



**UNIVERSIDAD DEL MAR**  
**CAMPUS PUERTO ESCONDIDO**

**CRECIMIENTO DE PLANTACIONES DE *Pinus patula* var.  
*longepedunculata* Loock EN LA SIERRA SUR DE OAXACA**

**TESIS**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO FORESTAL**

**PRESENTA:**

**ADRIAN PEDRO CRUZ**

**DIRECTOR:**

**M. en C. ROLANDO GALÁN LARREA**

**Puerto Escondido, Oaxaca. Julio de 2014.**



# Universidad del Mar


Puerto Escondido ~ Puerto Angel ~ Huatulco  
O A X A C A

Puerto Escondido, Oaxaca, junio de 2014.

## ACTA DE REVISIÓN DE TESIS


Después de realizar una revisión detallada de la Tesis titulada “Crecimiento de plantaciones de *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock en la Sierra Sur de Oaxaca”, presentada por el pasante en Ingeniería Forestal **Adrian Pedro Cruz**, se considera que cumple con los requisitos y la calidad necesaria para ser defendida en el examen profesional.

### COMISIÓN REVISORA



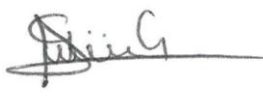
---

**M. en C. Rolando Galán Larrea**  
Universidad del Mar  
**Director de tesis**




---

**Dr. Héctor Manuel De los Santos Posadas**  
Colegio de Postgraduados  
**Revisor**




---

**M. C. Celestino Sandoval García**  
Universidad del Mar  
**Revisor**



---

**M. en C. Gricelda Valera Venegas**  
Universidad del Mar  
**Revisor**



---

**Dra. Juana Laura Rivera Nava**  
Universidad del Mar  
**Revisor**

## DEDICATORIA

A mi querida esposa **Anita León Santiago**, mujer valiente y fuerte que Dios me dio para ser mi ayuda idónea, gracias por tu amor, por tu paciencia, además de esforzarte y ser padre y madre de nuestros hijos durante cinco años, pero este trabajo es el fruto de mi ausencia y tú has sido parte esencial para lograrlo.

A mis hijos **Elvis Imanol y Zurisadai**, regalo y herencia de Dios, que soportaron mi ausencia pero que gracias a Dios su corazón ha sido guardado y hoy sigo escuchando de sus labios la palabra “papi”.

A mis padres **Adrián Pedro Pedro y Feliciano Cruz Santiago** por ser parte fundamental para alcanzar esta meta, gracias por todos sus consejos, siempre pensando en formar un hombre de bien.

A mis hermanos **Flor de María, Jazmín, Damián y Marisol**, por todos los momentos vividos desde nuestra niñez y por todo el apoyo moral.

## AGRADECIMIENTOS

- Porque el **Señor** da la sabiduría, y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia (Proverbios 2:6).
- Agradezco infinitamente a **Dios** por darme la gracia de la vida y permitirme alcanzar esta meta, a Él sea la gloria y el honor.
- A la **Universidad del Mar** por darme la oportunidad de realizar mis estudios, por su excelencia académica y su compromiso en formar profesionistas competitivos, además por todo el apoyo proporcionado durante estos cinco años.
- Al **M. en C. Rolando Galán Larrea** a quien le agradezco infinitamente, no cabe duda que Dios pone a las personas indicadas en el camino para hacernos crecer y aprender de ellas; gracias por dirigir este proyecto, por sus consejos y todo el apoyo desinteresado, tanto en las salidas al campo como en las revisiones y charlas, siempre pensando en mi crecimiento personal y profesional, gracias profesor.
- Al **Dr. Héctor Manuel De los Santos Posadas** por sus comentarios acertados que fueron importantes para terminar el presente trabajo.
- A la **Dra. Juana Laura Rivera Nava**, por las revisiones y comentarios realizados, además de todo el apoyo proporcionado tanto moral como profesional, gracias Profa. por los regaños se lo agradezco, pues las palabras nunca regresan vacías.
- A la **M. en C. Gricelda Valera Venegas** por las revisiones al presente y por aportar a mi educación profesional, además por la información y apoyo brindado durante mi estancia en la Universidad.
- Al **M.C. Celestino Sandoval García** por sus comentarios y observaciones realizados que ayudaron a complementar este trabajo.

- A la Profesora de Inglés **Gabriela Ruelas Inzusa**, por la revisión del resumen de este trabajo. Gracias por sus enseñanzas, usted siempre esforzándose y contribuyendo para la buena educación.
- A mi cuñado **José Luis Bautista Santiago** por permitirme estar en su hogar y por enseñarme cosas de la costa de Oaxaca que desconocía, gracias por esas experiencias.
- A mis compañeros de grupo de la **generación 2007-2012**, con quienes pasé buenos y malos momentos, pero al final salimos vencedores en esta etapa de nuestra vida.
- A los compañeros **Silvestre, Natividad y Erika Varela** quienes ayudaron para la toma de datos en campo, gracias compañeros fue agradable la vivencia con ustedes.
- A los dueños de las plantaciones forestales comerciales de San Mateo Río Hondo, por su accesibilidad para realizar este trabajo y por todo el apoyo en campo, así también por las facilidades para permanecer en el municipio.
- A todos aquellos a quienes omito, pero que participaron directa o indirectamente en mi formación les doy mis más sinceros agradecimientos.

**Respetuosamente**

**Adrian Pedro Cruz**

## CONTENIDO GENERAL

<b>ÍNDICE DE CUADROS .....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>v</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
2.1. Objetivo general .....	4
2.2. Objetivos específicos .....	4
<b>III. HIPÓTESIS .....</b>	<b>5</b>
<b>IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>6</b>
4.1. Plantaciones forestales .....	6
4.1.1. Clasificación de las plantaciones forestales .....	7
4.1.2. Importancia ambiental y económica de las plantaciones forestales comerciales .....	8
4.2. <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock .....	9
4.2.1. Clasificación taxonómica .....	9
4.2.2. Descripción botánica.....	10
4.2.3. Distribución.....	11
4.2.4. Clima.....	12
4.2.5. Plantaciones de <i>Pinus patula</i> en México y en el mundo.....	12
4.3. Concepto de crecimiento.....	13
4.4. Concepto de incremento.....	14

4.5. Concepto de rendimiento .....	14
4.6. Manejo forestal.....	15
4.7. Componentes de un sistema de crecimiento y rendimiento maderable .....	16
4.7.1. Altura dominante (HD) .....	16
4.7.2. Calidad de sitio.....	17
4.7.2.1. Índice de sitio (IS) .....	19
4.7.2.1.1. Curvas anamórficas.....	20
4.7.2.1.2. Curvas polimórficas .....	20
4.7.2.2. Información para construir curvas de IS.....	21
4.7.2.3. Métodos para determinar el IS.....	22
4.7.3. Diámetro promedio (DP) y área basal (AB) .....	25
4.7.4. Volumen.....	26
4.7.5. Número de árboles (NA) y densidad del rodal.....	27
4.8. Modelos de crecimiento .....	28
4.8.1. Tipos de modelos .....	30
4.8.2. Importancia de los modelos de crecimiento.....	33
<b>V. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
5.1. Descripción de área de estudio.....	34
5.2. Actividades de manejo .....	36
5.3. Método de muestreo y toma de datos en campo .....	36
5.4. Cubicación del arbolado.....	37
5.5. Función de altura dominante ( <i>HD</i> ) e índice de sitio .....	38
5.6. Área basal y volumen por hectárea .....	39

<b>VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>41</b>
6.1. Función de altura dominante ( <i>HD</i> ) e índice de sitio .....	41
6.2. Área basal por hectárea .....	44
6.3. Crecimiento en volumen por hectárea.....	46
6.4. Rendimiento maderable .....	48
<b>VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>52</b>
7.1. Conclusiones .....	52
7.2. Recomendaciones.....	52
<b>VIII. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>54</b>



## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Superficie plantada con especies maderables en el periodo 2007-2012.....	7
<b>Cuadro 2.</b> Características de los predios bajo estudio en donde se encuentra establecidas las plantaciones de <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock en San Mateo Río Hondo, Miahuatlán, Oaxaca. ....	36
<b>Cuadro 3.</b> Resultado del ajuste del modelo de Schumacher con datos de edad- altura de <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> en San Mateo Río Hondo, Miahuatlán, Oaxaca. ....	42
<b>Cuadro 4.</b> Resultado del ajuste del modelo de área basal para <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> en San Mateo Río Hondo, Miahuatlán, Oaxaca. ....	44
<b>Cuadro 5.</b> Resultado del ajuste del modelo de volumen para <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> en San Mateo Río Hondo, Miahuatlán, Oaxaca. ....	46
<b>Cuadro 6.</b> Predicción de crecimiento en altura, área basal, volumen y rendimiento en volumen por IS para <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock en San Mateo Río Hondo, Miahuatlán, Oaxaca. ....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Clasificación de las plantaciones forestales .....	8
<b>Figura 2.</b> Procedimientos para evaluar la calidad de sitio .....	19
<b>Figura 3.</b> Ubicación de las plantaciones de <i>Pinus patula</i> en el municipio de San Mateo Río Hondo, Miahuatlán, Oaxaca. ....	35
<b>Figura 4.</b> Crecimiento promedio en altura dominante (curva guía) para <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> en San Mateo Río Hondo, Miahuatlán, Oaxaca. ....	41
<b>Figura 5.</b> Curvas polimórficas de IS para <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> en San Mateo Río Hondo, Miahuatlán, Oaxaca. ....	42
<b>Figura 6.</b> Crecimiento en área basal en diferentes índices de sitio para <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> en San Mateo Río Hondo, Miahuatlán, Oaxaca. ....	45
<b>Figura 7.</b> Crecimiento en volumen en diferentes índices de sitio para <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> en San Mateo Río Hondo, Miahuatlán, Oaxaca. ....	47
<b>Figura 8.</b> Incremento medio y corriente anual en volumen por índices de sitio para <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> en San Mateo Río Hondo, Miahuatlán, Oaxaca. ....	48

## RESUMEN

Los modelos matemáticos han adquirido importancia por ser una herramienta útil para el manejo óptimo de los recursos forestales maderables. La información generada hasta hoy en día sobre crecimiento y rendimiento con respecto a plantaciones forestales comerciales (PFC) de especies de coníferas en la franja tropical del país aún es escasa. Por lo anterior, se ajustaron modelos de predicción explícita de rodal completo, con datos provenientes de parcelas permanentes, para determinar el crecimiento y rendimiento maderable de plantaciones forestales comerciales de *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock en la Sierra Sur de Oaxaca. Se determinó el índice de sitio utilizando el modelo de Schumacher tipo polimórfico, el cual se correlacionó con los modelos de área basal y volumen por regresión aparentemente no correlacionada (SUR por sus siglas en inglés). Se obtuvo una familia de curvas con índices de sitio (IS) de 9, 11, 13 y 15 m a una edad base de 10 años; para el área basal se predijeron para cada IS 32.9, 37.9, 42.5 y 47 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> a la edad de 20 años, así mismo, a esta edad se determinó un volumen por IS de 187.5, 234.3, 282 y 330.6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. El rendimiento máximo obtenido para cada sitio fue de 10.23, 12.04, 14.12, 16.6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, sugiriendo turnos diferentes para cada sitio que van de 19-30 años.

**Palabras claves:** Modelo de predicción explícita, productividad, crecimiento y rendimiento, SUR, *Pinus patula*, Sierra Sur de Oaxaca.

## ABSTRACT

Mathematical models have gained importance as useful tools to achieve optimal management of timber resources. However, in Mexico information on growth and yield of commercial forest plantations (CFP) of tropical conifer species to date is still scarce and valuable. An explicit growth system, using data from permanent plots to determine the growth and yield of commercial timber plantations of *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock in the Sierra Sur of Oaxaca was fitted. Site index was determined using the polymorphic type Schumacher model, which correlated basal area and volume models through seemingly unrelated regression (SUR). A family of curves with site indexes (SI) of 9, 11, 13 and 15 m at base age 10 years was obtained, as the basal area predicted for each SI was 32.9, 37.9, 42.5 and 47 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> to age 20 while volume yield was estimated on 187.5, 234.3, 282 and 330.6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. The top average volume yield obtained for each site was 10.23, 12.04, 14.12, 16.6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, suggesting a different rotation for each site quality and ranging from 19-30 years.

**Keywords:** Explicit growth model, productivity, growth and yield, SUR, *Pinus patula*, Sierra Sur of Oaxaca.