campo
- Cálculo de volúmenes individuales
- Pruebas de diferentes funciones y selección de la ecuación óptima de volumen.

Caballero (1973) dio a conocer una metodología conducente a la elaboración de ecuaciones de volúmenes por medio del empleo de la llamada variable combinada “ Dn^2H ” (Diámetro a la altura del pecho al cuadrado por altura total del árbol), siguiendo los lineamientos de una ecuación de regresión lineal simple.

2.4.3 Validación de tablas de volumen

El interés primordial del proceso de validación de una tabla de volúmenes es asegurar que los resultados sean generalizables a la población y que no sean específicos de la muestra utilizada para la estimación (Machado *et al.*, 2003).

Para la validación de las ecuaciones de volumen Moret *et al.* (1998) seleccionaron una nueva muestra, cumpliendo las mismas condiciones que para el muestreo inicial, en el cual extrajeron tres árboles por categoría diamétrica para un total de 39.

Davel y Trincado (2000) seleccionaron aleatoriamente 70 árboles de la base de datos original, los cuales no formaron parte de los 268 árboles utilizados en la estimación de los coeficientes. La validación y comparación de los modelos se realizó en base a medidas de error absoluto (Raíz del Error Medio Cuadrático, REMC) y sesgo (Diferencia Agregada, DA).

Machado *et al.* (2003) realizaron la validación del modelo seleccionado derribando y cubicando 25 árboles de la especie objeto de estudio y con el objetivo de determinar la calidad de las estimaciones se calculó, coincidiendo con lo planteado por Prodan *et al.* (1997).

Los modelos probados por Pérez y Kanninen (2003) fueron validados con una base de datos independiente de 44 árboles. En términos generales, los modelos utilizados para estimar el volumen total presentaron una diferencia entre los valores predichos y los valores observados de 8% a 10%.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del área de estudio

3.1.1 Localización geográfica

Las plantaciones forestales se encuentran ubicadas en la Sierra Sur del Estado de Oaxaca, las cuales pertenecen al Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, en tres pequeñas propiedades de los municipios San Sebastián Río Hondo y San Miguel Suchixtepec (Cuadro 1). Los planos de cada municipio se presentan en las Figuras 1 y 2.

Cuadro 1. Localización geográfica, años de plantación, superficie plantada hectárea por año y superficie total de cada predio plantado, en el Distrito de Miahuatlán, Oaxaca.

Municipio	Predios	Latitud (N)	Longitud (W)	Altitud (msnm)	Año	Superficie plantada (ha/año)	Superficie total (ha)
San Sebastián Río Hondo	Rancho Río San José	16° 09'58.3"	96° 23'08.6"	2789	1994	4.788	17.906
					1995	2.542	
					2001	4.407	
					2002	6.169	
San Miguel Suchixtepec	Lastina y Río Yubto	16° 03'01.6"	96° 25'15.3"	2160	1993	5.968	9
					1997	3.102	
	Santa Ana y Ojo de Agua				16° 03'04.8"	96° 28'03.4"	2335
1996	2.328						

(Cortés, 2010; con modificaciones)

3.1.2 Aspecto ecológicos

En el área de estudio se presentan tres tipos geomorfológicos siendo el más representativo, el denominado Sierra Sur; el cual está conformado por rocas metamórficas y rocas sedimentarias calizas (INEGI, 1989).

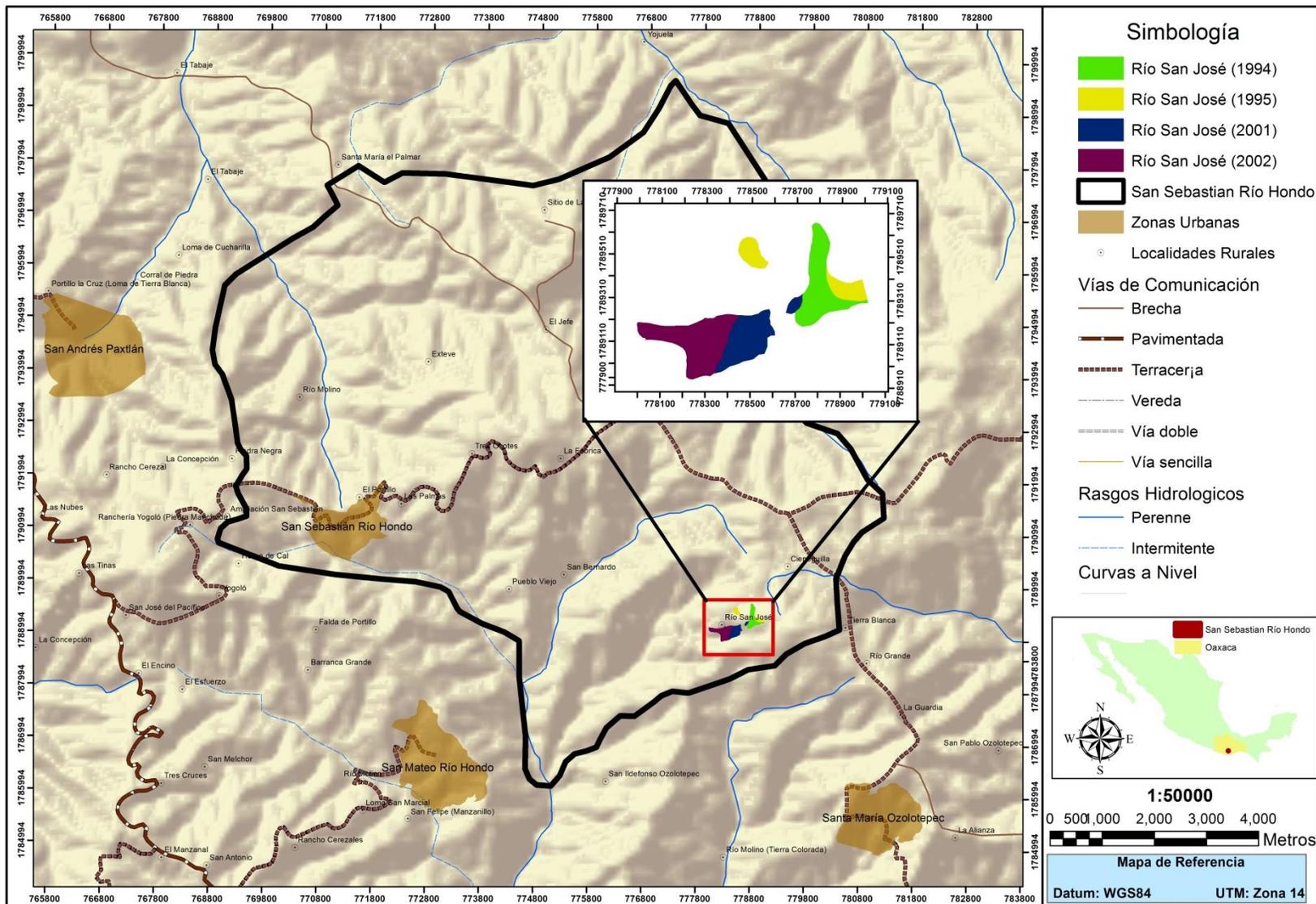


Figura 1. Ubicación predial de plantaciones en “Rancho Río San José”, Municipio de San Sebastián Río Hondo, Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

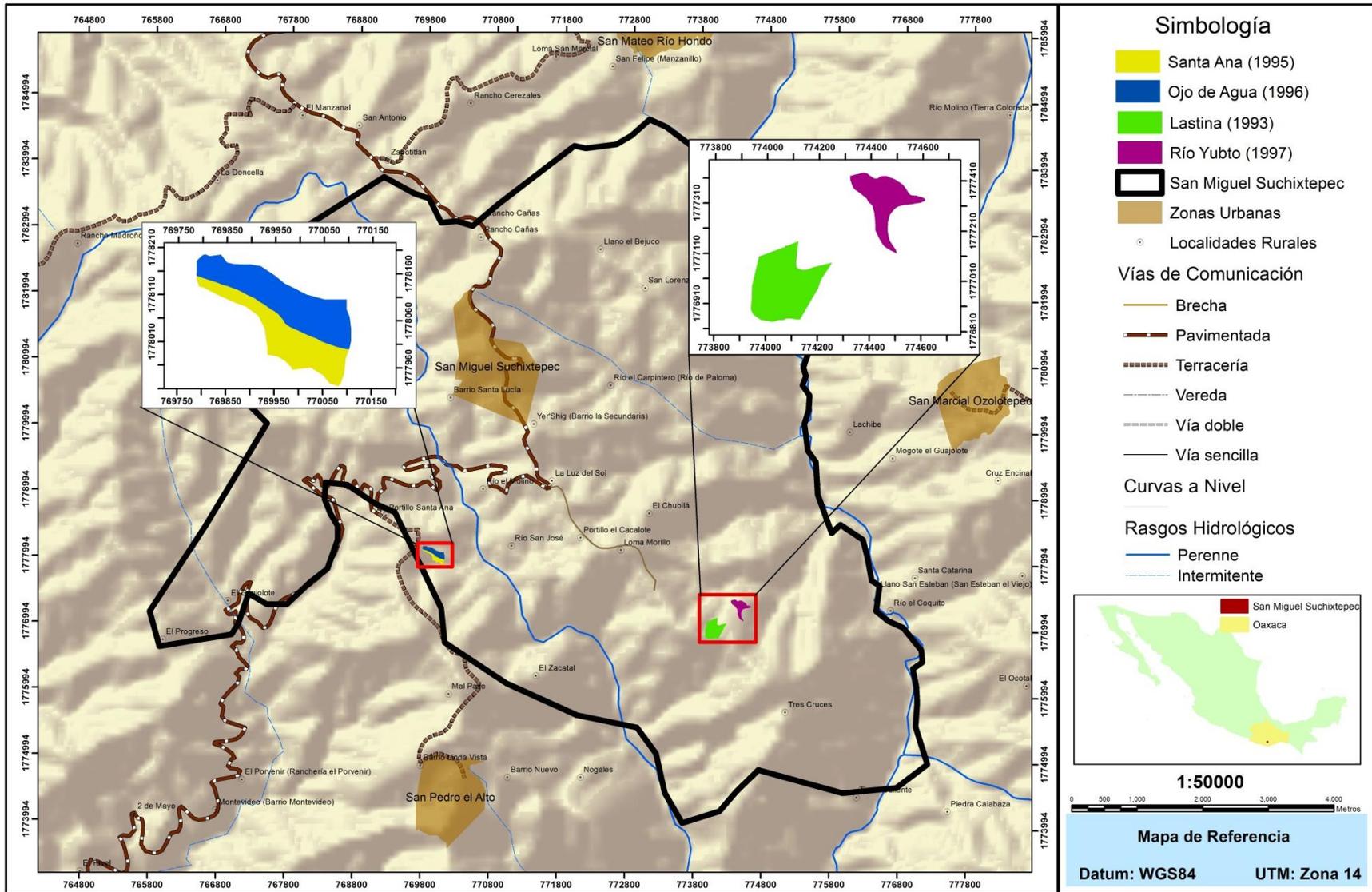


Figura 2. Ubicación predial de plantaciones en “Santa Ana y Ojo de Agua” y “Lastina y Río Yubto”, Municipio San Miguel Suchixtepec, Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Los tipos de suelos que se localizan en la región son: acrisol-húmico, fluvisol-eútrico de textura fina, litosol y cambisol-eútrico de textura media y litosol, rendzina, luvisol-crómico de textura fina (INEGI, 1985).

Las pequeñas propiedades donde se encuentran el área de estudio pertenecen a la región hidrográfica RH-21, Costa de Oaxaca-Puerto Ángel, dentro de la cuenca Río Copalita, y otros, y de la Subcuenca Río Copalita, Microcuenca Río San José (INEGI, 1993).

El tipo de clima para las pequeñas propiedades es: Cb (w2) (w) igw", de acuerdo al sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García (1988), corresponde al clima templado y sub-húmedo; con lluvias en verano, y una precipitación anual de 1294.3 mm y un porcentaje de lluvias invernal menor de 5% con verano fresco y largo; la temperatura media del mes más caluroso que es abril corresponde a 22° C y los meses más fríos oscilan entre -6 y 18°C; la máxima precipitación se presenta en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, alcanzando un promedio mensual de 107.85 mm.

Los tipos de vegetación que existen en la región son: bosques de clima templado, bosque de coníferas y la mezcla de coníferas y latifoliadas, con predominancia de las diferentes especies de los géneros *Pinus*, *Quercus* y *Arbutus* (UMAFOR, 2008).

Las especies de fauna silvestre se consideran de paso, las más comunes observadas son: venado cola blanca (*Odocoileus virginianus* Zimmermann), Tejón (*Nasua narica* L.), Armadillo (*Dasypus novemcinctus* L.), Conejo (*Sylvilagus floridanus* J. A. Allen), Tlacuache (*Didelphys marsupialis* L.), Ardilla gris (*Sciurus sociales* Warner), Codorniz común (*Colinus virginianus* L.) Correcaminos (*Geococcyx velox* Warner), Carpinteros (*Dendrocopos* sp) y víbora de cascabel (*Crotalus triseratus* Wagler) (UMAFOR, 2008).

3.2 Muestreo y selección del arbolado

La evaluación de las plantaciones se realizó en sitios permanentes establecidos por Sandoval (2006), donde el criterio para la ubicación de los sitios fue de manera sistemática, colocando el primer sitio de forma aleatoria; con una intensidad de

muestreo de 2.83%, con un tamaño de sitio de 100 m² de forma circular y con una distancia de 40.5 m, en total fueron ochenta y cinco sitios (Cortés, 2010).

Las mediciones se realizaron a un árbol representativo por categoría y especie de cada uno de los aproximadamente 85 sitios que fueron muestreados, el árbol tenía que ser dominante y con características fenotípicas deseables; las variables dasométricas evaluadas en el muestreo fueron: identificación especie, número de árboles por sitio, edad de plantación, diámetro normal a diferentes alturas del árbol (0, 0.30, 1.30, 2.30 y 3.30 m), altura total del árbol, grosor de corteza a 0.30 y 1.30 y por último el diámetro de copa.

Además de la evaluación realizada en el año 2011, también se utilizó una base de datos de evaluaciones de años anteriores que va desde 2005-2010 (excluyendo al 2009 donde no se realizó evaluación), aproximadamente de 85 sitios.

El tamaño de muestra para *Pinus pseudostrobus* fue de 772 árboles, para *Pinus patula* var. *longepedunculata* de 389 y finalmente para *Pinus douglasiana* de 368.

3.3 Estimación de volumen por tipos dendrométricos

La cubicación se realizó utilizando los tipos dendrométricos que presenta un árbol (Cailliez, 1980; Romahn *et al.*, 1994; Prodan *et al.*, 1997), utilizando el neiloide truncado, el paraboloides apolónico truncado y el cono.

Para el cálculo de volumen del tocón correspondiente a la altura 0 a 0.30 m se empleó la fórmula del neiloide truncado siendo el que más se asemeja al tocón:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot \ell \cdot \left(\frac{d_b^2 + \sqrt[3]{d_b^4 d_s^2} + \sqrt[3]{d_b^2 d_s^4} + d_s^2}{4} \right)$$

Donde:

V= volumen (m³)

$\pi = 3.141592$

ℓ = longitud de la troza (m)

d_b = diámetro a la base (m)

d_s = diámetro a 0.30 m (m)

A partir de los 0.30 m de longitud en adelante exceptuando la última sección (cono), el cálculo del volumen se realizó con la fórmula del paraboloido truncado:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot \ell \cdot \left(\frac{d_b^2 + d_s^2}{2} \right)$$

Donde:

V= volumen (m³)

$\pi = 3.141592$

ℓ = longitud de la troza (m)

d_b = diámetro del área menor (m)

d_s = diámetro del área mayor (m)

Y para el cálculo de la última sección se utilizó la fórmula del cono:

$$V = \frac{S_0 h}{3}$$

Donde:

V= volumen (m³)

S_0 = área de la base del cono (m²)

h = altura total del cono (m)

3.4 Análisis estadístico

El análisis de la información se realizó con el programa de regresión (PROC REG) del Sistema de Análisis Estadístico (SAS 9.0), donde se probaron 11 modelos los cuales se describen en el Cuadro 2, antes de decidir qué modelos de volumen probar, se buscó en la literatura para seleccionar los mejores modelos y más utilizados para estimar volumen en diversas especies de *Pinus* (Rentería, 1995; Pompa, 1997; Cumplido, 2002; Sandoval, 2006).

Cuadro 2. Modelos empleados para la elaboración de tablas de volúmenes para tres especies del género *Pinus* en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca.

Modelo	Ecuación
1	$V=a+bD^2H$
2	$V=a+bH+cD^2H$
3	$V=a+bD^2+cH+dD^2H$
4	$V=a+bD+cDH+dD^2+eD^2H$
5	$V=a+bD+cDH+dD^2+eH+fD^2H$
6	$V=a+bD^2+cD^2H+dH^2+eDH^2$
7	$\log V = \log a + b \log D + c \log H$
8	$\log V = \log a + b \log(D+1) + c \log H$
9	$\log V = \log a + b \log(D^2H)$
10	$\log V = \log a + b \log(H/D) + c \log(D^2H)$
11	$\log V = \log a + b \log H + c \log(D^2H)$

Donde: V= volumen (m³), D= diámetro normal (cm), H= altura total (m), log= logaritmo en base a 10, a, b, c, d, e y f= parámetros a estimar.

Analizado la respuesta de cada uno de los modelos como se demuestra en los Apéndices 1, 2 y 3, se continuó con la elección de la mejor ecuación lo cual debe hacerse lo más objetivamente posible siguiendo los siguientes criterios (Barrena *et al.*, 1986): coeficiente de determinación (R²) debe de ser cercano a uno, el cuadrado medio del error (CME), coeficiente de variación (CV), el índice de Furnival (I) deberán ser cercano a cero y por último el número de variables o factor “K” cual debe de ser menor.

El R² se emplea si la ecuación de regresión describe un proceso; si la ecuación estima o predice los valores, entonces se emplea el CME (Chatterjee y Price, 1977). El CV se utiliza para valorar la homogeneidad de sus valores. Se utiliza el Índice de Furnival, para comparar las ecuaciones que no tienen idéntica variable explicada ya que las variancias de ellas no se expresan en las mismas unidades (Furnival, 1961).

En el Cuadro 2 puede observarse que las ecuaciones de los modelos del 7 al 11, cuenta con variable dependiente transformada, por tal motivo el Índice de Furnival

tendrá el mayor prioridad para la selección del mejor modelo (en los Apéndices 4, 5 y 6, se muestra el cálculo del índice de Furnival),

El índice de Furnival se expresa de la siguiente manera:

$$I = [f'(v)]^{-1} S$$

Donde:

I= índice de Furnival

f'(v)= derivada de la variable dependiente

S= cuadrado medio del error

3.5 Validación de la ecuación

Con la finalidad de ser utilizados para la validación de los modelos, se procedió a seleccionar aleatoriamente de 2 a 4 árboles por categoría diamétrica y especie de la base original de datos, los cuales no formaron parte de los árboles utilizados en la estimación de los coeficientes (Davel y Trincado, 2000). Esto se realizó a fin de evaluar los modelos con una base de datos diferente a la utilizada para el ajuste.

Para comparar los modelos, deben utilizarse medidas de exactitud y sesgo de las estimaciones, por ello una elección práctica de validación, la cual para este trabajo se utilizó aquella que considera las técnicas estadísticas entre los valores estimados por el modelo y los valores reales de volumen.

Es por lo anterior que se recomienda el cálculo de los siguientes estadísticos coincidiendo con Prodan *et al.* (1997); Mora y Gómez (2003) y Machado *et al.* (2003).

- Diferencia Absoluta (DIFA):

$$DIFA = \sum |(O_i - E_i)|$$

Donde:

\sum = sumatoria

O_i = valor absoluto de volumen observado (m^3)

E_i = valor absoluto de volumen estimado

- Raíz cuadrada del error medio cuadrático (REMC):

$$\text{REMC} = \sqrt{\frac{\sum (O_i - E_i)^2}{n}}$$

Donde:

Σ = sumatoria

O_i = Valor observado (m^3)

E_i = Valor estimado (m^3)

n = Número de observaciones

- Diferencia agregada (DA):

$$\text{DA} = \frac{\sum (O_i - E_i)}{n}$$

Donde:

Σ = sumatoria

O_i = Valor observado (m^3)

E_i = Valor estimado (m^3)

n = Número de observaciones

Los estadísticos previamente mencionados deberán tener valores cercanos a cero, ya que según Romahn *et al.* (1994) y Prodan *et al.* (1997) si el modelo es insesgado, los resultados de estos serán cercanos a cero, y si fueran mayores a uno, la tabla será defectuosa, con errores de estimación muy altos, en cuyo caso es conveniente realizar otra estimación tomando más datos.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Selección de modelos para tablas de volúmenes

Para la elaboración de tablas de volúmenes se definió el mejor modelo de los 11 propuestos que se ajustaron al diagrama de dispersión, tomando en cuenta los siguientes criterios estadísticos: el coeficiente de determinación R^2 , el cuadrado medio del error (CME) y coeficiente de variación (CV) para comparar los modelos lineales con modelos transformados, se utilizó el índice propuesto por Furnival (1961), ya que tiene la ventaja de reflejar las dimensiones de los residuales en la comparación de modelos que tienen diferentes variables dependientes (Apéndices 1,2,3,4 y 5).

Debido a lo anterior en los Cuadro 3, 4 y 5 se puede comparar los resultados estadísticos para *Pinus pseudostrobus*, *P. patula* var. *longepedunculata* y *P. douglasiana*, respectivamente, sin embargo las ecuaciones 7, 8, 9,10 y 11 tienen la variable dependiente transformada, por lo tanto los estadísticos R^2 , CME y CV no pueden ser comparadas con las de la variable dependiente no transformada, pero con el índice de Furnival es posible.

El modelo que presentó mayor bondad de ajuste para *Pinus pseudostrobus* fue el 4, porque además de tener propiedades estadísticas deseables como un R^2 de 0.9838, CME de 0.000985 y un índice de Furnival de 0.03139 (Cuadro 3), garantiza su confiabilidad ya que tiene mayor ajuste al momento de darle uso, debido a que tiene menos parámetros estimadores en comparación con los demás modelos que presentaron mejor ajuste semejante a los que sucedió en otros trabajos (Velasco *et al.*, 2007; Machado *et al.*, 2003; Cailliez, 1980). De igual manera se eligió el modelo 4 para *Pinus patula* var. *longepedunculata* y *Pinus douglasiana* como se muestra en los Cuadros 4 y 5 respectivamente.

En comparación con lo anterior Cumplido (2002) realizó tablas de volúmenes para tres especies de *Pinus* en el estado de Chihuahua, en dicho trabajo el modelo que presentó mejor ajuste fue el variable combinada logarítmica, debido a que es más práctico en su aplicación por el menor número de parámetros que contiene. Por otra parte Velasco *et al.* (2007) de igual manera determinó que el modelo de la variable combinada es el que mejor ajuste presenta para *Pinus douglasiana* y *Pinus*

Cuadro 3. Modelos comparados y estadísticos empleados para la elaboración de tabla de volúmenes para *Pinus pseudostrabus* Lindl. en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca.

No	Ecuación	Parámetros de Regresión						I	R ² aj	R ²	CME	CV	K
		A	b	C	d	e	f						
1	$V=a+bD^2H$	0.06363	0.000108					0.06099	0.9386	0.9386	0.00372	22.70772	1
2	$V=a+bH+cD^2H$	-0.08991	0.02389	0.000079				0.03606	0.9785	0.9786	0.0013	13.43399	2
3	$V=a+bD^2+cH+dD^2H$	-0.07902	-0.000148	0.02333	0.000089			0.03564	0.9791	0.9792	0.00127	13.25028	3
4	$V=a+bD+cDH+dD^2+eD^2H$	0.03266	-0.01257	0.00288	0.000087	0.000015		0.03139	0.9837	0.9838	0.000985	11.68686	4
5	$V=a+bD+cDH+dD^2+eH+fD^2H$	0.06198	-0.01566	0.00352	0.000149	-0.00562	-0.000001	0.03125	0.9839	0.984	0.000977	11.6343	5
6	$V=a+bD^2+cD^2H+dH^2+eDH^2$	-0.00284	0.000326	0.000039	0.00116	0.000029		0.03406	0.9808	0.9809	0.00116	12.68101	4
7	$\log V = \log a + b \log D + c \log H$	-2.97446	0.97756	1.32879				0.03269	0.9639	0.964	0.00664	-10.73734	2
8	$\log V = \log a + b \log(D+1) + c \log H$	-3.1312	1.08692	1.32609				0.03194	0.9655	0.9656	0.00634	-10.49356	2
9	$\log V = \log a + b \log(D^2H)$	-2.92374	0.72858					0.04134	0.9422	0.9423	0.01062	-13.5812	1
10	$\log V = \log a + b \log(H/D) + c \log(D^2H)$	-2.97446	0.56001	0.76878				0.03269	0.9639	0.964	0.00664	-10.73734	2
11	$\log V = \log a + b \log H + c \log(D^2H)$	-2.97446	0.84001	0.48878				0.03269	0.9639	0.964	0.00664	-10.73734	2

Donde: V = Volumen (m³), D = Diámetro normal (cm), A = Altura total (m), log = Logaritmo en base a 10, a, b, c, d, e y f = Parámetros a estimar, I = Índice de Furnival, R² = Coeficiente de determinación, R²_{aj} = Coeficiente de determinación ajustado, CME = Cuadrado medio del error, CV = Coeficiente de variación, K = Número de variable. El modelo seleccionado se presenta de forma sombreada en el cuadro.

Cuadro 4. Modelos comparados y estadísticos empleados para la elaboración de tabla de volúmenes para *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca.

No	Ecuación	Parámetros de Regresión						I	R ² aj	R ²	CME	CV	K
		A	b	c	d	e	f						
1	$V=a+bD^2H$	0.08046	0.000108					0.079750	0.9484	0.9485	0.00636	22.94498	1
2	$V=a+bH+cD^2H$	-0.11880	0.031030	0.000075				0.037815	0.9884	0.9884	0.00143	10.8906	2
3	$V=a+bD^2+cH+dD^2H$	-0.11278	-0.000067	0.03086	0.000079			0.037683	0.9885	0.9886	0.00142	10.83537	3
4	$V=a+bD+cDH+dD^2+eD^2H$	0.03087	-0.013970	0.00328	0.000173	0.000004		0.026602	0.9943	0.9943	0.000708	7.65203	4
5	$V=a+bD+cDH+dD^2+eH+fD^2H$	0.06285	-0.015940	0.00395	0.000182	-0.00743	-0.000010	0.026164	0.9944	0.9945	0.000685	7.52604	5
6	$V=a+bD^2+cD^2H+dH^2+eDH^2$	-0.01708	0.000455	0.000038	0.00175	0.000002		0.031937	0.9917	0.9918	0.00102	9.19653	4
7	$\log V = \log a + b \log D + c \log H$	-2.94821	0.969450	1.35302				0.030381	0.9823	0.9824	0.00399	-9.28238	2
8	$\log V = \log a + b \log(D+1) + c \log H$	-3.10849	1.088280	1.34148				0.029058	0.9838	0.9839	0.00365	-8.88465	2
9	$\log V = \log a + b \log(D^2H)$	-2.92918	0.738780					0.044370	0.9622	0.9623	0.00851	-13.56533	1
10	$\log V = \log a + b \log(H/D) + c \log(D^2H)$	-2.94821	0.578860	0.77416				0.030381	0.9823	0.9824	0.00399	-9.28238	2
11	$\log V = \log a + b \log H + c \log(D^2H)$	-2.94821	0.868290	0.48473				0.030381	0.9823	0.9824	0.00399	-9.28238	2

Donde: V = Volumen (m³), D = Diámetro normal (cm), A = Altura total (m), log = Logaritmo en base a 10, a, b, c, d, e y f = Parámetros a estimar, I = Índice de Furnival, R² = Coeficiente de determinación, R²_{aj} = Coeficiente de determinación ajustado, CME = Cuadrado medio del error, CV = Coeficiente de variación, K = Número de variable. El modelo seleccionado se presenta de forma sombreada en el cuadro.

Cuadro 5. Modelos comparados y estadísticos empleados para la elaboración de tabla de volúmenes para a *Pinus douglasiana* Martínez en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca.

No	Ecuación	Parámetros de Regresión						I	R ² aj	R ²	CME	CV	K
		A	B	c	d	e	f						
1	$V=a+bD^2H$	0.04374	0.000107					0.053385	0.9448	0.9450	0.002850	25.68990	1
2	$V=a+bH+cD^2H$	-0.07563	0.022620	0.000077				0.036056	0.9748	0.9749	0.001300	17.36554	2
3	$V=a+bD^2+cH+dD^2H$	-0.05879	-0.000334	0.02387	0.000096			0.031170	0.9812	0.9813	0.000972	15.00763	3
4	$V=a+bD+cDH+dD^2+eD^2H$	0.05127	-0.012560	0.0028	-0.000087	0.000027		0.027925	0.9849	0.9851	0.000780	13.44541	4
5	$V=a+bD+cDH+dD^2+eH+fD^2H$	0.05354	-0.012680	0.00286	-0.000088	-0.000661	0.000026	0.027965	0.9848	0.9851	0.000782	13.46430	5
6	$V=a+bD^2+cD^2H+dH^2+eDH^2$	0.00353	0.000086	0.000063	0.001600	-0.000008		0.027507	0.9853	0.9855	0.000757	13.24419	4
7	$\log V = \log a + b \log D + c \log H$	-2.84866	0.761490	1.44799				0.030893	0.9424	0.9427	0.010120	-11.49964	2
8	$\log V = \log a + b \log(D+1) + c \log H$	-2.97963	0.870850	1.42527				0.030479	0.9440	0.9443	0.009850	-11.34111	2
9	$\log V = \log a + b \log(D^2H)$	-2.89876	0.703740					0.037911	0.9133	0.9135	0.015240	-14.10995	1
10	$\log V = \log a + b \log(H/D) + c \log(D^2H)$	-2.84866	0.711500	0.7365				0.030893	0.9424	0.9427	0.010120	-11.49964	2
11	$\log V = \log a + b \log H + c \log(D^2H)$	-2.84866	1.067250	0.38075				0.030893	0.9424	0.9427	0.010120	-11.49964	2

Donde: V = Volumen (m³), D = Diámetro normal (cm), A = Altura total (m), log = Logaritmo en base a 10, a, b, c, d, e y f = Parámetros a estimar, I = Índice de Furnival, R² = Coeficiente de determinación, R²_{aj} = Coeficiente de determinación ajustado, CME = Cuadrado medio del error, CV = Coeficiente de variación, K = Número de variable. El modelo seleccionado se presenta de forma sombreada en el cuadro.

pseudostrobus, ya que presenta estadísticos deseables y es práctico.

Los autores anteriores coinciden con el modelo de la variable combinada por su sencillez para estimar el volumen, sin embargo nuestros datos no se ajustan a dicho modelo, lo cual nos presentaría un sesgo en la elaboración de la tabla de volumen.

Machado *et al.* (2003) seleccionaron el modelo logarítmico de variable combinada para *Buchenavia capitata* Vahl., debido a que presentó alto coeficiente de determinación y bajo error estándar e índice de Furnival, además de su simplicidad al tener solamente dos variables, es decir, el modelo combina sencillez y facilidad de aplicación práctica; no obstante para nuestros datos dicho modelo de igual manera que el anterior presentaría un mal ajuste.

El modelo 4 ha sido utilizado por Barrena *et al.* (1986), Pompa *et al.* (1997), Moret *et al.* (1998), Cumplido (2002), Sandoval (2006) y Escobar (2007) en la estimación de volumen, sin embargo no ha resultado el seleccionado debido a que no presenta con los mejores estadísticos.

4.2 Validación de resultados

4.2.1 Validación del modelo para *Pinus pseudostrobus*

El desempeño de la estimación de volumen en contraste con el volumen real, se presenta en el Cuadro 6; donde se observa la comparación de dichos volumen de los cinco modelos que presentaron mejor ajuste.

Se puede notar que las diferencias absolutas de los modelos oscilan entre 0.025292 m³ para el modelo 5 y 0.685533 m³ para los modelos 7 y 11.

La ecuación que presenta las menores diferencias absolutas y por consecuencia el menor error de la estimación es el modelo 5, sin embargo su alta inestabilidad debida a que presenta el mayor número de parámetros estimadores lleva a elegir la ecuación del modelo 4, el cual sus valores de diferencias absolutas son de igual manera mínimas, las cuales van de 0.000474 m³ a 0.067025 m³. Esto indica que el modelo será apropiado para trabajar con los datos, ya que las diferencias absolutas son bajas; por esta razón se selección como la ecuación más adecuada para desarrollar la tabla de volumen para *Pinus pseudostrobus*.

4.2.2 Validación del modelo para *Pinus patula* var. *longepedunculata*

En cuanto a validación para *Pinus patula* var. *longepedunculata* se describe en el Cuadro 7, en el cual se puede notar que las diferencias absolutas de los modelos oscilan entre 0.339296 m³ para el modelo 4 y 1.738449 m³ para el modelo 5.

La ecuación que presenta las menores diferencias absolutas y por consecuencia el menor error de la estimación es el modelo 4, con valores que van de 0.000434 m³ a 0.114861 m³. Esto indica que dicho modelo será apropiado para trabajar con los datos, ya que las diferencias absolutas son bajas; por esta razón se selección como la ecuación más adecuada para desarrollar la tabla de volumen para *Pinus patula* var. *longepedunculata*.

4.2.3 Validación del modelo para *Pinus douglasiana*

La comparación de los volúmenes tanto reales como estimados para *Pinus douglasiana* se describe en el Cuadro 8, donde se puede notar que las diferencias absolutas de los modelos oscilan entre 0.140479 m³ para el modelo 4 y 2.592729 m³ para el modelo 5.

Por lo tanto la ecuación que presenta las menores diferencias absolutas y por consecuencia el menor error de la estimación es el modelo 4, con valores que van de 0.000110 m³ a 0.188603 m³. Esto indica que dicho modelo será apropiado para desarrollar la tabla de volumen para *Pinus douglasiana*.

4.2.4 Raíz cuadrada del error medio cuadrático (REMC) y Diferencia agregada (DA)

En el Cuadro 9, se muestran los valor de REMC y de DA por especie, en el cual se puede notar que los valores de REMC son muy bajos según Romahn *et al.* (1994) y Prodan *et al.* (1997) ya que son cercanos a cero, y no sobre pasan ni se igualan a uno, lo cual significa que los valores de los volúmenes estimados son muy cercanos a los valores de los volúmenes reales. En cuanto a la DA, Prodán *et al.* (1997) afirma que los signos negativos están asociados con sobreestimaciones y por ende los valores

Cuadro 6. Validación de las cinco mejores ecuaciones de volumen por medio de los errores de estimación (valores absolutos de las diferencias) para *Pinus pseudostrobus* Lindl.

CD	DAP	H	Volumen Real (m ³)	Volumen por clase diamétrica estimado (m ³)					Diferencias agregadas (m ³)				
				Modelo 4	Modelo 5	Modelo 7	Modelo 8	Modelo 11	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 7	Modelo 8	Modelo 11
5	7.4	8	0.099233	0.121351	0.117114	0.118928	0.117760	0.118928	-0.022118	-0.017881	-0.019695	-0.018527	-0.019695
5	5.5	6.7	0.080399	0.075266	0.072153	0.070302	0.070440	0.070302	0.005133	0.008247	0.010097	0.009959	0.010097
5	7.2	5.3	0.061078	0.060604	0.061132	0.066995	0.066450	0.066995	0.000474	-0.000054	-0.005918	-0.005373	-0.005918
5	7.4	5	0.075583	0.054988	0.056038	0.063687	0.063141	0.063687	0.020595	0.019545	0.011896	0.012442	0.011896
10	11	11.5	0.298454	0.289741	0.286611	0.283797	0.280779	0.283797	0.008713	0.011843	0.014656	0.017675	0.014656
10	9.7	7.5	0.116898	0.138822	0.137115	0.142214	0.140627	0.142214	-0.021924	-0.020218	-0.025316	-0.023729	-0.025316
10	8	5.7	0.081419	0.074358	0.074240	0.081802	0.080974	0.081802	0.007060	0.007179	-0.000383	0.000445	-0.000383
10	12.5	9	0.212140	0.233837	0.233119	0.232179	0.230565	0.232179	-0.021697	-0.020979	-0.020039	-0.018426	-0.020039
15	14.3	11	0.328487	0.356865	0.357496	0.345734	0.344703	0.345734	-0.028378	-0.029009	-0.017247	-0.016216	-0.017247
15	12.8	9.25	0.271508	0.249329	0.248775	0.246436	0.244877	0.246436	0.022179	0.022733	0.025072	0.026630	0.025072
15	15	8	0.251469	0.235781	0.235721	0.237278	0.237225	0.237278	0.015688	0.015749	0.014192	0.014244	0.014192
15	16.5	11	0.465949	0.415784	0.417366	0.397645	0.398899	0.397645	0.050165	0.048583	0.068304	0.067050	0.068304
20	19	11	0.478267	0.485664	0.486984	0.456447	0.461207	0.456447	-0.007397	-0.008718	0.021820	0.017060	0.021820
20	21.4	13.75	0.808763	0.743767	0.745502	0.689707	0.701299	0.689707	0.064996	0.063261	0.119056	0.107464	0.119056
20	21	11.5	0.559210	0.577307	0.577763	0.533990	0.542609	0.533990	-0.018097	-0.018553	0.025220	0.016601	0.025220
20	19.5	10.5	0.464159	0.469126	0.469842	0.440121	0.445410	0.440121	-0.004967	-0.005683	0.024038	0.018748	0.024038
25	26.2	15	1.007265	1.046692	1.039834	0.943611	0.971996	0.943611	-0.039427	-0.032569	0.063654	0.035269	0.063654
25	22.6	17	0.981621	1.027553	1.029897	0.964429	0.983403	0.964429	-0.045931	-0.048276	0.017192	-0.001782	0.017192
25	23	15	0.911572	0.900161	0.900554	0.830786	0.848364	0.830786	0.011411	0.011019	0.080787	0.063209	0.080787
25	26.5	19.5	1.410889	1.450868	1.443485	1.352176	1.392969	1.352176	-0.039979	-0.032595	0.058713	0.017920	0.058713
30	27.8	15	1.087314	1.122325	1.110471	0.999905	1.034298	0.999905	-0.035011	-0.023157	0.087409	0.053016	0.087409
30	28.2	13.5	1.013525	1.002037	0.989283	0.881499	0.913016	0.881499	0.011488	0.024241	0.132026	0.100509	0.132026
		Σ	11.065201	11.132227	11.090493	10.379669	10.571012	10.379669	0.067025	0.025292	0.685533	0.494189	0.685533

Donde: CD= Categoría diamétrica, DAP= Diámetro a la altura del pecho (cm), H= Altura total (m), Σ= Sumatoria.

Cuadro 7. Validación de las cinco mejores ecuaciones de volumen por medio de los errores de estimación (valores absolutos de las diferencias) de *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock.

CD	DAP	H	Volumen Real (m ³)	Volumen por clase diamétrica estimado (m ³)					Diferencias agregadas (m ³)				
				Modelo 4	Modelo 5	Modelo 7	Modelo 8	Modelo 11	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 7	Modelo 8	Modelo 11
5	6.5	4.2	0.069867	0.037628	0.040890	0.048210	0.047852	0.048211	0.032239	0.028977	0.021657	0.022015	0.021656
5	5	2.7	0.029074	0.009895	0.019750	0.020561	0.020750	0.020562	0.019179	0.009324	0.008513	0.008324	0.008512
5	7.3	10.5	0.139803	0.191758	0.177159	0.186392	0.182654	0.186396	-0.051955	-0.037356	-0.046589	-0.042851	-0.046593
5	5.7	6.5	0.082395	0.079231	0.074158	0.076641	0.076036	0.076642	0.003165	0.008237	0.005754	0.006359	0.005753
10	9.5	5.8	0.102374	0.095014	0.092560	0.106534	0.105179	0.106537	0.007360	0.009814	-0.004161	-0.002805	-0.004163
10	8.8	7.5	0.124836	0.140134	0.135025	0.141708	0.139354	0.141711	-0.015298	-0.010189	-0.016872	-0.014518	-0.016875
10	10	7	0.126882	0.140870	0.136422	0.146108	0.144052	0.146112	-0.013988	-0.009540	-0.019226	-0.017170	-0.019230
10	10.5	7	0.171017	0.147425	0.142611	0.153185	0.151192	0.153189	0.023592	0.028407	0.017832	0.019825	0.017829
15	15	9.5	0.376389	0.336195	0.324190	0.327214	0.326232	0.327222	0.040194	0.052200	0.049176	0.050157	0.049167
15	16.7	8	0.285220	0.292951	0.270425	0.287774	0.289156	0.287782	-0.007731	0.014795	-0.002554	-0.003936	-0.002562
15	15.6	10.3	0.401828	0.392096	0.379738	0.379187	0.378469	0.379198	0.009732	0.022090	0.022641	0.023359	0.022631
15	15.9	14	0.524571	0.596768	0.591599	0.585085	0.582509	0.585101	-0.072197	-0.067028	-0.060513	-0.057937	-0.060529
20	21.4	8.9	0.478272	0.452151	0.396023	0.422769	0.431068	0.422782	0.026121	0.082250	0.055503	0.047204	0.055490
20	21	6.8	0.268931	0.290640	0.228124	0.285549	0.291700	0.285557	-0.021709	0.040807	-0.016618	-0.022769	-0.016626
20	18.4	13.8	0.705683	0.680854	0.667815	0.657830	0.660707	0.657850	0.024829	0.037867	0.047852	0.044975	0.047833
20	20.9	11	0.595888	0.587757	0.546850	0.550340	0.558851	0.550357	0.008131	0.049038	0.045548	0.037037	0.045532
25	25.7	10.5	0.813815	0.698954	0.596314	0.631450	0.651416	0.631471	0.114861	0.217502	0.182365	0.162399	0.182345
25	24.7	10.5	0.690119	0.667648	0.580125	0.607617	0.624909	0.607636	0.022470	0.109993	0.082502	0.065209	0.082483
25	25.3	14.5	1.028124	1.028558	0.959991	0.962497	0.988033	0.962528	-0.000434	0.068132	0.065627	0.040091	0.065596
25	24.5	10.5	0.708110	0.661439	0.576756	0.602846	0.619619	0.602866	0.046672	0.131354	0.105264	0.088492	0.105245
30	29.3	10	0.701622	0.765447	0.590626	0.671220	0.700188	0.671243	-0.063826	0.110996	0.030402	0.001434	0.030379
30	27.5	20	1.724796	1.642026	1.583907	1.612392	1.659947	1.612446	0.082769	0.140889	0.112403	0.064848	0.112350
30	28.8	12	1.004270	0.945408	0.798523	0.844796	0.878153	0.844824	0.058862	0.205748	0.159474	0.126118	0.159446
30	30	23	2.176212	2.113470	2.040638	2.119484	2.194117	2.119556	0.062742	0.135574	0.056728	-0.017905	0.056655
35	33	24	2.518100	2.460561	2.335822	2.462446	2.568702	2.462532	0.057539	0.182278	0.055654	-0.050602	0.055568
35	34.4	17.5	1.758397	1.812418	1.582106	1.672099	1.756993	1.672158	-0.054022	0.176290	0.086298	0.001404	0.086239
		Σ	17.606595	17.267299	15.868147	16.561935	17.027835	16.562467	0.339296	1.738449	1.044661	0.578760	1.044129

Donde: CD = Categoría diamétrica, DAP= Diámetro a la altura del pecho (cm), H = Altura total (m), Σ= Sumatoria.

Cuadro 8. Validación de las cinco mejores ecuaciones de volumen por medio de los errores de estimación (valores absolutos de las diferencias) de *Pinus douglasiana* Martínez.

CD	DAP	H	Volumen Real (m ³)	Volumen por clase diamétrica estimado (m ³)					Diferencias agregadas (m ³)				
				Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7	Modelo 8	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7	Modelo 8
5	7	4.3	0.026147	0.048111	0.051720	0.048675	0.050673	0.050402	-0.021964	-0.025573	-0.022528	-0.024526	-0.024255
5	4.5	4	0.018932	0.045615	0.045917	0.035363	0.033154	0.033359	-0.026682	-0.026985	-0.016430	-0.014221	-0.014427
5	5.8	4.4	0.035737	0.051019	0.052219	0.045766	0.046174	0.045968	-0.015282	-0.016482	-0.010029	-0.010437	-0.010231
5	4	2.8	0.022778	0.032230	0.033267	0.020002	0.018084	0.018467	-0.009452	-0.010489	0.002776	0.004694	0.004311
10	8.7	5.8	0.058557	0.088765	0.094282	0.089019	0.093802	0.092852	-0.030208	-0.035725	-0.030462	-0.035245	-0.034295
10	5	3.2	0.036141	0.032560	0.034173	0.026089	0.025418	0.025601	0.003582	0.001969	0.010053	0.010723	0.010541
10	7	3.3	0.027945	0.028212	0.033329	0.034687	0.035130	0.035144	-0.000267	-0.005384	-0.006742	-0.007185	-0.007199
10	8.3	4.4	0.054729	0.051615	0.058739	0.058135	0.060663	0.060376	0.003114	-0.004009	-0.003406	-0.005934	-0.005647
15	16.7	9.1	0.296807	0.312503	0.367826	0.308033	0.295875	0.297893	-0.015697	-0.071019	-0.011226	0.000931	-0.001087
15	16.4	9	0.304771	0.301678	0.353615	0.297366	0.287187	0.288905	0.003093	-0.048844	0.007405	0.017583	0.015865
15	10.4	5.9	0.114403	0.100580	0.113188	0.105617	0.110151	0.109509	0.013823	0.001216	0.008786	0.004253	0.004895
15	11.8	6.4	0.124939	0.125049	0.144783	0.131626	0.134889	0.134510	-0.000110	-0.019844	-0.006687	-0.009950	-0.009571
20	18.7	11	0.447454	0.436639	0.511523	0.423672	0.396741	0.400983	0.010815	-0.064069	0.023781	0.050713	0.046471
20	17.6	11	0.403828	0.421627	0.477405	0.404962	0.389334	0.391810	-0.017799	-0.073577	-0.001134	0.014494	0.012019
20	13.6	6	0.120154	0.123339	0.160090	0.142691	0.138444	0.139130	-0.003184	-0.039936	-0.022537	-0.018290	-0.018976
20	14.7	7.3	0.191524	0.189297	0.231318	0.198242	0.193197	0.194103	0.002227	-0.039794	-0.006718	-0.001673	-0.002579
25	23	12	0.677480	0.632006	0.789389	0.624322	0.536546	0.548867	0.045474	-0.111908	0.053158	0.140934	0.128613
25	23	10	0.520128	0.505715	0.685198	0.522379	0.432785	0.444219	0.014413	-0.165070	-0.002251	0.087343	0.075909
25	23.5	13	0.748734	0.720226	0.878725	0.704452	0.607728	0.621610	0.028508	-0.129990	0.044282	0.141006	0.127124
25	21.7	8.5	0.354941	0.364189	0.526471	0.398118	0.327213	0.335690	-0.009248	-0.171530	-0.043177	0.027729	0.019251
30	30	15	1.270509	1.227069	1.578229	1.233497	0.953063	0.989395	0.043440	-0.307719	0.037012	0.317446	0.281114
30	30.9	20	1.900607	1.835127	2.104752	1.823688	1.478451	1.528499	0.065479	-0.204145	0.076919	0.422156	0.372108
30	32	20	1.726306	1.914909	2.233146	1.912962	1.518361	1.574298	-0.188603	-0.506840	-0.186656	0.207945	0.152008
30	31.1	12	0.904411	0.940356	1.421388	1.009368	0.709097	0.742052	-0.035945	-0.516977	-0.104958	0.195313	0.162358
		Σ	10.387962	10.528435	12.980691	10.598732	8.872157	9.103642	0.140473	2.592729	0.210770	1.515805	1.284320

Donde: CD = Categoría diamétrica, DAP= Diámetro a la altura del pecho (cm), H = Altura total (m), Σ= Sumatoria.

positivos indican subestimación, con lo anterior se puede precisar que la ecuación del modelo 4 para *Pinus pseudostrobus* y *Pinus douglasiana* sobreestima en un porcentaje menor al 1%, el cual es bastante bajo, y para *Pinus patula* var. *longepedunculata* subestima de igual manera. Debido a que los porcentajes de error son muy bajos se puede concretar que dicha ecuación es confiable para la estimación de volumen para las tres especies.

Cuadro 9. Estadísticos resultantes de la validación de la ecuación perteneciente al modelo seleccionado por especie.

Especie	REMC	DA
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	0.01429	-0.00305
<i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock	0.066542	0.01305
<i>Pinus douglasiana</i> Martínez	0.028674	-0.00639

Donde: REMC= raíz cuadrada del error medio cuadrático, DA= diferencia agregada.

Mora y Gómez (2003) encontraron que las diferencias absolutas promedio de todos los modelos oscilaban entre 0.0319 m³ para el modelo 25 y 0.0578 m³ para el modelo 6. La ecuación que presentó las menores diferencias absolutas y por consiguiente el menor error de estimación fue el modelo 25, con valores que iban de 0.001 m³ a 0.023 m³, a excepción de la última clase que presenta la mayor diferencia (0.230 m³). Esto indicó que el modelo 25 fue el más apropiado para trabajar los datos de la muestra; por esa razón, se seleccionó como la función más adecuada para desarrollar la tabla de volumen de una entrada para árboles individuales en plantaciones de teca en la vertiente del Pacífico.

Machado *et al.* (2003) realizó una tabla de volumen para *Buchenavia capitata* Vahl, dicha especie forma parte de los bosques pluvisilvas (selvas lluviosas) de montaña en la región de Baracoa, provincia de Guantánamo en Cuba, en dicho estudio los errores absolutos de igual están por debajo de uno, lo cual indica que las diferencias entre los volúmenes reales y estimados son mínimas.

4.3 Tablas de volúmenes

Como resultado de este estudio en los Cuadros 10, 11 y 12 se presentan las tablas de volumen obtenidas para los tres predios.

Las cuales son altamente confiables con las categorías diamétricas y alturas estudiadas, ya que sus errores de estimación son mínimos. En categorías y alturas mayores podrían presentar un mayor error, ya que no fueron estimadas para tales, debido a que es una plantación joven y no se cuenta con datos mayores a los estudiados.

Cuadro 10. Tabla de volumen para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca.

Categoría diamétrica (cm)	Altura (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	0.450980	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	3.021785
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

Ecuación: $V = 0.03266 + (-0.01257 \cdot D) + (0.00288 \cdot D \cdot H) + (0.000087 \cdot D^2) + 0.000015 \cdot D^2 \cdot H$

Donde= V= Volumen total con corteza por árbol (m³), D= Diámetro a la altura del pecho (cm), H= Altura total (m). Los valores sombreados corresponden al área recomendada de aplicación de la ecuación.

Cuadro 11. Tabla de volumen para *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca.

Categoría diamétrica (cm)	Altura (m)							
	5	10	15	20	25	30	35	40
5	0.047845	0.130345	0.212845	0.295345	0.377845	0.460345	0.542845	0.625345
10	0.074470	0.240470	0.406470	0.572470	0.738470	0.904470	1.070470	1.236470
15	0.110745	0.361245	0.611745	0.862245	1.112745	1.363245	1.613745	1.864245
20	0.156670	0.492670	0.828670	1.164670	1.500670	1.836670	2.172670	2.508670
25	0.212245	0.634745	1.057245	1.479745	1.902245	2.324745	2.747245	3.169745
30	0.277470	0.787470	1.297470	1.807470	2.317470	2.827470	3.337470	3.847470
35	0.352345	0.950845	1.549345	2.147845	2.746345	3.344845	3.943345	4.541845
40	0.436870	1.124870	1.812870	2.500870	3.188870	3.876870	4.564870	5.252870

Ecuación: $V = 0.03087 + (-0.01397 \cdot D) + (0.00328 \cdot D \cdot H) + (0.000173 \cdot D^2) + 0.000004 \cdot D^2 \cdot H$

Donde= V= Volumen total con corteza por árbol (m³), D= Diámetro a la altura del pecho (cm), H= Altura total (m). Los valores sombreados corresponden al área recomendada de aplicación de la ecuación.

Cuadro 12. Tabla de volumen para *Pinus douglasiana* Martínez en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca.

Categoría diamétrica (cm)	Altura (m)							
	5	10	15	20	25	30	35	40
5	0.059730	0.133164	0.206598	0.280032	0.353465	0.426899	0.500333	0.573767
10	0.070711	0.224446	0.378181	0.531916	0.685651	0.839386	0.993121	1.146856
15	0.084212	0.325116	0.566020	0.806924	1.047827	1.288731	1.529635	1.770539
20	0.100234	0.435174	0.770114	1.105054	1.439994	1.774934	2.109874	2.444814
25	0.118776	0.554620	0.990464	1.426308	1.862151	2.297995	2.733839	3.169683
30	0.139839	0.683454	1.227069	1.770684	2.314299	2.857914	3.401529	3.945144
35	0.163422	0.821676	1.479930	2.138184	2.796437	3.454691	4.112945	4.771199
40	0.189526	0.969286	1.749046	2.528806	3.308566	4.088326	4.868086	5.647846

Ecuación: $V = 0.05127 + (-0.012560 \cdot D) + (0.0028 \cdot D \cdot H) + (-0.000087 \cdot D^2) + 0.000027 \cdot D^2 \cdot H$

Donde= V= Volumen total con corteza por árbol (m³), D= Diámetro a la altura del pecho (cm), H= Altura total (m). Los valores sombreados corresponden al área recomendada de aplicación de la ecuación.

5 CONCLUSIONES

Los modelos son confiables por su buen tamaño de muestra.

El modelo 4 puede emplearse para predecir el volumen de fuste total árbol con corteza para *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula* var. *longepedunculata* y *Pinus douglasiana* en los predios de “Rancho Río San José”, “Lastina y Río Yubto” y “Santa Ana y Ojo de Agua”, pertenecientes al Distrito de Miahuatlán, Oaxaca.

Las diferencias entre volumen real de los árboles y el estimado por el modelo 4 son mínimas, por lo tanto las ecuaciones seleccionadas pueden ser utilizadas para estimar el volumen de los tres predios de Oaxaca.

6 RECOMENDACIONES

Aumentar el número de mediciones sobre el fuste para aumentar la confiabilidad de los datos, debido a que a mayor número de trozas mayor precisión.

Se debe considerar en años posteriores la elaboración de nuevas tablas de volumen, debido a que dichas plantaciones son jóvenes y se encuentran bajo manejo forestal.

Las tablas son sólo aplicables en los predios en donde se tomó la información de campo.

Las parcelas permanentes necesitan de una remarcación de los árboles representativos por categoría diamétrica, debido a que se puede presentar confusión a la hora de evaluar.

7 LITERATURA CITADA

- Aguirre D., H. 1991. Tabla de volúmenes para la especie *Pinus rudis* Endl. en San Miguel Aloapan, Ixtlán, Oaxaca. Desplegado Informativo. Instituto Nacional Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. No. 2. Santo Domingo, Etlá, Oaxaca. México. 5 p.
- Avery, T. E. 1967. Forest measurements. McGraw-Hill Book Co. USA. 290 p.
- Barrena A., V., J. Dancé C., y D. Sáenz Y. 1986. Metodología para la selección de ecuaciones de volumen. Revista Forestal del Perú. 13 (2): 1-10.
- Caballero D., M. 1973. Elaboración de tablas de volúmenes por medio del empleo de la variable combinada. Revista Bosques. VIII (1): 14-27.
- Caballero D., M. y S. Frola P., 1976. Análisis de un caso práctico relativo a la elaboración de tablas de volúmenes de aplicación directa a rodales. Pub. No.35. Dirección General del Inventario Nacional Forestal, SFF, SAG. México. 35 p.
- Cailliez, F. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción de rendimiento, con especial referencia a los trópicos. Estimación de volumen. FAO: Montes No. 22/1. Roma, Italia. 92 p.
- Calvillo G., J. C. 2003. Estudio epidométrico para *Pinus herrerae* Martínez en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 68 p.
- Carrillo A., F, M. Acosta M., G. Tenorio G. y F. Becerra L. 2004. Tabla de volumen para *Pinus patula* Schl. et Cham. en el estado de Hidalgo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. SAGARPA. Folleto técnico 2. Pachuca, Hidalgo, México. 21 p.
- Chatterjee, S. y B. Price.1977. Regression analysis by example. John Wiley and Sons. New York. 228 p.
- CONAFOR. (s.f.). Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales comerciales en México Conafor. Zapopan, Jalisco, México. 472 p.
- 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. Saltillo, Coahuila, México. 73 p.

- Cumplido O., R. 2002. Tablas de volúmenes y de incrementos para tres especies del genero *Pinus* de tres predios del estado de Chihuahua, México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México. 114 p.
- Davel, M. y G. Trincado. 2000. Evaluación de modelos fustales para *Pseudotsuga menziessi* en la Patagonia Andina Argentina. Investigación Agraria. Sistema y Recursos Forestales 9(1): 103-116.
- Del Castillo, R.F., J.A. Pérez de la R., G. Vargas A. y R. Rivera G. 2004. Coníferas. In: A.J. García-Mendoza, M.J. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds.), *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología, UNAM, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wild life Fund. México. Pp. 141-158.
- Díaz F., V. H. y B. G., Díaz H. 2007. *Paulownia elongata*: una alternativa para el establecimiento de plantaciones forestales en las áreas tropicales y subtropicales del estado de Oaxaca. [En línea]. Oaxaca, Oaxaca, México. [Fecha de consulta: 4 diciembre 2012]. Disponible en: <www.oeidrusoaxaca.gob.mx/produccion/contenido.pdf>.
- Escobar C., J. N. 2007. Compendio automatizado de tablas de volúmenes para árboles en México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México. 64 p.
- Fierros G., A. M. (s.f.). Programa de desarrollo de plantaciones forestales comerciales, a 15 años de su creación. Comisión Nacional Forestal. Zapopan, Jalisco, México. 198 p.
- Furnival, G. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. *Forest Science* 7(4): 337-341.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México. 217 p.
- Herrera M., V. 1995. Elaboración de una tabla y tarifa de volumen para *Pinus hartwegii* Lindl., en el Cerro Potosí, Galeana, Nuevo León. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México. 53 p.
- Husch B., C. Miller I., y W. Beers W. 1972. *Forest mensuration*. Ronald Press Company. New York. USA. 410 p.
- INEGI. 1985. Carta edafológica. E14-12. Zaachila. Escala: 1: 250 000. Oaxaca, México.

- INEGI. 1989. Carta geológica. E14-12. Zaachila. Escala: 1: 250 000. Oaxaca, México.
- INEGI. 1993. Anuario estadístico de Oaxaca. Anuario estadístico forestal Oaxaca. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. 485 p.
- INEGI. 1997. Anuario estadístico forestal Oaxaca. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
- Jiménez P., J., O. A. Aguirre C., E. J. Treviño G. y A. Domínguez C. 1998. Desarrollo de un sistema matemático para la elaboración de tarifas volumétricas en especies arbóreas. *Revista Madera y Bosques*. 4(2): 67-77.
- Machado C., E. G., A. Pereira, N. A. Ríos. 2003. Tabla de volumen para *Buchenavia capitata* Vahl. *Quebracho* 10: 76-82.
- Merino-Pérez, L. 2004. Conservación o deterioro. El impacto de las políticas públicas en las instituciones comunitarias y en las prácticas de uso de los recursos forestales. [En línea]. México. [Fecha de consulta: 3 de Julio 2012]. Disponible en: <<http://www.ine.gob.mx/publicaciones/download/>>.
- Monreal R., S. B. 2005. Las plantaciones forestales comerciales, una alternativa real para el campo mexicano. En: memoria del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales, 26–28 de octubre. Chihuahua, Chihuahua, México. 536 p.
- Mora C., F. A. y M. Gómez Q. 2003. Ecuaciones y tablas de volumen para árboles individuales en plantaciones de Teca (*Tectona grandis*). Vertiente del Pacífico, Costa Rica. Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR). Costa Rica. 24 p.
- Moret, A. Y., M. Jerez y A. Mora. 1998. Determinación de ecuaciones de volumen para plantaciones de Teca (*Tecotona grandis* L.) en la unidad experimental de la Reserva Forestal Caparo, Estado Barinas-Venezuela. *Revista Forestal Venezuela* 42(1): 41-50.
- Mortenson, E. 1969. Informe de una expedición a México y América Central para obtener semillas de pinos tropicales. FAO. [En línea]. [Fecha de consulta: 16 de febrero 2013]. Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/006/d4959s/D4959S02.htm>>
- Ortiz E., J. A. 1990. Tablas de volúmenes basadas en análisis troncales. Tesis de Licenciatura. . Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México. 34 p.

- Pérez C., L. D. y M. Kanninen. 2003. Estimación del volumen comercial a diámetros y alturas variables para *Tectona grandis* L.F. en Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana* 39: 56-59.
- Perry J. P., Jr. 1991. *The pines of Mexico and Central America*. Timber Press. Portland, Oregon. 231p.
- Pompa G., M. 1997. Sistema de cubicación para el género *Pinus* en la UCODEFO No. 7 "Norogachi-Guachochi", Chihuahua. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados Texcoco, Estado de México, México. 105 p.
- Prodan M., R. Peters, F. Cox y P. Real. 1997. *Mensura forestal*. IICA/GTZ. San José, Costa Rica. 586 p.
- Quiñónez C., A. 2002. Tecnología para la determinación de volúmenes maderables de tres especies de pino del estado de Durango. Ficha tecnológica. INIFAP-SAGARPA. Durango, México. 2 p.
- Rentería A., J. B. 1995. Sistema de cubicación para *Pinus cooperi* Blanco mediante ecuaciones de ahusamiento en Durango. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México, México. 77 p.
- Romahn de la V., C., H. Ramírez M. y J.L. Treviño G. 1994. *Dendrometría*. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México. 354 p.
- Romero H., A. E. 2005. Tabla de volúmenes para *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen, en su área de distribución natural en los estados de Puebla y Veracruz. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México. 79 p.
- Sandoval G., C. 2006. Evaluación de sobrevivencia, estado fitosanitario y crecimiento de plantaciones de pinos en Miahuatlán, Oaxaca. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. Coahuila. 33 p.
- SEMARNAP. 2000. Conservación y manejo comunitario de los recursos forestales en Oaxaca. Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. Delegación Oaxaca. Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México. 212 p.
- Sosa C., V. E. 2004. Plan estratégico forestal del estado de Oaxaca 2007-2030. Gobierno del Estado de Oaxaca, SEMARNAT y CONOFOR. Linares, Nuevo León, México. 253 p.
- Spurr S., H. 1952. *Forest Inventory*. The Ronald Press Company. USA. 476 p.

- Tenorio G., G. 2003. Tabla de volumen para *Pinus patula* Schl. et Cham. en el estado de Hidalgo. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México. 78 p.
- Torres R., J. M. y O. S. Magaña T. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Editorial Limusa y Grupo Noriega editores. México. 472 p.
- UMAFOR. 2008. Estudio regional de Miahuatlán-Pochutla, Oaxaca. UMAFOR 20-08, Oaxaca, Oaxaca.177p.
- Velasco B., E., S. Madrigal H., I. Vázquez C., F. Moreno S. y A. González H. 2007. Tablas de volumen con corteza para *Pinus douglasiana* y *Pinus pseudostrobus* del Sur-Occidente de Michoacán. Revista Ciencia Forestal en México 32(101): 93-1.

APÉNDICE

Apéndice 1. Análisis de varianza para diferentes modelos aplicados a *Pinus pseudostrobus* en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca.

Modelo 1					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	42.56944	42.56944	11442.7	<.0001
Error	748	2.78274	0.00372		
Total corregido	749	45.35217			

Modelo 2					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	44.37953	22.18976	17041.9	<.0001
Error	747	0.97265	0.0013		
Total corregido	749	45.35217			

Modelo 3					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	44.40722	14.80241	11685.8	<.0001
Error	746	0.94496	0.00127		
Total corregido	749	45.35217			

Modelo 4					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	4	44.61804	11.15451	11319.6	<.0001
Error	745	0.73413	0.000985		
Total corregido	749	45.35217			

Modelo 5					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	44.62561	8.92512	9139.24	<.0001
Error	744	0.72657	0.000977		
Total corregido	749	45.35217			

Apéndice 1. Análisis de varianza para diferentes modelos aplicados a *Pinus pseudostrobus* en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca. Continuación.

Modelo 6					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	4	44.48783	11.12196	9586.28	<.0001
Error	745	0.86435	0.00116		
Total corregido	749	45.35217			

Modelo 7					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	132.66917	66.33458	9990.72	<.0001
Error	747	4.9598	0.00664		
Total corregido	749	137.62896			

Modelo 8					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	132.89183	66.44591	10477.9	<.0001
Error	747	4.73714	0.00634		
Total corregido	749	137.62896			

Modelo 9					
Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	129.68335	129.68335	12208.4	<.0001
Error	748	7.94561	0.01062		
Total corregido	749	137.62896			

Modelo 10					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	132.66917	66.33458	9990.72	<.0001
Error	747	4.9598	0.00664		
Total corregido	749	137.62896			

Modelo 11					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	132.66917	66.33458	9990.72	<.0001
Error	747	4.9598	0.00664		
Total corregido	749	137.62896			

Apéndice 2. Análisis de varianza para diferentes modelos aplicados a *Pinus patula* var. *longepedunculata* en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca.

Modelo 1					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	42.33130	42.33130	6652.76	<.0001
Error	361	2.29703	0.00636		
Total corregido	362	44.62833			

Modelo 2					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	44.11228	22.05614	15386.6	<.0001
Error	360	0.51605	0.00143		
Total corregido	362	44.62833			

Modelo 3					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	44.11892	14.70631	10364.1	<.0001
Error	359	0.50941	0.00142		
Total corregido	362	44.62833			

Modelo 4					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	4	44.37498	11.09374	15676.2	<.0001
Error	358	0.25335	0.000708		
Total corregido	362	44.62833			

Modelo 5					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	44.38394	8.87679	12967.0	<.0001
Error	357	0.24439	0.000685		
Total corregido	362	44.62833			

Apéndice 2. Análisis de varianza para diferentes modelos aplicados a *Pinus patula* var. *longepedunculata* en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca. Continuación.

Modelo 6					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	4	44.26238	11.06560	10825.4	<.0001
Error	358	0.36594	0.00102		
Total corregido	362	44.62833			

Modelo 7					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	80.04364	40.02182	10041.2	<.0001
Error	360	1.43487	0.00399		
Total corregido	362	81.47851			

Modelo 8					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	80.16397	40.08198	10976.8	<.0001
Error	360	1.31454	0.00365		
Total corregido	362	81.47851			

Modelo 9					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	78.40553	78.40553	9210.73	<.0001
Error	361	3.07298	0.00851		
Total corregido	362	81.47851			

Modelo 10					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	80.04364	40.02182	10041.2	<.0001
Error	360	1.43487	0.00399		
Total corregido	362	81.47851			

Modelo 11					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	80.04364	40.02182	10041.2	<.0001
Error	360	1.43487	0.00399		
Total corregido	362	81.47851			

Apéndice 3. Análisis de varianza para diferentes modelos aplicados a *Pinus douglasiana* en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca.

Modelo 1					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	16.72745	16.72745	5875.64	<.0001
Error	342	0.97364	0.00285		
Total corregido	343	17.70109			

Modelo 2					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	17.25750	8.62875	6633.18	<.0001
Error	341	0.44359	0.00130		
Total corregido	343	17.70109			

Modelo 3					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	17.37076	5.79025	5959.69	<.0001
Error	340	0.33033	0.000972		
Total corregido	343	17.70109			

Modelo 4					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	4	17.43673	4.35918	5589.95	<.0001
Error	339	0.26436	0.000780		
Total corregido	343	17.70109			

Modelo 5					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	5	17.43677	3.48735	4459.43	<.0001
Error	338	0.26432	0.000782		
Total corregido	343	17.70109			

Apéndice 3. Análisis de varianza para diferentes modelos aplicados a *Pinus douglasiana* en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca. Continuación.

Modelo 6					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	4	17.44458	4.36115	5763.69	<.0001
Error	339	0.25651	0.000757		
Total corregido	343	17.70109			

Modelo 7					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	56.83232	28.41616	2806.72	<.0001
Error	341	3.45239	0.01012		
Total corregido	343	60.28471			

Modelo 8					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	56.92685	28.46343	2890.54	<.0001
Error	341	3.35786	0.00985		
Total corregido	343	60.28471			

Modelo 9					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	55.07187	55.07187	3613.11	<.0001
Error	342	5.21284	0.01524		
Total corregido	343	60.28471			

Modelo 10					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	56.83232	28.41616	2806.72	<.0001
Error	341	3.45239	0.01012		
Total corregido	343	60.28471			

Modelo 11					
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	56.83232	28.41616	2806.72	<.0001
Error	341	3.45239	0.01012		
Total corregido	343	60.28471			

Apéndice 4. Cálculo del índice de Furnival. Comparación de ecuaciones con variables dependientes transformados con otras ecuaciones de variables dependientes no transformadas para *Pinus pseudostrobus* en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca. El valor más bajo de índice de Furnival se presenta sombreado.

Paso	Símbolo	Ec 1	Ec 2	Ec 3	Ec 4	Ec 5	Ec 6
1	S	0.060992	0.036056	0.035637	0.031391	0.03125	0.034059
2	$\sum \text{Log}_{10}[\text{F}'(\text{Y})]^{-1}$	0	0	0	0	0	0
3	(2)/N	0	0	0	0	0	0
4	Antilog (3)	1	1	1	1	1	1
5	(S)*(4)	0.060992	0.036056	0.035637	0.031391	0.03125	0.034059

Paso	Símbolo	Ec 7	Ec 8	Ec 9	Ec 10	Ec 11
1	S	0.081486	0.079624	0.103053	0.081486	0.081486
2	$\sum \text{Log}_{10}[\text{F}'(\text{Y})]^{-1}$	-297.498288	-297.498288	-297.498288	-297.498288	-297.498288
3	(2)/N	-0.396664	-0.396664	-0.396664	-0.396664	-0.396664
4	Antilog (3)	0.401177	0.401177	0.401177	0.401177	0.401177
5	(S)*(4)	0.03269	0.031943	0.041343	0.03269	0.03269

Donde: Ec = Ecuación, S = Desviación estándar, $\sum \text{Log}_{10} [\text{F}'(\text{Y})]^{-1}$ = Sumatoria del logaritmo base 10 de la derivada del volumen (m^3), Log_{10} = Logaritmo en base 10, (3) (antilog) = Antilogaritmo en base 10 del valor en el paso número tres, (2)/N = Paso número dos entre el número de observaciones utilizadas, (s)*(4) = La desviación estándar por el paso número cuatro. El índice de Furnival seleccionado se presenta con sombra en el cuadro.

Apéndice 5. Cálculo del índice de Furnival. Comparación de ecuaciones con variables dependientes transformados con otras ecuaciones de variables dependientes no transformadas para *Pinus patula* var. *longepedunculata* en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca. El valor más bajo de índice de Furnival se presenta sombreado.

Paso	Símbolo	Ec 1	Ec 2	Ec 3	Ec 4	Ec 5	Ec 6
1	S	0.079750	0.037815	0.037683	0.026602	0.026164	0.031937
2	$\sum \text{Log}_{10} [F'(Y)]^{-1}$	0	0	0	0	0	0
3	(2)/N	0	0	0	0	0	0
4	Antilog (3)	1	1	1	1	1	1
5	(S)*(4)	0.079750	0.037815	0.037683	0.026602	0.026164	0.031937

Paso	Símbolo	Ec 7	Ec 8	Ec 9	Ec 10	Ec 11
1	S	0.063166	0.060415	0.092250	0.063166	0.063166
2	$\sum \text{Log}_{10} [F'(Y)]^{-1}$	-115.390321	-115.390321	-115.390321	-115.390321	-115.390321
3	(2)/N	-0.317880	-0.317880	-0.317880	-0.317880	-0.317880
4	Antilog (3)	0.480973	0.480973	0.480973	0.480973	0.480973
5	(s)*(4)	0.030381	0.029058	0.044370	0.030381	0.030381

Donde: Ec = Ecuación, S = Desviación estándar, $\sum \text{Log}_{10} [F'(Y)]^{-1}$ = Sumatoria del logaritmo base 10 de la derivada del volumen (m^3), Log_{10} = Logaritmo en base 10, (3)(antilog) = Antilogaritmo en base 10 del valor en el paso número tres, (2)/N = Paso número dos entre el número de observaciones utilizadas, (s)*(4) = La desviación estándar por el paso número cuatro. El índice de Furnival seleccionado se presenta con sombra en el cuadro.

Apéndice 6. Cálculo del índice de Furnival. Comparación de ecuaciones con variables dependientes transformados con otras ecuaciones de variables dependientes no transformadas para *Pinus douglasiana* en la Sierra Sur, Miahuatlán, Oaxaca. El valor más bajo de índice de Furnival se presenta sombreado.

Paso	Símbolo	Ec 1	Ec 2	Ec 3	Ec 4	Ec 5	Ec 6
1	S	0.053385	0.036056	0.031170	0.027925	0.027965	0.027507
2	$\sum \text{Log}_{10}[\text{F}'(\text{Y})]^{-1}$	0	0	0	0	0	0
3	(2)/N	0	0	0	0	0	0
4	Antilog (3)	1	1	1	1	1	1
5	(S)*(4)	0.053385	0.036056	0.031170	0.027925	0.027965	0.027507

Paso	Símbolo	Ec 7	Ec 8	Ec 9	Ec 10	Ec 11
1	S	0.100598	0.099247	0.12345	0.100598	0.100598
2	$\sum \text{Log}_{10}[\text{F}'(\text{Y})]^{-1}$	-176.3772	-176.3772	-176.3772	-176.3772	-176.3772
3	(2)/N	-0.512725	-0.512725	-0.512725	-0.512725	-0.512725
4	Antilog (3)	0.307097	0.307097	0.307097	0.307097	0.307097
5	(S)*(4)	0.030893	0.030479	0.037911	0.030893	0.030893

Donde: Ec = Ecuación, S = Desviación estándar, $\sum \text{Log}_{10} [\text{F}'(\text{Y})]^{-1}$ = Sumatoria del logaritmo base 10 de la derivada del volumen (m^3), Log_{10} = Logaritmo en base 10, (3) (antilog) = Antilogaritmo en base 10 del valor en el paso número tres, (2)/N = Paso número dos entre el número de observaciones utilizadas, (s)*(4) = La desviación estándar por el paso número cuatro. El índice de Furnival seleccionado se presenta con sombra en el cuadro.