



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**CARACTERIZACIÓN DEL CRECIMIENTO, CALIDAD, Y ESTUDIO DE  
VARIABLES FISIOLÓGICAS, EN UNA PLANTACIÓN JÓVEN Y UN ENSAYO  
DE PROCEDENCIAS DE *Eucalyptus pellita* F. Muell EN EL ESTADO DE  
TABASCO, MÉXICO**

**MARÍA RODRÍGUEZ SOLÍS**  
**CARTAGO, COSTA RICA, 2012**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**TESIS DE LICENCIATURA**

**CARACTERIZACIÓN DEL CRECIMIENTO, CALIDAD, Y ESTUDIO DE  
VARIABLES FISIOLÓGICAS, EN UNA PLANTACIÓN JÓVEN Y UN ENSAYO  
DE PROCEDENCIAS DE *Eucalyptus pellita* F. Muell EN EL ESTADO DE  
TABASCO, MÉXICO**

**MARÍA RODRÍGUEZ SOLÍS**

**CARTAGO, COSTA RICA, 2012**

**CARACTERIZACIÓN DEL CRECIMIENTO, CALIDAD, Y ESTUDIO DE  
VARIABLES FISIOLÓGICAS, EN UNA PLANTACIÓN JÓVEN Y UN ENSAYO  
DE PROCEDENCIAS DE *Eucalyptus pellita* F. Muell EN EL ESTADO DE  
TABASCO, MÉXICO**

**RESUMEN GENERAL**

El estudio se llevó a cabo en plantaciones forestales propiedad de la empresa AGROPICAL S.A de C.V, localizada en el municipio de Huimanguillo, en el estado de Tabasco, México, a 17° 48' 31" N; 93° 40' 26" O y 32 msnm, donde predomina un clima cálido húmedo y suelos clasificados como acrisoles. Se evaluaron variables de crecimiento y calidad, además de algunas variables fisiológicas dentro de una plantación y un ensayo de procedencias de *Eucalyptus pellita* a los 30 meses de edad. En la plantación (24 hectáreas) se establecieron 20 parcelas circulares (314 m<sup>2</sup>) para una intensidad de muestreo del 2,6 % del área, donde se evaluó el crecimiento, la calidad, y el Índice de Área Foliar (IAF). El ensayo de procedencias (1 hectárea) se estableció mediante un diseño de bloques completos al azar, con tres bloques y siete procedencias, todas de diferentes sitios de Australia; igualmente se evaluaron variables de crecimiento y calidad, además del contenido de clorofila utilizando un medidor SPAD y el Índice de Área Foliar Específica (AFE). Se voltearon ocho árboles seleccionados al azar para obtener ecuaciones de volumen mediante modelos alométricos y caracterizar la morfometría de los árboles, en diferentes clases diamétricas dentro de la plantación. La plantación a 30 meses de edad, alcanzó una altura total promedio de 14,44 m  $\pm$  1,07 m; un dap de 13,16 cm  $\pm$  1,2 cm y un volumen total promedio por hectárea de 141 m<sup>3</sup>. El análisis del ensayo de siete procedencias a la edad de 30 meses muestra a las procedencias Ep05, Ep02, Ep03 y Ep01 como las de mayor crecimiento.

**Palabras claves:** *Eucalyptus pellita*, procedencias, plantación forestal, crecimiento, calidad, fisiología, Índice de Área Foliar.

**CHARACTERIZATION OF GROWTH, QUALITY, AND STUDY OF  
PHYSIOLOGICAL VARIABLES AND PROVENANCE TEST IN YOUNG  
PLANTATIONS OF *Eucalyptus pellita* F. Muell, IN THE STATE OF TABASCO,  
MEXICO**

**OVERVIEW**

The study was carried out on a ranch owned by AGROPICAL SA de CV, located in the municipality of Huimanguillo in the state of Tabasco, Mexico, 17 ° 48 '31" N, 93 ° 40' 26" W and 32 m.a.s.l., which shows a warm humid climate and soils classified as acrisols. Variables were evaluated for growth and quality, and physiological variables within a plantation and provenance trial of *Eucalyptus pellita* at 30 months of age. At the 24 ha plantation, 20 circular plots were established (314m<sup>2</sup>) for a sampling intensity of 2.6%, where growth, quality, and Leaf Area Index (LAI) were evaluated. The provenance test (1 hectare) was established before this study, with a design of a randomized complete block with three blocks and seven provenances (being those from different parts of Australia), within each block, variables also were evaluated for growth and quality, in addition to chlorophyll content (SPAD) and Specific Leaf Area Index. To obtain volume equations following allometric models and morphometry of trees, eight randomly selected trees were cut in different diameter classes within the plantation. The plantation at 30 months of age, reached a total height of 14.44 m average  $\pm$  1.07 m, a dbh of 13.16 cm  $\pm$  1.2 cm and an average volume of 159 m<sup>3</sup> per hectare. The analysis of the seven provenances shows at the age of 30 months, the EP05, Ep02, Ep03 and EP01, as the fastest growing.

**Keywords:** *Eucalyptus pellita*, provenance, planting, growing, quality, physiology, Leaf Area Index.

## ACREDITACIÓN

Esta tesis de graduación ha sido aceptada por el Tribunal Evaluador de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y aprobada por el mismo como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura

### **CARACTERIZACIÓN DEL CRECIMIENTO, CALIDAD, Y ESTUDIO DE VARIABLES FISIOLÓGICAS, EN UNA PLANTACIÓN JÓVEN Y UN ENSAYO DE PROCEDENCIAS DE *Eucalyptus pellita* F. Muell EN EL ESTADO DE TABASCO, MÉXICO**

#### **Miembros del Tribunal Evaluador**

---

**Dagoberto Arias Aguilar, Ph.D.**  
**Director de Tesis**

---

**Olman Murillo Gamboa, Ph. D.**  
**Lector de tesis**

---

**Elemer Briceño Elizondo, Ph.D.**  
**Lector de Tesis**

---

**Ing. José Pablo Gamboa Zúñiga**  
**Lector de tesis AGROPICAL S.A de**  
**C.V**

---

**María Rodríguez Solís**

**Estudiante**

## DEDICATORIA

A Dios, La Madre Tierra y los ángeles que me han rodeado durante el caminar de la vida.

A mi familia: Tere, Marvin, Susana y Fabián, mis amigos y consejeros, que siempre me dan ánimos para seguir adelante.

A mis abuelos: Sara, Olivier, Rafael y Lidia.

A Du, el ángel favorito que cuida de todos nosotros desde el cielo...

*María Rodríguez Solís*

*“...y aquellos que son dignos de amar la naturaleza*

*en su tarea de hacer crecer y sostener la vida*

*son iguales al cielo y a la tierra”*

Fragmento del Popol Vuh

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la paciencia, sabiduría y fuerza para salir adelante con mis proyectos.

A toda mi familia por su apoyo absoluto, por ser el pilar de mi formación.

Al Dr. Dagoberto Arias, por ser mi profesor guía, por el tiempo dedicado y los consejos brindados para realizar este proyecto.

Al Dr. Olman Murillo, por ser mi lector e igualmente por los consejos y el tiempo dedicado para la elaboración de este documento.

Al Dr. Julio César Calvo por ser mi profesor y amigo durante la carrera y por impulsarme a realizar esta Tesis.

A todo el personal docente y administrativo de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Al Ing. Juan Carlos Solano, por dedicar tiempo para buscar opciones de temas.

Al señor Oscar Cantón Armengol por permitirme realizar mi tesis en su rancho.

A los Ingenieros José Pablo Gamboa y Edwin Verdugo, por guiarme durante la realización del trabajo de campo, por sus consejos y por ser mis amigos en tierras lejanas.

Muy especial agradecimiento a toda la familia Díaz Hernández, por su cariño y hospitalidad brindados durante mi estadía en su país.

A José Luis y Arturo, mis colaboradores de campo y al personal de AGROPICAL S.A de C.V en general.

A las familias Brenes Víquez y Rivera Tenorio, por todo lo que me ofrecieron durante estos años, por las estadías y alimentaciones pero sobre todo por su amistad.

A todos mis amigos y compañeros de carrera con los que compartí tantos buenos momentos, que quedarán de por vida.

A mis amigos incondicionales: Josué, Sebastián y Gaby.

A mis tías por su apoyo brindado siempre.

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN GENERAL .....</b>	<b>iii</b>
<b>OVERVIEW .....</b>	<b>iv</b>
<b>ACREDITACIÓN .....</b>	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>vi</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS .....</b>	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS .....</b>	<b>xii</b>
<b>OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>14</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>14</b>
<b>HIPÓTESIS.....</b>	<b>14</b>
<b>INTODUCCIÓN GENERAL .....</b>	<b>15</b>
<b>MARCO TEÓRICO GENERAL .....</b>	<b>16</b>
<b>METODOLOGÍA GENERAL.....</b>	<b>19</b>
<b>Región de estudio.....</b>	<b>19</b>
<b>Plantación comercial .....</b>	<b>21</b>
<b>Ensayo de procedencias .....</b>	<b>22</b>
<b>Capítulo 1. Calidad y estado actual del crecimiento en la plantación pura y ensayo de procedencias de la especie <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell., en el estado de Tabasco, México.....</b>	<b>24</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>24</b>
<b>Summary .....</b>	<b>25</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>26</b>
<b>Metodología.....</b>	<b>28</b>
<b>Resultados y Discusión.....</b>	<b>32</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>49</b>



<b>Recomendaciones.....</b>	<b>49</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>50</b>
<b>Capítulo 2. Dinámica de algunas variables fisiológicas a nivel de ensayo de procedencias y plantación pura de <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell., en el estado de Tabasco, México.....</b>	<b>54</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>54</b>
<b>Summary .....</b>	<b>55</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>56</b>
<b>Metodología.....</b>	<b>58</b>
<b>Resultados y Discusión .....</b>	<b>61</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>71</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>71</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>72</b>
<b>Capítulo 3. Morfometría de árboles de <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell seleccionados para estimar biomasa y calcular ecuaciones de volumen.....</b>	<b>74</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>74</b>
<b>Summary .....</b>	<b>74</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>75</b>
<b>Metodología.....</b>	<b>76</b>
<b>Resultados y Discusión .....</b>	<b>79</b>
<b>Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>82</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>83</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES .....</b>	<b>85</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA GENERAL .....</b>	<b>86</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>89</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Croquis del diseño experimental del ensayo de procedencias de <i>Eucalyptus pellita</i> , Huimanguillo, Tabasco, México, 2009. ....	<b>22</b>
<b>Cuadro 2.</b> Información e identificación de las procedencias importadas del banco de semillas australiano CSIRO (2009), y el código brindado por Agropical S.A de C.V...	<b>23</b>
<b>Cuadro 3.</b> Medidas de variación obtenidas del inventario realizado en la plantación comercial de <i>Eucalyptus pellita</i> , a los 30 meses , en Huimanguillo, Tabasco, México. .	<b>32</b>
<b>Cuadro 4.</b> Matriz de correlaciones genéticas entre las variables de crecimiento y calidad evaluadas en el ensayo de procedencias de <i>E.pellita</i> , a los 30 meses de establecido, en Huimanguillo, Tabasco, México.....	<b>39</b>
<b>Cuadro 5.</b> Parámetros genéticos evaluados en el ensayo de procedencias de <i>Eucalyptus pellita</i> , a los 30 meses de edad, en Huimanguillo, Tabasco, México. ....	<b>40</b>
<b>Cuadro 6.</b> Índice de Área Foliar (IAF), obtenido en la plantación de <i>E. pellita</i> , a los 30 meses de establecida, en Huimanguillo, Tabasco, México.....	<b>61</b>
<b>Cuadro 7.</b> Matriz de correlación de variables de crecimiento y algunas variables fisiológicas evaluadas en el ensayo de procedencias de <i>E. pellita</i> , a los 30 meses de establecido en Huimanguillo, Tabasco, México. ....	<b>67</b>
<b>Cuadro 8.</b> Número de hojas por árbol y número de árboles por procedencia óptimos para realizar un estudio de contenido de clorofila e Índice de Área foliar. ....	<b>70</b>
<b>Cuadro 9.</b> Modelos de regresión lineal para estimar biomasa de los diferentes componentes de árboles seleccionados de <i>E. pellita</i> , en el estado de Tabasco, México. ....	<b>79</b>
<b>Cuadro 10.</b> Cantidad de carbono, dióxido de carbono y biomasa almacenados en seis árboles de <i>Eucalyptus pellita</i> , a los 30 meses de edad en el estado de Tabasco, México.	<b>79</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación física del área de estudio y representación del área de muestreo en la plantación pura de <i>Eucalyptus pellita</i> , Tabasco, México. ....	<b>21</b>
<b>Figura 2.</b> Distribución porcentual de las diferentes posiciones sociológicas evaluadas en la plantación pura de <i>Eucalyptus pellita</i> , a los 30 meses de establecido, en Huimanguillo, Tabasco, México. ....	<b>33</b>

<b>Figura 3.</b> Distribución porcentual del número de árboles inclinados, en la plantación pura de <i>Eucalyptus pellita</i> , a los 30 meses de establecido, en Huimanguillo, Tabasco, México. ....	<b>35</b>
<b>Figura 4.</b> Distribución porcentual de la presencia de grano en espiral de los árboles de <i>E. pellita</i> , evaluados en el inventario de la plantación pura, a los 30 meses de establecido, en Huimanguillo, Tabasco, México. ....	<b>36</b>
<b>Figura 5.</b> Distribución del valor genético del Dap (cm) y su intervalo de confianza, para siete procedencias de <i>E. pellita</i> , a los 30 meses de edad, en Huimanguillo, Tabasco, México. La línea punteada es un criterio para mostrar las mejores procedencias.....	<b>42</b>
<b>Figura 6.</b> Distribución del valor genético de la altura total (m) y su intervalo de confianza, para siete procedencias de <i>E. pellita</i> , a los 30 meses de edad, en Huimanguillo, Tabasco, México. La línea punteada es un criterio para mostrar las mejores procedencias.....	<b>43</b>
<b>Figura 7.</b> Desvío del valor genético del dap (cm) con respecto al promedio de todos las 7 procedencias de <i>E.pellita</i> a los 30 meses de establecidas en Huimanguillo, Tabasco, México. ....	<b>45</b>
<b>Figura 8.</b> Desvío del valor genético del volumen comercial (m <sup>3</sup> ) con respecto al promedio de todos los materiales evaluados de 7 procedencias de <i>E.pellita</i> a los 30 meses de establecidas en Huimanguillo, Tabasco, México.....	<b>45</b>
<b>Figura 9.</b> Distribución del valor genético de la variable de calificación cualitativa, Posición Sociológica y su intervalo de confianza, para siete procedencias de <i>E. pellita</i> , a los 30 meses de edad, en Huimanguillo, Tabasco, México. La línea punteada es un criterio para mostrar las mejores procedencias.....	<b>46</b>
<b>Figura 10.</b> Distribución del valor genético de la variable de calidad Inclinación y su intervalo de confianza, para siete procedencias de <i>E. pellita</i> , a los 30 meses de edad, en Huimanguillo, Tabasco, México. La línea punteada es un criterio para mostrar las mejores procedencias.....	<b>47</b>
<b>Figura 11.</b> Distribución del valor genético del contenido de clorofila (SPAD) y su intervalo de confianza, para siete procedencias de <i>E. pellita</i> , a los 30 meses de edad, en Huimanguillo, Tabasco, México. La línea punteada es un criterio para mostrar las mejores procedencias.....	<b>63</b>

<b>Figura 12.</b> Distribución del valor genético del Área Foliar Específica (AFE) y su intervalo de confianza, para siete procedencias de <i>E. pellita</i> , a los 30 meses de edad, en Huimanguillo, Tabasco, México. La línea punteada es un criterio para mostrar las mejores procedencias.....	<b>64</b>
<b>Figura 13.</b> Desvío del valor genético del contenido de clorofila (SPAD) con respecto al promedio de todos los materiales evaluados de 7 procedencias de <i>E.pellita</i> a los 30 meses de establecidas en Huimanguillo, Tabasco, México. ....	<b>65</b>
<b>Figura 14.</b> Desvío del valor genético del Área Foliar Específica (AFE) con respecto al promedio de todos los materiales evaluados de 7 procedencias de <i>E.pellita</i> a los 30 meses de establecidas en Huimanguillo, Tabasco, México.....	<b>66</b>
<b>Figura 15.</b> Relación existente entre el área foliar y el contenido de clorofila, evaluada en el ensayo de procedencias de <i>E. pellita</i> , a los 30 meses de establecido en Huimanguillo, Tabasco, México.....	<b>68</b>
<b>Figura 16.</b> Relación existente entre la altura dominante del rodal y el área foliar específica .....	<b>69</b>
<b>Figura 17.</b> Representación aérea de una zona de procesado y pesado para biomasa aérea.	<b>77</b>
<b>Figura 18.</b> Biomasa de diferentes componentes evaluados en seis árboles de <i>Eucalyptus pellita</i> a los 30 meses de edad, localizados en Huimanguillo, Tabasco, México. ....	<b>81</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Desvío del valor genético de las variables de Calidad (a, b, c, d, e, f, g, h), evaluadas a los 30 meses, con respecto al promedio de todos los materiales evaluados, en siete procedencias de <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell., en Huimanguillo Tabasco, México. <b>89</b>	
<b>Anexo 2.</b> Distribución de 7 procedencias de <i>Eucalyptus pellita</i> según su valor genético en las variables de calidad (a, b, c, d, e, f, g, h) evaluadas y su intervalo de confianza, a los 30 meses de edad en Huimanguillo, Tabasco, México. La línea punteada muestra las mejores procedencias y su diferenciación con respecto al resto de procedencias evaluadas.....	<b>91</b>

<b>Anexo 3.</b> Porcentaje de algunas variables de calidad (a, b, c, d) evaluados en una plantación de <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell, a los 30 meses de establecido en Huimanguillo, Tabasco, México. ....	<b>93</b>
<b>Anexo 4.</b> Análisis de dispersión de las variables Altura dominante e Índice de Área Foliar en las parcelas de muestreo de una plantación de <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell, a los 30 meses de establecida en Huimanguillo, Tabasco, México.....	<b>94</b>
<b>Anexo 5.</b> Análisis de dispersión de las variables DAP dominante e Índice de Área Foliar en las parcelas de muestreo de una plantación de <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell, a los 30 meses de establecida en Huimanguillo, Tabasco, México .....	<b>94</b>
<b>Anexo 6.</b> Distribución natural del <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell. ....	<b>95</b>
<b>Anexo 7.</b> Plantación pura de <i>Eucalyptus pellita</i> , de 30 meses de edad, establecida en el rancho de la empresa AGROPICAL S.A de C.V, Tabasco, México.....	<b>95</b>
<b>Anexo 8.</b> Formulario de campo para la evaluación de calidad y crecimiento en plantaciones forestales. ....	<b>96</b>
<b>Anexo 9.</b> Formulario de campo para la evaluación de las variables fisiológicas.....	<b>96</b>
<b>Anexo 9a.</b> Formulario de campo para la evaluación de los segmentos de árboles utilizados para evaluar la morfometría del árbol.....	<b>97</b>
<b>Anexo 10 .</b> Formulario de campo para la evaluación de biomasa, antes de voltear los árboles. ....	<b>97</b>
<b>Anexo 11.</b> Análisis de Varianza para el contenido de clorofila (SPAD) en las procedencias evaluadas dentro del ensayo de procedencias de <i>Eucalyptus pellita</i> .....	<b>98</b>
<b>Anexo 12.</b> Análisis de Varianza para el Área Foliar Específica (AFE) en las procedencias evaluadas dentro del ensayo de procedencias de <i>Eucalyptus pellita</i> .....	<b>99</b>

## OBJETIVO GENERAL

- Caracterizar la dinámica del crecimiento, calidad y algunas variables fisiológicas, en plantaciones jóvenes y en un ensayo de procedencias de *Eucalyptus pellita* F. Muell., en el Estado de Tabasco, México.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el crecimiento y la calidad de la plantación de *Eucalyptus pellita* F. Muell.
- Evaluar el crecimiento y calidad de un ensayo de siete procedencias a los 30 meses de edad.
- Evaluar el comportamiento de variables fisiológicas en el ensayo de procedencias y en la plantación.
- Investigar correlaciones entre el crecimiento inicial y las variables fisiológicas de la plantación de *Eucalyptus pellita* F. Muell. y del ensayo de procedencia.

## HIPÓTESIS

**H<sub>0</sub>**: Los indicadores iniciales de crecimiento, adaptabilidad y fisiológicos, ubican a la especie *Eucalyptus pellita* F. Muell., como una especie promisoras para la reforestación comercial en la provincia de Tabasco, México.

## INTODUCCIÓN GENERAL

Históricamente los bosques, plantaciones forestales y sistemas agroforestales han sido las principales fuentes de madera tanto para uso industrial, construcción y doméstico. En los últimos años, además se han reconocido los beneficios ambientales que prestan a la sociedad local, regional y global (Arce *et al.*, 2004).

Debido a la rápida extensión de la población mundial, la demanda de productos forestales está en aumento, mientras que grandes cantidades de tierras forestales han sido destruidas o degradadas. Además, la cosecha de madera está siendo restringida en muchos de los bosques naturales del mundo. El uso de plantaciones para la producción de madera y fibra debe aumentar para satisfacer dicha demanda mundial; por lo tanto, el manejo intensivo de las plantaciones es quizás la única manera para cubrir esta creciente necesidad (Fox, 2000)

Sin duda, el desarrollo de la silvicultura, está basado en la productividad y adecuada remuneración económica que el inversionista o el Estado puedan conseguir. Como opción del uso de la tierra, la actividad forestal compite con los cultivos anuales, ganadería, y otras, que muchas veces tienen flujos financieros más atractivos y retribuciones a un menor plazo. El retorno económico a mediano y largo plazo (entre 12 y 25 años dependiendo de la especie, calidad de sitio y los objetivos de producción), le exigen a la forestería niveles altos de rentabilidad y en especial, de garantía de logro de objetivos de producción (Murillo & Badilla, 2010).

Las zonas tropicales de México pueden considerarse como de gran potencial para el establecimiento y manejo de plantaciones forestales comerciales, ya que considerando su posición geográfica, reciben grandes cantidades de energía solar, lo que junto con las condiciones favorables de suelo y clima que las caracterizan, permiten un crecimiento adecuado de las plantaciones arbóreas, además de su cercanía relativa a los países consumidores que presentan ventajas para la comercialización de lo que se produzca en ellas (Martínez *et al.*, 2006)

Dentro de las especies promisorias para la reforestación se encuentra el eucalipto, que representa una de las mejores opciones para el sureste de México, de acuerdo a estimaciones obtenidas para detectar áreas susceptibles al establecimiento de plantaciones

comerciales forestales. México cuenta con aproximadamente 11 millones de hectáreas aptas para estos propósitos (Martínez *et al.*, 2006).

Sin embargo, uno de las principales limitantes que existen en la actualidad, es la falta de información y experiencia en la consolidación del paquete tecnológico para el establecimiento y mantenimiento de plantaciones operativas de *Eucalyptus pellita* F. Muell. Aunque existen reportes de la adaptabilidad de la especie (en 2006 se estableció un ensayo de especies en el rancho Agropical S.A de C.V, a partir del cual se demostró la adaptabilidad del *E. pellita*), es necesario realizar un análisis para evaluar dicha adaptabilidad en zona. Para esto, en la presente investigación se realizaron evaluaciones del crecimiento inicial y calidad de la plantación así como el comportamiento inicial de procedencias y adaptabilidad, para optimizar el manejo de las plantaciones.

## **MARCO TEÓRICO GENERAL**

### **Situación de la reforestación en México**

México es un país donde existen grandes superficies de terrenos que fueron despojados de su vegetación forestal nativa, tanto en las áreas templadas y frías, como en las tropicales, para dedicarlas a usos agrícolas o ganaderos, que no siempre tuvieron el éxito esperado en esas actividades y que ahora están subutilizados, presentando diversos niveles de degradación y en consecuencia tienen muy baja productividad; en muchos casos, particularmente en el trópico húmedo, estos terrenos ya han sido abandonados y ahora se encuentran ociosos. Indudablemente, las plantaciones forestales comerciales son una buena alternativa para restaurar este tipo de terrenos y volverlos productivos dentro su vocación original: la forestal, generando importantes beneficios ecológicos, sociales y económicos (Villa, 2010).

A pesar de las grandes extensiones de bosques y selvas existentes en México, en 2004 este país tuvo un déficit de 793.5 millones de dólares en el sector forestal causado, principalmente, por la importación de productos para papel (SEMARNAT, 2004).



En 1996, el Gobierno de México creó un programa de incentivos para estimular la industria forestal a través de plantaciones en gran escala. Los programas apoyados por esta iniciativa, también incorporaron a especies de eucalipto, las más recomendadas para el desarrollo de las plantaciones (Ceccon & Martínez, 1999)

Actualmente, el Gobierno Federal, está destinando un presupuesto sin precedentes a la recuperación de zonas degradadas de los distritos más pobres, con fuertes subvenciones a la reforestación y la ejecución de obras de conservación de suelos (Del Riego, 2010).

Se estima que en este país hay alrededor de 16 millones de hectáreas que requieren trabajos de reforestación. Su atención es un asunto de seguridad nacional ante el inminente avance del deterioro y la amenaza del cambio climático (CONAFOR, México, 2010).

### **Situación de la empresa Agropical S.A de C.V**

La empresa Agropical S.A de C.V, es un desarrollo mexicano que en los últimos años se ha dado la tarea de reforestar gran parte de su extensión, con tres especies forestales específicas: *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus resinifera* y *Acacia mangium*. La misma empresa, muestra especial interés en investigar sobre la producción y comportamiento del *Eucalyptus pellita* F. Muell. en plantaciones forestales; dado que la especie aún no tiene tradición en México, y para respetar los protocolos internacionales de introducción de especies exóticas, la empresa Agropical S.A de C.V decidió establecer un ensayo de procedencias. Dicho ensayo se sembró, bajo normas de calidad estrictas para no mezclar plantas entre tratamientos (Gamboa, 2011 a).

### **Particularidades de la especie *Eucalyptus pellita* F. Muell.**

En general las plantaciones de árboles pertenecientes al género *Eucalyptus* sp, se caracterizan por ser las plantaciones con mayor valor económico en cuanto a la producción de madera dura, en las regiones de los países tropicales y subtropicales (Balasaravanan *et al.* 2005).

Particularmente, el *Eucalyptus pellita* F. Muell. es un árbol de tamaño medio superior a los 40 m de altura y 1 m en diámetro altura al pecho (dap). En suelos pobres llega a medir entre

15 y 20 metros de altura. En forma nativa (Anexo 6) se presenta en dos áreas distintas de Australia (al norte y al sur de Queensland) (IPEF, 2011); también se encuentra en el sureste de Papúa Nueva Guinea (Machado *et al.*, 2010) y posiblemente en algunas islas de Indonesia (Dombro, 2010).

Es una especie que prefiere altitudes que van desde el nivel del mar, hasta los 800 msnm, y soportan temperaturas desde los 14 a los 34 grados Celsius (Dombro, 2010). Crece en zonas con clima húmedo tropical. Prefiere los lugares húmedos, sin embargo en lugares secos, se desarrolla junto a los arroyos (Bristow, 2008). Se presenta en topografía ondulada, limitada por acantilados de tierra bien drenada y ligeramente húmeda (Machado *et al.* 2010). Es capaz de crecer en suelos sílico-arenosos (Noda-Jimenez *et al.*, 2000), degradados, poco fértiles y ligeramente ácidos (Álvarez de León & García, 2007).

Se ha demostrado que el *Eucalyptus pellita* F. Muell es una excelente opción para la reforestación de regiones tropicales y para su establecimiento en lugares con alta precipitación, distintas épocas de sequía y malas condiciones del suelo (Dombro, 2010).

A nivel internacional esta especie se conoce con el nombre común de caoba roja o caoba Australiana, y ha sido introducida como especie exótica en algunos países tales como: Colombia, Brasil, Uruguay, Congo, Zambia, Kenia, Suráfrica, India, Indonesia entre otros (Dombro, 2010).

### **Ensayos de procedencia**

En la actualidad se reconoce ampliamente que el éxito en el establecimiento y productividad de las plantaciones forestales dependen en gran medida de la selección correcta, no solo de la especie, sino también de la fuente de semilla dentro de la especie. La semilla representa no más del 2% del costo total de la plantación; no obstante, una mala escogencia puede llevar a más problemas a mediano y a largo plazo que casi cualquier otro factor. La importancia de la fuente de semilla en forestería ha sido demostrada en cientos de ensayos establecidos en todo el mundo. Los ensayos de especies donde cada especie está representada por un único lote de semilla son de utilidad limitada y proporcionan poca información para fines de mejoramiento y reforestación comercial. No se puede desechar

una especie por el comportamiento de una de sus poblaciones. Por estas razones, si ya existen los recursos para establecer un ensayo de especies, es mejor incluir una buena representación de sus procedencias (Mesén, 1994).

Los ensayos de procedencias adquieren mayor importancia en aquellas especies que presentan rangos de distribución geográficos y / o ecológicos amplios, ya que se espera que las condiciones ecológicas diferentes que prevalecen a lo largo del rango, hayan originado cambios en las frecuencias génicas de sus poblaciones. La descendencia de estas poblaciones podrán mostrar diferencias, que pueden ser desde pequeñas hasta dramáticas, cuando son plantadas juntas en un ambiente nuevo (Mesén, 1990).

Los ensayos de procedencia pueden ser convertidos en unidades de producción de semilla mejorada al eliminar los individuos indeseables (Murillo, 1994).

## **METODOLOGÍA GENERAL**

### **Región de estudio**

La región de estudio se encuentra localizada en el sureste de México, específicamente en el Estado de Tabasco, municipio de Huimanguillo (figura 1), a 17° 48' 31" N; 93° 40' 26" O y 32 msnm, en la empresa Agropical S.A de C.V.

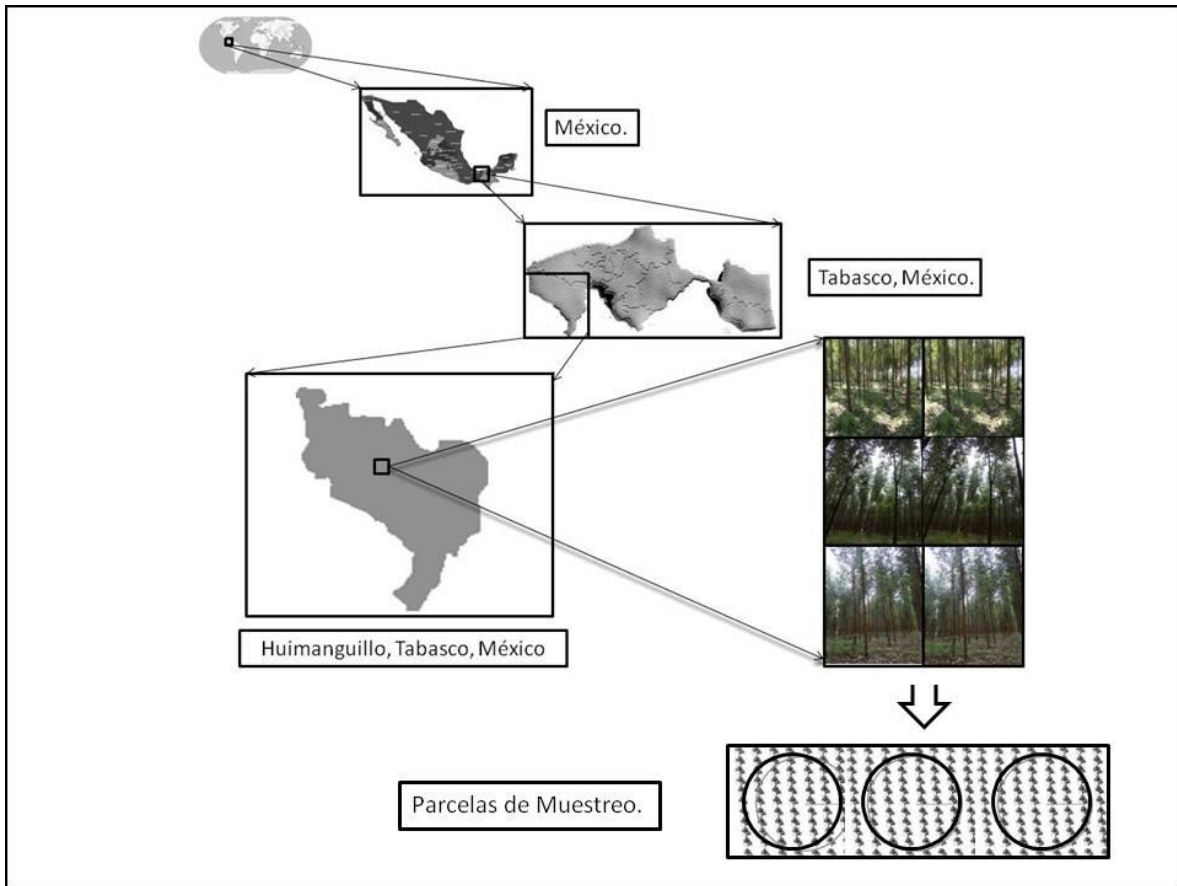
### **Características del área de estudio**

En este lugar, se aprecian dos tipos de clima: el cálido húmedo con abundantes lluvias en verano con cambios térmicos en los meses de diciembre y enero; su temperatura media anual es de 26.2°C, siendo la máxima media mensual en mayo con 30.6°C; a la vez, la máxima y mínima absoluta alcanzan los 45°C y 14°C, respectivamente; el clima cálido húmedo con lluvias todo el año en la parte sur y suroeste, éstas lluvias decrecen ligeramente en invierno, período en la cual se registra el 14.4% del total anual. La temperatura media oscila entre los 25.4 °C y 26.9°C. El régimen de precipitación pluvial se caracteriza por un total de caída de agua de 2,290.3 mm anuales en el mes de septiembre y nula en el mes de abril. Las mayores velocidades medias de los vientos, se concentran en los meses de noviembre y diciembre con 30 km/h., localizándose en el mes de mayo los

mínimos, siendo del orden de los 18 km/h (Hernández, *et al.*2005). Existen suelos clasificados como acrisoles que son ácidos, ricos en materia orgánica y deficientes en fósforo y bases intercambiables, abarcando éstos casi la totalidad de la llamada sabana de Huimanguillo (Hernández, *et al.*2005).

### **Área de estudio**

El estudio se realizó en una plantación pura y un ensayo de procedencias de *Eucalyptus pellita* F. Muell., propiedad de la empresa Agropical S.A de C.V, Tabasco, México (figura 1). La plantación comercial tiene una edad de dos años y medio y una extensión de 24 ha. Así mismo se evaluó el ensayo de siete procedencias australianas a los 30 meses de edad.



**Figura 1.** Ubicación física del área de estudio y representación del área de muestreo en la plantación pura de *Eucalyptus pellita*, Tabasco, México.

### **Plantación Comercial**

La plantación de *Eucalyptus pellita* F. Muell. (Anexo 7) inicialmente se estableció con espaciamientos de 3x3 m entre cada árbol, sin embargo, un fenómeno climático ocurrido en el 2009 (mismo año en que se sembraron la plantación y ensayo de procedencias), provocó un porcentaje considerable de mortalidad, por lo tanto, actualmente hay una densidad de 775 árboles por hectárea, aproximadamente.

La preparación del terreno utilizada para esta plantación fue la siguiente: desmonte del cultivo de naranja, empleo de subsolador, paso de un bordero para encamillar las líneas de plantación, paso de rastra chica para rebajar los bordes (camellones) y dejarlos listos para la siembra. Como enmiendas al suelo antes de la siembra: aplicación de 2 t/ha de cal agrícola

y de 1,5 t/ha de roca fosfórica. Fertilizaciones: Se hicieron tres fertilizaciones con triple 17, la primera a los 15 días 40 g/planta, otra a los 5 meses a razón de 80 g/planta y la última al año y medio a razón de 100 g/planta (Gamboa, 2011 b).

### **Ensayo de procedencia**

Por otro lado, el ensayo de procedencias fue establecido en el año 2009 (hoy en día también tiene una edad de dos años y medio), en dicho ensayo se evalúan 7 procedencias provenientes de fuentes mejoradas de Australia y se han medido las variables de crecimiento año tras año.

El ensayo fue establecido con un diseño de bloques completos al azar, donde se evaluaron 7 tratamientos (procedencias), con tres repeticiones. El distanciamiento entre árboles fue de 3 m x 3 m. En total se establecieron 21 parcelas, de 7x7 árboles en cada bloque. Sin embargo, la parcela efectiva fue de 5 x 5 árboles, para un total de 25 árboles evaluados por procedencia en cada bloque.

La preparación del terreno fue primero con una chapea, luego aplicación de 2 toneladas cal/ha, más 1 tonelada Roca/ha, subsoleo, bordeo.

En el cuadro 1 se presenta el croquis del diseño experimental del ensayo de procedencias.

Cuadro 1. Croquis del diseño experimental del ensayo de procedencias de *Eucalyptus pellita*, Huimanguillo, Tabasco, México, 2009.

<b>R3</b>	<b>R*</b>	<b>Ep-01</b>	<b>Epb-01</b>	<b>Ep-02</b>
	<b>Ep-06</b>	<b>Ep-03</b>	<b>Ep-05</b>	<b>Ep-04</b>
<b>R2</b>	<b>Ep-02</b>	<b>Epb-01</b>	<b>Ep-05</b>	<b>Ep-03</b>
	<b>Ep-01</b>	<b>Ep-04</b>	<b>Ep-06</b>	<b>R*</b>
<b>R1</b>	<b>R*</b>	<b>Ep-06</b>	<b>Ep-02</b>	<b>Ep-05</b>
	<b>Ep-04</b>	<b>Ep-01</b>	<b>Epb-01</b>	<b>Ep-03</b>

**Fuente:** Empresa forestal Agropical S. A de C.V, Gamboa, 2011.

R\*: Este bloque no se evaluó puesto que es un relleno de la Ep-05 que se utilizó para completar el diseño del ensayo.

## Información del ensayo de procedencias

Las semillas de *E. pellita* fueron compradas por la empresa a comienzos del año 2009, en el banco de semillas Australiano CSIRO. En el cuadro 2 se muestra la información de las procedencias según su clave del CSIRO, longitud, latitud, altitud y código brindado a cada una por la empresa AGROPICAL, S.A DE C.V

Cuadro 2. Información e identificación de las procedencias importadas del banco de semillas australiano CSIRO (2009), y el código brindado por Agropical S.A de C.V.

<b>Lote CSIRO</b>	<b>Especie</b>	<b>Código</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Latitud (grad)</b>	<b>Longitud (grad)</b>	<b>Altitud (msnm)</b>
13826	<i>Eucalyptus pellita</i>	Ep-01	--	--	--	--
17825	<i>Eucalyptus pellita</i>	Ep-02	SW CAIRNS	16°58'S	145°40'E	450
17859	<i>Eucalyptus pellita</i>	Ep-03	--	--	--	--
17874	<i>Eucalyptus pellita</i>	Ep-04	--	--	--	--
17875	<i>Eucalyptus pellita</i>	Ep-05	TOZERS GAP	12°44'S	143°12'E	100
18148	<i>Eucalyptus pellita</i>	Ep-06	--	--	--	--
17900	<i>Eucalyptus pellita- brasiana</i>	Epb-01	MCILWRAITH RANGE	13°51'S	143°16'E	550

**Fuente:** CSIRO, Australia.

**Capítulo 1. Calidad y estado actual del crecimiento en la plantación pura y ensayo de procedencias de la especie *Eucalyptus pellita* F. Muell., en el estado de Tabasco, México.**

**RESUMEN**

Se evaluaron variables de crecimiento (diámetro altura al pecho, altura total, volumen comercial) y las variables de calidad (posición sociológica, bifurcación, inclinación, rectitud, ramas gruesas, número de trozas comerciales, ángulo de inserción de ramas, grano en espiral y calidad general), en un ensayo de siete procedencias (con tres bloques completos al azar) y en una plantación comercial de *Eucalyptus pellita* F. Muell., con 30 meses de establecidos, en el rancho de la empresa AGROPICAL S.A de C.V, ubicada en el municipio de Humanguillo, Tabasco, México. En la plantación comercial se establecieron 20 parcelas circulares temporales con un diámetro de 20 metros, a una intensidad de muestreo del 2,6% (aproximadamente 34 individuos por parcela). Mientras que en el ensayo de procedencias, se muestreó toda la parcela efectiva de cada procedencia en cada bloque, la cual era de 25 árboles a un distanciamiento de 3 x 3 metros. Se encontró que la especie *Eucalyptus pellita* F. Muell., tiene una tasa de crecimiento muy buena, para una especie de rápido crecimiento a los dos años y medio de edad. Es necesario realizar un raleo para mejorar la calidad y las condiciones de crecimiento en la plantación comercial y en el ensayo de procedencias.

**Palabras claves:** *Eucalyptus pellita* F. Muell., calidad, plantación forestal, crecimiento, procedencias.



**Chapter 1. Quality and state of growth in pure plantation and provenance trial of  
*Eucalyptus pellita* F. Muell., In the state of Tabasco, Mexico.**

**SUMMARY**

Growth variables (diameter at breast height, total height, volume of trade) were measured as well as quality variables (position sociological, bifurcation, Tilt, strightness, branch thickness branches, number of logs, commercial branch insertion angle, spiral grain and general quality) in a study of seven provenances (three randomized complete block) and at a commercial plantation of *Eucalyptus pellita* F. Muell., of 30 months of age, at the ranch AGROPICAL Company Ltd., located in the municipality of Humanguillo , Tabasco, Mexico. At the commercial plantation 20 temporary circular plots were established with a 20 m diameter at a sampling intensity of 2.6% (approximately 34 individuals per plot). While at the provenance test, the whole plot in each block was sampled for each provenance, which was 25 trees to a distance of 3 x 3 meters. We found that *Eucalyptus pellita* F. Muell. has a very good growth rate for a fast-growing species at two and half years old. A thinning is needed to improve the quality and growing conditions in the commercial plantation and the provenance test.

Keywords: *Eucalyptus pellita* F. Muell., quality, forest planting, growth, origin.

## INTRODUCCIÓN

Para convertir la actividad forestal en un proceso productivo rentable y seguro, es necesario desarrollar programas de manejo que conduzcan a la obtención de materia prima de la más alta calidad. El concepto de calidad debe integrar todas las etapas del proceso de producción de las plantaciones forestales, desde la selección de semilla hasta la elaboración final de productos siguiendo estándares internacionales (Rojas & Murillo, 2000).

Conceptos como calidad y productividad en la actividad forestal, solo pueden ser alcanzados si se introduce una cultura de evaluación y control de calidad. Conocer la calidad actual, el potencial productivo y el valor a futuro de la plantación forestal, se convierte entonces en un insumo vital para la toma de decisiones oportunas. Además, el crecimiento y rendimiento de una plantación, no se pueden interpretar sin una valoración de su calidad, que es el resultado de dos causas: 1) la calidad del manejo y 2) la calidad genética del material original (procedencia). Esta información puede tener una utilidad adicional, pues un adecuado peritaje podría determinar en un alto grado, ¿qué tan eficiente ha sido el desempeño técnico (calidad de siembra, calidad del mantenimiento, podas y raleos oportunos)?; y determinar también el impacto de la calidad genética de la semilla empleada (Murillo & Badilla, 2010).

### **Calidad y crecimiento en plantaciones forestales de la especie *Eucalyptus pellita* F.Muell**

Los sistemas productivos con especies de rápido crecimiento causan traslados importantes de elementos nutritivos desde el suelo a la biomasa, que en parte desaparecen del sistema con la madera extraída durante la cosecha (Aparicio, 2001).

El *Eucalyptus pellita* F Muell, es un árbol que presenta abundancia y adaptabilidad y puede ofrecer apreciables volúmenes de madera por hectárea, es poco utilizado y la literatura indica que puede ser útil en la industria de celulosa y papel (Orea *et al.* 2006). Esta especie se caracteriza por presentar tasas de crecimiento altas, en promedio más de dos metros de altura por año (Dombro, 2010).

Sin embargo, existe escasez de información disponible sobre el crecimiento y rendimiento en general de las plantaciones de *E. pellita* (Bristow, 2008).

## Metodología

### Muestreo

Dentro de la plantación comercial de *Eucalyptus pellita* se establecieron parcelas temporales, con las que se evaluó el crecimiento en diámetro, altura y la calidad de cada árbol incluido en la muestra. Se utilizó un muestreo sistemático con arranque aleatorio, para completar una intensidad de muestreo del 2,6%. Por lo tanto, se establecieron un total de 20 parcelas circulares temporales, con un diámetro de 20 metros, de manera que se evaluaron 34 árboles por parcela aproximadamente.

### VARIABLES A MEDIR

Para evaluar el crecimiento dentro de las unidades de muestreo se estimó la altura total (m) hasta la yema terminal, con ayuda de un hipsómetro electrónico para estimar con la mayor precisión posible dicha variable. Se midió el diámetro a la altura del pecho (1,3 m de la base), en centímetros con una cinta diamétrica.

Para evaluar la calidad de la plantación se tomaron en cuenta las variables presentes en el formulario de campo para la evaluación de calidad en plantaciones forestales (Murillo & Camacho, 1998) (Anexo 8), donde se midieron las siguientes variables discretas o cualitativas: presencia de bifurcación o ramas en reiteración (en competencia con la yema dominante); inclinación en un ángulo de 30° con respecto a un eje vertical imaginario (1 = no inclinado, 2 = inclinado); rectitud del fuste (1 = para trozas perfectamente rectas y cilíndricas, 2 = trozas con torceduras); daño mecánico (1 = sí, 2 = no); ángulo de inserción de ramas (1 = mayor a un ángulo de 45°, 2 = menor a ese mismo ángulo); estado fitosanitario (1 = sano, 2 = ligeramente afectado, 3 = severamente enfermo o en proceso de muerte). Todas las variables se utilizaron para conformar una nueva variable compuesta denominada calidad a cada una de las 4 primeras trozas comerciales (de 2,5 metros de largo a partir de la base, hasta la cuarta troza o los 10 metros de alto) como sigue:

- **Calidad 1:** trozas completamente rectas o levemente torcidas, con ausencia de problemas fitosanitarios y cualquier otro defecto visible que afecte su valor económico.

- **Calidad 2:** trozas con fuste levemente torcido o con ramas que se insertan a menos de 45°, o con presencia de ramas gruesas.
- **Calidad 3:** trozas con defectos severos pero que permiten algún nivel de aprovechamiento.
- **Calidad 4:** Trozas no aserrables debido a sus severos defectos.

Con la información de calidad relacionada con la del volumen comercial, es posible integrarse con el proceso de avalúos o determinación del valor en pie de la plantación forestal actual (Murillo & Badilla, 2010).

### **Análisis de la información**

Toda la información recolectada fue guardada en una hoja Excel; se organizó por medio de cuadros y posteriormente se realizó el análisis correspondiente a crecimiento y evaluación de calidad por medio de gráficos y tablas representativas, tanto para la plantación como para el ensayo de procedencias. El crecimiento de la especie se evaluó de acuerdo al índice promedio de volumen y área basimétrica ( $g$ ); para lo cual se utilizaron las siguientes funciones:

**Área basimétrica ( $m^2$ ):**

$$g = \frac{\pi}{4} * \left( \frac{d}{100} \right)^2$$

**Donde:**

$g$ : Área Basal por árbol ( $m^2$ ).

$d$ : Diámetro altura al pecho (dap) en centímetros (cm).

**Volumen ( $m^3$ ):**

$$V = ht * g * fm$$

**Donde:**

V: Volumen por árbol (m<sup>3</sup>).

ht: Altura total del árbol en (m).

g: Área basimétrica (m<sup>2</sup>).

fm: Factor de forma del árbol = 0,6.

El factor de forma se obtuvo por medio de la cubicación de los ocho árboles seleccionados para el capítulo 3.

Para calificar la calidad del árbol completo se ponderó la calidad de sus trozas individuales según su posición en el fuste de acuerdo con los procedimientos para evaluar calidad del árbol utilizando el siguiente algoritmo en base cien:

$$\text{Calidad base 100} = (1 + (1 - \text{calidad})/3) * 100$$

Considerando que una plantación de alta calidad es aquella que reúne al menos, 400 individuos por hectárea de calidad 1 y 2, que son aquellas que constituirán los árboles a cosechar en el último raleo y en la cosecha final (Murillo, 2000). En el modelo económico estos 400 árboles, se estima que contribuyen con más del 85% del valor total de la plantación (Murillo & Badilla, 2010).

El análisis estadístico de los datos obtenidos del ensayo de procedencias, se realizó empleando el software SELEGEN-REML/BLUP (Resende, 2006), utilizando el modelo 24: diseño de bloques al azar, prueba de las poblaciones o procedencias, con varias plantas por parcela;

$$y = Xr + Zg + Wp + e$$

Donde:

y = vector de datos.

r= vector de los efectos de la repetición sumados a la media general.

g= vector de los efectos genéticos de poblaciones (asumidos como aleatorios).

p= vector de los efectos de la parcela.

e= vector de errores residuales.

Las letras mayúsculas representan las matrices de incidencia para los efectos referidos (Resende, 2006).

Los análisis efectuados por dicho software, define los siguientes parámetros (Resende, 2006):

Vg= varianza genotípica de las poblaciones.

Vparc= variación ambiental entre las parcelas.

Ve= varianza residual.

H<sup>2</sup>g = H<sup>2</sup>: heredabilidad individual en el sentido amplio, es decir, los efectos totales genotípicas de las poblaciones.

c<sup>2</sup>parc c<sup>2</sup> = coeficiente de determinación de los efectos de la trama.

H<sup>2</sup>mp= heredabilidad de la media de la población, asumiendo que la supervivencia total.

Acproc= precisión de la selección de la población, Exactitud.

La media general. Posteriormente, con los valores genéticos de cada dato producido por SELEGEN, se procedió a analizar los datos con base en el programa estadístico InfoStat, con el fin de obtener los valores de significancia de la correlación de Pearson con un  $\alpha=0,05$ .

Para calcular otros parámetros estadísticos se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Error estándar de la media } (S_x) = \frac{s}{\sqrt{n}} * \sqrt{1 - \frac{n}{N}}$$

$$\text{Error absoluto (E)} = S_x * t_{\alpha/2, n-1}$$

$$\text{Error (\%)} = \frac{E}{X} * 100$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 3 se muestra el resumen de las medidas de variación obtenidas del inventario que se realizó en la plantación comercial de *E. pellita* a los 30 meses de edad.

**Cuadro 3.** Medidas de variación obtenidas del inventario realizado en la plantación comercial de *Eucalyptus pellita*, a los 30 meses, en Huimanguillo, Tabasco, México.

	dap (cm)	h (m)	g individual (m <sup>2</sup> )	Vol Comercial individual (m <sup>3</sup> )
<b>Media</b>	13,15	15,44	0,014	0,147
<b>Desviación estándar</b>	2,61	2,33	0,005	0,064
<b>Error Estándar</b>	0,58	0,51	0,001	0,014
<b>Error Absoluto</b>	1,21	1,08	0,002	0,030
<b>Error de muestreo (%)</b>	9,16	6,97	16,576	20,125

Como se puede observar, la plantación a esta edad registra valores de dap promedio de 13,15 cm<sup>2</sup> ± 0,57 cm; una altura promedio de 15,44 m ± 0,51m y un volumen comercial promedio por árbol de 0,147 m<sup>3</sup> ± 0,014 m<sup>3</sup>, con un nivel de confianza del 95%. En un estudio realizado por Balcorta & Vargas (2004), en una plantación de *Gmelina arborea* (melina) a los tres años de establecida en el municipio de Escárcega, Campeche, México, se reportaron valores promedios de dap de 10,6 cm, con una desviación de 2,9 cm una altura promedio de 7,4 m, con una desviación estándar de 1,9 m, y un volumen promedio de 0,035 m<sup>3</sup>, con una desviación estándar de 0,021 m<sup>3</sup>. Por lo tanto al realizar comparaciones con otras especies, la especie *Eucalyptus pellita* F. Muell., registra un buen potencial con una tasa de crecimiento superior.

A nivel general se obtuvo un volumen promedio total de 141, 54 m<sup>3</sup>/ha y un Índice de calidad general de 1,21 que evaluado en una escala de 1 a 4, donde 1 es excelente y 4 es pésimo, la plantación comercial muestra una excelente calidad.

El dap y la altura registraron un error de muestreo menor al 10 %, es decir, un error bajo y un nivel de confianza del 95%.



En la figura 2, se encuentra la distribución porcentual de las categorías de posición sociológica registradas en la plantación comercial de *E. pellita*.

La posición sociológica de un árbol corresponde a un tipo de variable discreta que determina la posición relativa de cada uno de los individuos dentro de la parcela (Schlegel *et al.* 2000). Esta variable también permite determinar si hay niveles de competencia severos, así como otra manera de conocer la heterogeneidad en altura entre los individuos (Sánchez & Murillo, 2004). Como es posible observar, un 66 % de los individuos en este caso, representan la posición sociológica dominante y el 19 % de la plantación presenta individuos entre suprimidos e intermedios. Esta distribución porcentual puede indicar la ausencia de un manejo silvicultural en la plantación.

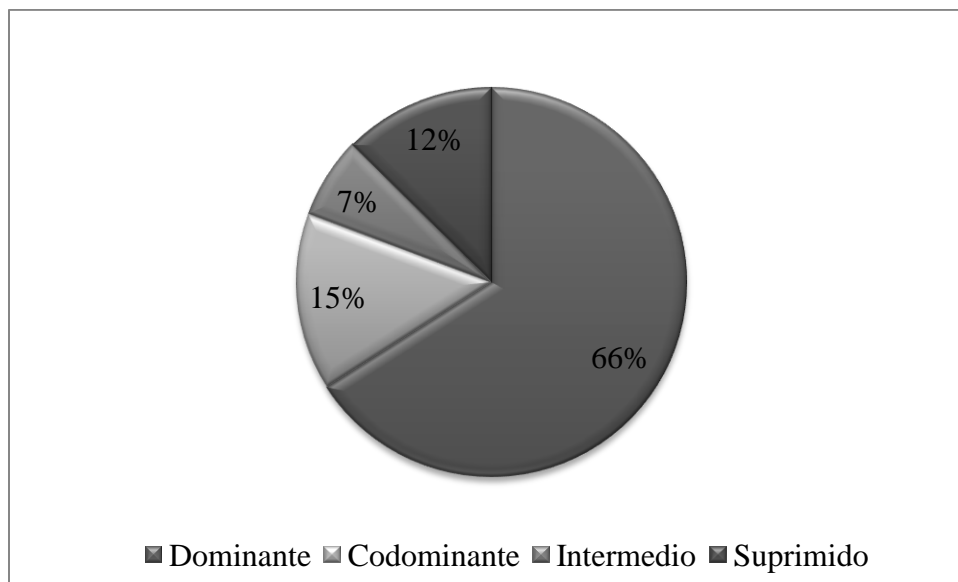


Figura 2. Distribución porcentual de las diferentes posiciones sociológicas evaluadas en la plantación pura de *Eucalyptus pellita*, a los 30 meses de establecido, en Huimanguillo, Tabasco, México.

De acuerdo a la posición sociológica de los árboles, el crecimiento horizontal puede variar, así los árboles del estrato dominante no tienen mayor competencia por espacio vital y por lo tanto, se desarrollan a un ritmo más acelerado o por lo menos con mayor libertad, los árboles de los estratos más bajos deben soportar una gran competencia por espacio vital y,

en consecuencia, su crecimiento horizontal y vertical es a un ritmo más lento (Malleux, 1970).

Jiménez (2008), encontró sitios con plantaciones de *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm a diferentes edades con más de un 65% de los individuos en la categoría dominante, y un porcentaje considerable de individuos en las clases de intermedio y suprimido, producida por la falta de manejo silvicultural, especialmente raleos. Además, Murillo & Badilla (2010), afirman que la presencia de árboles en posición sociológica suprimidos e intermedios en más de un 10 % se relacionan directa y especialmente con las labores de poda, raleo o manejo de densidad.

Por lo tanto, será necesario eliminar los individuos presentes en las categorías de intermedios y suprimidos para favorecer el desarrollo de árboles dominantes y codominantes; sin embargo esta decisión tiene que ser tomada analizando la densidad del rodal. La densidad de un rodal incrementa a medida que los árboles acumulan biomasa (crecen) y ocupan el espacio de crecimiento asignado al momento de la siembra. Al incrementar la cantidad de biomasa creciendo, la competencia por agua, iones minerales y especialmente por luz se incrementa. Cuando los árboles empiezan a competir en primera instancia disminuyen su crecimiento diametral e incrementan su crecimiento en altura, si la competencia prosigue aumentando el rodal entra en fase de “autoraleo”, etapa en la que sobreviene la muerte progresiva de aquellos individuos que por sus características genéticas, estado sanitario o condiciones de micrositio, no están en condiciones de competir, lo cual significa una pérdida de volumen aprovechable. En el manejo de la densidad del rodal lo que se busca es mantener la densidad del rodal dentro de los límites de densidad recomendados para alcanzar el objetivo de manejo de la plantación. En este proceso el principal problema radica en determinar cuáles son los niveles de densidad apropiados para cada objetivo (Ortiz, 2008).

En la figura 3, se muestra el porcentaje de individuos de *E. pellita* que presentan la variable cualitativa de calificación de la inclinación, la cual es de un 12 % para esta plantación.

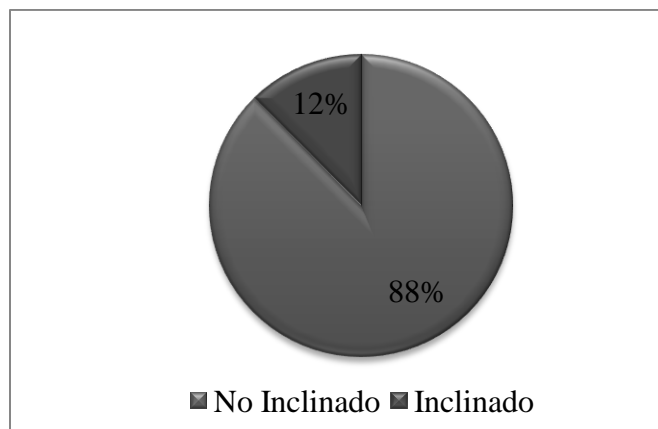


Figura 3. Distribución porcentual del número de árboles inclinados, en la plantación pura de *Eucalyptus pellita*, a los 30 meses de establecido, en Huimanguillo, Tabasco, México.

Las plantaciones cuyo porcentaje de árboles inclinados representa más de un 10%, están relacionadas directa o mayoritariamente con manejo de la plantación, en especial de la labor de poda, de raleo o manejo de la densidad y competencia (Murillo & Badilla, 2010); sin embargo, en la zona donde está establecida la plantación, el viento es un factor ambiental que influye mucho en esta variable, al igual que en la posición sociológica de los individuos; además, un fenómeno climático ocurrido en el 2009 (mismo año en que se sembraron la plantación y ensayo de procedencias), provocó un porcentaje considerable de mortalidad e inclinación de algunos individuos (Gamboa, 2012 c), el porcentaje de árboles inclinados en su mayoría se le pueden atribuir a este factor ambiental ampliamente influyente en la plantación. Existen pruebas de que la inclinación de un árbol tras episodios de fuertes vientos, está directamente relacionada con la posterior forma del fuste (COXE et al., 2005) en especies o condiciones estacionales que propician rápidos crecimientos del árbol (Lario *et al*, 2005).

En la figura 4, se representa el porcentaje del número de individuos con grano en espiral en la plantación. Es importante conocer que muchas de las especies del género *Eucalyptus* son susceptibles al grano en espiral; el *E. globulus ssp. globulus* es un buen ejemplo en este sentido, ya que el mismo, es susceptible al grano en espiral y propenso al colapso, incluso severo, durante el secado (OEA, 1996). El *E. saligna* es otro de los ejemplos que presenta imperfecciones o defectos relacionados con el crecimiento, entre estos, el grano en espiral (Leandro, 2001). En esta investigación, el 78 % de la población evaluada no presentó dicha

condición; sin embargo el 22% restante lo presentó principalmente en la primera troza, algunas veces debido nuevamente al factor viento, que provocó alguna inclinación y al mismo tiempo produjo tensiones en la madera reflejando el grano en espiral.

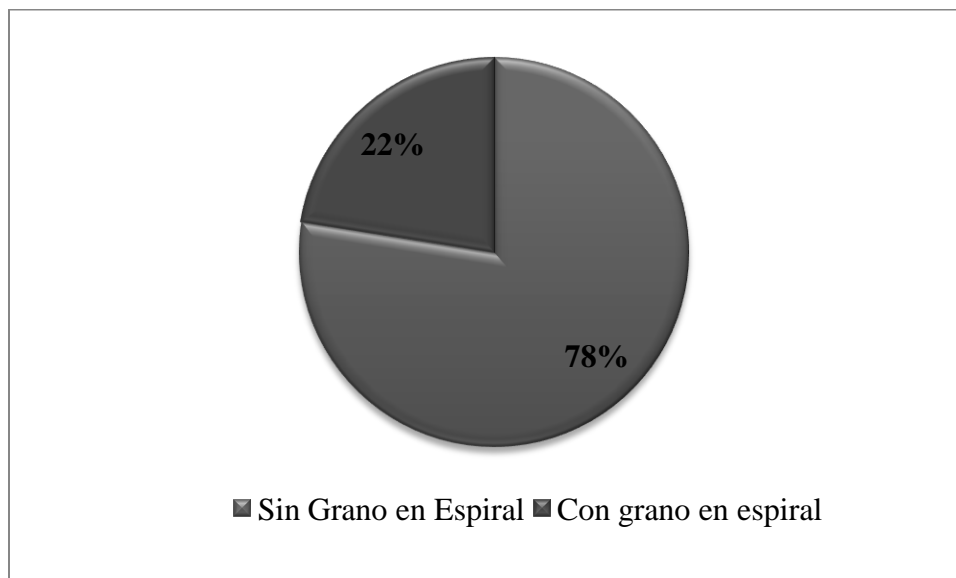


Figura 4. Distribución porcentual de la presencia de grano en espiral de los árboles de *E. pellita*, evaluados en el inventario de la plantación pura, a los 30 meses de establecido, en Huimanguillo, Tabasco, México.

Árboles con grano o hilo en espiral para casi todas las especies que lo presentan está altamente relacionado con mala calidad genética de la semilla utilizada (Murillo & Badilla, 2010). Es recomendable para el establecimiento de plantaciones en la zona donde se realizó este estudio, se tomen en cuenta todas las procedencias del ensayo evaluado en esta tesis a excepción del híbrido *Eucalyptus pellita-brasiana* (Epb01) ya que es la que representa mayores problemas de grano en espiral, las demás no presentaron diferencias significativas en esta variable (Anexo 2, g).

En el anexo 3, se presentan también los porcentajes de otras variables de calidad (bifurcación, ramas gruesas, ángulo de inserción de ramas y daño mecánico) evaluadas dentro de la plantación pura.

En el cuadro 4, es posible observar la matriz de correlaciones genéticas de las variables de calidad y crecimiento con las que se evaluó la plantación forestal.

La correlaciones genéticas entre características son útiles y de interés para los genetistas forestales, ya que indican el grado con que una característica cambia como resultado de un cambio en otra característica y también sirven para determinar el grado de éxito que alcanzará la selección indirecta o la selección de una característica con el fin de mejorar otra (Zobel y Talbert, 1988).

En este caso, las correlaciones que existen entre diámetro altura al pecho (dap), altura total (h) y volumen comercial es casi del 100 %, con un alto nivel de confiabilidad, esto significa, que estas 3 variables están altamente correlacionadas entre ellas con un nivel de confianza del 95 %; por otro lado, si se analizan las demás variables, se puede deducir que, a mayor vigor, el árbol tiene mayor calidad.

Al visualizar la correlación existente de dap por ejemplo con las variables de calidad, se puede concluir que a mayor dap, el árbol va a tender más a la rectitud en un 93 %, es propenso a tener menor número de ramas gruesas (89%), va a pertenecer a una posición sociológica dominante o codominante (89%), va a tener mayor número de trozas comerciales (92%), tiende menos a la bifurcación (85%) y va a ser de mejor calidad general. Sí se comparan las mismas variables de calidad, con altura y volumen comercial se va a encontrar correlaciones muy parecidas a las anteriores. Un árbol con una clara dominancia apical y vigoroso tiene mayor probabilidad de no presentar bifurcaciones, pero también, la de no permitir la presencia de ramas gruesas, o ramas que compitan con el eje dominante denominadas reiteraciones. Este tipo de árboles invierten una mayor cantidad de energía en su fuste principal, que evita la desviación de energía hacia las ramas. Estos individuos son los que registran luego la mayor altura comercial y se han convertido en uno de los caracteres de mayor importancia durante la selección de los árboles candidatos en especies latifoliadas (Vallejos *et al.* 2010). Por otro lado, correlacionando entre sí las variables de calidad, se puede observar por ejemplo, que aproximadamente un tercio de los árboles bifurcados no son dominantes (con una correlación del 67 %), los árboles bifurcados van a tener menos trozas comerciales, al igual que los que presentan ramas gruesas.

La mayoría de estas variables están relacionadas positivamente y muestran datos consistentes; sin embargo en algunos casos, las mismas no se pueden asociar entre sí

porque son caracteres indiferentes a factores genéticos, como por ejemplo, el grano en espiral, que no puede estar asociado al número de trozas comerciales o a la inclinación del árbol.

Cuadro 4. Matriz de correlaciones genéticas entre las variables de crecimiento y calidad evaluadas en el ensayo de procedencias de *E. pellita*, a los 30 meses de establecido, en Huimanguillo, Tabasco, México.

Variables	Dap	Vol Com	h total	Pos Soc	Bifurc	Inclina	Recti	Rama Grue	N trozas	Angulo Ins	Grano Esp
<b>Dap</b>	1										
<b>Vol Com</b>	0,99**	1									
<b>H</b>	0,99**	0,99**	1								
<b>Pos Soc</b>	0,89**	0,85*	0,91**	1							
<b>Bifurc</b>	0,84*	0,80*	0,80*	0,67 NS	1						
<b>Inclina</b>	0,84*	0,79*	0,85*	0,93**	0,75 NS	1					
<b>Recti</b>	0,93**	0,92**	0,95**	0,89**	0,81*	0,94**	1				
<b>Ramas Grue</b>	0,89**	0,91**	0,93**	0,79*	0,80*	0,80*	0,91**	1			
<b>N Trozas</b>	0,92**	0,87**	0,91**	0,98**	0,73NS	0,90**	0,87**	0,76*	1		
<b>Ángulo de Ins</b>	0,95**	0,93**	0,93**	0,84*	0,93**	0,90**	0,97**	0,89**	0,86*	1	
<b>Grano Esp</b>	0,95**	0,96**	0,93**	0,72 NS	0,88**	0,69NS	0,85*	0,91**	0,77*	0,92**	1
<b>Calidad</b>	0,97**	0,96**	0,97**	0,88**	0,88**	0,90**	0,98**	0,95**	0,88**	0,98**	0,92**

Dap = Diámetro (cm) a 1,3 m de altura

Recti= Rectitud.

p > 0,05= NS (No Significativo)

H= Altura total (m) del árbol.

Rama Grue= Ramas Gruesas.

0,05 < p < 0,01= \* (Significativo)

Vol Com= Volumen Comercial (m<sup>3</sup>)

N trozas= Número de trozas Comerciales.

p < 0,01= \*\* (Muy Significativo)

Pos Soc= Posición sociológica

Angulo Ins= Ángulo de Inserción de Ramas.

Bifurc= Bifurcación.

Grano esp= Grano en espiral.

Inclina= Inclinación.

Calidad= Calidad General.

Puede observarse una alta correlación genética positiva entre todos los caracteres investigados. De mantenerse estos valores tan altos de correlación genética entre caracteres a mayor edad, implica la posibilidad a futuro de practicar el mejoramiento indirecto de varios

caracteres simultáneamente. Futuras mediciones y evaluaciones de este ensayo permitirán continuar monitoreando estas correlaciones genéticas.

En el cuadro 5 se muestran los parámetros genéticos de las variables evaluadas en el ensayo de procedencias de la especie en estudio.

Cuadro 5. Parámetros genéticos evaluados en el ensayo de procedencias de *Eucalyptus pellita*, a los 30 meses de edad, en Huimanguillo, Tabasco, México.

<b>Parámetros</b>	<b>Vg</b>	<b>V parc</b>	<b>Ve</b>	<b>H<sup>2</sup>g</b>	<b>H<sup>2</sup>mp</b>	<b>Exactitud</b>	<b>Media General</b>
<b>Dap</b>	0,49	0,01	6,37	0,07 +- 0,04	0,84	0,92	12,93
<b>h total</b>	0,76	0,47	4,71	0,13+-0,05	0,78	0,88	14,56
<b>Volumen Comercial/árbol</b>	0,0002	0,00002	0,002	0,10 +- 0,04	0,87	0,93	0,10
<b>Posición Sociológica</b>	0,098	0,02	1,16	0,08 +- 0,04	0,82	0,90	3,20
<b>Bifurcación</b>	0,004	0,004	0,05	0,07 +- 0,04	0,66	0,81	1,93
<b>Inclinación</b>	0,01	0,0003	0,12	0,06+- 0,03	0,82	0,90	1,85
<b>Rectitud</b>	0,05	0,05	0,2	0,19 +- 0,06	0,91	0,96	1,58
<b>Ramas Gruesas</b>	0,01	0,01	0,10	0,07 +- 0,04	0,62	0,79	1,86
<b>Núm De TrozasComercÁrbol</b>	0,11	0,01	1,89	0,05 +- 0,03	0,78	0,88	3,26
<b>Ángulo de Inserción</b>	0,0002	0,03	0,08	0,002 +- 0,006	0,02	0,14	1,87
<b>Grano en espiral</b>	0,01	0,01	0,13	0,04+- 0,03	0,51	0,71	1,83
<b>Calidad General</b>	99,5	8,51	158,20	0,37 +- 0,09	0,95	0,98	88,25

Dap = Diámetro (cm) a 1,3 m de altura

Ve= varianza residual.

h total= Altura total (m) del árbol.

H<sup>2</sup>g = H2: heredabilidad individual en el sentido amplio, es decir, los efectos totales genotípicas de las poblaciones.

Vg= varianza genotípica de las poblaciones.

H<sup>2</sup>mp= heredabilidad de la media de la procedencia.

Vparc= variación ambiental entre las parcelas.

Exactitud= precisión de la selección de la población.



Del cuadro 5 puede observarse que los valores de la heredabilidad individual en el sentido amplio ( $H^2$ ) son relativamente bajos ( $< 0,2$ ) en la mayoría de los caracteres investigados, con excepción de la calidad general y la rectitud del fuste. Sin embargo, si se utiliza la información de la procedencia, puede observarse muy buenos valores de la heredabilidad media de la procedencia ( $H^2_{mp}$ )  $> 0,5$  en casi todos los casos excepto en el carácter ángulo de inserción, que parece no registrar ningún control genético. Como consecuencia esperada, la exactitud de los estimados es sumamente alta, con excepción del ángulo de inserción de las ramas.

Los parámetros genéticos son herramientas útiles que permiten, a partir de la evaluación fenotípica y genética, predecir la respuesta al mejoramiento genético de una especie de interés (Pastrana, 2011). El concepto heredabilidad es uno de los más importantes y más utilizados en genética cuantitativa. Los valores de heredabilidad expresan la proporción de la variación en la población que es atribuible a diferencias genéticas entre los individuos (Zobel y Talbert, 1988).

Existen dos tipos de heredabilidad a nivel de individuo: la heredabilidad en sentido estricto ( $h^2$ ), que se aplica cuando se utiliza semilla y se captura solo una parte del componente genético (como lo es el caso de esta investigación), y la heredabilidad en sentido amplio ( $H^2$ ), la cual, se aplica cuando se utilizan clones y se captura en su totalidad el componente genético (el 100% de dicho componente) (Murillo, Comunicación Personal). La heredabilidad en sentido estricto ( $h^2$ ) y el diferencial de selección son útiles para predecir la respuesta de la selección en especies forestales (Zobel y Talbert, 1988).

En este caso (Cuadro 5) se obtuvo la  $H^2_g = H^2$ , que es la heredabilidad individual en el sentido amplio, es decir, los efectos totales genotípicas de las poblaciones y la  $H^2_{mp}$ , que es la heredabilidad media de la población (Resende, 2006). Como se puede observar, los caracteres cuantitativos ( $H$  y volumen comercial) mostraron valores de los parámetros genéticos más altos, que la mayoría de los caracteres cualitativos (posición sociológica, bifurcación, inclinación, ramas gruesas, número de trozas comerciales, ángulo de inserción de ramas y grano en espiral), esto puede deberse, a que las procedencias evaluadas tuvieron mayores diferencias genéticas en los caracteres cuantitativos; además, se obtuvieron las mayores heredabilidades en las variables de rectitud y calidad general ( $0,19 \pm 0,06$  y  $0,37$

+ 0.09 respectivamente); Zobel y Talbert, (1988) especifican que las heredabilidades para caracteres de crecimiento, tienden a ser inferiores respecto a la rectitud. Sin embargo, Cornelius y Masis (1994) afirman que en árboles rectos, los valores de variación y heredabilidad son relativamente altos, los cuales, indican que árboles de apariencia superior tienden a ser genéticamente superiores.

En la heredabilidad media de la población se obtuvieron valores que oscilan entre 0,51 y 0,87 a excepción de la variable: ángulo de inserción de ramas (0,02), a pesar de que se reporta en otras especies forestales como un caracter con alta heredabilidad genética; en *E.pellita* no fue así.

En las figuras 5 y 6, se expresa la distribución del valor genético del dap y de la altura total respectivamente, de las siete procedencias evaluadas en el ensayo de *E. pellita*.

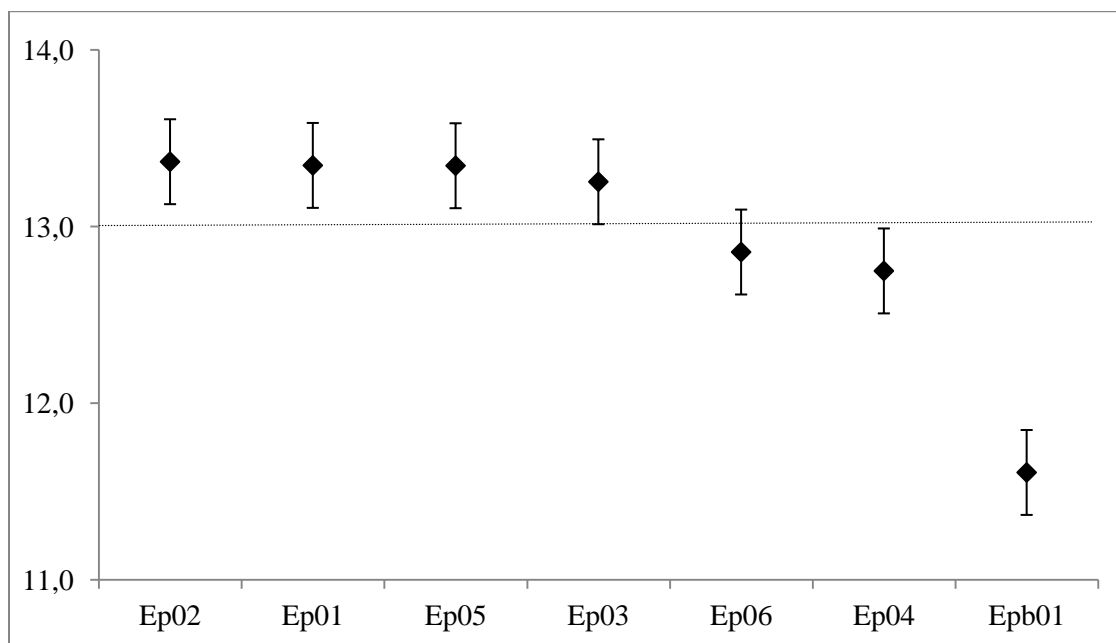


Figura 5. Distribución del valor genético del Dap (cm) y su intervalo de confianza, para siete procedencias de *E. pellita*, a los 30 meses de edad, en Huimanguillo, Tabasco, México. La línea punteada es un criterio para mostrar las mejores procedencias.

Como se observa, en la figura 5, las procedencias: Ep02, Ep01, Ep05 y Ep03 no presentan diferencias significativas y tienen un valor de dap entre 13cm y 14 cm; por debajo de la línea punteada se encuentran las procedencias con menor dap (Ep06, Ep04 y Epb01).

El tipo de crecimiento obtenido por las procedencias que se encuentran sobre la línea punteada, puede ser calificado como muy bueno para una especie de rápido de crecimiento a los dos años y medio de edad.

Por otro lado, las procedencias Ep05, Ep02, Ep01 y Ep03, en la figura 5 no presentan diferencias significativas en cuanto a la altura total y al igual que en el caso anterior, las procedencias Ep04, Ep06 y Epb01 son las que tienen menor volumen comercial.

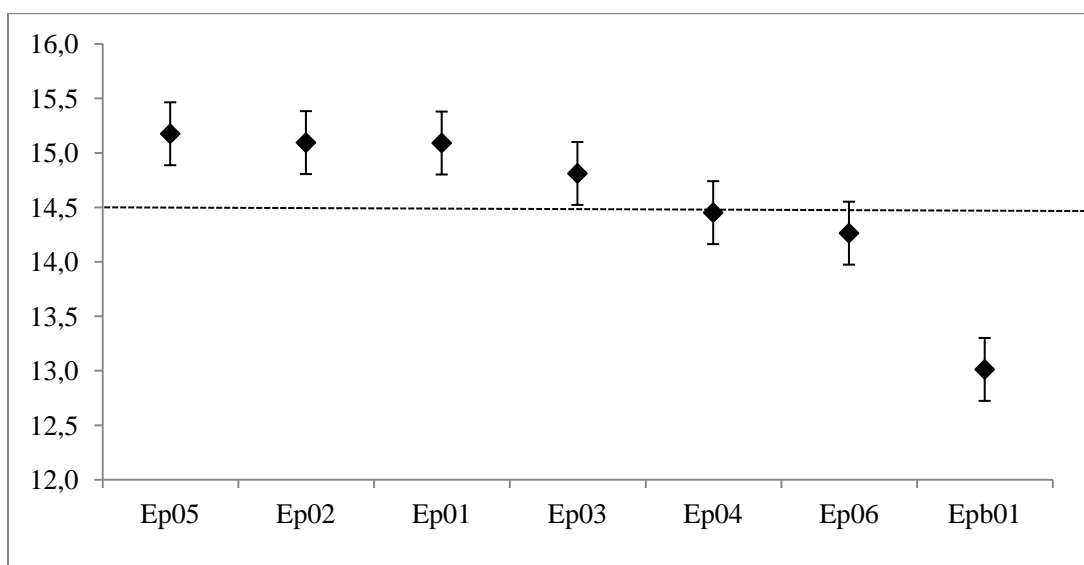


Figura 6. Distribución del valor genético de la altura total (m) y su intervalo de confianza, para siete procedencias de *E. pellita*, a los 30 meses de edad, en Huimanguillo, Tabasco, México. La línea punteada es un criterio para mostrar las mejores procedencias..

Según una investigación realizada por Lekonso (2005), el crecimiento de los árboles de tres procedencias de *E.pellita* (Ep002, Ep003, Ep004), en Indonesia, fue considerado como bastante buena porque se encontraron valores que van desde 8 a 10 m de altura a los 24 meses, y cerca de 20 m en 58 meses. Es posible observar en 30 meses las mejores procedencias de este ensayo se encuentran entre los 14,5 y 15,5 metros de altura, por lo

tanto se puede afirmar lo mencionado anteriormente de una tasa de crecimiento adecuada para este tipo de procedencias.

Leksono & Kurinobu (2005), determinaron que las variables de crecimiento para seleccionar la edad óptima de selección de la especie de *Eucalyptus pellita* F. Muell. fue en primer lugar, (con la mayor prioridad), el diámetro, seguido por la altura y la forma del árbol respectivamente.

Bristow *et.al* (2006), afirma que el *Eucalyptus pellita* F. Muell., muestra un gran desempeño en crecimiento especialmente cuando se planta en una mezcla con acacias, el estudio realizado por esta autora, está basado en modelos con un índice de competencia espacialmente explícitos, el cual, puso de manifiesto que los eucaliptos se derivan de un estímulo de crecimiento positivo de la presencia de acacias. Para los productores de las mezclas de las plantaciones, esto podría conducir a una mayor producción de árboles más valiosos; obteniendo, ganancias significativas en la productividad por el crecimiento de E. pellita con diseños de especies mixtas.

En el anexo 2, se muestra la distribución de las 7 procedencias de *Eucalyptus pellita*, según su valor genético, en las otras variables de calidad evaluadas dentro del ensayo de procedencias y su intervalo de confianza respectivo.

A continuación, las figuras 7 y 8, representan el desvío del valor genético del dap y el volumen comercial respectivamente con respecto al promedio de todo el material evaluado en el ensayo de procedencias. Dichas figuras muestran de forma definitiva, la gran variación genética que existe entre las procedencias evaluadas con respecto a altura total y el Dap.

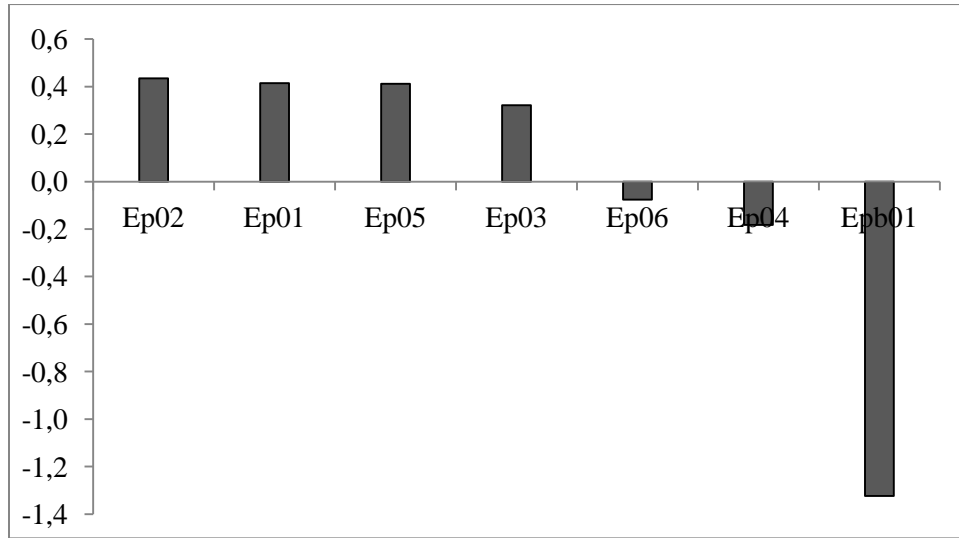


Figura 7. Desvío del valor genético del dap (cm) con respecto al promedio de todas las 7 procedencias de *E.pellita* a los 30 meses de establecidas en Huimanguillo, Tabasco, México.

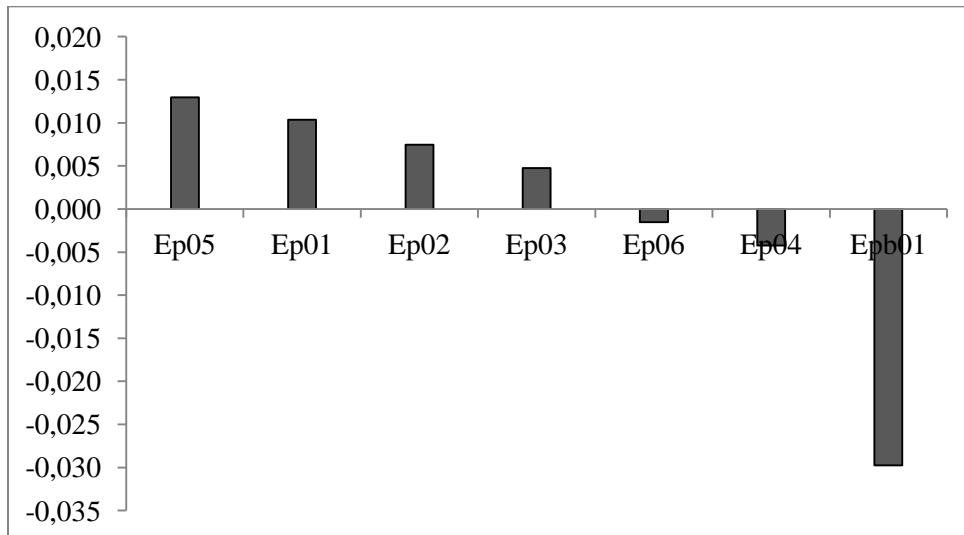


Figura 8. Desvío del valor genético del volumen comercial (m<sup>3</sup>) con respecto al promedio de todos los materiales evaluados de 7 procedencias de *E.pellita* a los 30 meses de establecidas en Huimanguillo, Tabasco, México.

En las figuras anteriores, se logra apreciar la dimensión de superioridad que existe entre las diferentes procedencias evaluadas; en ambos casos las procedencias: Ep05, Ep01, Ep02 y Ep03 tienen un nivel de superioridad muy positivo con respecto a la media general, por el contrario, las procedencias Ep06, Ep04 y Epb01, muestran un valor genético negativo con respecto a dicha media; inclusive esta última (Epb01) es muy inferior con respecto a la media.

En el anexo 1, se encuentra el desvío del valor genético de otras variables de calidad evaluadas a los 30 meses, con respecto al promedio de todos los materiales evaluados, en las siete procedencias de *Eucalyptus pellita*.

En la figura 9, se muestra la distribución del valor genético en cuanto a posición sociológica, y su respectivo intervalo de confianza en diferentes procedencias del ensayo establecido por la empresa.

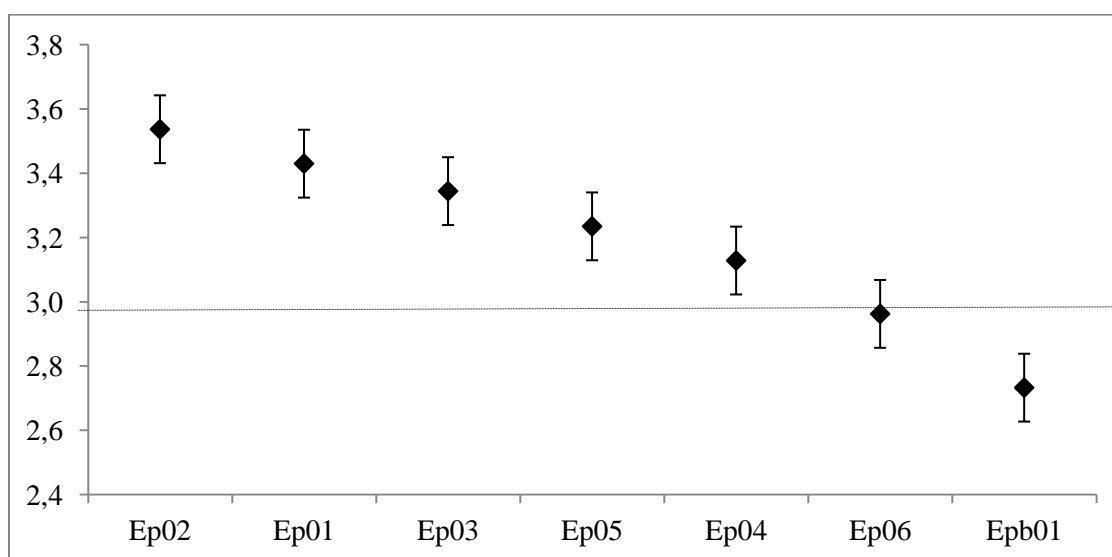


Figura 9. Distribución del valor genético de la variable de calificación cualitativa, posición sociológica y su intervalo de confianza, para siete procedencias de *E. pellita*, a los 30 meses de edad, en Huimanguillo, Tabasco, México. La línea punteada es un criterio para mostrar las mejores procedencias.

Como es posible observar en la figura anterior, las procedencias Ep02, Ep01, Ep03 y Ep05 son las mejores del ranking genético para esta variable, es decir son las procedencias que

tienen un mayor número de árboles dominantes. Como se mencionó anteriormente, la posición sociológica de un árbol, es una expresión indirecta del nivel de competencia que tiene la plantación, si la especie tolerara dicha competencia entonces no existiría diferencia alguna entre las procedencias, en este caso, es posible afirmar que sí existen diferencias entre las procedencias, las primeras, tienen una densidad adecuada y si se analizan las figuras 5 y 6 son las mismas procedencias las que tienen mayor productividad en cuanto a Dap y altura total; en un criterio de selección para reforestación éstas serían las procedencias adecuadas puesto que al tener mayor competencia se refuerza la productividad y se facilita la aplicación de raleos; al contrario, las procedencias Ep04, Ep06 y el híbrido Epb01, necesitan un raleo, eliminando los individuos intermedios y suprimidos para beneficiar el aumento de árboles en categorías Dominante y Codominante.

En la figura 10, se representa la distribución del valor genético de la variable cualitativa inclinación obtenida del análisis efectuado en el ensayo de procedencias. Como es posible observar, las procedencias con un rango cercano a dos son las que presentan menos inclinación, en este caso esas procedencias son: Ep01, Ep02, Ep03.

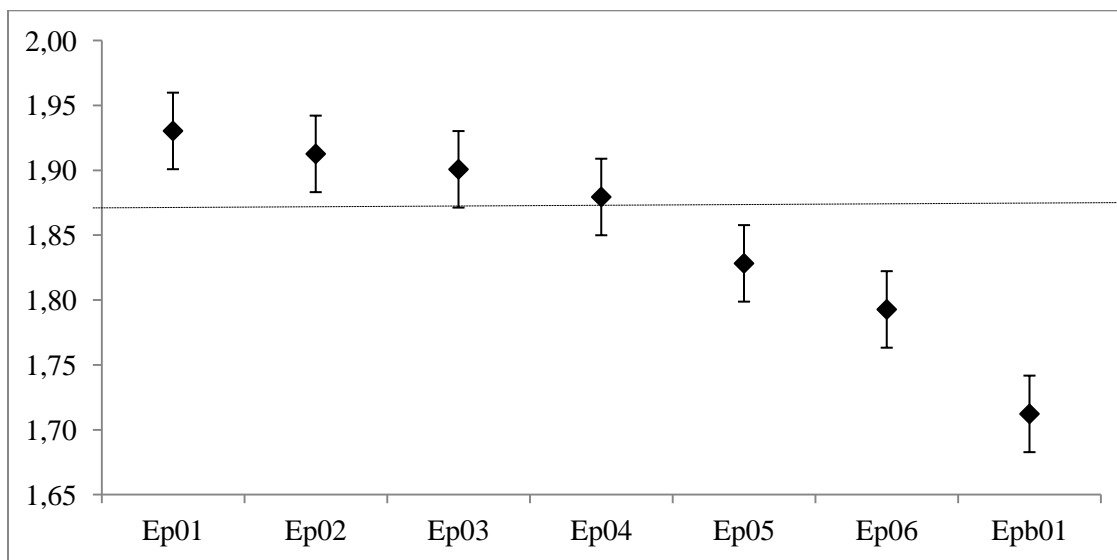


Figura 10. Distribución del valor genético de la variable de calidad Inclinación y su intervalo de confianza, para siete procedencias de *E. pellita*, a los 30 meses de edad, en Huimanguillo, Tabasco, México. La línea punteada es un criterio para mostrar las mejores procedencias.

El *Eucalyptus pellita* F. Muell. es una especie muy susceptible a la inclinación o a la caída por efectos del viento presente en las zonas en donde se cultiva, como se ve en las plantaciones brasileñas en el Valle del Río Doce, Minas Gerais (Machado *et. al*, 2010)

Es recomendable que para establecer una plantación, se tomen las primeras tres procedencias como referencia, ya que son menos susceptibles a la inclinación; sin embargo, como se mencionó anteriormente, en la mayoría de casos lo que influye en la presencia de esta variable, es la tolerancia del viento que es un fenómeno ambiental importante presente en la zona de estudio.



## CONCLUSIONES

- Las procedencias evaluadas de *Eucalyptus pellita* F. Muell, muestran mayor potencial de crecimiento con respecto a otras especies.
- Se encontraron correlaciones significativas y positivas entre las variables de crecimiento y calidad.
- Las procedencias que tiene un mayor crecimiento en cuanto a altura total y DAP son la Ep02, Ep01, Ep05 y Ep03.
- La procedencia Epb01, presentó una tasa de crecimiento inferior y la menor calidad de todo el ensayo de procedencias.

## RECOMENDACIONES

- En la plantación comercial, se recomienda realizar un raleo, utilizando como criterio 30 y 40 % de la masa remanente.
- Continuar con la evaluación del ensayo de procedencias y la valoración posterior para utilizarlo dentro del programa de mejoramiento genético de la empresa.
- Continuar con el monitoreo del crecimiento a través de parcelas permanentes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, 2001. Rendimiento y biomasa de *Eucalyptus nitens* con alternativas nutricionales para una silvicultura sustentable en un suelo rojo arcilloso. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. 171p
- Balcorta, H; Vargas J. 2004. Variación fenotípica y Selección de árboles en una plantación de Melina (*Gmelina arborea* Linn., Roxb), de tres años de edad. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del ambiente. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 10 (001) 13-19
- Bristow, M; Vanclay, J; Brooks, L; Hunt, M. 2006. Growth and species interactions of *Eucalyptus pellita* in a mixed and monoculture plantation in the humid tropics of north Queensland. Forest Ecology and Management, in press. [Forest Ecology and Management Volume 233, Issues 2-3](#). 285-294pp
- Bristow, M. 2008. Growth of *Eucalyptus pellita* in mixed species and monoculture plantations. A thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. Lismore, NSW. School of Environmental Science and Management Southern Cross University. 121p.
- Cornelius, J. y Masis, J. 1994. Avances en el mejoramiento genético de *Vochysia guatemalensis*. Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales, 9: 11-15.
- Coxe, I; Aimers, J; Menzies, M; Holden, G. 2004. Toppled pine – can they be fixed? Results from three toppling trials at Waiotira, Northland. NZ Journal Forestry, November 2004. 17-23.
- Dombro, D. 2010. *Eucalyptus pellita*: Amazonia Reforestation's red mahogany. Planeta Verde Reforestación S.A. (en línea). Disponible en: <http://www.myreforestation.com>
- Gamboa, J. 2012c. Efecto del viento en la plantación de *Eucalyptus pellita*, en el rancho AGROPICAL S.A de C.V. Municipio de Huimanguillo, Tabasco, México. Comunicación Personal ([jospab@gmail.com](mailto:jospab@gmail.com)).
- Jiménez, C. 2008. Calidad y valoración de plantaciones forestales: aplicación práctica en cinco plantaciones de *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. (cebo) en las zonas Norte

- y Atlántica de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Kurú: Revista Forestal. 5 (15) 5p
- Lario, F; Ocaña, L; Rodríguez, J; Gómez J.A. 2005. Calidad de forma del fuste de *Pinus pinaster* Aiton en clima atlántico. Modelo radical para la predicción en plantaciones juveniles. Sociedad Española de Recursos Forestales (S.E.R.F). Madrid, España. 8p
- Leandro, L. 2001. Planificación, Ejecución y utilización de un raleo en una plantación de *Eucalyptus saligna*, de 5 años de edad en Navarro de Cartago. Informe de Práctica de Especialidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 80 p
- Leksono B, Kurinobu S. 2005. Trend of within family-plot selection practiced in the three seedling seed orchards of *Eucalyptus pellita* in Indonesia. J Trop Forest Sci 17:235–242
- Leksono, B. 2005. Trend Of Within Family-Plot Selection Practised In Three Seedling Seed Orchards Of *Eucalyptus Pellita* In Indonesia. Forest Biotechnology and Tree Improvement Research & Development Center, Pakem, Sleman, Yogyakarta 55582, Indonesia. Journal of Tropical Forest Science 17(2): 235-242
- Machado, S; Deon, M; Couto, A; da Silva, L; Francisco, T; Grattapaglia, D. 2010. Manual Práctico de Melhoramento Genético do Eucalipto. Ed. UFV. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitopatología. Viçosa, Brasil. 200 pp
- Malleux, J. 1970. Estudio de la Relación D.A.P con el Diámetro de Copa en un bosque Húmedo Sub Tropical. Revista Forestal del Perú. Vol 4 (1-2): 1-5
- Murillo, O; Camacho, P. 1998. Evaluación de calidad de plantaciones forestales. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Serie de apoyo académico N°27. Cartago, Costa Rica. 56 p
- Murillo, O; Badilla, Y. 2010. Calidad de la Plantación Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 66 p.
- Orea, U; Cordero, E; Pérez, N; Gómez, R. 2006. Composición química de la corteza de tres especies de eucaliptos, a tres alturas del fuste comercial. Parte 2. *Eucalyptus pellita* F.Muell. Chemical composition of bark of three species of eucalyptus to three heights of commercial bole. Part 2 *Eucalyptus pellita* F.Muell. Revista Forestal Venezolana 50(1) 2006, pp 53-58.

- Organización de los Estados Americanos (OEA). 1996. Uruguay - Alternativas Para La Transformación Industrial Del Recurso Forestal. Dirección Forestal. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Fondo Nacional de Preinversión. Unidad de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Secretaría General de La Organización de los Estados Americanos. Washington, D.C. Estados Unidos. 270p
- Ortiz, E; Carreras, F. 2002. Estadística básica para inventarios forestales. Capítulo 4. Inventarios Forestales para Bosques Latifoliados de América Central. Eds Lorena Orozco, Cecilia Brumér. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 71-98 p
- Ortiz, E. 2008. Crecimiento y Rendimiento Forestal. Notas de Curso. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 88 p
- Pastrana, J. 2011. Potencial Genético De Acacia (*Acacia Mangium* Willd.) En Córdoba (Colombia). Universidad De Córdoba. Facultad De Ciencias Agrícolas. Tesis para optar por grado de Maestría En Ciencias Agronómicas. Área De Formación En Fitomejoramiento. Córdoba, Colombia. 118p
- Resende, M.D. V. de, 2006. O Software Selegen-Reml/Blup. EMBRAPA. Campo Grande, BR. 299p.
- Rojas, O; Murillo, O. 2000. Calidad de las Plantaciones de Teca en la Península de Nicoya, Costa Rica. Agronomía Costarricense, julio-diciembre, año/volumen. 24, número 002. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Pp. 65-75
- Schlegel, B; Gayoso, J; Guerra, J. 2000. Medición de la Capacidad de Captura de Carbono en Bosques de Chile y Promoción en el Mercado Mundial. Manual de Procedimientos Muestreos de Biomasa Forestal. Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF D98I1076. Valdivia, Chile. 26 p
- Sánchez, S; Murillo, O. 2004. Desarrollo de un Método para controlar la calidad de Producción de Plántulas en viveros forestales: Estudio de caso con ciprés (*Cupressus lusitánica*). Agronomía Costarricense. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Vol 28(002): 95-106

Zobel, B. y Talbert, J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Ed. Limusa. México D.F. 545 p.

## **Capítulo 2. Dinámica de variables fisiológicas a nivel de ensayo de procedencias y plantación pura de *Eucalyptus pellita* F. Muell, en el estado de Tabasco, México.**

### **RESUMEN**

Se evaluaron dentro del ensayo de procedencias de *Eucalyptus pellita*, las variables fisiológicas: contenido de clorofila (SPAD) y Área Foliar Específica (AFE), y dentro de la plantación pura el Índice de Área Foliar (IAF).

Se tomó una muestra de cinco hojas por árbol y cinco árboles por procedencia para evaluar el contenido de clorofila y el AFE dentro del ensayo de procedencias. Además, dentro de la plantación pura, a cada una de las parcelas se les tomó una foto para estimar el IAF.

Se realizaron correlaciones entre las variables fisiológicas y las variables de crecimiento dentro del ensayo de procedencias y se comprobó mediante gráficos de dispersión que existen algunas correlaciones a los 30 meses de edad para el *Eucalyptus pellita*, en la zona de estudio.

**Palabras claves:** *Eucalyptus pellita* F. Muell, Variables fisiológicas, Índice de Área Foliar, Área Foliar Específica, contenido de clorofila, crecimiento.

**Chapter 2. Dynamics of physiological variables at a provenance trial and *E.pellita*  
F. Muell. plantation in the state of Tabasco, Mexico.**

**SUMMARY**

Within the trial of provenances of *Eucalyptus pellita*, physiological variables: were evaluated : chlorophyll content (SPAD) and specific leaf area (SLA), and at the pure plantation only Leaf Area Index (LAI).

A sample of five leaves per tree and five trees per provenance to evaluate chlorophyll content of and the SLA in the provenance test. Moreover, at the plantation a photo to estimate LAI was taken at each plot.

Correlations were performed between physiological and growth variables at the provenance trial and it was verified, by scatter plots, that there are some correlations at 30 months of age for *Eucalyptus pellita* in the study area.

**Keywords:** *Eucalyptus pellita*, *physiological variables*, *Leaf Area Index*, *Specific Leaf Area*, *Chlorophyll Content*, *Growth*.

## INTRODUCCIÓN

La predicción de las tasas de crecimiento y por lo tanto de la productividad de los árboles en cualquier sitio, es uno de los problemas centrales de la gestión forestal. La solución al problema, siempre ha sido el uso de medición convencional a partir de modelos de medición de árboles en el campo y la descripción estadística de las distribuciones de tamaño y los cambios en crecimiento a través del tiempo. El inconveniente con estos modelos es que son completamente empíricos y para sitios específicos, y no describen el crecimiento de árboles en sitios particulares, sometidos a un determinado rango de condiciones climáticas y regímenes de gestión; por lo tanto, no pueden ser utilizados para evaluar las consecuencias de condiciones diferentes o para estimar la productividad probable en otros lugares. Para superar estas limitaciones se deben desarrollar modelos que describen el crecimiento del árbol en términos del entorno físico y los procesos fisiológicos que regulan el crecimiento (Landsberg & Hingston 1996).

La gran diversidad de especies de árboles en los trópicos predice una divergencia en atributos fisiológicos relacionada con la multitud de tamaños, formas y arquitecturas (Andrade, 2005). Sin embargo, se ha demostrado que puede haber un número finito de soluciones a las diferentes adaptaciones de las plantas al medio ambiente, especialmente en los aspectos de transpiración, fotosíntesis y crecimiento (Meinzer, 2003)

Los fisiólogos forestales, observan los árboles como fábricas complejas de bioquímicos que crecen de las semillas. Por lo tanto los mismos, se interesan en los numerosos procesos fisiológicos que la planta produce colectivamente para su crecimiento. La importancia de los procesos fisiológicos en la regulación del crecimiento se acentúa por el mismo hecho de que por ejemplo una hectárea de bosque en zona templada produce (antes de restar las pérdidas por respiración de las plantas) unas veinte toneladas métricas de materia seca al año y una hectárea de bosque húmedo tropical hasta cien toneladas. Esta vasta cantidad de biomasa es producida a partir de un número relativamente reducido de simple materia prima: agua, dióxido de carbono, y unos pocos kilogramos de nitrógeno y otros elementos minerales (Pallardy, 2008)



El ambiente luminoso y la intercepción de la radiación están dentro los factores primarios que determinan el crecimiento de las plantas. La estructura de las hojas, el dosel de copas y su dinámica constituyen aspectos básicos del conjunto de procesos metabólicos, que a partir de la fotosíntesis y fijación del carbono, conducen al crecimiento y desarrollo vegetal, en conjunción e interacción con el régimen térmico y disponibilidad de agua y nutrientes (Pardos, 2007). En el campo de la fisiología hay variables difíciles de estimar como los anteriormente nombrados (fotosíntesis, transpiración, flujo de agua, etc.) ; pero también se reconocen variables de más fácil medición que guardan relación con la eficiencia fisiológica de los árboles, por ejemplo: área foliar específica, contenido de nitrógeno, pigmentos, contenido de clorofila en las hojas y más. Todo depende de los instrumentos de medida accesibles para realizar las evaluaciones.

En definitiva, no se puede esquivar el enfoque fisiológico en las investigaciones forestales, ya que aporta aspectos básicos del crecimiento y desempeño del árbol en un ecosistema. A pesar de que en la actualidad existen los instrumentos portátiles para las mediciones no son fácilmente asequibles. En México se carece de estudios fisiológicos de especies forestales, no por falta de recursos financieros, sino de formación de profesionales en ese campo (Andrade, 2005)

### **Estudios de variables fisiológicas en especies del género *Eucalyptus*.**

Se han realizado estudios sobre variables fisiológicas en especies de eucaliptos, para evaluar su crecimiento a nivel de plantación.

El índice de área foliar (IAF) es un parámetro de suma utilidad en estudios predictivos de producción de biomasa. Por ejemplo, la conversión mediante una curva de calibración de los valores del índice de superficie de planta de *E. nitens* en valores de IAF se ha aplicado para calcular la productividad primaria neta en plantaciones de *E. nitens* y *E. globulus*. La investigación fisiológica de la influencia de la radiación luminosa en eucaliptos, es otro ejemplo de variable fisiológica que se ha centrado, por una parte, en la evaluación de la tasa fotosintética en función de la especie, y su variación intraespecífica. Reviste especial importancia la eficiencia del uso de la luz en la producción de madera, la cual es

directamente proporcional (al aumentar la eficiencia del uso de la luz, aumenta la producción de madera), como se muestra en el estudio con *E. nitens* en cuatro localidades, en las que la madera producida por unidad de área aumenta al incrementarse el índice de área foliar- IAF- (Pardos, 2007)

Se han estudiado también los efectos que el incremento de luz derivado de un raleo intenso produce sobre la fotosíntesis, donde la misma aumenta, especialmente en las zonas media y baja de las copas; las concentraciones de fósforo y nitrógeno también aumentan y el área foliar específica disminuye (Medhurst & Beadle, 2005).

### **Estudios de variables fisiológicas en *E. pellita***

Según un estudio realizado por Bristow (2008), se requiere más investigación para determinar las diferencias en la eficiencia, asignación y manipulación de recursos y por lo tanto, la fisiología y morfología, en la productividad y funcionamiento del *E. pellita* en plantaciones.

## **Metodología**

### **Variables fisiológicas**

Las variables fisiológicas como: Área Foliar Específica (AFE) y concentración de clorofila (Anexo 9) se evaluaron únicamente dentro del ensayo de procedencias de *E. pellita*, mientras que el Índice de Área Foliar (IAF) se midió en las parcelas establecidas dentro de la plantación pura.

### **Muestreo por variable fisiológica**

Dentro de cada parcela establecida en el ensayo de procedencia se realizaron diferentes muestreos según las siguientes variables fisiológicas.

- **Área Foliar Específica (AFE):** Las unidades de muestreo fueron 5 árboles por parcela, elegidos al azar, de estos se escogieron 5 hojas (de cada uno) que se encontraban en la parte intermedia de la copa del árbol, seguidamente, se marcó y escaneó cada hoja sin el peciolo para calcular el área total de la hoja, mediante la utilización de un software llamado Digimizer, dichas hojas fueron transportadas en

una pequeña hielera al laboratorio donde se colocaron en un horno a una temperatura de 85°C hasta lograr un peso constante, el cual fue medido con una balanza digital. Con este método se logró obtener los gramos por centímetro de cada hoja y el área de las mismas (cm<sup>2</sup>); posteriormente se obtuvo un promedio por árbol y por procedencia.

- **Índice del Área Foliar (IAF) y porcentaje de cobertura de copa :** Estas variables se evaluaron dentro de las parcelas establecidas en la plantación pura utilizando una cámara fotográfica digital, la misma fue colocada a una altura aproximada de 1,70 metros con respecto al suelo, donde capturó una imagen de la cobertura de copa en cada parcela, cada foto fue procesada utilizando el software Winphot 5.00© 1996 Hans ter Steege, dando como resultado una proporción de metro cuadrado de área foliar por metro cuadrado de terreno (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) para el IAF. Los datos generados por este procedimiento se consideran estimados, pero constituyen una referencia para establecer comparaciones.
- **Concentración de clorofila:** Las unidades de muestreo también fueron de 5 árboles por parcela, de estos se escogieron 5 hojas (de cada uno; las mismas utilizadas para el Área Foliar Específica) que se encontraban en la parte intermedia de la copa del árbol, a cada hoja se le evaluó directamente la cantidad de clorofila disponible mediante el medidor de clorofila “Spadmeter”. Con este método, se sacó un promedio por árbol y por procedencia de la concentración de clorofila de las hojas.

### **Análisis estadístico**

#### **Ver capítulo 1, Análisis estadístico metodología SELEGEN (página 31)**

Para el análisis del Índice de Área Foliar (IAF), el software se basa en la determinación de fracciones del follaje. Asumiendo que la luz tiene una oportunidad de ser interceptada por las hojas a medida que pasa a través de la vegetación. La posibilidad de ser interceptada depende de la longitud del camino a través de la vegetación, la densidad de las hojas y su orientación. Con la suposición de que las hojas son pequeñas y distribuidas al azar, no tienen preferencia acimutal y no transmiten la luz, la fracción brecha en el ángulo de visión cenital  $z$  puede estar relacionada con el IAF. Si se tiene en cuenta la vegetación que constan de (n) capas de hojas horizontales, todas ellas con una parte

igual del total del IAF, después, cada capa tendrá un área parcial de la hoja de  $L = LAI / n$ . La probabilidad de que un haz de luz no sea interceptado en dicha capa es entonces  $1 - L$ . Después de las capas,  $n$  oportunidades de ser interceptados todavía no se convierte en  $(1-L)^n$  o la intensidad de luz total en relación con la de encima del dosel después se convierte en  $n$  capas, utilizando las siguientes ecuaciones (Manual WINPHOT 5.0):

$$\text{[Ecuación 4]} I(n) = I(0) * (1-L)^n$$

o en forma exponencial

$$\text{[Ecuación 5]} I(n) = I(0) * e^{[n * \ln(1 - L)]}$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 6 se muestran los resultados obtenidos del inventario realizado en la plantación de eucalipto, de donde se calcularon las alturas y diámetros dominantes por parcela, al igual que el índice de área foliar y el porcentaje de cobertura de copa.

Cuadro 6. Índice de Área Foliar (IAF), obtenido en la plantación de *E. pellita*, a los 30 meses de establecida, en Huimanguillo, Tabasco, México.

Parcela	Dap Dominante	Altura Dominante	IAFm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	% Cobertura
1	17,58	17,88	1,87	25,8
2	16,50	17,73	1,02	39,1
3	17,33	18,60	1,32	32,11
4	14,80	17,33	1,93	20,41
5	17,20	19,18	1,05	37,47
6	15,98	17,73	1,17	35,17
7	15,88	18,58	1,23	31,66
8	17,00	18,20	2,06	18,42
9	17,10	18,50	1,28	30,19
10	17,03	17,28	1,2	33,83
11	17,18	17,40	***	***
12	16,38	17,83	1,5	31,13
13	16,33	17,50	1,09	38,43
14	16,80	19,25	1,74	21,89
15	16,55	19,43	1,52	26,22
16	16,58	17,93	1,89	26,69
17	14,40	16,58	***	***
18	15,18	17,20	1,06	37,67
19	16,05	17,50	1,66	25,12
20	17,70	19,45	1,34	31,04

\*\*\*No se logró utilizar las fotos de estas parcelas, por efectos de luminosidad.

La altura dominante y el dap dominante, son indicadores de calidad en una plantación forestal; es muy probable que conforme aumenten estas variables, aumente también la calidad de sitio y el Índice de Área Foliar. El Índice de Área Foliar (IAF), es el principal determinante de absorción e interceptación de la luz (Landsberg & Hingston 1996) y su radiación, por lo que es una influencia dominante en la productividad de las plantaciones (White et al., 2010).

Por otro lado, por medio del porcentaje de cobertura de copa es posible obtener un criterio para raleo en una plantación, donde lo ideal es tener un porcentaje de cobertura del 50 %.

Mediante un análisis de correlación (Anexos 4 y 5), no fue posible encontrar una relación entre las variables de crecimiento (altura y diámetros dominantes) con el IAF y el porcentaje de cobertura de copa; una posible explicación es que este estudio fue realizado en un mismo sitio, a la misma edad y bajo las mismas condiciones de manejo; por lo tanto, no se muestra variabilidad en función de crecimiento de los árboles.

En las figuras 11 y 12, se observa la distribución del valor genético del contenido de clorofila y el área foliar específica con sus respectivos intervalos de confianza.

Es interesante observar que la procedencia Ep06 se encuentra de primera en el ranking genético del contenido de clorofila y es una de las últimas en el ranking de dap y volumen comercial, específicamente se encuentra en el puesto número 5, sin embargo, realizando un análisis más específico de las variables, no se logró encontrar correlación entre el contenido de clorofila y las variables de crecimiento hasta el momento.

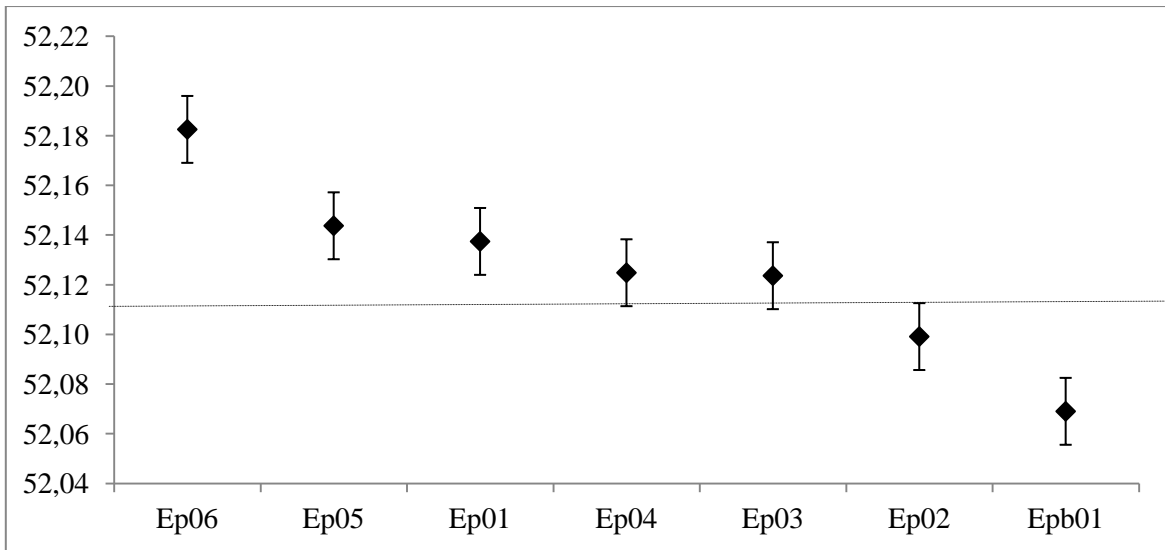


Figura 11. Distribución del valor genético del contenido de clorofila (SPAD) y su intervalo de confianza, para siete procedencias de *E. pellita*, a los 30 meses de edad, en Huimanguillo, Tabasco, México. La línea punteada es un criterio para mostrar las mejores procedencias.

Estadísticamente la procedencia Ep06 es superior a todas las procedencias evaluadas y la Epb01 es la que menor contenido de clorofila contiene, las demás procedencias no presentaron diferencias significativas entre ellas. Estos datos están representados en la ANDEVA del anexo 11.

En un estudio realizado por Calvo *et al.* (2008), el uso del SPAD como opción para medir indirectamente la concentración de clorofila y el vigor de las plántulas de las especies estudiadas (*Gmelina arborea* (melina), *Tectona grandis* (teca) y *Swietenia macrophylla* (Caoba)) no quedó demostrado, dado que los resultados no fueron tan consistentes con las variables de crecimiento o concentración de nutrimentos foliares.

Para el área foliar específica (figura 12), las procedencias que mejor se posicionan en el ranking genético son: Ep03 y Ep05, estas mismas procedencias se encuentran entre las mejores posiciones del ranking de dap y altura comercial; sin embargo realizando un análisis de varianza (Anexo 12), se puede comprobar que no existen diferencias significativas entre procedencias.

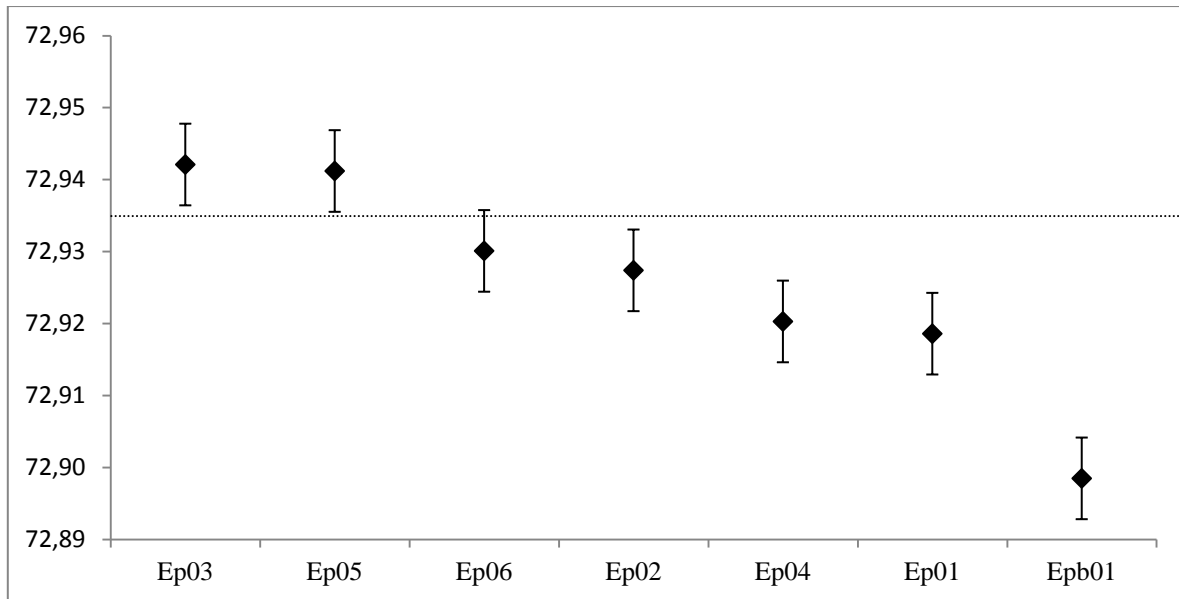


Figura 12. Distribución del valor genético del Área Foliar Específica (AFE) y su intervalo de confianza, para siete procedencias de *E. pellita*, a los 30 meses de edad, en Huimanguillo, Tabasco, México. La línea punteada es un criterio para mostrar las mejores procedencias.

En un estudio realizado por Domínguez *et al.* (2004), en Sevilla, España, se encontró que al relacionar el crecimiento de los individuos marcados con el área foliar específica (medida en 5 hojas /árbol) y el contenido medio en clorofilas, aparecen distintos patrones en algunas especies estudiadas. Para el *Quercus ilex* existe una relación positiva y significativa entre la tasa de crecimiento individual y el contenido medio de clorofila foliar ( $r = 0,51$ ,  $p < 0,05$ ,  $N=17$ ), y una relación negativa aunque no significativa con el área foliar específica. Este patrón se repite para el *Nerium oleander* y *Olea europea var sylvestris*. En otras especies, como el *Populus alba* o el *Celtis australis*, la tasa de crecimiento individual presenta relaciones positivas, aunque no significativas, tanto con el área foliar específica como con el nivel medio de clorofila foliar.

Por otro lado, la arquitectura de la copa afecta el crecimiento del árbol a través del control de área foliar y su capacidad para capturar la luz y producir fotosíntesis. Puede ser importante cuantificar las características de la copa para el uso eficaz de las prácticas silviculturales intensivas para mejorar el crecimiento de los árboles en las plantaciones forestales (Jozef, 2008)



En las figuras 13 y 14, se representa el desvío del valor genético del contenido de clorofila y el Área Foliar Específica respectivamente, con relación al promedio de todos los materiales evaluados en el ensayo de procedencias de eucalipto.

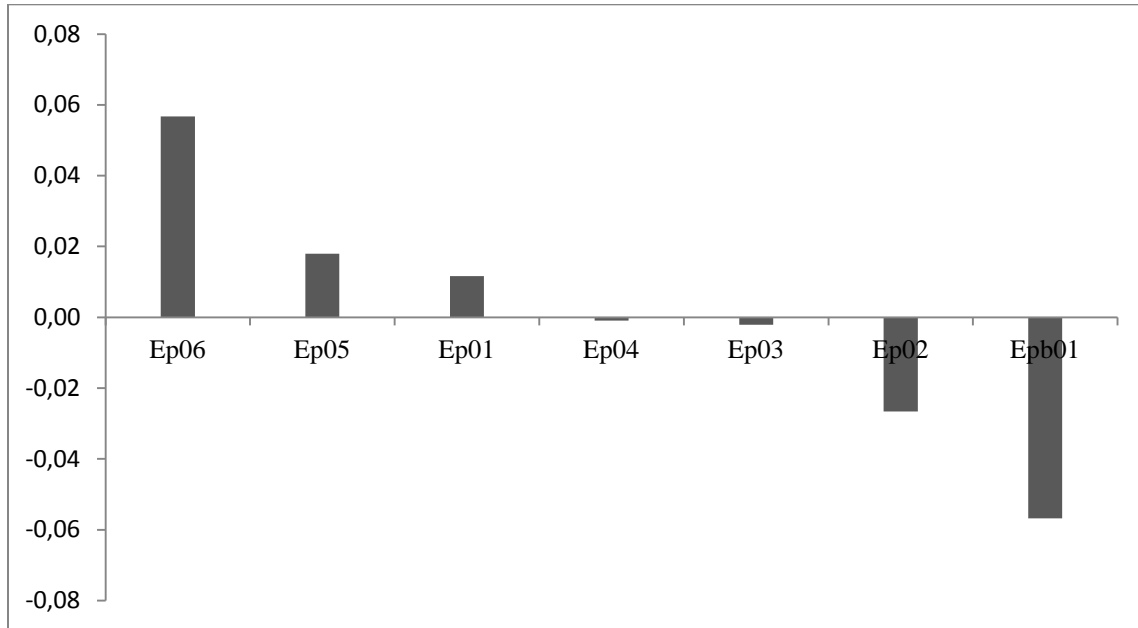


Figura 13. Desvío del valor genético del contenido de clorofila (SPAD) con respecto al promedio de todos los materiales evaluados de 7 procedencias de *E.pellita* a los 30 meses de establecidas en Huimanguillo, Tabasco, México.

En la anterior figura, se logra observar de forma contundente la gran diferencia que existe con respecto al valor genético obtenido en la evaluación del contenido de clorofila entre las procedencias evaluada, donde la Ep06, muestra un gran valor de superioridad con respecto a la media obtenida, mientras que la Epb01 es muy inferior con respecto a la misma media.

En la figura 14, en cambio, el mayor valor genético obtenido con respecto a la media general se mostró en la procedencia Ep03 e igualmente, el menor valor obtenido fue el de la Epb01.

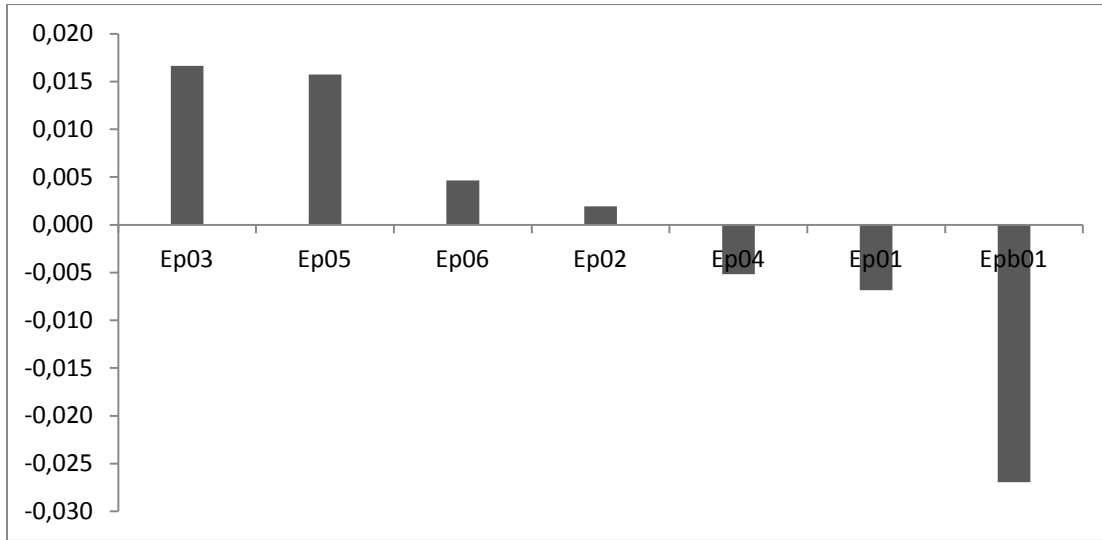


Figura 14. Desvío del valor genético del Área Foliar Específica (AFE) con respecto al promedio de todos los materiales evaluados de 7 procedencias de *E.pellita* a los 30 meses de establecidas en Huimanguillo, Tabasco, México.

En el cuadro 7, se presenta la matriz de correlación que existe entre las variables de crecimiento (diámetro altura al pecho, altura total, altura dominante, volumen comercial y área basimétrica) con respecto a las variables fisiológicas evaluadas en el ensayo de procedencias (contenido de clorofila, área foliar y Área Foliar Específica)

Cuadro 7. Matriz de correlación de variables de crecimiento y algunas variables fisiológicas evaluadas en el ensayo de procedencias de *E. pellita*, a los 30 meses de establecido en Huimanguillo, Tabasco, México.

	<b>dap</b>	<b>H</b>	<b>g</b>	<b>h Dom</b>	<b>Vol com</b>	<b>Clorofila</b>	<b>AFE</b>	<b>Área Foliar</b>
<b>dap</b>	1							
<b>H</b>	0,99**	1						
<b>g</b>	0,99**	0,99**	1					
<b>h Dom</b>	0,93**	0,91**	0,93 **	1				
<b>Vol com</b>	0,99**	0,99**	0,99**	0,94**	1			
<b>Clorofila</b>	0,52 NS	0,45 NS	0,47 NS	0,49 NS	0,56 NS	1		
<b>AFE</b>	0,81*	0,76*	0,78 *	0,87 **	0,8 *	0,6 NS	1	
<b>Area Foliar</b>	0,5 NS	0,41 NS	0,44 NS	0,43 NS	0,5 NS	0,89 **	0,68 NS	1

dap = diámetro (cm) tomado a 1,3 m de altura con respecto al suelo.

H= Altura total (m) del árbol.

h Dom= Altura dominante (m).

Vol Com= Volumen Comercial (m<sup>3</sup>)

g= Área Basimétrica (m<sup>2</sup>)

Clorofila= Contenido de Clorofila (SPAD)

Área Foliar (cm<sup>2</sup>)

AFE= Área Foliar Específica (g/cm<sup>2</sup>)

p > 0,05= NS (No Significativo)

0,05 < p < 0,01= \* (Significativo)

p < 0,01= \*\* (Muy Significativo)

En esta matriz, se encontraron correlaciones superiores a 0,9 entre las variables de crecimiento (dap, altura, volumen comercial y área basimétrica), con alta significancia; como era esperado, entre mayor dap tengan los individuos, mayor será la altura y por lo tanto el volumen comercial y el área basimétrica de los mismos. Si se analizan las correlaciones existentes entre las variables de crecimiento y las fisiológicas, se puede apreciar que existen correlaciones interesantes de estudio entre el dap y altura dominante con el AFE (0,81 y 0,87, respectivamente) y entre el área foliar y el contenido de clorofila; adicionalmente se encontró también, correlación entre el área el área foliar específica y las variables de crecimiento (H, volumen comercial y área basimétrica)

En la figura 15, se muestra la correlación existente entre el área foliar y el contenido de clorofila, cuya relación es expresada por un coeficiente de correlación de  $r= 0,89$  con un alto nivel de significancia ( $p< 0,01$ ). La relación lineal, expresada por la ecuación matemática indica que un 89 % de la variación del área foliar es explicada por el contenido de clorofila a nivel de hoja.

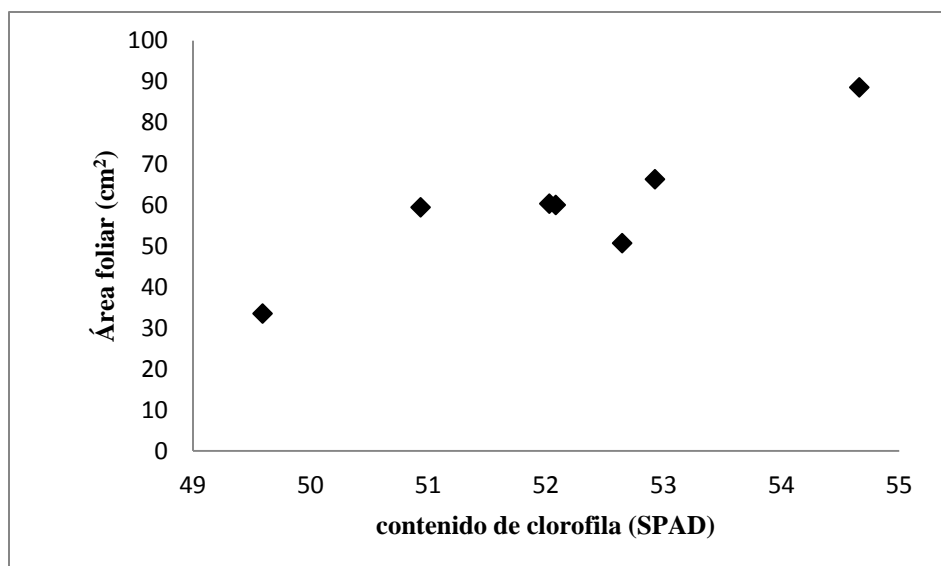


Figura 15. Relación existente entre el área foliar y el contenido de clorofila, evaluada en el ensayo de procedencias de *E. pellita*, a los 30 meses de establecido en Huimanguillo, Tabasco, México

Kun-Fang (2000) afirma que, las hojas perennes de los árboles tropicales son más gruesas y tienen un mayor contenido de clorofila por unidad del área de la hoja, que las hojas caducas de los árboles en zonas templadas.

En la figura 16, se encontró una relación lineal positiva entre la altura dominante del rodal y el área foliar específica a partir de una muestra de hojas. Esta relación pareciera indicar que entre mejor sea la calidad de sitio (expresada por los valores de altura dominante), mayores es el contenido de materia seca por unidad de área foliar. Esta relación debe estudiarse más profundamente bajo la hipótesis que a mayor contenido de materia seca mayores son los diferentes agregados fisiológicos.

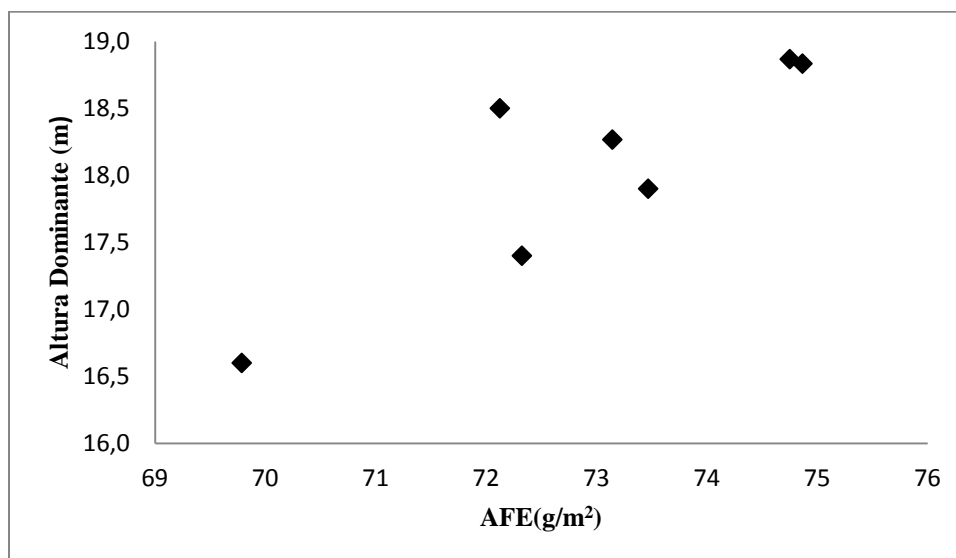


Figura 16. Relación existente entre la altura dominante del rodal y el área foliar específica, evaluada en el ensayo de procedencias de *E. pellita*, a los 30 meses de establecido en Huimanguillo, Tabasco, México

Por último en el cuadro 8, se muestra el Número de hojas por árbol y número de árboles por procedencia óptimos para realizar un estudio de Contenido de Clorofila e Índice de Área foliar en un ensayo de procedencias.

Cuadro 8. Número de hojas por árbol y número de árboles por procedencia óptimos para realizar un estudio de Contenido de Clorofila e Índice de Área foliar.

	N Hojas /árbol para			N
	Contenido de clorofila	N Hojas /árbol para área Foliar	N árbol/Procedencia para Contenido Clorofila	árbol/Procedencia Área Foliar
<b>S</b>	8.7	92.1	26.8	431.1
$t_{(\alpha=0,05)}$	2.8	2.8	2.1	2.1
$\mu$	0.7	7.1	1	20

En este caso, para obtener un menor porcentaje de error y una mayor exactitud en los resultados, es necesario tomar 2 hojas más para realizar el análisis de Área foliar y tomar 5 árboles por procedencia más igualmente para esta variable.

## **CONCLUSIONES**

- No fue posible encontrar una relación entre las variables de crecimiento e Índice de Área Foliar (IAF) dentro de la plantación, debido a la uniformidad en las condiciones de la misma.
- El porcentaje de cobertura de copa es un posible indicador del nivel de raleo que hay que realizar en un rodal.
- La procedencia Ep06 fue la que presentó mayor contenido de clorofila (SPAD) y el la Epb01 fue la que presentó el menor contenido.
- Las procedencias Ep03 y Ep05, presentaron mayor Área Foliar Específica; sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre las mismas.

## **RECOMENDACIONES**

- Continuar más estudios con variables fisiológicas, en el caso específico del SPAD, se recomienda calibrar los valores del instrumento contra los valores reales de contenidos de clorofila a y b y su relación con nitrógeno foliar.
- Generar un set de ecuaciones que permitan estimar el Índice de Área Foliar y su calibración con instrumentos como el LAI 2000.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, J. 2005. Fisiología Ecológica de árboles tropicales: Avances y perspectivas. Revista Chapingo. Serie de ciencias forestales y del ambiente 11(2). Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. Pp 83-91
- Bristow, M. 2008. Growth of *Eucalyptus pellita* in mixed species and monoculture plantations. A thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. Lismore, NSW. School of Environmental Science and Management Southern Cross University. 121p.
- Calvo, J; Arias, D; Jiménez, C; Solano, J. 2008 Efecto de cinco sustratos en el contenido foliar de nutrientes y crecimiento inicial de tres especies forestales empleadas en Mesoamérica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Kurú: Revista Forestal. 5(14) 15p
- Domínguez, M; Marañón, T; Murillo, J; Hidalgo, J; Madejón, P. 2004. Crecimiento y morfología foliar de especies leñosas en las reforestaciones del corredor verde del Guadimar. Actas de la I Reunión sobre Ecología, Ecofisiología y Suelos forestales. Sevilla, España. Cuad.Soc.Esp.Cienc.For. 20: 173-179
- Jozef, D. 2008. Linking Morphology and Physiology as Predictors of Productivity in Elite Families of Southern Pines. Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. 136 p
- Kun-Fang, C. 2000. Leaf anatomy and chlorophyll content of 12 woody species in contrasting light conditions in a Bornean heath forest. Can. J. Bot. 78: 1245–1253.
- Landsberg, J; Hingston, F. 1996. Evaluating a simple radiation/dry matter conversion model using data from *Eucalyptus globulus* plantations in Western Australia. Heron Publishing. Victoria, Canadá. Tree Physiology no 16: 801-808.
- Manual de uso del software WHINPHOT 5.0. (En línea) Disponible: [http://www.bio.uu.nl/~boev/PersonalPages/HansterSteege/Winphot/winphot\\_\\_index.htm](http://www.bio.uu.nl/~boev/PersonalPages/HansterSteege/Winphot/winphot__index.htm)
- Medhurst, J; Beadle, C. 2005. Photosynthetic capacity and foliar nitrogen distribution in *Eucalyptus nitens* is altered by high-intensity thinning. Tree Physiol 25, 981-991.
- Meinzer, F.C. 2003. Functional convergence in plant responses to the environment. Oecologia 134:1–11



- Pallardy, S. 2008. Physiology of woody plants. Third Edition. School of Natural Resources. University of Missouri Columbia, Missouri. United States of America. 469 p
- Pardos, J. 2007. Perspectiva fisiológica en la producción del eucalipto. (Con énfasis en *Eucalyptus globulus* Labill. E.T.S. de Ingenieros de Montes, UPM, Madrid, España. Boletín del CIDEU 3:7-55 (2007) ISSN 1885-5237.
- White, D; Battaglia, M; Mendham, D; Crombie, S; Kinal, J; McGrath, J. 2010. Observed and modelled leaf area index in Eucalyptus globules plantations: tests of optimality and equilibrium hypotheses. Tree Physiology no 30: 831–844.

### **Capítulo 3. Morfometría de algunos árboles seleccionados para estimar biomasa y calcular ecuaciones de volumen.**

#### **RESUMEN**

En la plantación comercial se seleccionaron 8 árboles al azar de diferentes categorías diamétricas, cada árbol fue separado por componentes: fuste, hojas, ramas; que posteriormente fueron pesados para obtener peso verde.

Se realizaron regresiones lineales donde se obtuvieron modelos simples para estimar biomasa verde aérea en toneladas de los diferentes componentes del árbol, utilizando como variable regresora especialmente el Dap.

Posteriormente se realizaron análisis correspondientes para obtener la cantidad de carbono (C) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) almacenado en la plantación a los 30 meses de establecido. En términos generales, se obtuvo un promedio por árbol de 27,04 kg de carbono almacenado en el fuste y 10,44 kg en el follaje, además de 99,23 kg de CO<sub>2</sub> almacenado en el fuste y 38,32 kg en el follaje.

***Palabras claves:** Biomasa, morfometría, carbono, dióxido de carbono, peso verde, peso seco.*

#### **SUMMARY**

Eight trees were selected from the commercial plantation and from different diameter classes, each tree was separated into the following components: stem, leaves, twigs. These components were then measured to obtain fresh weight. Linear regressions were performed to obtain simple models for estimating above ground biomass in tons for all the different components of the tree, using DBH (diameter at breast height) as the regression variable.

Later analyzes were performed to obtain the amount of Carbon (C) as well as carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) stored in a plantation of 30 months of age. Overall, an average of 27,04 kg of Carbon in the stem and 10.44 kg of Carbon in the foliage per tree were obtained, representing 99.23 kg of CO<sub>2</sub> stored in the stem and 38.32 kg in foliage.

**Keywords:** Biomass, morphometry, carbon, carbon dioxide, fresh weight, dry weight.

## INTRODUCCIÓN

En comparación con un bosque natural, las plantaciones presentan diferencias en la estructura y composición del dosel. Inclusive para diferentes especies manejadas en monocultivos, aún se perciben diferencias en la estructura vertical. La caracterización de la estructura vertical de una plantación puede ser un elemento importante en la evaluación de plantaciones, siempre y cuando se pueda demostrar que las variaciones en la arquitectura de los árboles, aparte de la constitución genética, obedecen a condiciones de sitio y/o manejo. La descripción de la arquitectura del árbol a través de diferentes parámetros de copa ofrece la posibilidad de caracterizar árboles y rodales, ya sea para la toma de decisiones sobre manejo silvicultural (aspectos de podas, aclareos y evaluación de la calidad de plantaciones) o para fines de investigación (crecimiento y rendimiento) (Arias, 2005).

La morfometría de un árbol y las variables derivadas de ellos son usados para transmitir una idea de las relaciones inter-dimensionales, del espacio vertical ocupado por cada árbol, juzgar el grado de competencia entre árboles y las conclusiones acerca de la estabilidad, la vitalidad y la productividad de cada individuo (Durlo y Denardi, 1998).

El uso de ecuaciones alométricas, por su parte, basado en relaciones matemáticas entre parámetros relativamente fáciles de medir, tales como el diámetro, permite el cálculo de la biomasa de una especie forestal de una manera no destructiva y extrapolable a situaciones de crecimiento similares (Montero & Montagnini, 2005)

La biomasa forestal se define como el peso (o estimación equivalente) de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo. Normalmente es cuantificada en toneladas por hectárea de peso verde o seco. Es frecuente separarla en componentes, donde los más típicos corresponden a la masa del fuste, ramas, hojas, corteza, raíces, hojarasca y madera muerta (Schlegel, *et al* 2000).

Un estudio de biomasa en las plantaciones de Eucalipto, posibilita relacionar el crecimiento con los requerimientos nutricionales, interpretar la evolución del ciclo bioquímico a partir del análisis de los componentes de la biomasa (hojas, ramas, corteza, madera y raíces) y del ciclo biogeoquímico en la fase de crecimiento con mayor demanda de elementos nutritivos desde el suelo (Aparicio, 2001), además, permite calcular la captura de CO<sub>2</sub>.

Los productores de *Eucalyptus pellita* generalmente están preocupados por conocer cuál es el crecimiento en el volumen maderable de sus plantaciones y para poder estimarlo, necesitan de tablas de volumen para la especie, o bien contar con datos de diámetros, alturas y volumen para poder construir las, ajustando los datos a modelos volumétricos conocidos (Pece de Ríos, 1994).

Algunos estudios han intentado establecer una relación matemática entre las variables Dap (diámetro a 1,30m), altura total, diámetro límite superior, altura desde el diámetro límite superior hasta el ápice, volumen total, volumen comercial correspondiente. De esta manera se podría estimar directamente el volumen comercial, estableciendo factores de conversión que transformen el volumen total estimado en volumen comercial (Pece de Ríos, 1994).

El cálculo de volumen de un árbol en pie, está basado en la medición de diámetros y largo de trozas en el fuste. Estas mediciones pueden hacerse escalando el árbol, utilizando instrumentos ópticos o simplemente cortando el árbol. Estas mediciones son, desde luego sumamente costosas y es prácticamente imposible de realizarlas en todos los árboles de un bosque. Para resolver este inconveniente, se tienen dos alternativas: a) construir tablas de volumen para árboles individuales, o b) realizar un ajuste analítico del perfil del fuste de los árboles, ambos procedimientos con base en una muestra de árboles (Ortiz, 2008).

### **Metodología**

Para calcular la biomasa de la plantación se tomó como guía el Manual de Procedimientos para Muestreos de Biomasa Forestal de Schlegel, *et al* (2000), el cual, describe los procedimientos y metodologías que son implementados en la realización de ensayos destructivos de biomasa, la que, normalmente es cuantificada en toneladas por hectárea de peso verde o seco. Es frecuente separarla en componentes, donde los más típicos corresponden a la masa del fuste, ramas, hojas, corteza, hojarasca y madera muerta.

Se evaluó una muestra de 6 árboles ubicados en diferentes categorías diamétricas, las cuales se establecieron tomando en cuenta las variables de crecimiento anteriores a este paso, el muestreo se realizó únicamente dentro de la plantación comercial.

Para estimar la biomasa de cada individuo se tomó como referencia únicamente la biomasa aérea de los ocho árboles escogidos.

### **Pasos para evaluar la Biomasa Aérea (peso verde de fuste y follaje del árbol)**

Según el Manual de Procedimientos para Muestreos de Biomasa Forestal de Schlegel, *et al* (2000).

Para estimar la biomasa aérea se voltearon los árboles y se dividieron en secciones.

Antes del volteo de los árboles, se registró para cada uno de ellos la siguiente información:

- Número de árbol
- Altura total (m)
- DAP (diámetro altura al pecho en cm)
- Diámetro de copa (m)

Es importante recalcar que la corta del árbol se realizó lo más cercano posible al suelo. Después del volteado del árbol, se midieron algunas variables tales como: altura total, altura de comienzo de copa viva, diámetro y altura de tocón, diámetro con corteza cada metro a partir del tocón, variando levemente la medición en el caso de encontrar un muñón de rama.

Se registró además el espesor de corteza a lo largo del fuste principal, tomando la medición en el mismo lugar en que se realizan las mediciones de diámetros.

Seguidamente se pesó la biomasa de ramas y hojas por separado (Figura 3).



**Figura 17.** Representación aérea de una zona de procesado y pesado para biomasa aérea.

**Fuente:** Manual de Procedimientos para Muestreos de Biomasa Forestal, 2000.

Posteriormente, se cortó el fuste comercial en secciones de un metro y se pesó.

Se tenía previsto sacar sub-muestras para obtener el peso seco de los diferentes componentes de los árboles, sin embargo, por limitaciones en el área de estudio no se lograron obtener dichos resultados.

### **Cálculos para estimar la biomasa aérea.**

Una vez que se determinó el peso verde total de los diferentes componentes de los árboles seleccionados, se desarrolló una función de regresión de biomasa de la especie.

Todos los datos obtenidos se manejaron por medio de tablas y gráficos en Excel.

Para determinar la relación del diámetro (dap) y altura total (h) con respecto a los componentes de la biomasa del árbol, se usaron regresiones lineales utilizando el programa estadístico InfoStat. Los modelos se seleccionaron mediante la creación de gráficos, comparando el comportamiento de los valores calculados por el modelo contra los calculados para biomasa aérea.

### **Análisis estadístico de biomasa Aérea**

Estadísticamente se utilizó el mayor valor del coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  ajustado) de cada modelo (Parresol, 1999), además se consideró que los parámetros de cada modelo son estadísticamente significativos, al menos con una probabilidad  $\alpha < 0,05$ .

Con la evaluación de biomasa se indicó la estimación de carbono (C), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), así como la morfometría completa y la ecuación de volumen del *E. pellita* a los 30 meses de edad en la plantación comercial evaluada.

Se tomó la proporción (R) de peso verde / peso seco, obtenida por García *et al.* (2004), en una investigación que realizaron sobre la evaluación del rendimiento de biomasa de *Eucalyptus pellita* F. Muell. en Pinar del Río, Cuba; donde dicha proporción para el fuste fue de 0,496 y para el follaje de 0,579. Mediante estas razones, se obtuvo el peso seco de los componentes de biomasa para los árboles seleccionados para este estudio.

Al calcular la cantidad de carbono almacenado se multiplicó el peso seco obtenido por cada árbol por un factor de 0,5 y este resultado se volvió a multiplicar por 3,67 para obtener la cantidad de dióxido de carbono acumulado hasta el momento.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 9, se observan los modelos de biomasa obtenidos, para seis árboles seleccionados de *Eucalyptus pellita* dentro de la plantación comercial.

Cuadro 9. Modelos de regresión lineal para estimar biomasa de los diferentes componentes de árboles seleccionados de *E. pellita*, en el estado de Tabasco, México.

Variable Dependiente	Variable Regresora	Modelo Biomasa (Ton)	R <sup>2</sup>
Biomasa Hojas	Dap	$-0,028+0,03*Dap$ (cm) ** **	0,93
Biomasa Ramas	Dap/h	$-0,03+0,05*Dap$ (cm)/h (m) * **	0,85
Biomasa Fuste	Dap	$-0,1+0,01*Dap$ (cm) ** **	0,94
Biomasa Total	Dap	$-0,14+0,02*Dap$ (cm)	0,97

0,05 < p < 0,01= \* (Significativo)

p < 0,01= \*\* (Muy Significativo)

Estos modelos se pueden utilizar en un rango de 12 a 18 cm de Dap (diámetro altura al pecho a 1,3 m de altura con respecto al suelo) y un rango de altura total entre 13 y 17 m. Son modelos relativamente simples que usan variables directas de fácil medición y con bajo nivel de error como lo es el Dap; además, los modelos muestran coeficientes de determinación bastante altos y valores significativos.

En el cuadro 10, se muestra la cantidad de carbono y dióxido de carbono almacenado hasta el momento en la plantación de *Eucalyptus pellita*, a los 30 meses de edad.

Cuadro 10. Cantidad de carbono, dióxido de carbono y biomasa almacenados en seis árboles de *Eucalyptus pellita*, a los 30 meses de edad en el estado de Tabasco, México.

Árbol	Dap (cm)	Fuste (kg)	Follaje (kg)	R		C		CO <sub>2</sub>	
				Fuste	Follaje	Fuste	Follaje	Fuste	Follaje
1	13,40	99,72	32,52	49,46	18,83	24,73	9,41	90,76	34,55
2	12,50	72,48	25,07	35,95	14,52	17,98	7,26	65,97	26,64
3	14,50	115,35	38,97	57,22	22,56	28,61	11,28	104,99	41,41
4	17,00	158,28	46,43	78,51	26,88	39,25	13,44	144,06	49,33
5	11,50	65,75	19,62	32,61	11,36	16,31	5,68	59,84	20,84
6	17,60	142,58	53,79	70,72	31,14	35,36	15,57	129,77	57,15
<b>Promedio</b>	<b>14,42</b>	<b>109,03</b>	<b>36,07</b>	<b>54,08</b>	<b>20,88</b>	<b>27,04</b>	<b>10,44</b>	<b>99,23</b>	<b>38,32</b>

R= Peso verde /peso (Fuste (0,496), follaje (0,579))

C= Carbono

CO<sub>2</sub>= Dióxido de Carbono.

Por conveniencia internacional al multiplicar la biomasa seca de los diferentes componentes del árbol por un factor de 0,5, se obtiene el carbono almacenado por árbol, esto sucede debido a que la mayoría de especies forestales contienen cerca del 50 % de carbono almacenado principalmente en el fuste; según un estudio realizado por Elias y Potvin (2003) donde se evaluaron las concentraciones de carbono en 30 especies forestales, *Tectona grandis* (teca), fue la especie que mayor concentración de este elemento obtuvo, con un total de 49,4 %, mientras que *Ormosia macrocalyx* obtuvo la menor concentración de C con 44,4%, todas muy cercanas al 50%. Por otro lado, para obtener contenido de dióxido de carbono, es necesario multiplicar dicha concentración de carbono por 3,67, este valor es el resultado de la razón de las masas molares del dióxido de carbono entre las masas molares del carbono (Castro, 2011), donde:

$$\frac{CO_2}{C} = \frac{12 + 16 + 16}{12} = 3,67$$

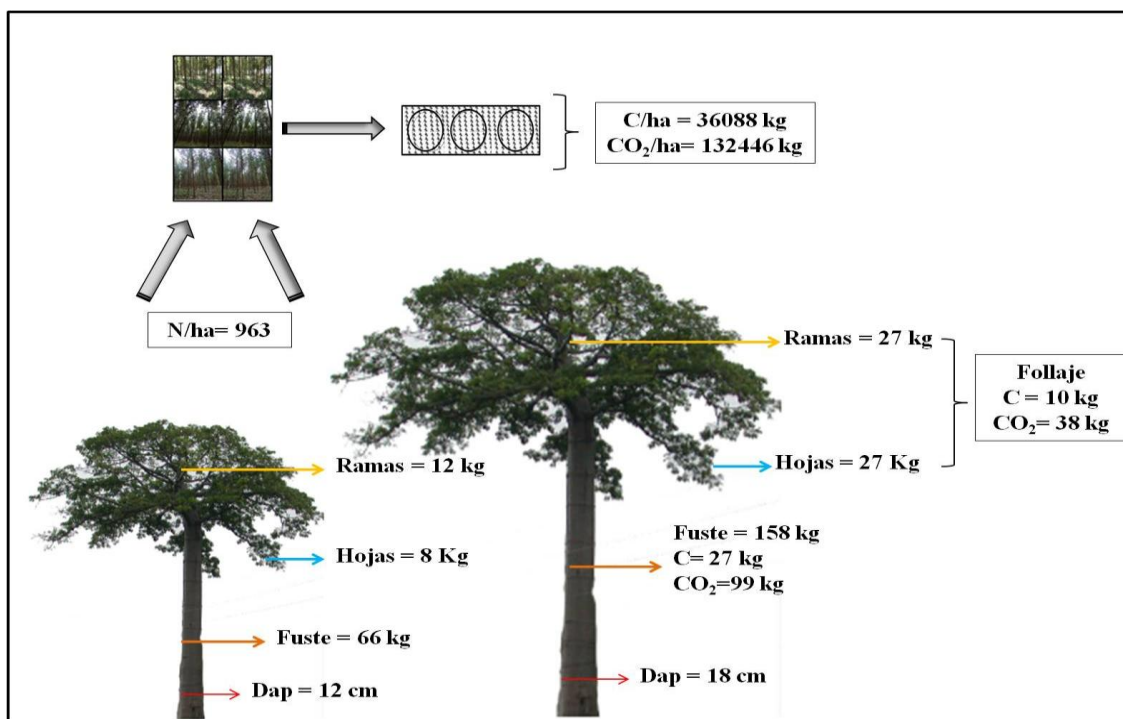
A nivel general en este estudio, se obtuvo un promedio por árbol de carbono almacenado en el fuste de 27,04 kg y en el follaje de 10,44 kg; de dióxido de carbono en el fuste, el almacenamiento promedio por árbol fue de 99,23 kg y en el follaje de 38,32 kg.

Debido a las características de la especie, no se reporta ramas y hojas por separado, ya que las ramas no eran superiores a 4 cm; por esta razón, el follaje es la suma del peso de las hojas y las ramas.

En una investigación realizada por Almeida *et al.* (2004), al este de Brasil en una plantación de *Eucalyptus grandis*, a los 4 años de establecida, se obtuvieron resultados de aproximadamente 60 kilogramos de biomasa leñosa por árbol a los 12 centímetros de diámetro altura al pecho (dap), relativamente similar a lo que se obtuvo con *Eucalyptus pellita* en este estudio, sin embargo al realizar comparaciones de biomasa por hectárea en el fuste, Almeida *et al.* obtuvo aproximadamente 25 ton, mientras que en *E. pellita* el resultado fue de 105 toneladas por hectárea, por lo tanto se puede afirmar que las tasas de biomasa obtenidas por *E.pellita* son óptimas para los 30 meses de establecido.



En la figura 18, se logra observar la representación de la biomasa verde aérea de los diferentes componentes en dos árboles de *Eucalyptus pellita* de la misma edad (30 meses) pero de diferentes dimensiones.



**Figura 18.** Biomasa de diferentes componentes evaluados en seis árboles de *Eucalyptus pellita* a los 30 meses de edad, localizados en Huimanguillo, Tabasco, México.

En la figura anterior se obtuvo que de los ocho árboles seleccionados, el que tuvo mayor peso verde en el fuste fue de 158 kilogramos (kg), el que tuvo mayor peso en hojas fue de 27 kg, al igual que el que tuvo mayor peso verde en ramas (27 kg). Por el contrario, el que tuvo menor peso verde en fuste fue de 66 kg, hojas 8 kg y ramas 12 kg.

Al tener una densidad de 963 árboles por hectárea, se puede afirmar que en esta plantación se está almacenando un total de 36088 kg de carbono y 132446 kg de dióxido de carbono, estos datos muestran que se está almacenando un porcentaje adecuado de carbono y dióxido de carbono para tratarse de una plantación de tan solo 30 meses de establecida.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La tasa de acumulación de carbono y dióxido de carbono para la especie *Eucalyptus pellita* es óptima para 30 meses de establecida en la región.
- Por medio de esta información la empresa puede obtener Certificados de Emisiones Reducidas (Mecanismos de Desarrollo Limpio)

## BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, A; Landsberg, J; Sands P. 2004. Parameterisation of 3-PG model for fast-growing *Eucalyptus grandis* plantations. *Forest Ecology and Management* 193 (2004). 179–195p
- Aparicio, 2001. Rendimiento y biomasa de *Eucalyptus nitens* con alternativas nutricionales para una silvicultura sustentable en un suelo rojo arcilloso. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. 171p
- Arias, D. 2005. Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales. Instituto tecnológico de Costa Rica. Kurú: *Revista Forestal* 2(5) Kurú: *Revista Forestal (Costa Rica)* 2(5), 2005. 13 p
- Castro, E. 2011. ¿Cómo se logra la Certificación Carbono Neutro? Congreso Académico. Unidad Carbono Neutro. Universidad EARTH. Guápiles, Costa Rica.
- Elias, M; Potvin C. 2003. Assessing inter- and intra-specific variation in trunk carbon concentration for 32 neotropical tree species. [Canadian Journal of Forest Research](#), 33 (6): 1039-1045.
- Durlo, M; Denardi, L. 1998. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundaria nativa do Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal* 8(1):55-66.
- García, Y; Echeverría, P; Mercadet, A; Paredes, L. 2004. Evaluación del rendimiento de biomasa de *Eucalyptus pellita* F MUELL. en Viñales; Pinar del Río, Cuba. *Medio Ambiente y Desarrollo*. Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente. La Habana, Cuba. Año 4, No. 6, ISSN:1683-8904. 5p
- Montero, M; Montagnini, F. 2005. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de diez especies nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Comunicación Técnica*. CATIE, Turrialba Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente/no. 45:112-119*
- Ortiz, E. 2008. Crecimiento y Rendimiento Forestal. Notas de Curso. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 88 p

- Parresol, B,R. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. For. Sci. 45 (4): 573-593.
- Pece de Ríos, M. 1994. Tabla de volumen comercial para *Eucalyptus pellita* utilizando el método de la razón volumétrica. Cátedra de Estadística Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, UNSE, Av. Belgrano (S) 1.912, 4.200 - Santiago del Estero, Argentina. 11p.
- Schlegel, B; Gayoso, J; Guerra, J. 2000. Manual de Procedimientos para Muestreos de Biomasa Forestal. Medición de la Capacidad de Captura de Carbono en Bosques de Chile y Promoción en el Mercado Mundial. Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF D98I1076. Valdivia, Chile. 26 p

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

- *Eucalyptus pellita* es una especie muy promisoría para proyectos de reforestación comercial y proyectos de remoción de carbono.
- Se recomienda realizar futuros estudios sobre propiedades físico-mecánicas de la especie.
- Es necesario iniciar programas de propagación vegetativa para continuar con el programa de mejoramiento genético.
- Para el caso de Costa Rica se recomienda ensayar la especie procurando disponer de diferentes procedencias.

## BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Álvarez de León, M; García, F; 2007. “*Eucalyptus pellita* (F Muell), especie multipropósito al servicio de la ganadería en los Llanos Orientales”. Ed. Produmedios, Bogotá, Colombia.
- Arce, B; Barrantes, A. 2004. La madera en Costa Rica: situación actual y perspectivas. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO)/ Oficina Nacional Forestal (ONF), San José, Costa Rica. ( en línea)
- Balasaravanan, T; Chezian, P; Kamalakannan, R; Ghosh, M; Yasodha, R; Varghese, M; Gurumurthi, K. 2005. Determination of inter- and intra-species genetic relationships among six *Eucalyptus* species based on inter-simple sequence repeats (ISSR). *Tree Physiology* 25, 1295–1302. Heron Publishing—Victoria, Canada. 9p
- Bristow, M. 2008. Growth of *Eucalyptus pellita* in mixed species and monoculture plantations. A thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. Lismore, NSW. School of Environmental Science and Management Southern Cross University. 121p.
- Ceccon, E; Martínez, M. 1999. Aspectos ambientales referentes al establecimiento de plantaciones de eucalipto de gran escala en áreas tropicales: aplicación al caso de México. *Revista Interciencia*, VOL. 24 N° 6.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2010. Programa y acciones de Reforestación, Conservación y Restauración de suelos, Incendios forestales y Sanidad Forestal. Coordinación General de Conservación y Restauración. Primera edición. San Juan de Ocotán Zapopan, Jalisco, México. 113p.
- Del Riego, M. 2010. Efecto sobre las propiedades del suelo de las reforestaciones realizadas en el distrito de Coixtlahuaca, Oaxaca, México. Proyecto final de carrera. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica superior de Ingenieros de montes. 189p
- Dombro, D. 2010. *Eucalyptus pellita*: Amazonia Reforestation’s red mahogany. Planeta Verde Reforestación S.A. (en línea). Disponible en: <http://www.myreforestation.com>

- Fox, T. 2000. Sustained productivity in intensively managed forest plantations. [Forest Ecology and Management](#). Forest Research Center, PO Box 819, Yulee, USA. [Volume 138, Issues 1–3](#) Pp 187–202
- Gamboa, J. 2011a. Justificación Silvicultural de cambio en distanciamientos de siembra de 3x3 metros a 3,5x3, 5 metros para plantaciones de *Eucalyptus pellita* en la sabana de Huimanguillo. Empresa AGROPICAL S.A. de C.V. Huimanguillo México ([jospab@gmail.com](mailto:jospab@gmail.com)).
- Gamboa, J. 2011b. Preparación del sitio para establecer La plantación de *Eucalyptus pellita* (correo electrónico), Empresa Forestal Agropical S.A de C.V. Huimanguillo, Estado de Tabasco, México ([jospab@gmail.com](mailto:jospab@gmail.com)).
- Hernández, R; Ballina, R; Hernández, S; Urbina, F. 2005. Enciclopedia de los Municipios de México. Tabasco. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Tabasco. En línea. Disponible en: <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/tabasco/mpios/27008a.htm>
- Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), 2011. Chave de Identificação de Espécies Florestais (CIEF) (En línea). Disponible en:  
<http://www.ipef.br/identificacao/cief/especies/pellita.asp>
- Machado, S; Deon, M; Couto, A; da Silva, L; Francisco, T; Grattapaglia, D. 2010. Manual Prático de Melhoramento Genético do Eucalipto. Ed. UFV. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitopatología. Viçosa, Brasil. 200 pp
- Martínez, R; Azpíroz, H; Rodríguez, J; Cetina, V; Gutiérrez, M. 2006. Importancia de las Plantaciones Forestales de *Eucalyptus spp.* Universidad Autónoma Indígena de México Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. *Ra Ximhai*, año/vol. 2, número 003. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. pp. 815-846
- Mesén, F. 1990. Resultados de Ensayos de procedencias en Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 40 p
- Mesén, F. 1994. Ensayos de procedencias en especies forestales: Establecimiento, Manejo, Evaluación y Análisis.. Manual sobre Mejoramiento Genético Forestal, con

Referencia Especial a América Central. Proyecto Mejoramiento Genético Forestal  
Capítulo 3. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza. Turialba, Costa Rica.  
Pp 26-43

Murillo, O. 1994. Estrategias de Mejoramiento Genético Forestal. Manual sobre  
Mejoramiento Genético Forestal, con Referencia Especial a América Central.  
Proyecto Mejoramiento Genético Forestal (CATIE). Capítulo13. Instituto  
Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. Pp188-198

Murillo, O; Badilla, Y. 2010. Calidad de la Plantación Forestal. Instituto Tecnológico de  
Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 66 p.

Noda-Jimenez, A; Álvarez, P; Junco, L; García, M; Sotolongo, R. 2000. “Propagación  
clonal *in vitro* de *Eucalyptus pellita* F. Muell”. Revista Chapingo Ciencias Forestales  
y del Ambiente 7(1) 29-33

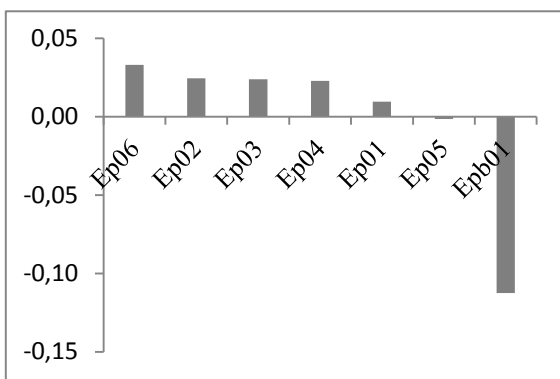
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2004. Anuario  
Estadístico de la Producción Forestal 2004. Dirección General de Gestión Forestal y  
de Suelos. México, D. F. México. 161 p. En línea (México).  
<http://www.conafor.gob.mx>. (15 de mayo de 2007)

Villa S. 2010. Plantaciones forestales comerciales en México: Desarrollo histórico, logros y  
perspectivas. Memorias de la primera reunión nacional de plantadores forestales  
(AMEPLANFOR). Villa Hermosa, Tabasco, México. 18 p.

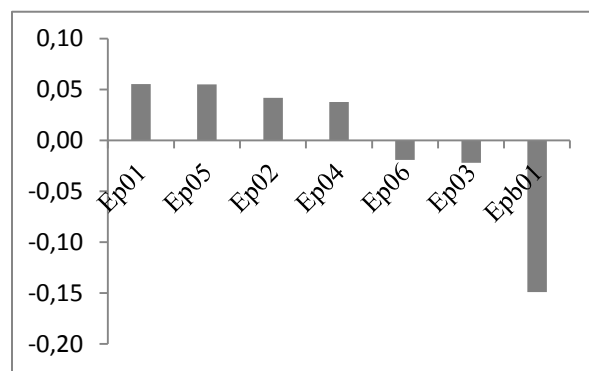


## ANEXOS

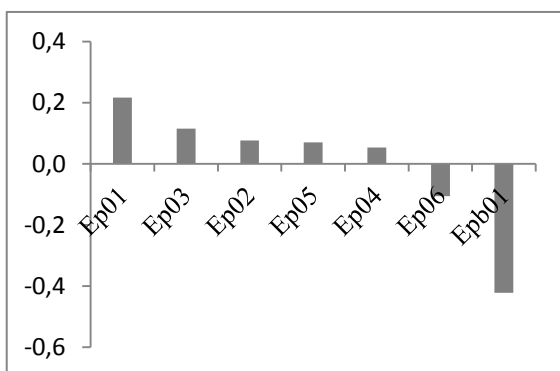
**Anexo 1.** Desvío del valor genético de las variables de Calidad (a, b, c, d, e, f, g, h), evaluadas a los 30 meses, con respecto al promedio de todos los materiales evaluados, en siete procedencias de *Eucalyptus pellita* F. Muell., en Huimanguillo Tabasco, México.



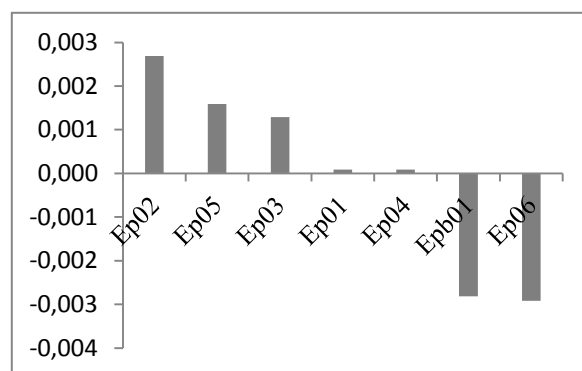
a. Bifurcación



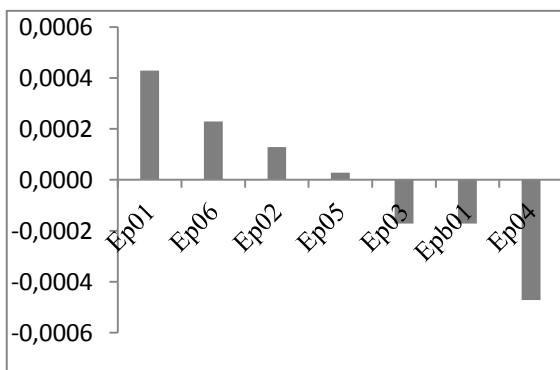
d. Ramas Gruesas



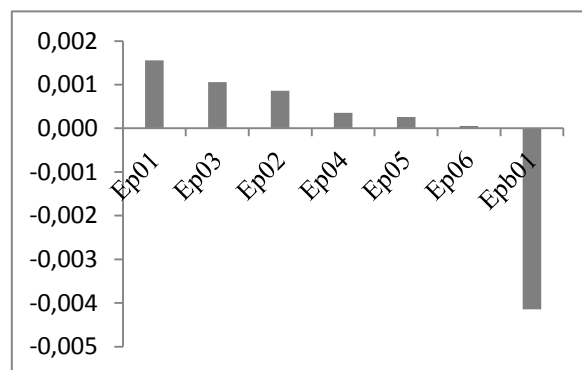
b. Rectitud



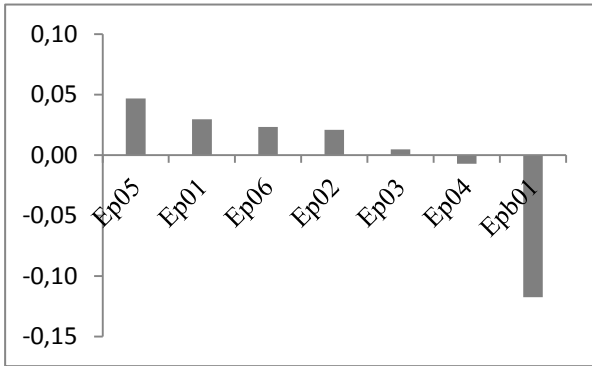
e. Número de trozas Comerciales



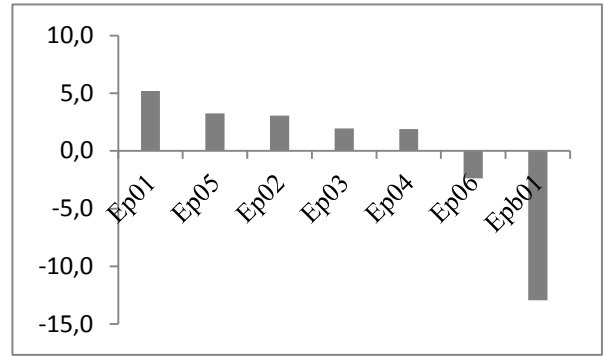
c. Daño mecánico



f. Inserción de Ramas

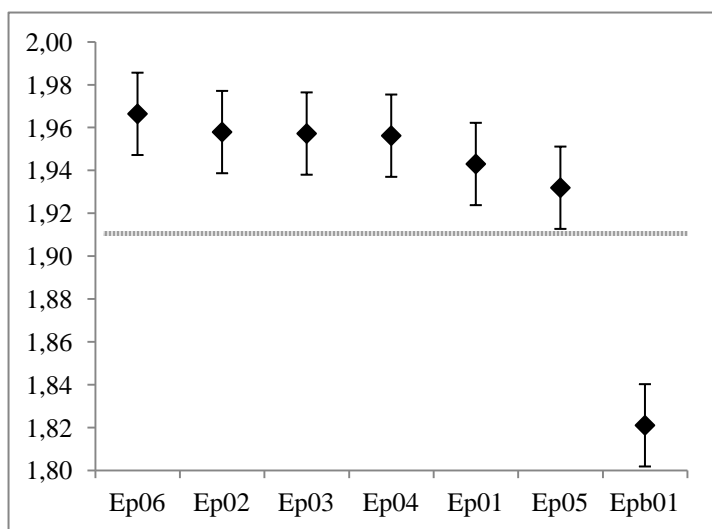


g. Grano en espiral

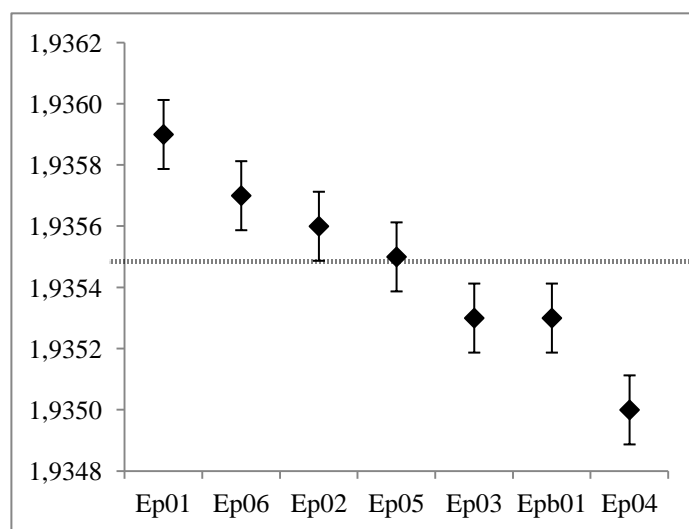


h. Calidad general

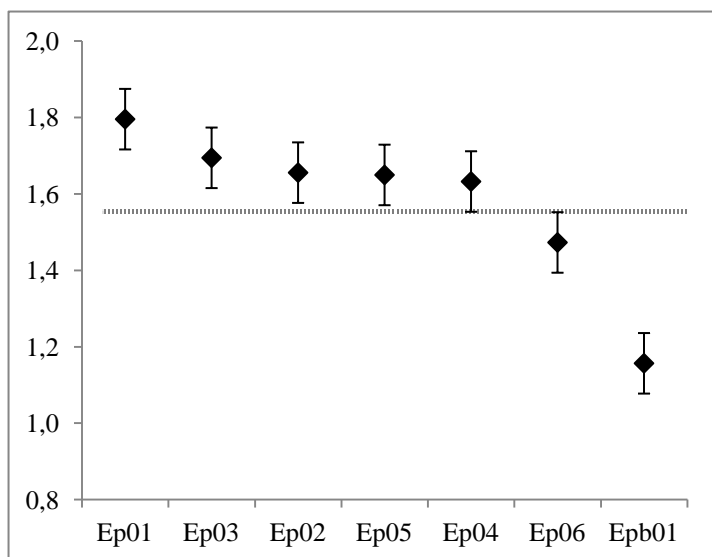
**Anexo 2:** Distribución de 7 procedencias de *Eucalyptus pellita* según su valor genético en las variables de calidad (a, b, c, d, e, f, g, h) evaluadas y su intervalo de confianza, a los 30 meses de edad en Huimanguillo, Tabasco, México. La línea punteada muestra las mejores procedencias y su diferenciación con respecto al resto de procedencias evaluadas.



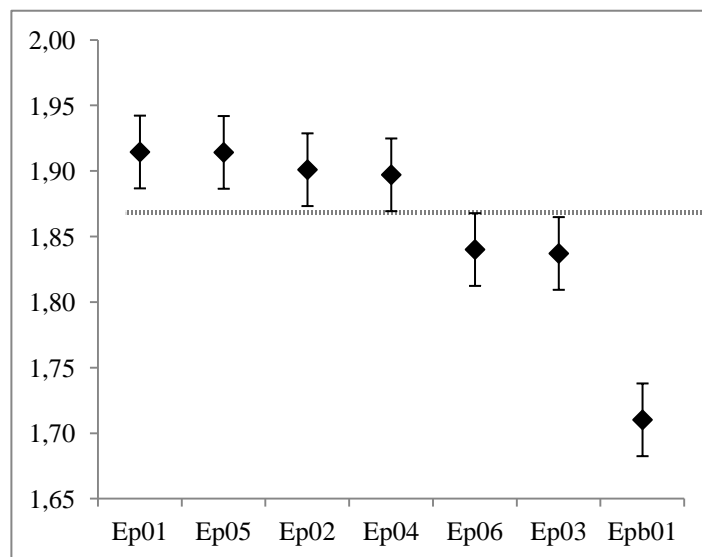
a. Bifurcación



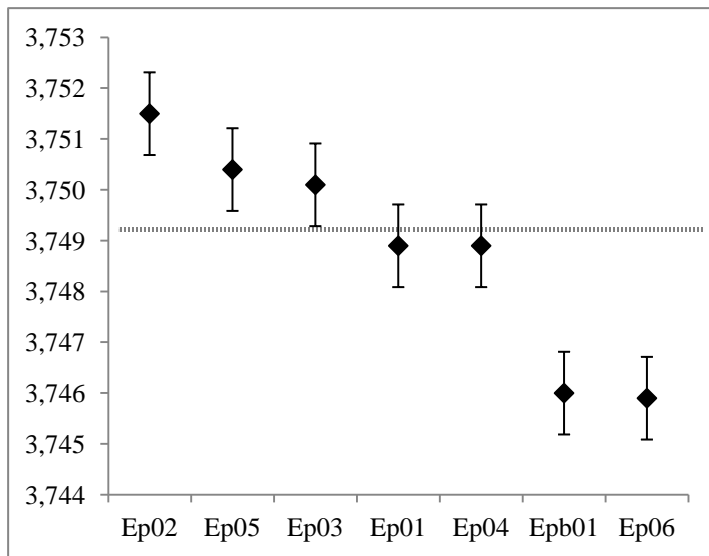
c. Daño mecánico



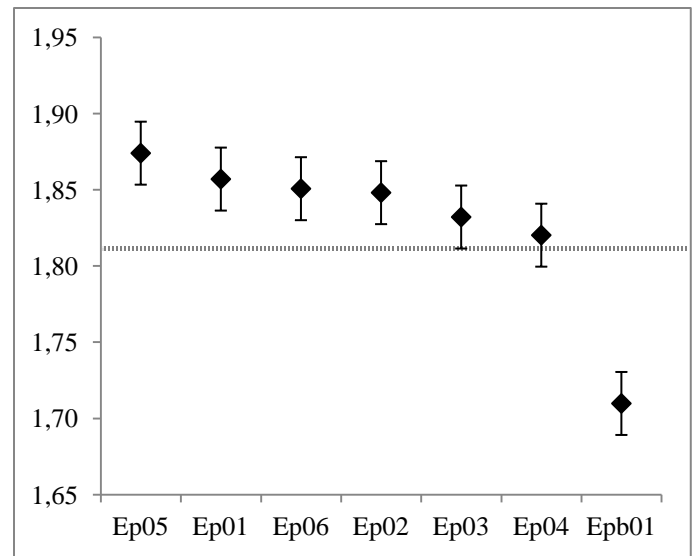
b. Rectitud



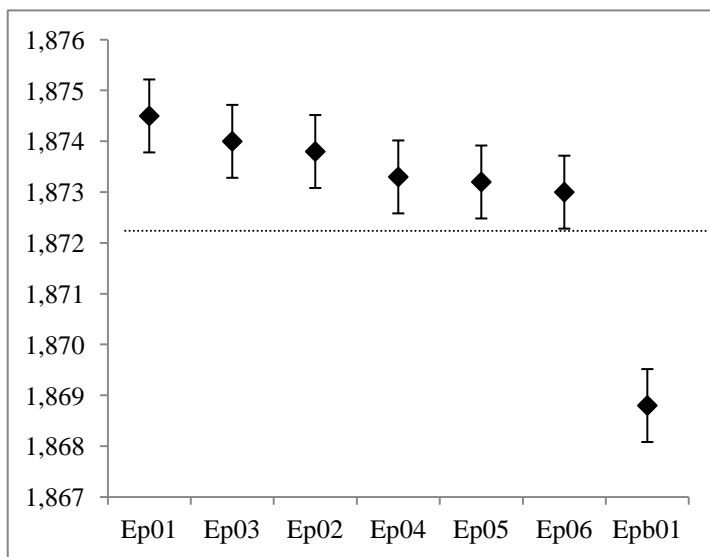
d. Ramas Gruesas



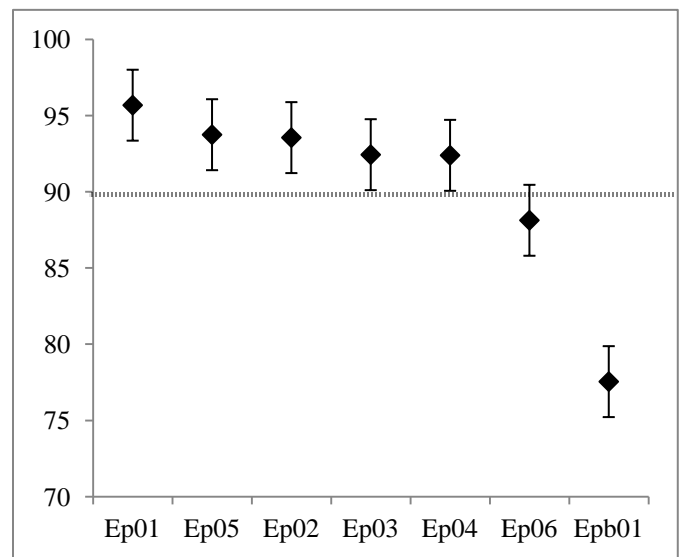
e. Número de trozas Comerciales



g. Grano en espiral

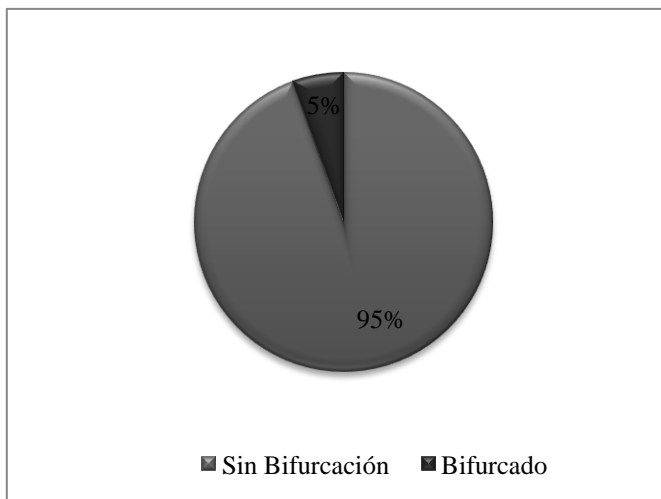


f. Ángulo de Inserción de Ramas



h. Calidad

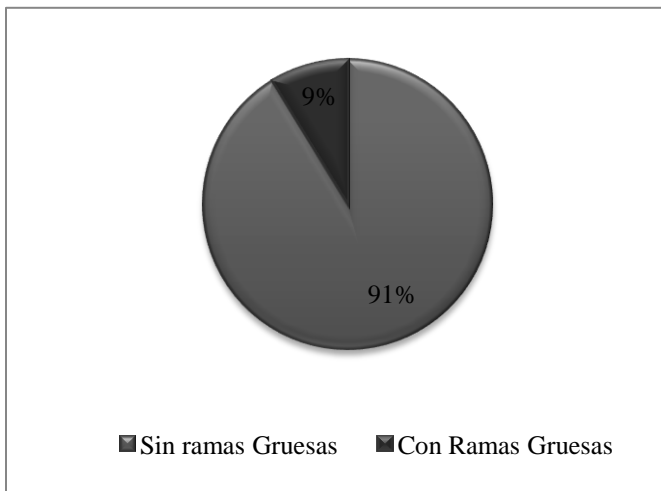
**Anexo 3.** Porcentaje de algunas variables de calidad (a, b, c, d) evaluados en una plantación de *Eucalyptus pellita*, a los 30 meses de establecido en Huimanguillo, Tabasco, México.



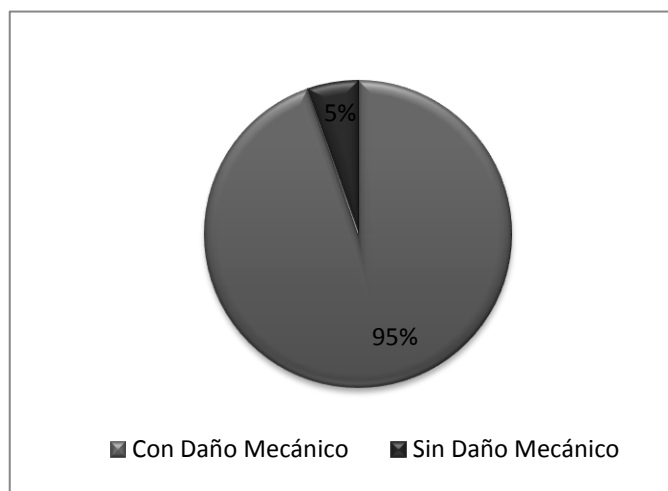
a. Bifurcación



c. Ángulo de Inserción de Ramas

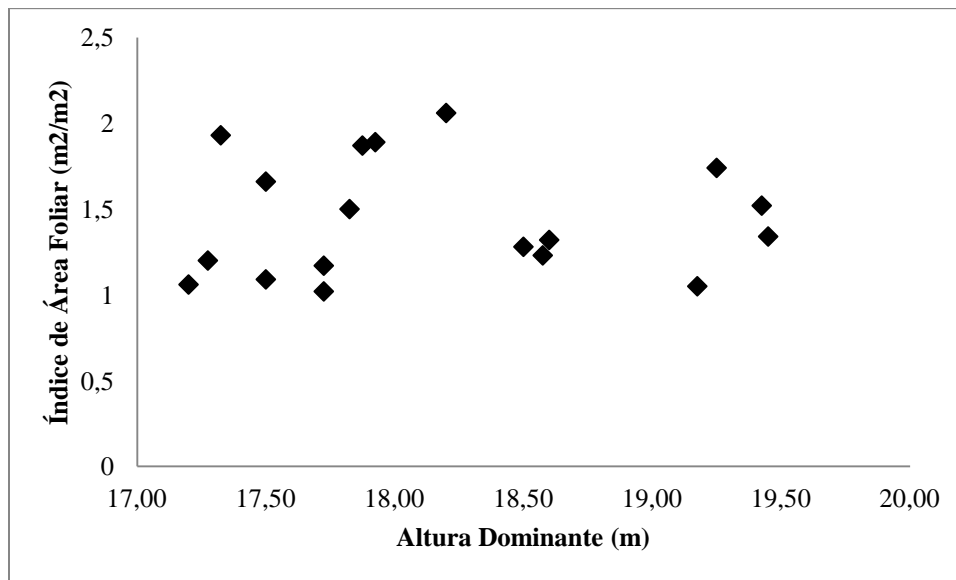


b. Ramas Gruesas

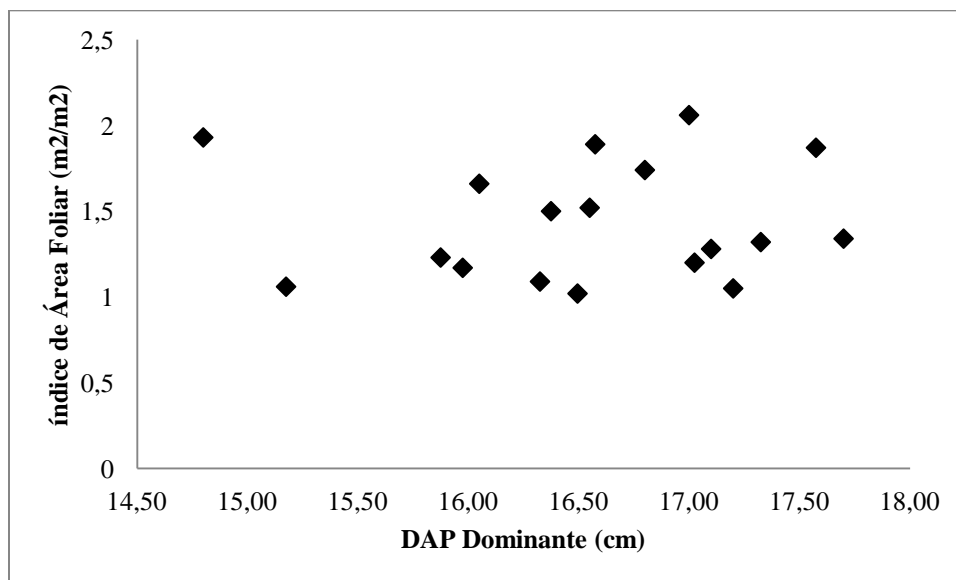


d. Daño Mecánico

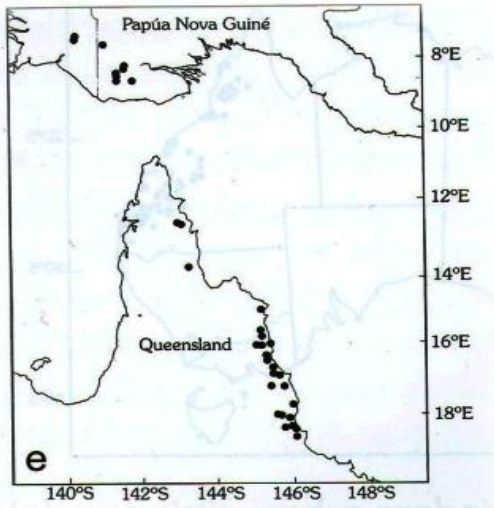
**Anexo 4.** Análisis de dispersión de las variables Altura dominante e Índice de Área Foliar en las parcelas de muestreo de una plantación de *Eucalyptus pellita* F. Muell., a los 30 meses de establecida en Huimanguillo, Tabasco, México



**Anexo 5.** Análisis de dispersión de las variables DAP dominante e Índice de Área Foliar en las parcelas de muestreo de una plantación de *Eucalyptus pellita* F. Muell., a los 30 meses de establecida en Huimanguillo, Tabasco, México



**Anexo 6.** Distribución natural del *Eucalyptus pellita* F. Muell.



Fuente: Machado *et al.* 2010

**Anexo 7.** Plantación pura de *Eucalyptus pellita*, de 30 meses de edad, establecida en el rancho de la empresa AGROPICAL S.A de C.V, Tabasco, México.



**Anexo 8.** Formulario de campo para la evaluación de calidad y crecimiento en plantaciones forestales.

**Anotador** \_\_\_\_\_ **Fecha** \_\_\_\_\_

**Hoja N°** \_\_\_\_\_

**dap** \_\_\_\_\_ (cm)

**hT** \_\_\_\_\_ (m)

Árbol	Dap (cm)	h(m)	Pos.soc D C I S	Bifurc o reiterac 1 ó 2 (B)	Inclina- ción 1 ó 2 (i)	Recti- tud 1(r) ó 2	Daño me- cánico 1 ó 2 (D)	Ramas gruesas 1 ó 2	N°trozas comerc. #	Ángulo ins. ramas 1 ó 2	Estado sanidad 1(s) a 3	Gambas o aletones 1 (s) ó 2©	Grano en espiral 1(sin) ó 2	Calidad trozas				
														1	2	3	4	

**Anexo 9.** Formulario de campo para la evaluación de las variables fisiológicas.

**Anotador** \_\_\_\_\_ **Fecha** \_\_\_\_\_

**Hoja N°** \_\_\_\_\_

Procedencia	N° Árbol	N° Hoja	C/Clorofila	Peso



**Anexo 9a.** Formulario de campo para la evaluación de los segmentos de árboles utilizados para evaluar la morfometría del árbol.

Anotador \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_

Hoja N° \_\_\_\_\_

N° Árbol	N° Segmento	d1 (cm)	Albura(cm)	Duramen(cm)	d2(cm)	Albura (cm)	Duramen(cm)	Espesor corteza(cm)	Largo (m)	Peso(kg)

**Anexo 10 .** Formulario de campo para la evaluación de biomasa, antes de voltear los árboles.

Anotador \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

Hoja N° \_\_\_\_\_

dap \_\_\_\_\_ (cm)

hT \_\_\_\_\_ (m)

N° Árbol	Dap (cm)	D copa	Altura total (m)	Altura copa viva	D copa viva
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

**Anexo 11.** Análisis de Varianza para el contenido de clorofila (SPAD) en las procedencias evaluadas dentro del ensayo de procedencias de *Eucalyptus pellita*.

Test:Tukey Alfa=0,05

DMS=0,37578

Error: 0,0173 gl: 12

<b>Procedencia</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>		
Ep01	51,92	3	0,08	A	
Ep02	52,03	3	0,08	A	B
Ep03	52,12	3	0,08	A	B
Ep04	52,12	3	0,08	A	B
Ep05	52,17	3	0,08	A	B
Ep06	52,33	3	0,08		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes  
( $p \leq 0,05$ ).

**Anexo 12.** Análisis de Varianza para el Área Foliar Específica (AFE) en las procedencias evaluadas dentro del ensayo de procedencias de *Eucalyptus pellita*.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,39938

Error: 0,2398 gl: 12

<b>Procedencia</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	
Epb01	72,64	3	0,28	A
Ep01	72,85	3	0,28	A
Ep04	72,87	3	0,28	A
Ep02	72,95	3	0,28	A
Ep06	72,98	3	0,28	A
Ep05	73,09	3	0,28	A
Ep03	73,1	3	0,28	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes  
( $p \leq 0,05$ ).