

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**



**Escuela de Ingeniería Forestal**

**MAESTRIA ACADÉMICA EN CIENCIAS  
FORESTALES**

Potencial de mejoramiento genético en *Dipteryx  
panamensis Pittier* (FABACEAE)

Trabajo Final de Graduación realizado para optar por el  
título de Magister Scientiae en Ciencias Forestales

**Serafín Ródano Filomeno Alves-Milho**

**Cartago, Costa Rica  
2018**

## Resumen

La investigación determina el potencial de mejoramiento genético en volumen comercial y peso específico de *Dipteryx panamensis* en un ensayo de procedencia y progenie, a los 75 meses de edad en Costa Rica. Se formuló un modelo de volumen comercial y un modelo para estimar el peso específico de la madera a partir de una muestra del ensayo (56 árboles) a los cuales previamente se midió y se extrajo un tarugo con barreno. Los árboles se tumbaron y cubicaron, con los que se ajustaron y validaron los modelos de predicción del volumen y del peso específico. Todos los árboles de las 29 familias del ensayo (474), fueron medidos en el DAP, la altura comercial y total, el tipo de fuste, el estado fitosanitario y fue extraída una muestra de madera (tarugo) a la altura del DAP. El volumen comercial y el peso específico de todos los árboles fueron estimados con los modelos validados. El crecimiento fue comparado con otras poblaciones de la especie plantados en Costa Rica y Panamá de similar edad, utilizando las curvas de índice de sitio ya existentes para esta especie. El peso específico fue determinado siguiendo las normas ASTM D2395-14 (ASTM 2014<sup>a</sup>) y analizado complementariamente en su variación axial y radial. Esta última mediante una sub muestra de 35 árboles analizados por densitometría de rayos X. El análisis de varianza genética se realizó para cada uno de los caracteres, volumen comercial y peso específico, con un total de 379 árboles y con ayuda del software SELEGEN 2015. Los resultados en crecimiento sugieren que la especie en el sitio de ensayo está creciendo de manera óptima y las mejores familias alcanzaron diámetros y alturas totales superiores a los encontrados por otros estudios. El crecimiento promedio en DAP es de  $2,07/\text{año} \pm 0,45$  cm, mientras que el crecimiento en altura es de  $2,14/\text{año} \pm 0,29$  m. El crecimiento anual en volumen comercial fue de  $7,8 \text{ m}^3/\text{ha} \pm 0,43$ . Al comparar el IMA y la altura dominante del ensayo con la altura dominante de 36 plantaciones, se observan curvas IS superiores a las ya existentes. Los resultados del análisis de suelo y del crecimiento sugieren que la buena performance del ensayo no es función del sitio sino del material genético del ensayo y del buen control de

malezas practicado. Se determinó que el peso específico de la madera de *D. panamensis* puede ser estimado de manera confiable a partir de una muestra tomada en árboles en pie con barrenos Pressler de 5mm de diámetro. El PE del árbol puede ser estimado mediante el modelo  $Y = b_1 * [Volcom]^{b_2} * [PEbTarugo]^{b_3}$ . El valor promedio de PE obtenido para 398 árboles fue de  $0,685 \pm 0,038$  gr/cm<sup>3</sup>. El peso específico varía significativamente en sentido radial y en sentido axial. La madera cercana a la médula tiene menor peso específico que la madera cercana a la corteza, y la madera cercana a la base tiene mayor peso específico que la madera cercana a la copa. El peso específico varía moderadamente conforme el micro sitio y de manera no significativa entre familias y procedencias. El porcentaje de duramen a 75 meses de edad alcanzó 3,45% del área basal. Esta investigación encontró que existe un potencial moderado de mejoramiento genético en el peso específico de la madera en la población de estudio. La heredabilidad de este carácter resulta en 0,58, mientras que para el volumen comercial resulta en 0,59. Se confirma mayor variación dentro de familias que entre familias. Aunque no se encontró diferencias significativas entre procedencias. Las mejores familias superiores para el volumen comercial y el peso específico, fueron CSJ1, CSJ6 y 10. Si se utiliza la semilla de estas tres familias, se obtendría una ganancia genética de 19,03% en volumen comercial y de 0,96 en peso específico. Sin embargo, mediante propagación clonal se alcanzaría ganancias mayores al 25% en volumen comercial y al 1,0% en peso específico. Sin embargo, se encontró una correlación genética negativa entre el peso específico y el volumen comercial. Lo que repercute en la selección de ambos caracteres. Si se selecciona por volumen comercial, se obtiene una ganancia genética de 26,08%, pero una disminución de -0,14% en peso específico de la madera.

**Palabras clave:** almendro, crecimiento, madera, mejoramiento genético, plantaciones, especies nativas

## Abstract

Present research aims to determine the potential for genetic improvement in growth and WSG on *Dipteryx panamensis* Pittier, at 75 months provenance and progeny trial in Costa Rica. Growth in merchantable volume and WSG were estimated by fitted models and validated previously based on a 56 sample trees. DBH and Height were measured using a diameter tape and a telescopic pole while the WSG was measured from a sample of extracted wood in standing trees by a Pressler drill hole at the height of the chest, and estimated by gravimetric method according to ASTM standards D2395-14 (ASTM 2014<sup>a</sup>). Genetic selection was done using the criteria of selection by characters growth in merchantable volume and WSG, by using the SELEGEN software 2015.

Research found that potential model for combined variable fit best for total volume, while simple generalized combined model fit best for merchantable volume. The specie in trial is growing optimally and best families reached diameters and total height higher than those found by other studies for other trials in Costa Rica. Average growth in DBH was  $2.07 \pm 0.45$  cm, while the height growth was  $2.14 \pm 0.29$  m. Growth in merchantable volume was  $7.8 \text{ m}^3/\text{ha} \pm 0.43$ . Comparing the MAI of dominant heights for trial with dominant heights for other 36 plantations, these resulting in IS curves superior to existing ones. The results of soil analysis and the excellent growth found in the trial suggest that, high performance would be function more, from the genetic material and the basic silvicultural practices carried out on it, than the site conditions.

For WSG, research found that WSG for *Dipteryx panamensis* Pittier, could be estimated as an accurate manner by a sample extracted with Pressler wood borer. Tree WSG could be estimated using a statistical model based on combined variable  $Y = b_1 [\text{MerchVol}]^{b_2} * [\text{WSGsamp}]^{b_3}$ . Average WSG obtained from 398 trees was  $685 \pm 0.038 \text{ Kg/m}^3$ . WSG tends to variation in axial direction and by radial direction in significant manner. The innerwood has a 20% lower WSG than outerwood. The

hardwood percentage at 75 months of age could reach 3.45% of basal area. WSG also tends to variation with micro site variation.

There is significant genetic potential in the progeny and provenance trial at 75 months. It confirms the important variation within families and among families. Non significant differences were found among provenances. Superior families by merchantable volume and WSG are CSJ1, CSJ6, and 10. By using seed propagation of those families, the genetic gains could reaches 19.03% in merchantable volume and 0.96% for WSG. Whereas if you select the best individuals by only merchantable volume genetic gains reach up to 26.08%, but -0.14% in WSG. Similarly if the best individuals are selected by WSG results in genetic gains of 3.57% in merchantable volume and 2.85% in WSG. A negative Non significant genetic correlation between WSG and merchantable volume was found but there is evidence for a trade off effect between merchantable volume and WSG.

**Key words:** almendro, growth, breeding, wood specific gravity, native tree species, plantations

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Escuela en Ingeniería Forestal  
Maestría en Ciencias Forestales

Número consecutivo  
FM 03-2018

### ACTA DE APROBACIÓN DE PROYECTO FINAL

Con fundamento en lo que establece el "Manual de Normas y Procedimientos para optar por el título de MAESTRÍA", el Tribunal Examinador del Proyecto Final de Graduación denominado:

**"Potencial de mejoramiento Genético en  
Dipteryx panamensis Pittier (FABACEAE)"**




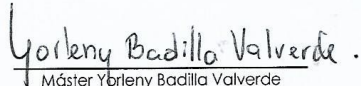
Habiendo analizado el resultado general del trabajo presentado por el(los) estudiante(s):

Primer Apellido	Segundo Apellido	Nombre	No. De carné
Filomeno	Alves-Milho	Serafin Rodano	2015183196

Emite el siguiente dictamen:

<input checked="" type="radio"/> APROBADO	<input type="radio"/> REPROBADO
NOTA: _____	<input type="radio"/> SE RECOMIENDA <input type="radio"/> NO SE RECOMIENDA
<input type="radio"/> Mención de Honor: _____ _____ _____	Brindarle una nueva oportunidad para la DEFENSA PUBLICA de su Proyecto Final
	NUEVA FECHA: _____

Dando fe de lo aquí expuesto firmamos

 _____ Dr. Roger Moya Roque Presidente Tribunal	 _____ Olman Murillo Gamboa, Ph.D. Profesor Tutor
 _____ Máster William Hernández Castro Profesor Lector	 _____ Máster Yrlemy Badilla Valverde Profesora Lectora
08 de junio del 2018 Fecha	

## **AGRADECIMIENTOS**

Esta investigación se llevó a cabo gracias al aporte financiero del proyecto Cooperativa Internacional de Conservación y Mejoramiento Genético Forestal GENFORES, liderado por el Ph. D. Olman Murillo Gamboa.

También gracias al apoyo recibido del laboratorio de Tecnología de la madera del TEC, liderado por el Dr. Roger Moya Roque.

A todos ellos y a sus respectivos equipo de Investigación que laboran en el CIBI del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR)

Al soporte inicial recibido por el Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana IIAP y al apoyo moral e incondicional recibido de parte de María Engracia De Trinidad, mi esposa.

Al apoyo recibido del Dr. Luis García y su esposa Sonia Avendaño, Maritza Rojas, Ana María Solano, quienes me brindaron gentilmente apoyo logístico en Cartago

Al gremio de profesores del TEC, en particular a Edgar Ortiz, Oscar López, Dagoberto Arias, Alejandro Meza, Yorleny Badilla, quienes me alentaron desde el inicio con el tema de la investigación, a mi amigo Juan Carlos Valverde, a través de múltiples consultas.

Al cuerpo de trabajadores del TEC, secretarias, y operarios que con su hacer silencioso me proporcionaron su confianza, tiempo, y en oportunidades herramientas, para mi trabajo. Especial mención a Marwin Gonzales, Kenia Román, Roberto Cubero.

A mi entrañable amigo Dr. David Fernando Muñoz Negrón, quien tuvo la voluntad de leer mis borradores y orientarme en los resultados de los análisis estadísticos.

## **CONTENIDO:**

<b>CAPITULO I: Introducción</b>	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
<b>CAPITULO II: Antecedentes</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Sobre la especie de almendro en Costa Rica</b>	<b>4</b>
2.1.1. Taxonomía	4
2.1.2. Descripción botánica	5
2.1.3. Distribución geográfica	6
2.1.4. Condiciones de crecimiento en vivero y plantación	7
2.1.5. Veda del almendro amarillo en Costa Rica	7
2.2. Estudios sobre almendro (literatura)	8
<b>2.3. Antecedentes sobre el ensayo</b>	<b>11</b>
2.3.1. Ubicación del ensayo	12
2.3.3. Clima	13
2.3.4. Suelos	14
2.3.5. Las procedencias del ensayo	15
<b>2.4. Antecedentes sobre el mercado de la madera de almendro</b>	<b>17</b>
<b>CAPITULO III: Objetivos</b>	<b>19</b>
<b>3. 1. Objetivo General</b>	<b>19</b>
<b>3.2. Objetivos Específicos</b>	<b>19</b>
3.2.1. Volumen comercial	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.2.2. Peso específico	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.3.3. Selección genética	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
<b>CAPITULO IV: Metodología</b>	<b>19</b>
<b>4.1. Materiales</b>	<b>19</b>
<b>4.2. Métodos</b>	<b>22</b>
4.2.1. Hipótesis del investigador y variables a procesar	22
4.2.2. La muestra	23
4.2.3. Los modelos	24
4.2.4. Medición central del ensayo	25
4.2.5. Análisis estadístico	25
<b>CAPITULO V: RESULTADOS</b>	<b>26</b>
<b>5.1. Crecimiento en DAP, altura total, y volumen comercial en plantaciones de <i>Dipteryx panamensis</i> Pittier de 75 meses de edad, en Costa Rica. Filomeno, S., Murillo, O., .....</b>	<b>26</b>
5.1.1. Resumen	26
5.1.2. Introducción	28



5.1.3. Materiales y Métodos _____	30
5.1.4. Resultados _____	34
5.1.4.1. Modelos de Volumen _____	34
5.1.4.2. Crecimiento Actual _____	35
5.1.4.3. Dinámica del crecimiento _____	37
5.1.4.4. Resultados de la comparación con otras plantaciones de Costa Rica _____	39
5.1.4.5. Incremento Medio Anual (IMA) _____	46
5.1.5. Discusión _____	47
5.1.5.1. Sobre el modelo de volumen _____	47
5.1.5.2. Calidad del crecimiento _____	49
5.1.5.3. El sitio y las prácticas silviculturales _____	58
5.1.5.4. Crecimiento de futuro basado en los índices de sitio _____	59
5.1.6. Conclusiones _____	61
5.1.7. Bibliografía _____	62
<b>5.2. Peso específico de la madera y su variación axial y radial para <i>Dipteryx panamensis</i> Pittier de 75 meses de edad en Costa Rica. Filomeno, S.; Murillo, O. _</b>	<b>66</b>
5.2.1. Resumen _____	66
5.2.2. Introducción _____	68
5.2.3. Materiales y Métodos _____	71
5.2.3.1. Materiales _____	71
5.2.3.2. Métodos _____	72
5.2.4. Resultados _____	76
5.2.4.1. PE del árbol en función del PE del disco y del PE del tarugo a 1.30 m _____	76
5.2.4.2. Selección y validación del modelo para estimar el PE del fuste a partir del PE del tarugo _____	77
5.2.4.3. PE básico en <i>Dipteryx panamensis</i> a 75 meses de edad _____	78
5.2.4.4. Variación del PE en sentido longitudinal _____	82
5.2.4.5. La variación del PE en sentido radial _____	83
5.2.4.6. Presencia de Duramen _____	89
5.2.5. Discusión _____	93
5.2.5.1. Asociación entre el PE y las variables dasométricas _____	94
5.2.5.2. Modelo seleccionado _____	94
5.2.5.3. Variación del PE de los árboles de <i>Dipteryx panamensis</i> del ensayo _____	94
5.2.5.4. Variación del PE en sentido longitudinal _____	95
5.2.5.5. Variación del PE en sentido radial _____	98
5.2.6. Conclusiones _____	99
5.2.7. Bibliografía _____	100
<b>5.3. Potencial de mejoramiento genético en volumen comercial y peso específico de <i>Dipteryx panamensis</i> Pittier, a 75 meses de edad en Costa Rica. Filomeno, S., Murillo, O.....</b>	<b>105</b>
5.3.1. Resumen _____	105
5.3.2. Introducción _____	107
5.3.3. Materiales y Métodos _____	110
5.3.3.1. Materiales _____	111

5.3.3.2. Métodos _____	112
5.3.4. Resultados _____	114
5.3.4.1. Varianza genética y heredabilidad en los caracteres estudiados _____	114
5.3.4.2. Ranking de los mejores genotipos en Volumen comercial y peso específico _____	116
5.3.4.3. Potencial de ganancia genética en <i>D. panamensis</i> _____	118
5.3.4.4. Correlaciones genéticas entre los caracteres investigados _____	120
5.3.5. Discusión _____	121
5.3.5.1. Varianza entre procedencias y entre familias _____	121
5.3.5.2. Compensación entre Peso Específico y Volumen comercial _____	123
5.3.5.3. Ambiente vs herencia en crecimiento y en PE _____	124
5.3.5.4. Familias y árboles superiores genéticamente _____	129
5.3.5.5. Potencial de ganancia genética por familias y por individuos _____	131
5.3.5.6. Mejora genética para <i>Dipteryx panamensis</i> a los 75 meses de edad _____	134
5.3.6. Conclusiones _____	136
5.3.7. Bibliografía _____	138
<b>Capítulo VI: Conclusiones _____</b>	<b>143</b>
<b>Capítulo VII. Recomendaciones _____</b>	<b>147</b>
<b>Capítulo VIII. ANEXOS _____</b>	<b>149</b>

## INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Figura N°1. Ubicación del ensayo de procedencia y progenie de <i>D. panamensis</i> , ITCR, San Carlos Costa Rica	12
Figura N°2. Climadiagrama del sitio Santa Clara (San Carlos), donde se ubica el ensayo <i>D. panamensis</i> ( <a href="https://es.climate-data.org">https://es.climate-data.org</a> )	13
Cuadro N° 1. Análisis de suelos del ensayo de <i>Dipteryx panamensis</i> a 75 meses	14
Cuadro N° 2. Resultados del ANOVA en la comparación del pH y las bases, del análisis de suelos, entre bloques	15
Cuadro N° 3. Familias genéticas y número de plantas que comprende el ensayo, por procedencias	16
Figura N°3. Diseño del ensayo de procedencia y progenie de <i>D. panamensis</i> , San Carlos, Costa Rica	17

Cuadro N° 4. Precios de la madera Cumarú por productos y mercados (US\$/m <sup>3</sup> )	
17	
Cuadro N°5. Número de árboles y distribución en el ensayo de D. panamensis, a 75 meses de edad	20
Cuadro N° 6. Distribución de la muestra de árboles para formular los modelos de volumen y de peso específico	23
Cuadro N° 1. Modelos evaluados para la estimación del volumen total y comercial en plantaciones comerciales de almendro	31
Cuadro N° 2. Resultados de la selección de modelos para estimar el volumen total en D.panamensis de 75 meses de edad	34
Cuadro N° 3. Resultados de la selección de modelos para estimar el volumen comercial en D.panamensis de 75 meses de edad	35
Cuadro N° 4. Resultados de las mediciones de crecimiento en DAP de D.panamensis	35
Cuadro N° 5. Resultados de las mediciones en crecimiento de altura total para D.panamensis	36
Figura N° 1. Distribución de las clases diamétricas del ensayo de D.panamensis, entre 36 y 75 meses de edad	37
Figura N° 2. Crecimiento del área basal en D.panamensis, entre los 36 meses y 75 meses de edad	38
Figura N° 3. Crecimiento en volumen total en el ensayo de D.panamensis entre 36 y 75 meses de edad	39
Cuadro N° 6. Resultados del ANOVA para DAP que compara el ensayo con otras plantaciones de la especie D. panamensis, en Costa Rica	39
Cuadro N° 7. Resultados de la prueba de Bonferroni para DAP de árboles dominantes.	40

Figura N° 4. Test de Ryan y Joiner para normalidad de residuos del ANOVA DAP con árboles dominantes	41
Cuadro N° 8. Test de Levene o prueba de homocedasticidad para el DAP	41
Cuadro N° 9. Resultados del ANOVA de comparación del ensayo con otras plantaciones, para Hdom	42
Cuadro N° 10. Resultados de la prueba de Bonferroni para Hdom en D. panamensis	43
Figura N° 5. Test de Ryan y Joiner para normalidad de residuos del ANOVA Hdom	43
Cuadro N° 11. Test de Levene o prueba de homocedasticidad, para Hdom	44
Cuadro N° 12. Resultados del ANOVA de comparación del ensayo con otras plantaciones, para Hdom , con datos transformados	44
Cuadro N° 13. Resultados del test de Bonferroni para Hdom, comparación del ensayo con otras plantaciones	45
Figura N° 6. Test de Ryan y Joiner para normalidad de residuos del ANOVA Hdom, con datos transformados	45
Cuadro N° 14. Test de Levene o prueba de homocedasticidad, para Hdom, con datos transformados	46
Cuadro N° 15. Incremento Medio Anual IMA para el ensayo de D.panamensis a 36 y 75 meses de edad	46
Cuadro N° 16. Incremento Medio Anual IMA, en el ensayo de D. panamensis a 75 meses de edad, de acuerdo a procedencias	46
Cuadro N° 17. Resultados de la validación del modelo de volumen total para D.panamensis de 75 meses de edad	48
Cuadro N° 18. Resultados de la validación del modelo de volumen comercial para D.panamensis de 75 meses de edad	48

Cuadro N° 19. Comparación de resultados de crecimiento en DAP, altura dominante y volumen, del ensayo de <i>D. panamensis</i> , con otras mediciones	49
Cuadro N° 20. Resultados del ANOVA de comparación del ensayo con otras mediciones en Hdom, con raleo y sin raleo	50
Figura N° 7. Test de Ryan y Joiner para normalidad de residuos del ANOVA Hdom con y sin tratamientos	51
Cuadro N° 21. Test de Levene para Hdom, con raleo y sin raleo	51
Cuadro N° 22. Resultados del ANOVA para Hdom de <i>D. panamensis</i> según tratamiento (con raleo y sin raleo), con datos transformados	52
Cuadro N° 23. Test de Bonferroni para Hdom, con tratamientos (con raleo y sin raleo), con datos transformados	53
Figura N° 8. Test de Ryan y Joiner para normalidad de residuos del ANOVA Hdom con datos transformados	54
Cuadro N° 24. Test de Levene para Hdom, según tratamientos (con raleo y sin raleo) con datos transformados	54
Cuadro N° 25. Resultados del ANOVA para volumen comercial de <i>D. panamensis</i> , comparando tratamientos (con raleo y sin raleo)	54
Figura N° 9. Prueba de Bonferroni para Volcom, con tratamientos y sin tratamientos	56
Figura N° 10. Test de Ryan y Joiner para los residuos del ANOVA Volcom, con tratamientos (con raleo y sin raleo)	57
Cuadro N° 26. Test de Levene para Volcom según tratamientos	57
Figura N° 11. Comparación del IMA DAP y altura total (árboles dominantes) del ensayo con los datos de Schmidt 2009	58
Figura N° 12. Comparación de Hdom del ensayo con las curvas de índice de sitio para <i>D. panamensis</i> , de Schmidt 2009	60

Cuadro N° 27. Alturas dominantes posibles de lograr en <i>D.panamensis</i> , con y sin prácticas silviculturales	60
Cuadro N°1. Modelos evaluados para la estimación del PE del árbol de <i>D.panamensis</i> en la zona norte de Costa Rica.	73
Figura N° 1. Relación del PE del árbol con las variables predictoras PE tarugo y PE disco	76
Cuadro N°2. Resultados de la selección de modelos para estimar el PE del árbol en <i>D. panamensis</i> en Costa Rica.	77
Cuadro N° 3. Validación del modelo para estimar el PE de <i>Dipteryx panamensis</i> Pittier	78
Cuadro N° 4. Análisis de Varianza para el PE de <i>Dipteryx panamensis</i> Pittier, de 75 meses de edad	78
Figura N° 2. Prueba de Ryan y Joiner para el ANOVA del PE con 383 árboles de <i>Dipteryx panamensis</i> .	80
Cuadro N° 5. Resultados de la prueba de Levene con residuos absolutos para el PE	80
Figura N° 3. Variación del PE de la madera de <i>Dipteryx panamensis</i> en cada uno de los bloques del ensayo de procedencias/progenie.	81
Figura N° 4. Variación del PE del árbol de <i>Dipteryx panamensis</i> en sentido axial o longitudinal, a la edad de 75 meses, zona norte de Costa Rica.	82
Figura N° 5. Variación de la densidad básica en sentido radial medula-corteza, para 12 árboles de diferentes familias genéticas de <i>Dipteryx panamensis</i> de 75 meses.	84
Figura N° 6. Variación del PE del árbol en sentido radial medula-corteza para <i>Dipteryx panamensis</i> de 75 meses de edad.	85
Cuadro N° 6. Resultados del ANOVA de segmentos en sentido radial del PE básico, para 12 familias genéticas de <i>Dipteryx panamensis</i> Pittier	86

- Figura N° 7. Prueba Ryan & Joiner, de normalidad de residuos del ANOVA sobre PE básico de segmentos radiales, en *Dipteryx panamensis* de 75 meses. 87
- Cuadro N° 7. Prueba de Levene para segmentos del PE radial de *Dipteryx panamensis* Pittier 87
- Figura N° 8. Prueba de Bonferroni para la variación radial del PE del árbol de *Dipteryx panamensis* 88
- Figura N° 9. Presencia de duramen a nivel del DAP en *Dipteryx panamensis* Pittier, a 75 meses de edad en Costa Rica 89
- Cuadro N° 8. Resultados del ANOVA de presencia de duramen en *Dipteryx panamensis* Pittier, a 75 meses de edad en Costa Rica 90
- Figura N° 10. Prueba Ryan & Joiner, de normalidad de residuos del ANOVA sobre presencia de duramen, en *Dipteryx panamensis* de 75 meses de edad 91
- Cuadro N° 9. Prueba de Levene para *panamensis* Pittier, a 75 meses de edad en Costa Rica 91
- Cuadro N°10. Prueba de Bonferroni para comparación de presencia de duramen según familias genéticas de *Dipteryx panamensis* Pittier, a 75 meses 92
- Cuadro N° 11. Resultados del Análisis de varianza del PE en sentido longitudinal o axial para *Dipteryx panamensis* 96
- Figura N° 11. Patrón de variación del PE (en verde) en sentido longitudinal para *Dipteryx panamensis* 98
- Cuadro N° 1. Principales parámetros genéticos de las variables forestales investigadas 114
- Figura N° 1. Mejores genotipos en volumen comercial de *D.panamensis* a 75 meses de edad 117
- Figura N° 2. Mejores genotipos en peso específico de *D.panamensis* a 75 meses de edad 118

Cuadro N° 2. Estimación de ganancia genética para el peso específico y volumen comercial en D.panamensis de 75 meses de edad	119
Cuadro N° 3. Matriz de correlaciones genéticas entre las principales variables investigadas para D.panamensis de 75 meses de edad	120
Cuadro N° 4. Aporte de procedencias a la varianza genética de Volcom y Peso específico.	121
Cuadro N° 5. Estadísticos para estimar el potencial de mejoramiento genético en volumen comercial y PE en D.panamensis a 75 meses de edad	125
Figura N° 3. Heredabilidad de familia , heradabilidad individual para el carácter DAP y heredabilidad para Volcom en D.panamensis de 75 meses de edad.	127
Cuadro N° 6. Ranking de mejores familias en peso específico de la madera y en volumen comercial para D. panamensis de 75 meses	130
Figura N° 5. Ganancias genéticas obtenidas en Volumen comercial y Peso específico para Dipteryx panamensis a los 75 meses, y según el criterio de selección.	132
Figura N° 6. Selección genética mediante valores independientes de caracteres para Dipteryx panamensis de 75 meses de edad en Costa Rica	133
Figura N°7. Selección de los mejores 10 árboles en volumen comercial y peso específico mediante valores independientes de caracteres en D.panamensis de 75 meses de edad, CR.	135
Cuadro N° 7. Mejores individuos (TOP 10) por volumen comercial y PE para D.panamensis de 75 meses de edad en Costa Rica	136



## CAPITULO I: Introducción

El almendro (*Dipteryx panamensis*, Pittier), es una especie forestal nativa, de la familia *Fabaceae*, subfamilia *Papilionaceae*, con una distribución natural desde los bosques de tierras bajas de Nicaragua hasta Colombia (Flores 1992, Romo 2005). En Costa Rica es abundante en el Caribe y en toda la región Huetar Norte del país (Castañeda *et al.* 2000). Una vez que alcanza la madurez, es un árbol prominente que forma parte del dosel superior y puede llegar a medir 60 m de altura y un diámetro en la base de hasta 2 m. Esta especie presenta un fuste cilíndrico y amplias raíces basales, sin embargo no presenta gambas. Tiene ramas ascendentes que forman una copa semiesférica y presenta una floración muy atractiva de color rosado-violeta (Gamboa 2008; Fournier 2003).

La madera de la especie posee un alto valor comercial debido a su dureza y peso específico que oscila entre 0,83 – 1,09 gr/cm<sup>3</sup> (Vozzo 2002; Carpio Malavasi 2000). Su secado al aire es rápido, pero con tendencia a agrietarse. Presenta una alta resistencia natural al ataque de agentes biológicos (hongos y bacterias) y un alto potencial para plantaciones de secuestro de carbono; sin embargo, su alto contenido de tálides y taninos dificultan su preservación (Flores 1992; Fournier 2003; Losi *et al.* 2003). La importancia de la especie en Centroamérica y en la región radica en su alta demanda en el comercio internacional para pisos (ITTO 2016, Ravenshorst *et al.* 2013). En Costa Rica se le ha declarado en veda por su relación alimenticia con aves en vía de extinción, que motivó una declaratoria de la Sala Constitucional (Sentencia 2008-13426) que prohíbe el aprovechamiento de la especie en todo el territorio nacional (Camacho 2015).

En los últimos 15 años, el crecimiento y propagación de esta especie en Costa Rica, ha sido objeto de estudio y abordado por numerosos autores (Delgado *et al.* 2003, Piotto *et al.* 2003, Petit y Montagnini 2006, Alice *et al.* 2004, Schmidt 2009, Montagnini 2010), entre otros. La mayoría de ellos concluye que la especie tiene un importante

crecimiento en los primeros años, aunque lento y su periodo de rotación podría ser de hasta 35-40 años (Piotto *et al.* 2003a, Alice *et al.* 2004, Montagnini 2010). Algunos autores señalan que la especie crece mejor en plantaciones mixtas o en sistemas agroforestales que en lotes puros (Petit y Montagnini 2006, Montagnini 2010, Alice *et al.* 2004). Mencionan también la importancia de esta especie para proveer servicios ambientales (suelo, biodiversidad y clima) (Piotto *et al.* 2003a, Brenes 2007). En particular el potencial de la especie para secuestro y fijación de carbono en el largo plazo ha sido mencionado por (Redondo-Brenes 2007, Ruiz-Jaén y Potvin 2010).

Petit y Montagnini, 2006, encontraron que en plantaciones mixtas *Terminalia amazónica*, *Vochicia koschnyi*, con *Dipteryx panamensis*, este último producía 88% más de volumen comercial (m<sup>3</sup>/ha) que en plantaciones puras. Las monoculturas de *Dipteryx panamensis* y *Genipa americana*, rindieron poco volumen comercial después de 10 años de crecimiento (47 – 75 %) menos que las mixtas. En virtud de ello, estos autores, y otros ya mencionados (Piotto *et al.* 2001), recomiendan la investigación de los mejores genotipos de la especie.

Por su parte, el trabajo de Schmidt (2009) ha sido el más exhaustivo y específico en el tema de crecimiento de la especie en plantación, quien logró visitar y evaluar muchos rodales existentes (más de 36) entre Costa Rica y Panamá, con edades de 6 a 24 años. Su base de datos sin embargo, se obtuvo de pequeñas plantaciones que no tuvieron un manejo adecuado (sin control de malezas, podas, ni raleos), por lo que se puede asumir que su tasa de crecimiento podría ser aún mejor. En su trabajo formuló curvas de índices de sitio para el crecimiento de la especie y señala que los mejores crecimientos se registraron en las tierras bajas del Caribe de Costa Rica, donde el clima está caracterizado por una precipitación mayor de 2000 mm y una elevación menor de 500 msnm (Schmidt 2009).

El peso específico de esta especie en plantaciones ha sido recientemente estudiada por Tenorio *et al.* 2015. Los autores sostienen que de las 6 especies estudiadas (*Cordia alliodora*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Hieronyma alchorneoides*, *Samanea*

*saman*, *Vochysia ferruginea*, *Dipteryx panamensis*) el almendro registró los valores más altos en peso específico y en resistencia mecánica. El peso específico obtenido para esta especie en esta investigación fue de 0,63 gr/cm<sup>3</sup>, que sugiere que estas especies ya pueden ser utilizadas en comercialización de madera aserrada también como en productos terminados de madera.

De acuerdo con Zobel y Talbert (1988), el peso específico afecta significativamente el rendimiento y la calidad de los productos de la madera y está bajo intenso control genético, por lo que normalmente responde positivamente a un programa de selección. Los autores señalan que el grosor de la pared celular afecta el peso específico de la madera, característica que muestra una heredabilidad razonablemente notable, lo cual permite el desarrollo potencial de árboles con madera de peso específico alto o bajo. Sin embargo, la proporción final de madera juvenil en el árbol afecta significativamente el valor global de peso específico. Lo que ocasiona una gran variación en sentido radial, esta variación típica se presenta a todo lo largo del fuste. En dirección axial el porcentaje de madera juvenil es mayor conforme se avanza en la parte alta del fuste. Lo que resulta en grandes diferencias entre la madera de la parte superior e inferior del fuste (Zobel y Sprague 1998).

En materia de mejoramiento genético la especie ha sido motivo de atención por la cooperativa internacional de conservación y mejoramiento genético forestal GENFORES, que viene desarrollando programas con especies nativas de alto valor para la región, donde ha logrado establecer colecciones ex situ mediante ensayos genéticos (Murillo y Guevara 2013). Estas colecciones amplias de germoplasma siguen un diseño experimental que permite su fácil conversión en huertos semilleros. A partir de estos bancos de germoplasma se podrá coleccionar y reproducir material genético de alta calidad y crear nuevas fuentes semilleras que den sustento a futuras plantaciones comerciales (Murillo y Guevara 2013). Esta red de nuevos ensayos han permitido obtener valiosa información sobre el crecimiento y comportamiento de la especie en el país, bajo condiciones de buen manejo silvicultural. En particular el

ensayo de procedencia/progenie que dispone GENFORES para *D. panamensis* ha sido evaluado en varias ocasiones (León 2014, Martínez *et al.* 2015).

El propósito de este trabajo es investigar el potencial de mejoramiento genético en crecimiento del volumen comercial y en el peso específico de la madera de la especie *Dipteryx panamensis* Pittier en plantaciones. Basado en un ensayo de procedencias/progenie de 75 meses de edad establecido por GENFORES en San Carlos.

## **CAPITULO II: Antecedentes**

### **2.1. Sobre la especie de almendro en Costa Rica**

#### **2.1.1. Taxonomía**

Familia: Fabaceae (Leguminosae)

Sub-Familia: Papilionaceae

Nombre científico: *Dipteryx panamensis* (Pittier) Record & Mell

Sinonimia:

*Coumarouna panamensis* (Pittier)

*C. oleifera* (Benth)

*C. oleiforma* (Benth)

*Oleiocarpus panamensis* (Pittier) Dweyer

*Oleiocarpon panamensis* (Pittier) Dweyer

Nombres comunes: Almendro amarillo, Almendro, Almendrón, Almendro de montaña,

Tonka bean tree, Eboe (lengua Bribí) (Piotto, 2001).

La madera del almendro amarillo es conocida en el mercado internacional con el nombre genérico de CUMARU, que se reconoce a un grupo de especies de madera dura del género, *Dipteryx*, involucrando a varias especies, entre otras *D. odorata*, *D. alata*, *D. micrantha*, *D. polyphylla*, *D. oleífera* o *panamensis*.

### 2.1.2. Descripción botánica

Árbol: el almendro amarillo es un árbol de crecimiento lento y emergente del dosel superior. Su fuste es cilíndrico, liso y recto, los adultos rondan los 20-60 m de altura, y 50-200cm de diámetro (Condit y Pérez, 2008). La corteza es suave de color marrón rojizo o marrón amarillento, con lenticelas verticales. Su albura presenta un color amarillento, y la transición hacia el duramen (con coloración más rojiza) es difícil de detectar, lo que hace a esta madera aún más atractiva (Rodríguez, 2009).

Hojas: Posee hojas compuestas imparipinnadas, alternas y multifoliadas que presentan de 10 a 20 folíolos oblongos de 3-8 cm de ancho y 7-15 cm de largo, en el haz se observa una coloración verde, mientras que en el envés se encuentran tonos blanco o grisáceos. Los folíolos son asimétricos, de ápice acuminado, base desigual, bordes enteros y superficie casi glabra (Condit y Pérez 2008). El raquis es alado y se proyecta en una prolongación aguda más afuera de la hoja terminal (Chaverri 1996).

Flores: Se presentan en inflorescencias tipo panícula, terminales o laterales de 30 a 50cm de longitud, con numerosos ejes secundarios. Las flores son de color morado antes de ser polinizadas, y una vez efectuado éste fenómeno, su tonalidad cambia a rosado claro. El periodo de floración depende del inicio de la estación lluviosa, y es variable entre diferentes regiones (Arnáez y Moreira 2001). La flor es hermafrodita, gamopétala, monocarpelar, zigomórfica con simetría anteroposterior, de estructura tubular y presenta pubescencia glandular (Fournier 2003). Flores (1999) reporta que a pesar de poseer flor hermafrodita, *D. panamensis* es autoestéril ya que posee un mecanismo de autoincompatibilidad tipo esporofítico.

d. Fruto: es seco tipo cámara, con dehiscencia tardía que ocurre al dar inicio la germinación. Posee un endocarpio grueso y duro que contiene una sola semilla. El fruto maduro es de color pardo, mide aproximadamente 6-8 cm de largo, 4-5 de ancho y 2-3 de grosor (Fournier 2003). La maduración se da en la temporada seca, que coincide con la escasez de otros tipos de frutos comestibles en los bosques (Arnáez y Moreira 2001). El fruto seco puede almacenarse en aserrín húmedo por al menos 3 meses.

Semilla: el almendro posee una semilla ovalada, de 4-5 cm de largo, de producción abundante. La semilla fresca tiene un promedio entre 55-60 unidades por kilogramo mientras que la semilla seca ronda las 300 unidades/kg. La germinación requiere de 12 a 20 días cuando no se ha aplicado ningún pre-tratamiento. En condiciones naturales son dispersadas por más de 60 especies de mamíferos y 100 especies de aves, entre ellos destacan: *Artibeus lituratus*, (murciélago frutero), *Dasyprocta punctata* (guatusa) *Sciurus granatensis* (ardillas) y *Nasua narica* (pizote) (Bonaccorso *et al.* 1980), citado por Meza 2015.

### 2.1.3. Distribución geográfica

El área de distribución natural del almendro amarillo se encuentra, en la costa Caribe, entre Nicaragua, Costa Rica, Panamá y Colombia (Flores 1992).

En Costa Rica se extiende desde las Llanuras de Guatuso hasta el Caribe sur del país, en terrenos no anegables, posiblemente entre los 20 y 100 msnm (de acuerdo con Zamora 2013) o hasta los 500 msnm (de acuerdo con Gamboa Badilla 2008). Esta superficie es mucho más amplia que el área de nidación de la lapa verde, que establecen expertos en la materia (Powell *et al.* 1999, Chassot *et al.* 2002) citado por Camacho 2015. Los árboles con copas emergentes de almendro, por lo general aparecen distribuidas en densidades menos de 1 adulto por hectárea (Clark and Clark 1987; Hanson *et al.* 2006; Hanson *et al.* 2008), citado por Schmidt 2009. No obstante

algunas regiones soportan densidades mayores de hasta 2 individuos por hectárea, como las zonas limítrofes entre Nicaragua y Costa Rica, aledañas al río San Juan.

#### **2.1.4. Condiciones de crecimiento en vivero y plantación**

La reproducción comercial del almendro amarillo es básicamente sexual. Los frutos son colectados en el campo durante la época seca y llevados al vivero, donde se someten a tratamientos básicos de limpieza y desinfección. La semilla se puede pregerminar en bancales o directamente en bolsas, dejando el pedúnculo hacia arriba para evitar que los tallos suculentos se quiebren. El trasplante definitivo a campo puede realizarse entre los dos y cuatro meses. La producción en bolsa es el método más utilizado, no obstante también se reporta el uso de pseudo estacas y plantas con raíz desnuda (Chaves 2001). En plantación se recomienda un distanciamiento de 3 x 3 m, ya que los arbolitos jóvenes desarrollan una copa poco densa y por tanto los espacios amplios provocan que los árboles tiendan a doblarse y desarrollen ramas bajas. Además, se han observado mejores 8 rendimientos en suelos aluviales, aunque las plantaciones pueden adaptarse a pendientes moderadas. De acuerdo a estudios realizados en la Zona Norte del país, el crecimiento promedio de la especie es de 1,8 m de altura y 1,7 cm de diámetro por año (Chaverri 1996).

#### **2.1.5. Veda del almendro amarillo en Costa Rica**

La veda al almendro amarillo en Costa Rica entró a regir con el Voto 2008-13426 de la Sala Constitucional. Sin embargo, la ley (artículo 92 del reglamento a Ley Forestal 7575) establece que “la misma entrará a regir hasta tanto se garantice el financiamiento para indemnizar al propietario o propietaria de los inmuebles afectados, dicha indemnización será por el valor de mercado de cada uno de los árboles vedados”.

El Estado no ha asumido la indemnización al propietario por el valor de mercado de cada uno de los árboles vedados.

De acuerdo con Estrada (2005) la especie es considerada “vulnerable” (no “amenazada” o “en peligro de extinción”), y se encuentra en el apéndice III de CITES (CITES 2011) a solicitud de los gobiernos de Costa Rica y Nicaragua (no en el apéndice I como lo menciona la Sentencia 2008-13426). No aparece en la lista de especies vedadas, de acuerdo con el Decreto Ejecutivo 25700-MINAE (Minae 1997).

Aparece como especie “amenazada” en la lista que presenta el Decreto Ejecutivo 34205-MINAE. Sin embargo, se debe notar que en dicho decreto no se menciona la fuente de donde se tomó tal información (restándole validez científica al argumento) y que probablemente la lista se restringe al área que se desea declarar como Refugio Nacional de Vida Silvestre Mixto Maquenque (de otro modo, cómo se explica que especies como *Prioria copaifera*, *Qualea paraensis* y *Vochysia alleni*, sumamente abundantes en otros ecosistemas boscosos del país, aparezcan en esta lista como especies “amenazadas” las dos primeras y “rara” la tercera).

## 2.2. Estudios sobre almendro (literatura)

Durante los últimos 15 años, se han realizado algunos estudios sobre el comportamiento del almendro como especie apta para plantaciones forestales comerciales y en sistemas agroforestales y silvopastoriles. En particular son importantes de mencionar:

Russo y Sandi (1996), que dan cuenta del crecimiento inicial de 8 especies forestales nativas (incluido *panamensis* Benth) en parcelas demostrativas en la estación biológica La Selva, Sarapiquí. Los autores dan cuenta del crecimiento de las especies a 6, 12, 28 y 24 meses de plantados. En particular se encuentra entre las especies de más lento crecimiento, después de Pílón (*Hyeronima alchorneoides*). Comparados con



*Vochysia guatemalensis*, *Zanthoxylum keelermenii*, *Jacaranda copaia*, de más rápido crecimiento.

Petit y Montagnini 2006, destacan el crecimiento individual de las especies, *C. brasiliense*, *V. koschnyi*, *V. ferruginea*, y *H. alchorneoides* para producir más volumen en monoculturas, que en plantaciones mixtas. Por el contrario, las especies *J. copaia*, *V. guatemalensis*, y *T. amazonia* producen más volumen en plantaciones mixtas que en monoculturas. Las diferencias fueron más pronunciadas en *T. amazonia*, *C. brasiliense*, *J. copaia*, y *V. guatemalensis*. Los volúmenes de *D. panamensis*, *G. americana*, y *B. elegans* no se diferenciaron significativamente creciendo en cualquiera de los arreglos, monoculturas o plantaciones mixtas. Se cree sin embargo que los árboles individuales de estas 3 especies pueden ser más productivos en mono cultura que en plantaciones mixtas.

Piotto *et al.* 2003, estudiando la productividad de plantaciones de 5 y 10 años de edad, en fincas en las tierras bajas de la costa Atlántica de Costa Rica, sugiere que la mayoría de las especies nativas estudiadas (*C. brasilensis*, *V. guatemalensis*, *T. amazónica*, *D. panamensis*, *Virola Koschnyi*, *Cordia alliodora*, *Hieronyma alchorneoides*), demuestran alto potencial productivo para plantaciones comerciales, en comparación con *Tectona grandis* y *Gmelina arborea*. En particular las 3 primeras presentan rápido crecimiento y altas tasas de sobrevivencia. *D. panamensis* y *C. brasilensis*, tuvieron el más bajo crecimiento en área basal y altura total y pueden ser clasificados como de crecimiento lento (slow-growing species).

Montagnini *et al.* 2005, concluye que en plantaciones mixtas puede tener un rendimiento mayor en volumen que en plantaciones puras, si se plantan de acuerdo y teniendo en cuenta las características de las especies. La conclusión fue hecha en base a un estudio sobre la plantación de la Selva, Sarapiquí a la edad de 10 años, en las tierras bajas del Atlántico de Costa Rica.

Schmidt (2009) destaca su importancia en la reforestación y formula un grupo de ecuaciones de índice de sitio para interpretar su crecimiento en Costa Rica y Panamá.

El autor encuentra que la especie se desarrolla mejor en las plantaciones localizadas en las tierras bajas de la costa caribe de Costa Rica, con precipitaciones mayores de 2000 mm y elevaciones menores de 500 m. Almendro también crece bien en suelos pobres y tiene un buen comportamiento en sistemas agroforestales.

Otros autores (Delgado *et al.* 2003) estudiaron el crecimiento de especies nativas en la zona Norte de Costa Rica; evaluaron el comportamiento de 5 especies, incluyendo *D. panamensis*. Las plantaciones de cebo (*Vochysia guatemalensis*) superan a todas las demás especies nativas en área basal y crecimiento diamétrico promedio, con un DAP máximo de 24,6 cm (11 años) y un área basal de 29,2 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup> a los 9 años. El pilón (*Hieronyma alchorneoides*) y el botarrama (*Vochysia ferruginea*) registraron los mejores crecimientos después del cebo. El almendro fue la especie que mostró los menores crecimientos en todas las variables evaluadas, con tan solo 10,3 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> de área basal (a los 11 años) y un DAP máximo de 12,6 cm. Los valores más altos de crecimiento se registraron en los suelos Ultisoles. Mesén (2002) analizó el estado de los recursos genéticos forestales en América Central, Cuba y México y clasifica como prioritaria para la sub región, su conservación y el uso del germoplasma.

También se puede mencionar estudios realizados sobre propiedades de la madera de la especie en plantación (Tenorio *et al.* 2015). Los autores estudiaron las propiedades físicas y mecánicas de 6 especies nativas de Costa Rica, *Vochysia ferruginea*, *Hieronyma alchorneoides*, *Samanea saman*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Dipteryx panamensis*, donde concluyen que el almendro obtuvo el valor más alto en resistencia mecánica y en peso específico (0,63 ±0,43) gr/cm<sup>3</sup> a 13 años de edad. Todas las especies estudiadas tienen características aceptables para ser utilizadas en comercialización de la madera y productos de madera.

Desde el punto de vista genético la especie ha sido estudiado en rodales naturales por Hanson *et al.* (2007, 2008), quienes mencionan que su nivel ploide es tetraploide; en alusión a que la especie podría presentar hasta 4 juegos de cromosomas (4n). En particular el autor sugiere que el polen y semillas de esta especie se mueven entre

pastos y fragmentos de bosques adyacentes alargando la vecindad genética para poblaciones aisladas e incrementando la conectividad a nivel de paisaje. Por lo tanto, la diversidad genética entre adultos y la progenie investigada fueron similares en todos los sitios. Además, que la autopolinización incrementada en árboles aislados o en pasturas puede representar en el futuro riesgos de erosión genética. En estudios poblacionales con marcadores genéticos, Meza (2010) analizó las poblaciones naturales CopeSan Juan y Crucitas, donde no encontró diferencias en sus frecuencias alélicas.

Vargas y Cordero (2013) estudiaron la sensibilidad fisiológica a los cambios de temperatura para *Oleífera Benth* y *Zygia longifolia*, en sucesiones tempranas. Donde encontraron que altas temperaturas pueden afectar la función de la planta. En sucesiones tempranas el efecto es la reducción de la eficiencia en el uso de agua WUE, mientras que en sucesiones tardías tiende a incrementar sus tasas de metabolismo, que incrementan a su vez la respiración y el punto de compensación de la luz.

No se han encontrado estudios específicos sobre estimación de volumen y en especial de modelos de volumen total y volumen comercial. Schmidt asumió un volumen basado en una fórmula genérica  $V=\pi/4*d^2*h*f$ , donde el valor de f (factor de forma) fue de 0,45.

El ensayo de procedencias/progenie ha sido motivo de estudios tempranos sobre su comportamiento y desarrollo (León 2014; Martínez *et al.* 2015). La primera autora encontró que la especie tiene un potencial de mejoramiento genético en volumen comercial de 51% a la edad de 48 meses.

### **2.3. Antecedentes sobre el ensayo**

El ensayo se instaló en julio del 2011 sobre un área que fue de uso agrícola con antecedentes de uso ganadero (antiguos potreros), sobre un terreno plano con pendiente no mayor al 10%.

### 2.3.1. Ubicación del ensayo

El ensayo se ubica en las instalaciones del TEC de Santa Clara distribuido en 2 parcelas. La primera contiene a su vez 4 bloques (1,2, 3,4) conforme el diseño de bloques completos al azar ubicado geográficamente en las siguientes coordenadas: Latitud: 10° 21'15,78"N, Longitud: 84° 30' 58,88"O. La segunda parcela contiene a su vez 2 bloques (5,6), ubicado geográficamente en las siguientes coordenadas: Latitud: 10° 22'15,93"N; Longitud: 84° 30'53,77"O. Tal y como se representa en la siguiente figura en la parte superior:



Figura N°1. Ubicación del ensayo de procedencia y progenie de *D.panamensis*, ITCR, San Carlos Costa Rica

### 2.3.3. Clima

El lugar del ensayo en Santa Clara tiene un clima tropical. En la mayoría de los meses del año hay precipitaciones importantes. De acuerdo con Köppen y Geiger el clima se clasifica como Am (clima tropical húmedo).

La temperatura media anual en Santa Clara se encuentra a 25,7 °C. La precipitación promedio es alrededor de 3012 mm al año, cuya distribución se puede apreciar de la siguiente figura.

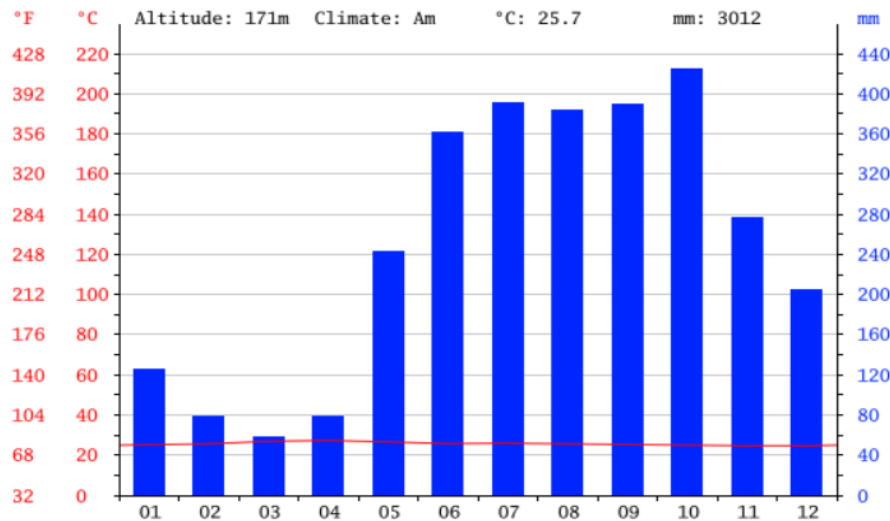


Figura N°2. Climadiagrama del sitio Santa Clara (San Carlos), donde se ubica el ensayo *D. panamensis* (<https://es.climate-data.org>)

De la figura 2 se puede apreciar que no se presenta un déficit hídrico en ningún mes del año, dado que hasta en el mes de marzo se registra más de 50 mm de precipitación/mes. Este comportamiento guarda estrecha relación con el clima propio de la zona de distribución natural del almendro en la zona norte del país.

### 2.3.4. Suelos

Los suelos en el sitio del ensayo son del tipo Ultisoles rojos (sub orden ustults) con profundidades mayores a 1,50 m (Vásquez y Mata 2012). Es conocida la alta saturación de aluminio de estos suelos y sus efectos adversos en el crecimiento y la producción de materia seca de los cultivos cuando se neutraliza el Al, tal como lo demuestra (González y González 1981).

Los resultados del análisis de suelos practicada para el ensayo se muestran a continuación:

Cuadro N° 1. Análisis de suelos del ensayo de *Dipteryx panamensis* a 75 meses

Bloque	pH	Ca	Mg	K	Cu	Mn	Fe	Zn	P	CICE	Saturación acidez (%)
1	4,56	3,19	2,12	0,08	33	25	91	6,9	11,15	6,4	15,78
2	4,86	3,61	1,97	0,04	33	17	96	4,5	9,81	6,55	14,2
3	4,67	3,48	1,69	0,06	31	14	134	4,3	10,04	6,05	13,55
4	4,7	3,13	1,6	0,05	31	19	136	3,9	8,25	6,01	20,47
5	4,6	2,89	1,45	0,1	29	34	85	4,1	10,71	5,66	21,55
6	4,69	3,47	0,58	0,06	30	21	90	2,6	9,59	5,05	18,61
Permisible	5 a 7	4 a 15	1 a 6	0,2 a 0,8	1 a 20	5 a 50	5 a 50	3 a 10	10 a 40	> 5	10 a 30%

Fuente: Resultados del análisis de suelos realizado en TEC San Carlos (Octubre, 2016)

De acuerdo con los resultados del análisis de suelos, el pH de los suelos resulta ácido, en los 6 bloques del ensayo (pH menor de 5,0). Sin embargo, el porcentaje de saturación de acidez (última columna) también resulta en el rango permisible (de acuerdo con los datos de laboratorio TEC).

Los resultados del ANOVA practicado entre bloques, con las principales variables del análisis de suelos (pH, bases) arrojan una similitud entre bloques, indicando un mismo sitio de referencia. Tal como se ilustra en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 2. Resultados del ANOVA en la comparación del pH y las bases, del análisis de suelos, entre bloques

Fuente de Variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0,49	5	0,10	0,02	0,9997
Bloque	0,49	5	0,10	0,02	0,9997
Error	74,27	18	4,13		
Total	74,75	23			
Test de Tukey	Alfa 0,05	DMS	4,56460		
Error	4,1259	GI	18	Grupo	
Bloque	Medias	N	E.E		
6	2,20	4	1,02	A	
5	2,26	4	1,02	A	
4	2,37	4	1,02	A	
3	2,48	4	1,02	A	
1	2,49	4	1,02	A	
2	2,62	4	1,02	A	

De acuerdo con el test de Tukey, los 6 bloques son agrupados con la misma letra de significancia, al 95% de probabilidad, indicando similar composición química de los suelos en los bloques.

### 2.3.5. Las procedencias del ensayo

Se decidió realizar una colecta lo más amplia posible, con el objetivo de lograr capturar la mayor diversidad genética y establecer un banco de germoplasma suficiente, con el cual poder sustentar el inicio de un programa de mejoramiento genético con la especie. Se colectó semilla de al menos 10 árboles madre vigorosa y sana por procedencia, separados entre sí por no menos de 500 m. Las procedencias fueron CoopeSanjuan (Cutris de San Carlos), Crucitas (Pocosol de San Carlos) y del cantón de Sarapiquí. Las 3 procedencias pertenecen a la provincia de Alajuela, con distancias geográficas de entre 50-70 km.

Todas las familias fueron obtenidas de polinización abierta (medios hermanos). Se presentan a continuación las 29 familias genéticas que conforman el ensayo:

Cuadro N° 3. Accesiones incluidas en el ensayo de procedencia/progenie de almendro en Santa Clara, San Carlos

Procedencia	Familias	Nº inicial de plantas
Puerto Viejo, Sarapiquí (código PV)	10	36
Crucitas, Pocosol de San Carlos (sin código)	10	36
CoopeSan Juan, Cutris de San Carlos (código CSJ)	9	36
Total	29	1044

El ensayo se estableció siguiendo un diseño experimental de bloques completos al azar, con 6 bloques. Dentro de cada bloque, cada parcela fue representada por 6 progenies distribuidas aleatoriamente en 3 parejas. Se plantó un total de 1064 árboles con un distanciamiento de 3 x 3 m. Un total de 1032 árboles junto con 32 árboles de relleno (R). En el contorno del ensayo se instalaron 2 hileras de borde, con plantas procedente de las mismas familias del ensayo, que comprendió un total de 350 árboles adicionales, tal como se muestra en la figura 3.



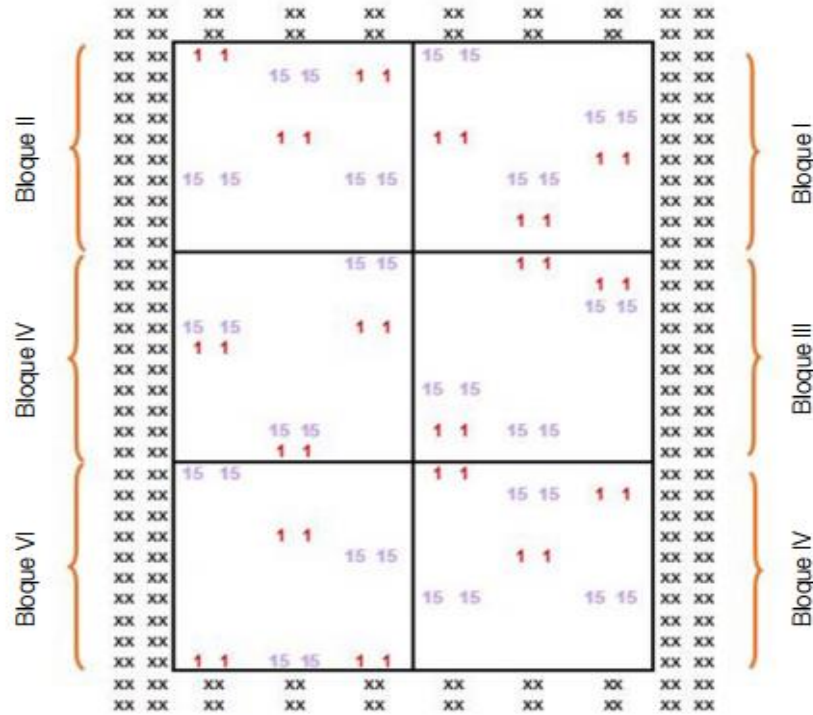


Figura N°3. Diseño del ensayo de procedencia/ progenie de *D.panamensis*, San Carlos, Costa Rica

#### 2.4. Antecedentes sobre el mercado de la madera de almendro

Las maderas de nombre común CUMARU, son apreciadas en el mercado internacional para pisos, deck, parquet, frisos, moldings, y otros productos de pisos y construcción exterior de madera. Los precios superan el valor unitario de varias otras especies preciosas tal como se aprecia del cuadro siguiente:

Cuadro N° 4. Precios de la madera Cumarú por productos y mercados (US\$/m<sup>3</sup>)

Productos	Especificación	Enero 2009	Enero 2017
Sanwood Cumaru 4" thick, 6-11 length KD	Central American market	809-836	841-865
	Asian market	778-797	1036-1078
	Swedish market	690-745	950-1094

Added value Cumaru KD S4S	Asian market	1021-1111	1029-1064
Cumaru Decking, AD S4S, EAS	US market	968-1065	1188-1222
Cumaru Parquet flooring 3-5"x 4-6"x 5-13'	FOB Arica Cumaru FSC, US, EU and Asian market	600-1000	

Fuente: Elaboración propia con datos ITTO market report, Enero 2009, Enero 2017

Del cuadro se aprecia que los precios para cumarú (incluyendo *D.panamensis*) se han incrementado entre 2009 y 2017, en los mercados de USA, EU y Asia, entre 18 y 42% principalmente para los productos de valor agregado (added value). Mientras que en el mercado centroamericano el incremento en los precios fue de 3,7% para la madera aserrada (sanwood), durante el mismo periodo. No obstante, estos precios están por encima de maderas preciosas como *Khaya senegalensis* y cercanos de *Cedrela odorata*, de acuerdo con la misma fuente.

## CAPITULO III: Objetivos

### 3. 1. Objetivo General

Determinar el potencial de mejoramiento genético en crecimiento y peso específico de *Dipteryx panamensis* Pittier, Record & Mell, en un ensayo de procedencia y progenie de 75 meses de edad ubicado en el campus del TEC, en Santa Clara, San Carlos.

### 3.2. Objetivos Específicos

Determinar el potencial de mejoramiento genético en volumen comercial para *Dipteryx panamensis* Pittier en un ensayo de procedencia y progenie de 75 meses de edad

Determinar el potencial de mejoramiento genético en peso específico para *Dipteryx panamensis* Pittier, en un ensayo de procedencia y progenie de 75 meses de edad por un método no destructivo.

Identificar y seleccionar las mejores familias y los mejores individuos por ambos caracteres, volumen comercial y peso específico

## CAPITULO IV: Metodología

### 4.1. Materiales

El material principal de esta investigación es el ensayo de procedencia y progenie de *D.panamensis*, instalado en junio del 2011 en la sede del Instituto Tecnológico de Costa Rica en la zona norte, a una altitud de 150 msnm. El ensayo contiene 29 familias de 3 procedencias nativas, Crucitas, Cope San Juan y Puerto Viejo, todas poblaciones de la misma zona norte del país y del mismo cantón de Alajuela. El esquema del diseño es en bloques completos al azar, con 6 bloques. Dentro de cada bloque, cada parcela está representada por 6 progenies distribuidas aleatoriamente en 3 parejas. Se plantó

un total de 1064 árboles (1032 correspondiente a las familias genéticas y 32 árboles de procedencia local) con un distanciamiento de 3 x 3 m. La ubicación de este ensayo en el cantón de San Carlos está en las coordenadas: 10°21'N y 84°30'W.

El ensayo ha recibido las siguientes prácticas silviculturales: limpieza y control de malezas 1 vez por año y raleo de formación en 2013 (50% de las existencias). Ha sido evaluado a las edades de 1, 3, 4 y 5 años, con el fin de monitorear el desarrollo de progenies y procedencias de las diferentes familias. Al momento de la medición central del ensayo contaba con 475 árboles en pie, con 29 familias representadas en 6 bloques. Todas las familias estuvieron representadas en los 6 bloques, a excepción de CSJ1 en el bloque 5, PV6 en el bloque 6, y Cutris 2 en el bloque 6. El ensayo estuvo constituido de la siguiente manera:

Cuadro N°5. Número de árboles y distribución en el ensayo de *D. panamensis*, a 75 meses de edad

Procedencias	Progenie	B1	B2	B3	B4	B5	B6	T 6 bloques
Cope San Juan CSJ	CSJ1	3	3	3	3	0	4	16
	CSJ2	2	3	3	3	1	4	16
	CSJ3	3	2	3	3	2	4	17
	CSJ4	3	3	3	3	4	3	19
	CSJ5	3	2	3	3	4	4	19
	CSJ6	2	3	3	3	4	2	17
	CSJ7	3	3	3	2	2	2	15
	CSJ8	3	2	3	3	1	3	15
	SM9	2	2	2	3	1	2	12
Puerto Viejo PV	PV1	3	2	3	2	1	1	12
	PV2	3	3	3	3	2	3	17
	PV3	2	3	2	3	4	4	18
	PV4	2	3	2	2	1	3	13
	PV5	3	3	3	3	2	3	17
	PV6	3	2	3	3	2	0	13
	PV7	3	3	3	2	2	1	14
	PV8	3	3	3	3	4	4	20
	PV9	3	3	3	3	3	3	18
	PV10	3	3	3	1	3	3	16
Cutris	1	3	2	1	3	1	2	12

	2	2	3	3	2	3	0	13
	3	3	3	3	3	2	2	16
	4	3	3	3	3	3	3	18
	5	3	2	3	2	5	1	16
	6	3	3	3	3	4	3	19
	7	3	2	3	3	1	3	15
	8	2	3	3	3	1	2	14
	9	3	3	3	2	1	3	15
	10	3	3	3	3	3	3	18
Local	R	0	1	1	1	3	9	15
3	29	80	79	83	79	70	84	475

Para las mediciones de DAP se utilizó cintas diamétricas, mientras que para la medición de alturas se utilizó vara telescópica de hasta 20m. Para la extracción de muestras de madera se ha utilizado barrenos Pressler de 5 mm de diámetro y 3 m de cuerda de escalar. Una mezcla de sulfato de cobre con talco y cola de pegar madera fue utilizada para proteger de pudrición los árboles muestreados.

Para el apeo de los árboles de la muestra se utilizó una motosierra Sthill 250, una cinta métrica de 30 m para medir el largo total del fuste, marcadores de carpintería para el marcaje de los árboles, 2 formatos de toma de datos que se incluyen en Anexo 1; bolsas plásticas, papel aluminio, y pajillas plásticas transparentes de 5 mm de diámetro para las muestras de campo de los tarugos de madera.

Para el pesaje de las muestras se utilizaron balanzas de precisión del tipo electrónicas, marca OCONY ES-300 H con aproximación de 300x0,01 gr, debidamente calibradas.

Horno o estufa eléctrica (1), cámara de almacenaje con humedad controlada (1).

Para la lectura del peso específico mediante Rx se utilizó (1) micro aserrío de banco de doble sierra para elaborar probetas de 2 mm de espesor a partir de los tarugos. 1 lector para Densitometría por rayos X marca Quintek Measurement Systems, modelo QTRS-01X. Para el análisis y el procesamiento de la información se utilizaron los paquetes informáticos, Infostat 2015, Minitab 17 2013, y el software SELEGEN 2014.

## 4.2. Métodos

### 4.2.1. Hipótesis del investigador y variables a procesar

La hipótesis de partida en esta investigación es que, a 75 meses de edad la especie *Dipteryx panamensis* Pittier ya muestra un potencial genético importante, tanto en crecimiento en volumen comercial como en peso específico, que permite poder seleccionar el material de futuras plantaciones.

Para medir el crecimiento se identificaron las siguientes variables: Diámetro a la altura del pecho DAP medido en centímetros (cm), altura total y altura comercial medida en metros (m), volumen comercial y volumen total medido en metros cúbicos con corteza ( $m^3cc$ ) y sin corteza ( $m^3sc$ ).

Para medir el peso específico se determinó la variable peso específico básico o densidad básica, medida en  $Kg/m^3$  y/o en  $gr/cm^3$ .

El potencial de mejoramiento genético fue medido a partir de la varianza aditiva, y la heredabilidad de los caracteres volumen comercial y peso específico, estimados para cada individuo y para cada familia genética.

Para cumplir con los objetivos se propuso una metodología en 2 pasos: el primer paso estaría dedicado a generar y calibrar los instrumentos metodológicos para efectuar la medición central, de modo no destructivo. Por lo que se extrajo una muestra de árboles del ensayo para generar, por un lado un modelo matemático para la tabla de volumen comercial y por otro lado un modelo matemático para el Peso específico a partir del tarugo de madera a extraer con barreno. Ambos modelos, antes de ser utilizados, fueron validados con árboles independientes.

#### 4.2.2. La muestra

Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó el DAP como variable de referencia, dado que la principal variable a registrar en la selección es el volumen comercial y que esta variable está compuesta de 2 variables a medir el DAP y la altura total; de las cuales la primera es con mayor frecuencia medida con mayor precisión. Para ello se utilizó la fórmula:

$$\eta = (CV^2 * t^2) / S_{yx}^2$$

El coeficiente de variación para el DAP de la última medición realizada en el 2015 fue de CV% 40,14 mientras que el error máximo de muestreo propuesto fue de 0,10. El valor de t encontrado en la tabla para estas condiciones fue de 1,646. Con ello el tamaño de la muestra resultó en 43,64; es decir 44 árboles. Se midieron y tumbaron 56 árboles y otros 25 árboles independientes de la muestra se midieron para validar el modelo de volumen (véase el cuadro N° 1).

En la fase de campo fueron seleccionados los árboles del ensayo de procedencias/progenie procurando tomar al menos 5 individuos de cada clase diamétrica existente en la población (con un ancho de clase de 2,5 cm), tal y como se muestra en el cuadro 3.

Cuadro N° 6. Distribución de la muestra de árboles para formular los modelos de volumen y de peso específico

Clase diamétrica(cm)	Cantidad de árboles	Códigos de los árboles muestreados	Calidad de los árboles
5,00-7,49	9	6, 32, 33, 47, 50, 54, 59, 60,63	1,2,2,1,1,1,2,1,2
7,50-9,99	9	1, 17, 31, 43, 44, 45, 51, 52, 56	1,2,1,3,2,2,2,2,2
10,00-12,49	13	3, 9, 11, 14, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 34, 38,53	2,2,2,2,1,1,2,2,2,2, 2,1,1
12,50-14,99	13	7, 10, 12, 13, 15, 30, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 49	3,2,3,2,2,2,2,2,2,3, 2, 3,1

15,00-17,49	10	19, 20, 21, 22, 23, 42, 48, 55, 57, 58	2,3,3,2,2,3,2,2,2,2
17,50-19,99	2	61, 62	3,3
Total	56		

Se midió el DAP con cinta diamétrica y la altura total y comercial con vara telescópica, de los árboles antes de ser derribados. Posteriormente en el suelo se midieron con detalle según el formato que adjuntamos en Anexo 1. Se construyó una base de datos en Excel para determinar el volumen por árbol.

Para el peso específico se procedió a medir los árboles seleccionados y a extraer el tarugo de madera a la altura del pecho antes de ser derribados. Cada árbol derribado fue medido según el formato tipo Anexo 2; posteriormente fue seccionado el fuste comercial en 5 partes y extraído una rodaja de 3 cm de espesor, en la base (0%), en el DAP, en la sección  $\frac{1}{4}$  del fuste comercial (25%), en la mitad  $\frac{1}{2}$  del fuste comercial (50%), en la sección  $\frac{3}{4}$  del fuste comercial (75%). De manera que por cada árbol se obtuvo un juego de 6 piezas de madera.

Las piezas de madera fueron pesadas y medidas en verde y almacenadas con papel de aluminio para no perder drásticamente la humedad. Mientras que los tarugos de madera fueron almacenados en pajillas transparentes de plástico. Posteriormente, tanto rodajas como tarugos fueron transportados al laboratorio de tecnología de la madera del TEC en Cartago donde se procesaron según las normas ASTM D2395-14 (ASTM 2014<sup>a</sup>), para la obtención del peso específico básico o densidad básica.

#### 4.2.3. Los modelos

Con los datos obtenidos se organizó una BD en Excel y se ensayaron varios modelos para volumen y para peso específico. Dichos modelos fueron luego seleccionados utilizando estadísticos básicos considerados para tal propósito, como son el coeficiente



de determinación  $R^2$ , el error estándar Syx, el coeficiente de variación CV%, la distribución de los residuos y la simplicidad del modelo. Finalmente, los modelos seleccionados fueron validados con árboles independientes y teniendo como estadísticos de validez el Sesgo (%), el coeficiente Durbin y Watson y el valor Z de Wilcoxon. Los estadísticos de selección de modelos, como los estadísticos de validación, siguieron los principios mencionados en los trabajos de Caillez (1980) y Ortiz (2011).

#### **4.2.4. Medición central del ensayo**

Validados los modelos de volumen comercial y peso específico, se procedió a la medición central del ensayo. Antes de proceder cada árbol fue identificado y etiquetado con una placa de plástico con las siglas de, bloque, procedencia, familia, y repetición. Se realizaron mediciones del DAP, altura total, altura comercial, observaciones sobre el tipo de fuste y el estado fitosanitario del mismo, a todos los árboles del ensayo. Un tarugo de madera de longitud igual al radio fue extraído a la altura del DAP en cada uno de los árboles. Posteriormente, con los datos de DAP y altura comercial y con ayuda del modelo validado se estimó el volumen comercial de los árboles del ensayo. Del mismo modo que con los tarugos de madera se determinó el peso específico básico de los mismos y con la ayuda del modelo se obtuvo el peso específico de los árboles del ensayo. Con los datos de volumen comercial y de peso específico de cada árbol fue organizada una base de datos en Excel.

#### **4.2.5. Análisis estadístico**

En cada caso, estudio del crecimiento del volumen comercial, estudio del peso específico de la madera, como en el análisis genético, se han realizado Análisis de varianza específicos utilizando el modelo lineal generalizado, y comparaciones mediante la prueba de Bonferoni. Además se han realizado las pruebas de normalidad y de homocedasticidad de los residuos para cada ANOVA. En cada caso fue utilizada

la prueba de Ryan y Joiner (similar a la de Shapiro Wilk) y la prueba de Levene respectivamente. Para esto se ha utilizado el software estadístico MINITAB 17 del 2013 e Infostat 2015, y el programa Selegen 2014. El detalle de cada metodología específica puede encontrarse en cada capítulo respectivo de los resultados.

## **CAPITULO V:**

### **RESULTADOS**

#### **5.1. Crecimiento en DAP, altura total, y volumen comercial en plantaciones de *Dipteryx panamensis* Pittier de 75 meses de edad, en Costa Rica.**

##### **5.1.1. Resumen**

La investigación valora el crecimiento de la especie *Dipteryx panamensis* en DAP, altura total, y volumen comercial, en un ensayo de procedencia y progenie de 75 meses de edad en Costa Rica. Para lo cual se formuló un modelo de volumen total y comercial del árbol, a partir de una muestra de la plantación. Posteriormente se realizó una medición directa del toda la plantación incluyendo un total de 474 árboles. Los datos fueron procesados en Excel y se analizó el crecimiento en DAP, altura total, volumen comercial y volumen total, para 2 edades específicas 36 y 75 meses. Adicionalmente, los datos de crecimiento del ensayo fueron comparados con los datos de 36 plantaciones que constituyeron la base para formular las curvas de índice de sitio de la especie. Un análisis de suelo complementario y básico en laboratorio fue llevado a cabo.

Se encontró que el modelo que mejor se ajusta al volumen total de la especie es el de potencial de variable combinada, mientras que para volumen comercial el modelo de variable combinada generalizada. La especie en el ensayo está creciendo de manera óptima y las mejores familias alcanzaron diámetros y alturas totales superiores a los encontrados por otros estudios. El crecimiento anual promedio en DAP es de  $2,07 \pm 0,45$  cm, mientras que el crecimiento en altura es de  $2,14 \pm 0,29$  m. El crecimiento anual en volumen comercial es de  $7,8 \text{ m}^3/\text{ha} \pm 0,43$ . Al comparar el IMA y las alturas dominantes del ensayo con las alturas dominantes de 36 plantaciones, aquellas resultan en curvas IS superiores a las ya existentes. Los resultados del análisis de suelo y del crecimiento sugieren que la buena performance del ensayo no es función del sitio sino del material genético del ensayo y de las prácticas silviculturales básicas, realizadas.

**Palabras clave:** *Dipteryx panamensis*, almendro, crecimiento en volumen, plantaciones, silvicultura, Costa Rica

## **Abstract**

Present research aims to assess the growth for *Dipteryx panamensis* Pittier, a hardwood specie in a trial of provenance and progeny of 75 months in Costa Rica. This starts formulating a statistical model for merchantable and total volume of the tree, based on a sample of mentioned trial. Subsequently, after model validating it held a direct measurement of the total planting, including 474 standing trees. Data processed in Excel was analyzed in DBH, total height, merchantable volume, and total volume growth, specific for 2 ages 36 and 75 months. Additionally, data growth was compared (dominant height) with data from 36 plantations which formed the basis for formulating

the specie site index curves. Complementary, a basic soil laboratory analysis was carried out.

It was found that logarithmic model for combined variable fitted best for total volume, while generalized combined model fitted best for merchantable volume. The specie in trial is growing optimally and best families reached diameters and total height higher than those found by other studies. Average growth in DBH was  $2.07 \pm 0.45$  cm, while the height growth was  $2.14 \pm 0.29$  m. Average growth in merchantable volume was  $7.8 \text{ m}^3/\text{ha} \pm 0.43$  by year. Comparing the dominant height for 50 trees of the trial with dominant height from 36 plantations, those resulting in IS curves superior to existing ones. The results of the soil analysis and the excellent growth suggest that the high performance of the trial would not be function of the site, but from the genetic material and basic silvicultural practices, carried out on it.

Key words: *Dipteryx panamensis*, almendro, growth, plantations, silviculture

### 5.1.2. Introducción

El almendro amarillo (*Dipteryx panamensis*, Pittier), es una especie forestal nativa, de la familia *Fabaceae*, subfamilia *Papilionaceae*, con una distribución natural desde los bosques de tierras bajas de Nicaragua hasta Colombia (Flores 1992, Romo 2005). En Costa Rica es abundante en el Caribe y en toda la región Huetar Norte del país (Castañeda *et al.* 2000). Una vez que alcanza la madurez, es un árbol prominente que forma parte del dosel superior y puede llegar a medir 60 m de altura y un diámetro de hasta 2 m. Esta especie presenta un fuste cilíndrico y amplias raíces basales, sin embargo, no presenta gambas. Tiene ramas ascendentes que forman una copa semiesférica y presenta una floración muy atractiva de color rosado-violeta (Gamboa 2008; Fournier 2003).

En los últimos 15 años, el crecimiento y propagación de esta especie en Costa Rica, ha sido objeto de estudio y abordado por numerosos autores (Delgado *et al.* 2003, Piotto *et al.* 2003, Petit y Montagnini 2006, Alice *et al.* 2004, Schmidt 2009, Montagnini 2010). La mayoría de ellos concluye que la especie tiene un importante crecimiento en altura, DAP y volumen en los primeros años, pero que este crecimiento es lento y su periodo de rotación es largo (35-40 años) (Piotto *et al.* 2003a, Alice *et al.* 2004, Montagnini 2010). Algunos autores señalan que la especie crece mejor en plantaciones mixtas que puras y en sistemas agroforestales (Petit y Montagnini 2006, Montagnini 2010, Alice *et al.* 2004). Mencionan también la importancia de esta especie para proveer servicios ambientales (suelo, biodiversidad y clima CO<sup>2</sup>) (Piotto *et al.* 2003a, Brenes 2007). En particular el potencial de la especie para secuestro y fijación de carbono en el largo plazo, ha sido resaltado por (Redondo-Brenes 2007).

Petit y Montagnini (2006) encontraron que en plantaciones mixtas *Terminalia amazónica*, *Vochicia koschnyi*, con *Dipteryx panamensis*, este último producía 88% más de volumen comercial (m<sup>3</sup>/ha) que en plantaciones puras. Las monoculturas de *Dipteryx panamensis* y *Genipa americana*, rindieron poco volumen comercial después de 10 años de crecimiento (47 – 75 %) menos que las mixtas. En virtud de ello estos autores, y otros ya mencionados (Piotto *et al.* 2001), recomiendan la investigación de los mejores genotipos de la especie.

No obstante, el trabajo de Schmidt (2009) ha sido el más exhaustivo y específico en el tema de crecimiento de la especie en plantación, quien logró visitar y evaluar todos los rodales existentes (más de 36) entre Costa Rica y Panamá, con edades de 1 a 24 años. Su base de datos, sin embargo, se obtuvo de pequeñas plantaciones que no tuvieron un manejo adecuado (sin control de malezas, podas, ni raleos), por lo que se puede asumir que su tasa de crecimiento podría ser aún mejor. De su trabajo se señala que los mejores crecimientos se registraron en las tierras bajas del Caribe de Costa Rica, donde el clima está caracterizado por una precipitación mayor de 2000 mm y una elevación menor de 500 msnm (Schmidt 2009).

En esta investigación se entiende por crecimiento, el proceso biológico que se aplica a todo el árbol en su integridad incluyendo a todos los componentes del mismo (fuste, ramas, raíces y follaje). Mientras que el incremento expresa el crecimiento observado del organismo durante un periodo dado de tiempo y normalmente se aplica a las variables del árbol y del rodal, diámetro, área basal, altura y biomasa (Brack y Wood 1997, Gadow y Hui 1998, Van Laar y Akça 2007).

Desde hace 10 años la cooperativa internacional de conservación y mejoramiento genético forestal GENFORES, viene desarrollando programas con especies nativas de alto valor para la región, donde ha logrado establecer colecciones *ex situ* mediante ensayos genéticos (Murillo y Guevara 2013). Estas colecciones amplias de germoplasma siguen un diseño experimental que permite su fácil conversión en huertos semilleros. A partir de estos bancos de germoplasma se podrá coleccionar y reproducir material genético de alta calidad y crear nuevas fuentes semilleras que den sustento a futuras plantaciones comerciales (Murillo y Guevara, 2013). Esta red de nuevos ensayos, ha permitido obtener valiosa información sobre el crecimiento y comportamiento de la especie en el país, bajo condiciones de buen manejo silvicultural (León 2014, Martínez *et al.* 2015).

El objetivo de este trabajo es investigar el crecimiento de la especie *Dipteryx panamensis* Pittier, creciendo en plantaciones puras en bloque, en un ensayo de procedencia y progenie de 75 meses de edad. Este trabajo de investigación busca sumar nueva información sobre el crecimiento de la especie en el país y conocer su potencial de crecimiento futuro para su fomento en reforestación.

### **5.1.3. Materiales y Métodos**

El material principal de la investigación es el ensayo de procedencia y progenie de *Dipteryx panamensis*, establecida en junio del 2011 en la zona norte. Con 29 familias debidamente identificadas y 3 procedencias, Crucitas, Cope San Juan y Puerto Viejo. El esquema del diseño es en bloques al azar (6), y fue instalado con un total de 1064

árboles con un distanciamiento de 3 x 3 m. La ubicación de este ensayo en el cantón de San Carlos es 10°21'N y 84°30'W, tal como se ha presentado en la figura 1.

El ensayo ha recibido las siguientes practicas silviculturales: limpieza y control de malezas 1 vez por año y raleo de formación en 2013 (50% de las existencias). Ha sido evaluado a las edades de 1, 3, 4 y 5 años, con el fin de monitorear el desarrollo de progenies y procedencias de las diferentes familias. Al momento de la medición el ensayo contaba con 475 árboles distribuidos tal como se presenta y se describe en el cuadro 5.

#### Modelo de volumen

Con las mediciones realizadas en la muestra se construyó una base de datos en Excel y se analizaron los datos considerando los siguientes pasos:

Se graficaron los datos utilizando un ploteo de la variable dependiente versus las variables independientes, para detectar errores y posibles datos sesgados (outliers).

Se determinó la relación existente entre las dimensiones básicas de los árboles (variables independientes) y su correspondiente volumen,

Se practicaron análisis de regresión en Excel, y se seleccionó el mejor modelo de regresión para cada modelo de cálculo de volumen.

Los modelos que se utilizaron para la estimación del volumen se muestran en el cuadro:

Cuadro N° 1. Modelos evaluados para la estimación del volumen total y comercial en plantaciones comerciales de almendro

<i>Nombre del modelo</i>	<i>Modelo de regresión</i>	<i>Tipo</i>
1.Variable combinada simple	$Y = b_0 + (b_1 * d^2) + (b_2 * h)$	<i>Lineal simple</i>
2.Variable combinada	$Y = b_0 + b_1 (d^2 h)$	Lineal cuadrática
3.Potencial (Schumacher and Hall)	$Y = b_1 d^{b_2} h^{b_3}$	Logarítmica linealizable

4. Meyer Modificada	$Y = b_0 + b_1 * d + b_2 * dh + b_3 * (d^2 * h)$	Polinomial
5. Variable combinada generalizada	$Y = b_0 + b_1 * d^2 + b_2 * h + b_3 * (d^2 * h)$	Lineal cuadrática
6. Potencial con variable combinada potencial	$Y = b_1 (d^2 h)^{b_2}$	Potencial linealizable

Donde: Y = volumen en m<sup>3</sup><sub>cc</sub>, d = es el diámetro de referencia (DAP), h = altura total del árbol, b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub> y b<sub>3</sub>= coeficientes de regresión a estimar.

### Selección del modelo

La selección de los modelos se realizó siguiendo la metodología sugerida por Caillez (1980) y retomada por Ortiz (2011). Para seleccionar el mejor modelo se utilizaron los siguientes criterios y estadísticos: coeficiente de determinación R<sup>2</sup>, error estándar Syx, coeficiente de variación CV%, para los modelos lineales; el índice de ajuste (FI), error estándar en unidades reales (Seyx), y el CV% para los modelos no lineales. Complementariamente se utilizaron los criterios, el análisis de residuos (Yobs-Yest) y el criterio de simplicidad y facilidad de uso del modelo.

Seguidamente se validó el modelo para comprobar la exactitud de la tabla desarrollada utilizando la muestra de árboles diferente a la utilizada en su construcción (25 árboles). Se utilizó la prueba de sesgo, con la fórmula siguiente; y el menor sesgo como regla de aceptación (S% ≤ 2):

$$S\% = \frac{\sum(yobs - yest)}{\sum(yobs)} * 100$$

Adicionalmente, se corroboró la no colinealidad de los datos y se utilizó la prueba de Z de Wilcoxon para corroborar la normalidad.

### Crecimiento

El crecimiento actual fue evaluado a partir de una colecta directa de información del DAP y la altura total de todos los árboles del ensayo, realizada entre Agosto y Octubre del 2016, a la edad de 75 meses. Los parámetros, DAP, altura total, fueron medidos



directamente, el primero con cinta diamétrica y el segundo utilizando varas telescópicas de 16 y 20 m. El volumen, fue estimado con la tabla construida en el paso anterior. Los parámetros fueron comparados con la medición realizada en 2013 a la edad de 36 meses utilizando el bloque como unidad de referencia.

#### Comparación de los datos del ensayo con otras plantaciones

Para la comparación con los resultados de otras plantaciones, se utilizaron los datos confirmados en 5 sitios por Schmidt 2009, utilizando 36 plantaciones de la especie en Costa Rica. Se efectuó un ANOVA, para el crecimiento en DAP y altura total de los árboles dominantes del ensayo. Se comparó, además, mediante un ANOVA y el test de Bonferroni las alturas dominantes con raleo y sin raleo. Finalmente, se comparó el volumen comercial obtenido con los obtenidos en sitios que tuvieron edades similares. Para verificar los resultados del ANOVA se utilizaron las pruebas de normalidad y homocedasticidad. Para la primera la prueba de Ryan y Joiner (similar a la de Shapiro Wilk) y para la segunda la prueba de Levene. Cuando estas pruebas no fueron satisfactorias se volvió a correr el ANOVA con datos transformados que proporciona el programa MINITAB 17.

Para valorar el crecimiento potencial de la especie en el sitio se utilizó las curvas de índice de sitio construidas por Schmidt (2009). Utilizando la misma función, de Chapman y Richard,  $[SI = h_2 * (1 - \exp^{-c*t})^{dt} - h_1]$  cuya edad de referencia es  $t = 15$  años. Para ajustar los datos se estimaron los índices de sitio del ensayo a partir de las alturas dominantes y se construyeron 2 curvas anamórficas adicionales de índices de sitio, complementarias a las ya existentes.

Mediante la comparación de alturas dominantes del ensayo con las alturas dominantes de las 36 plantaciones medidas por Schmidt y de una plantación control de 15 años ubicada en los alrededores del ensayo; se llevó a cabo un análisis comparativo del crecimiento futuro de *Dipteryx panamensis*, con prácticas de manejo forestal y sin prácticas de manejo forestal.

Finalmente se estimó el incremento medio anual IMA, para los bloques del ensayo y para cada una de las familias. Para ello se utilizó la fórmula  $IMA = \text{Valor actual del parámetro/edad}$ .

#### 5.1.4. Resultados

##### 5.1.4.1. Modelos de Volumen

Modelo de volumen total

Cuadro N° 2. Resultados de la selección de modelos para estimar el volumen total en *D.panamensis* de 75 meses de edad

Modelo	Curva de regresión	R <sup>2</sup>	Syx	CV%	FI	Seyx	Residuo
1	$Y = -0,0500 + (5,0049 * d^2) + (0,0046 * HT)$	0,97	0,008	10,41			En U
2	$Y = 0,0076 + 0,3729 * (d^2 * HT)$	0,97	0,007	9,35			U invertida
3	$Y = -1,4821 + (d)^{1,7702} * (HT)^{1,0493}$			9,10	0,97	0,007	Cono centrado
4	$Y = -0,0047 + 0,1478 * d + 0,0057 * d * HT + 0,3059 * d^2 * HT$	0,97	0,007	9,20			En Cono
5	$Y = 0,0159 + (1,0088 * d^2) + (0,0020 * HT) + (0,2838 * d^2)$	0,97	0,007	9,18			Cono ampliado
6	$Y = -1,0043 + (d^2 * HT)^{0,9170}$			9,07	0,97	0,007	Buena

Del cuadro se aprecia que el modelo que mejor ajustó fue el 6 ó Potencial con variable combinada, linealizable mediante logaritmos, con un índice de ajuste FI (equivalente del coeficiente de determinación R<sup>2</sup>) de 0,97, un error estándar en unidades reales de Seyx 0,007, un coeficiente de variación de 9,07%. La distribución de residuos para este modelo resultó ser mejor que en el resto de modelos.

### Modelo de Volumen comercial

El modelo para el volumen comercial fue seleccionado siguiendo los mismos criterios que en el volumen total con el resultado que se muestra en el cuadro

Cuadro N° 3. Resultados de la selección de modelos para estimar el volumen comercial en *D.panamensis* de 75 meses de edad

N	Curva de regresión	R <sup>2</sup>	Syx	CV%	FI	Seyx	Residuo
1	$Y = -0,0215 + (4,2088 * dsc^2) + (0,0039 * h_{com})$	0,98	0,004	9,25			En curva
2	$Y = 0,0073 + 0,5612 * (dsc^2 h_{com})$	0,93	0,008	16,71			En recta
3	$LN(Y) = 0,5017 + 2,0049 * LN(dsc^2) + 0,5322 * LN(h_{com})$			9,86	0,97	0,005	En cono
4	$Y = 0,0113 + (3,3246 * dsc^2) + (0,0021 * h_{com}) + (0,1471 * dsc^2 h_{com})$	0,98	0,004	8,69			Buena

Del cuadro se aprecia que el mejor modelo resulta el 4, de Variable combinada generalizada, con un coeficiente de determinación R<sup>2</sup> de 0,98; un error estándar Syx de 0,004 y un coeficiente de variación CV de 8,69%. La distribución de residuos para este modelo resultó buena.

#### 5.1.4.2. Crecimiento Actual

El crecimiento en DAP se presenta en el cuadro 4 para 36 y 75 meses de edad.

Cuadro N° 4. Resultados de las mediciones de crecimiento en DAP de *D.panamensis*

Meses	Bloques	N	DAP	Max.	Min.	CV%
36	B1	177	6,66±1,83	10,90	1,00	27,48
36	B2	176	6,69±1,74	9,80	1,50	26,12
36	B3	174	6,81±1,56	9,50	2,20	22,98
36	B4	176	6,60±1,85	10,30	1,50	28,09
36	B5	179	6,66±1,54	9,40	2,60	23,20
36	B6	180	6,71±1,51	10,00	2,80	22,50

	TOTAL	1061	6,69±1,68	10,00	1,00	25,11
75	B1	80	12,87±2,89	18,90	5,50	22,44
75	B2	79	12,93±2,60	18,10	6,30	20,15
75	B3	83	12,52±2,76	17,60	6,10	22,11
75	B4	79	12,83±2,99	19,20	5,30	23,30
75	B5	70	13,27±2,86	18,40	5,50	21,59
75	B6	84	12,74±2,87	20,90	5,80	23,02
	TOTAL	475	12,74±2,82	20,90	5,30	22,00

Los resultados de las mediciones realizadas en DAP muestran un crecimiento homogéneo, con un promedio de 6,69±1,68 cm a los 36 meses de edad y 12,74±2,82 cm a los 75 meses con coeficientes de variación que oscilan entre 22,0% y 25,0%. Un incremento neto del 90% en 3,2 años. Estos datos se encuentran en el intervalo mencionado por otros autores para edades similares (Piotto *et al.* 2003<sup>a</sup>, Petit y Montagnini 2006, Alice *et al.* 2004, Delgado *et al.* 2003), resultando ligeramente superiores.

#### Crecimiento en Altura Total

Cuadro N° 5. Resultados de las mediciones en crecimiento de altura total para *D.panamensis*

Meses	Bloques	N	AltTotal	Max.	Min.	CV%
36	B1	177	5,19±1,21	7,50	1,40	23,42
36	B2	176	5,25±1,20	7,30	1,00	23,02
36	B3	174	5,95±1,16	8,50	1,00	19,62
36	B4	176	5,29±1,22	7,50	1,50	23,10
36	B5	179	5,58±1,15	7,50	2,00	20,66
36	B6	180	5,68±1,02	7,50	2,50	18,03
	TOTAL	1061	5,49±1,19	8,50	1,00	21,77
75	B1	80	13,72±1,78	17,00	7,70	12,98
75	B2	79	13,62±2,00	15,50	6,60	14,74
75	B3	83	13,44±1,67	15,80	7,50	12,48
75	B4	79	12,65±1,30	15,20	8,20	10,34
75	B5	70	13,31±1,90	15,50	6,00	14,26
75	B6	84	13,12±2,15	16,50	7,80	16,38
	TOTAL	475	13,12±1,85	17,00	6,00	13,89

Los resultados de las mediciones realizadas en altura total muestran también un crecimiento homogéneo, con un promedio de  $5,49 \pm 1,19$  m a los 36 meses de edad y  $13,12 \pm 1,85$  m a los 75 meses, con coeficientes de variación que oscilan entre 14,0% y 22,0%. Un incremento neto de 138% durante el periodo. Estos datos se encuentran definitivamente en el rango superior a los mencionados por otros autores (Piotto *et al.* 2003<sup>a</sup>, Petit y Montagnini 2006, Alice *et al.* 2004, Delgado *et al.* 2003).

#### 5.1.4.3. Dinámica del crecimiento

El crecimiento en DAP ha tenido un incremento notable entre los años 4 y 5 como respuesta del raleo del 50% de la plantación en 2013.

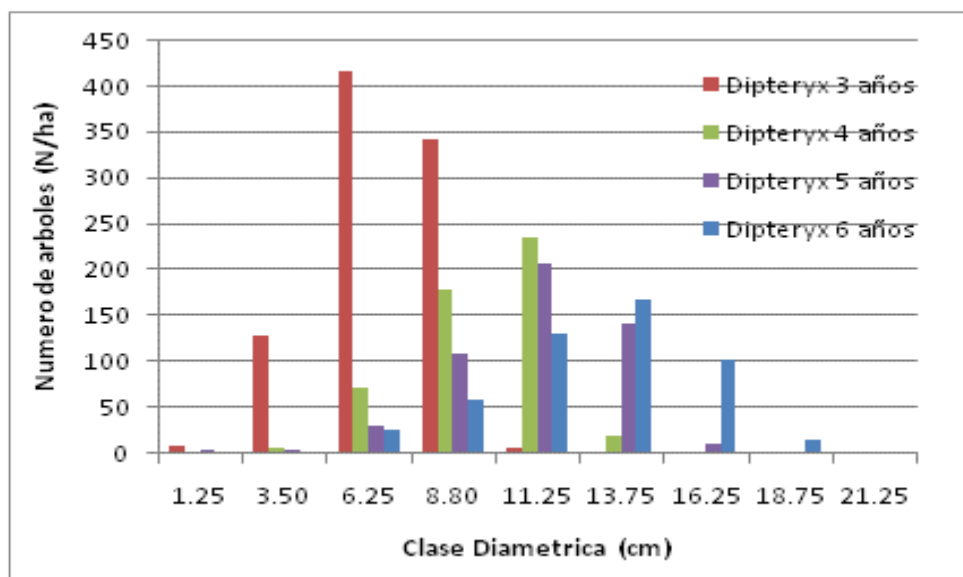


Figura N° 1. Distribución de las clases diamétricas del ensayo de *D.panamensis*, entre 36 y 75 meses de edad

La respuesta se presenta en el número de árboles que ingresan en las nuevas clases diamétricas, CD 11,25, 13,75 y 16,25. El primer año, luego del raleo, el número de

árboles en la clase 11,25 se incrementa de 7 a 233 y en la clase 13,75 de 0 a 20 árboles. A los 75 meses, (luego de 3 años des pues del raleo) el 57% de los árboles han ingresado en las nuevas clases diamétricas, 13,75, 16,25 y 18,75. Sin duda esto se refleja en la dinámica del área basal

- Crecimiento en Área basal

El área basal se incrementa de un promedio de 3,63 m<sup>2</sup>/ha a los 3 años (año en que se realiza el raleo) a 3,85 m<sup>2</sup>/ha en el año 4, un incremento del 6,11%. Para luego pasar a 5,07 m<sup>2</sup>/ha y 6,72 m<sup>2</sup>/ha en los años 5 y 6 respectivamente. Tal como se puede apreciar de la figura 2.

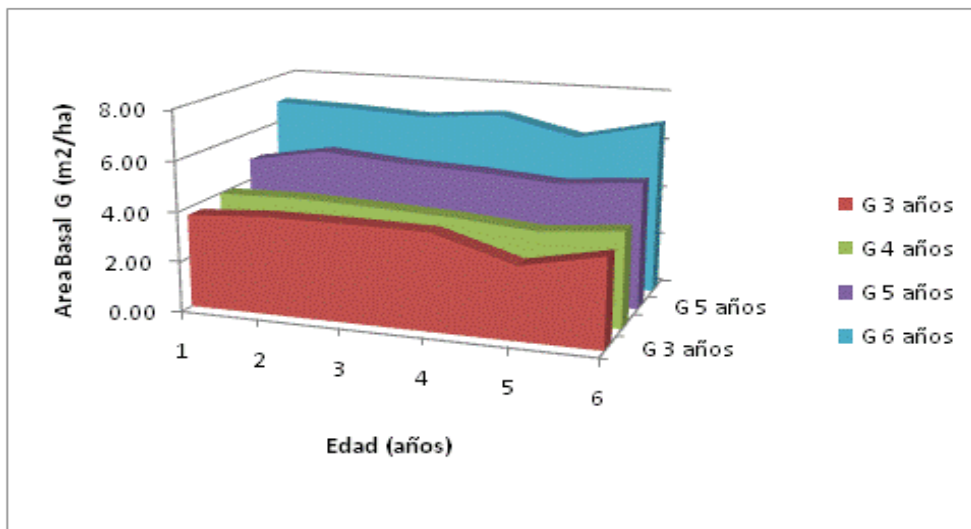


Figura N° 2. Crecimiento del área basal en *D.panamensis*, entre los 36 meses y 75 meses de edad.

Un incremento en el área basal de 31,46% y 32,47%, en los años 5 y 6 respectivamente. Entre el año 3 luego del raleo y el año 6 fecha de la medición, el incremento en el área basal fue de 84,92%.

- Crecimiento en Volumen

El crecimiento de la especie en volumen total y comercial a los 36 y 75 meses de edad se muestra en la figura siguiente. De esta figura se puede apreciar que el volumen total, al igual que el área basal, también experimentó un crecimiento importante. En términos absolutos el volumen total pasa de un promedio de 9,02 m<sup>3</sup>/ha en el año 3 antes del raleo a 48,56 m<sup>3</sup>/ha en el año 6. Un incremento total de 39,55 m<sup>3</sup>/ha en 38 meses. Es decir, un incremento de 438% en el mismo periodo. Mientras que el Volumen comercial en el ensayo se incrementó de 3,98 m<sup>3</sup> en 2013 a 34,48 m<sup>3</sup> en el 2016, un incremento del 766% en el término de 38 meses.

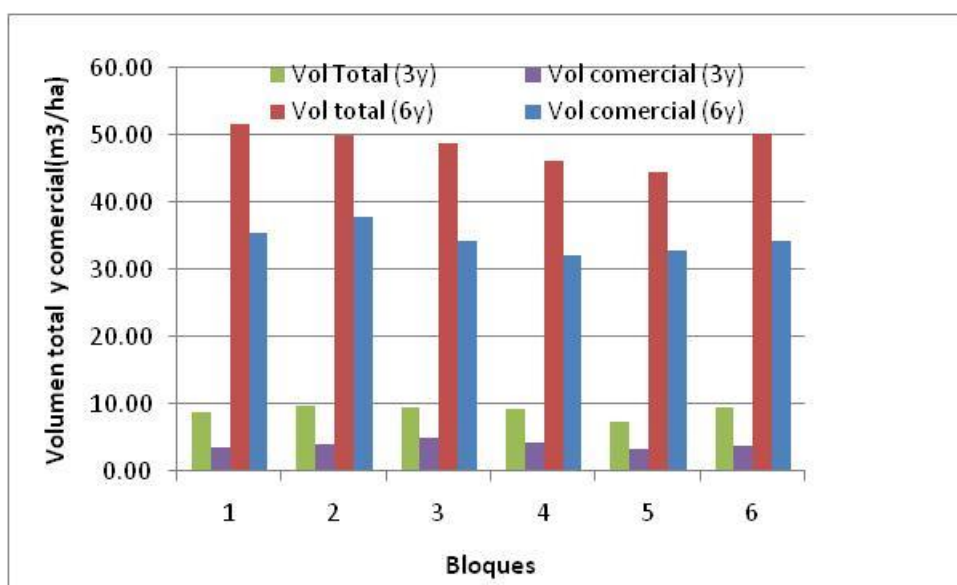


Figura N° 3. Crecimiento en volumen total en el ensayo de *D.panamensis* entre 36 y 75 meses de edad

#### 5.1.4.4. Resultados de la comparación con otras plantaciones de Costa Rica

- Para el DAP (con árboles dominantes)

Cuadro N° 6. Resultados del ANOVA para DAP que compara el ensayo con otras plantaciones de la especie *D. panamensis*, en Costa Rica

Analysis of Variance					
Fuente	GL	SC	SCM	F	P
Lugar	5	76,652	15,3304	14,77	0,000
Error	17	17,647	1,0381		
Desajuste	8	15,660	1,9575	8,87	0,002
Error puro	9	1,987	0,2208		
Total	22	94,299			
Resumen del Modelo					
S	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (adj)	R <sup>2</sup> (pred)		
1,0188	81,29%	75,78%	62,95%		

El análisis de varianza entre lugares (sitios) para el DAP de los árboles dominantes resulta significativo, dado que el valor de “p” estimado en 0,00 para el factor lugar (sitios) resulta menor que el “p” de referencia ( $\alpha = 0,05$ ). El modelo del ANOVA resulta con un R<sup>2</sup> de 0,8129, con un error estándar S de 1,01885, lo que significa que el modelo (los factores y su combinación) explican el 81,29% de la variación en el DAP de árboles dominantes.

El test de Bonferroni para el DAP de árboles dominantes, al 95% de probabilidad, muestra que el promedio DAP dom para el ensayo (TEC) es similar al de los sitios 1,4 y 5 y significativamente diferente con los sitios 2 y 3.

Cuadro N° 7. Resultados de la prueba de Bonferroni para DAP de árboles dominantes.

Grouping Information Using the Bonferroni Method and 95% Confidence				
Lugar	N	Mean	Grouping	
TEC	6	17,2100	A	
sitio 1	2	17,1500	A	
sitio 4 M	4	17,1000	A	B
sitio 5	3	16,5667	A	B
sitio 2	2	13,7500	B	C
sitio 3	6	13,0833		C



Por su parte, el test de Ryan & Joiner confirma la hipótesis nula  $H_0$ , de distribución normal de los residuos de las poblaciones comparadas para el DAP de árboles dominantes. Dado que el valor de “p” estimado resulta  $> 0,100$  superior al “p” de referencia ( $\alpha = 0,05$ ) y que el valor RJ resulta alto 0,988.

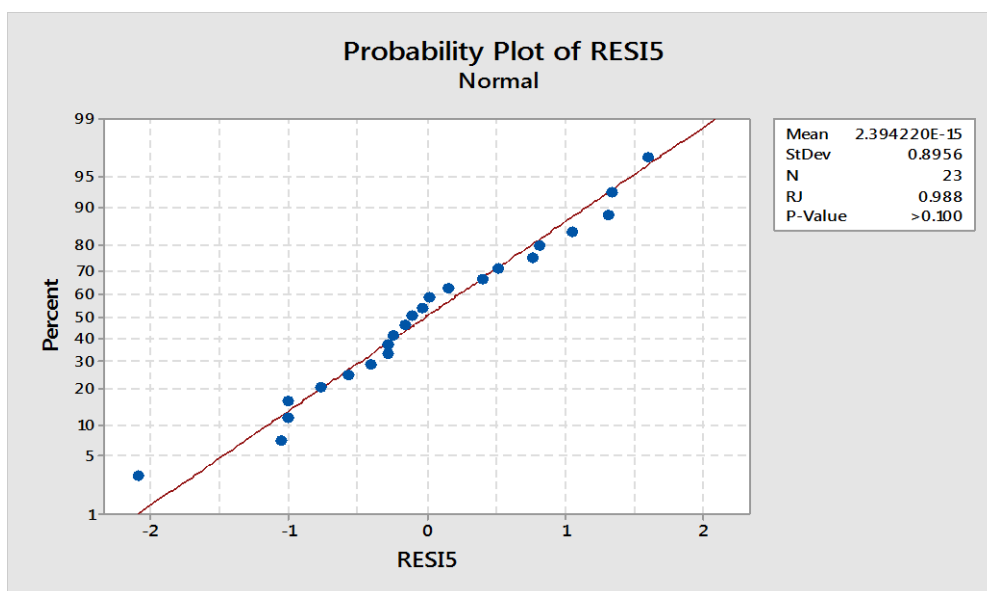


Figura N° 4. Test de Ryan y Joiner para normalidad de residuos del ANOVA DAP con árboles dominantes

Del mismo modo la prueba de homocedasticidad o de homogeneidad de varianzas, con los residuos absolutos del ANOVA, mediante el test de Levene, resulta en:

Cuadro N° 8. Test de Levene o prueba de homocedasticidad para el DAP

Análisis de varianza					
Fuente	GL	SC ajust	CM ajust	F	P
Lugar	5	2,679	0,5358	2,31	0,089
Error	17	3,939	0,2317		
Total	22	6,618			
Modelo					

S	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (aj)	R <sup>2</sup> (pred)
0,4813	40,48%	22,97%	6,74%

El test de Levene con los residuos absolutos confirma la hipótesis nula  $H_0$  de homogeneidad de varianzas de los residuos de las poblaciones comparadas, para el DAP de árboles dominantes. Dado que el “p” estimado 0,089 resulta superior al “p” de referencia ( $\alpha= 0,05$ ).

- Para la altura dominante Hdom

Cuadro N° 9. Resultados del ANOVA de comparación del ensayo con otras plantaciones, para Hdom

Análisis de varianza					
Fuente	GL	SC ajust	CM ajust	F	P
Lugar	5	60,45	12,090	5,03	0,005
Error	17	40,88	2,404		
Lack-of-Fit	8	12,52	1,565	0,50	0,831
Pure Error	9	28,36	3,151		
Total	22	101,33			
Model Summary					
S	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (adj)	R <sup>2</sup> (pred)		
1,550	59,66%	47,80%	34,95%		

Las diferencias entre las alturas dominantes de los sitios comparados resulta significativo, a juzgar por el “p” del factor lugar 0,005, que resultó menor que el “p” de referencia ( $\alpha= 0,05$ ). Sin embargo el valor del error puro fue de 3,151 y el modelo resultó con un R<sup>2</sup>de 59,66%, con un error estándar S de 1,55063.

El test de Bonferroni encuentra 2 grupos de alturas dominantes. Aquellos con la letra A donde se ubica el ensayo con un mayor promedio de altura dominante, mayor de 14 m que resultan los sitios 4M, 1, TEC y 3. Y los agrupados con la letra B con alturas dominantes entre 12m y 14 m.

Cuadro N° 10. Resultados de la prueba de Bonferroni para Hdom en *D. panamensis*

Grouping Information Using the Bonferroni Method and 95% Confidence				
Lugar	N	Mean	Grouping	
Sitio 4 M	4	17,0250	A	
Sitio 1	2	15,800	A	B
TEC	6	14,5980	A	B
Sitio 5	3	14,0667	A	B
Sitio 2	2	12,900	A	B
Sitio 3	6	12,400		B

Para confirmar la distribución normal de los residuos del ANOVA y la homogeneidad de varianzas se presentan los resultados de las pruebas de Ryan y Joiner y de Levene.

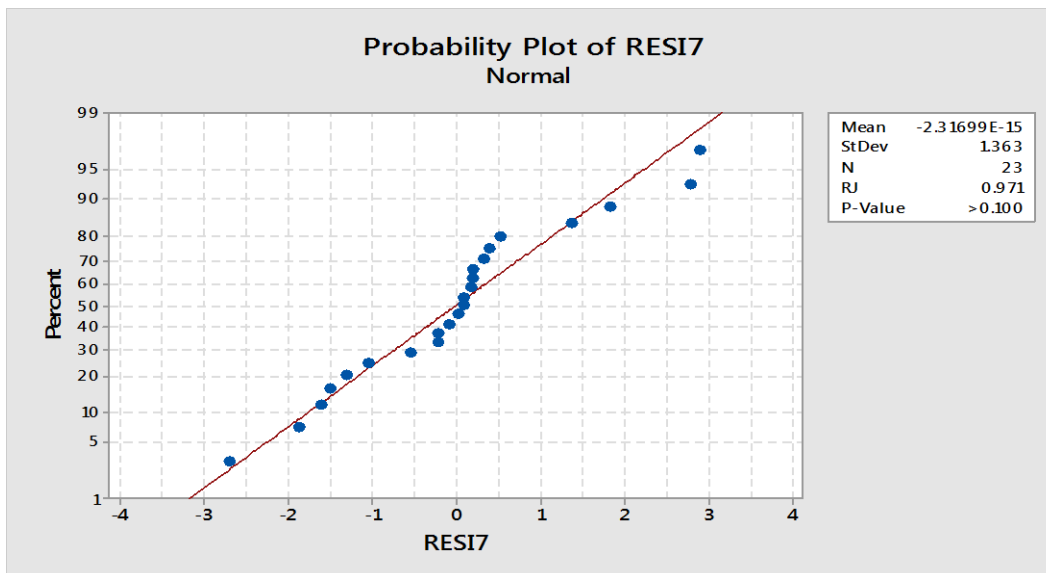


Figura N° 5. Test de Ryan y Joiner para normalidad de residuos del ANOVA Hdom

La prueba de Ryan y Joiner, resulta en un valor alto RJ=0,971 y un “p” mayor que 0,1000, superior al “p” de referencia 0,05. Esto confirma la hipótesis nula  $H_0$  de que los residuos derivados de la comparación de medias de las alturas dominantes tienen una distribución normal.

Cuadro N° 11. Test de Levene o prueba de homocedasticidad, para Hdom

Analysis of Variance					
Fuente	GL	SC ajust	CM ajust	F	P
Lugar	5	9,878	1,9756	3,37	0,027
Error	17	9,975	0,5867		
Total	22	19,852			
Resumen Modelo					
S	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (adj)	R <sup>2</sup> (pred)		
0,766	49,76%	34,98%	17,23%		

La prueba de Levene (con residuos absolutos) para Hdom, confirma la Ha (de que las varianzas No son homogéneas) en los residuos del ANOVA para Hdom, entre las poblaciones comparadas. Dado que el “p” estimado con los residuos absolutos 0,027, resulta inferior al “p” de referencia 0,05. Por lo que se recurre a un nuevo ANOVA con los datos transformados:

Análisis de varianza con los datos transformados para Hdom.

Cuadro N° 12. Resultados del ANOVA de comparación del ensayo con otras plantaciones, para Hdom con datos transformados

Fuente	GL	SC ajust	CM ajust	F	P
Lugar	5	65,12	13,024	6,23	0,002
Error	17	35,52	2,090		
Lack-of-Fit	8	14,51	1,813	0,78	0,634
Pure Error	9	21,02	2,335		
Total	22	100,65			
Model Summary for Transformed Response					
S	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (adj)	R <sup>2</sup> (pred)		
1,445	64,70%	54,32%	40,92%		

EL ANOVA con los datos transformados para las alturas dominantes de los sitios comparados resulta significativo, a juzgar por el “p” del factor lugar 0,002, que resulta menor que el “p” de referencia ( $\alpha = 0,05$ ). El valor del error puro es de 2,335 y el modelo resulta con un R<sup>2</sup> de 0,647 con un error estándar S de 1,4455.

El test de Bonferroni encuentra 2 grupos de alturas dominantes. Aquellos con la letra A donde se ubica el ensayo con un mayor promedio de altura dominante, entre 14,22 m y 17,07 m y donde resultan identificados los sitios 4M, 1, TEC y 5. Y los agrupados con la letra B con alturas dominantes entre 12m y 14 m, donde se agrupan los sitios 2 y 3.

Cuadro N° 13. Resultados del test de Bonferroni para Hdom, comparación del ensayo con otras plantaciones

Lugar	N	Promedio	Significancia	
Sitio 4 M	4	17,0729	A	
Sitio 1	2	15,8025	A	B
TEC	6	14,6233	A	B
Sitio 5	3	14,2269	A	B
Sitio 2	2	12,9031		B
Sitio 3	6	12,7766		B

La prueba de Ryan y Joiner

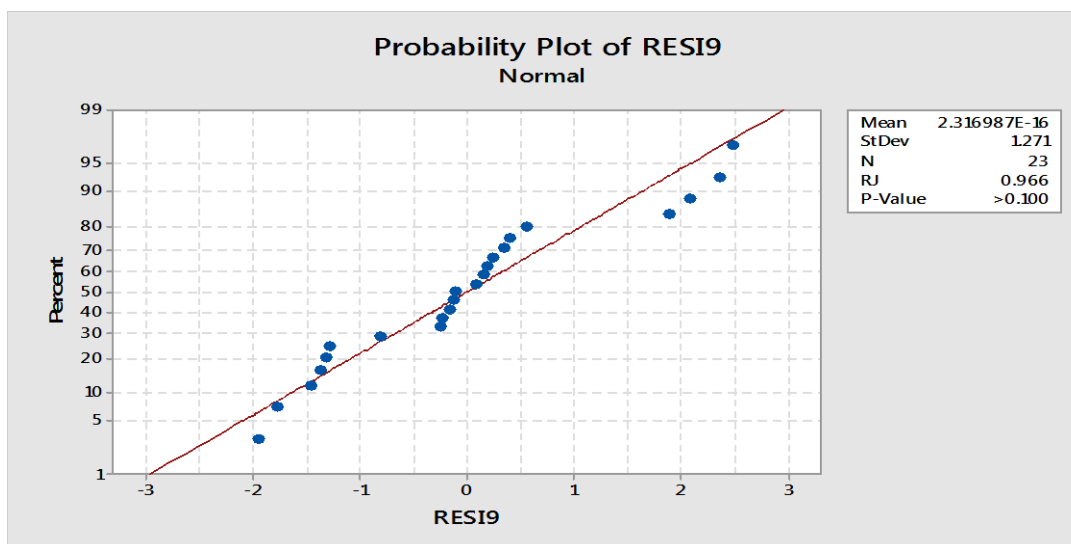


Figura N° 6. Test de Ryan y Joiner para normalidad de residuos del ANOVA Hdom, con datos transformados

Cuadro N° 14. Test de Levene o prueba de homocedasticidad, para Hdom, con datos transformados

Fuente	GL	SC ajust	CM ajust	F	P
Lugar	5	11,31	2,262	2,19	0,103
Error	17	17,52	1,031		
Total	22	28,83			
S	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (adj)	R <sup>2</sup> (pred)		
1,0152	39,23%	21,36%	0,00%		

Los resultados de la prueba de Ryan y Joiner y la prueba de Levene confirman la validez del ANOVA realizado con datos transformados para Hdom.

#### 5.1.4.5. Incremento Medio Anual (IMA)

Cuadro N° 15. Incremento Medio Anual IMA para el ensayo de *D. panamensis* a 36 y 75 meses de edad

Edad (meses)	DAPcc (cm)	Alt total (m)	Volumen total m <sup>3</sup> sc	Volumen comercial m <sup>3</sup> ssc
36	2,23± 0,56	1,83 ± 0,39	0,0032 ± 0,0018	0,0014 ± 0,0008
75	2,07 ± 0,45	2,14 ± 0,29	0,0157 ± 0,0068	0,0113 ± 0,0052

El incremento medio anual obtenido en el ensayo al cabo de 75 meses alcanza, en DAP un promedio de 2,07±0,45 cm. Este valor es similar al IMA a los 36 meses 2,23 ± 0,56 cm. Por su parte, el IMA en altura total alcanza un promedio de 2,14±0,29 m. Este valor es ligeramente superior al obtenido a los 36 meses, de 1,83 ± 0,39 m. En cuanto al IMA volumen es notablemente mayor a la edad de 75meses que a la edad de 36meses, como corresponde a la fase juvenil del ensayo. Mas en ambos casos el rango es notablemente más amplio que para los otros parámetros.

Cuadro N° 16. Incremento Medio Anual IMA, en el ensayo de *D. panamensis* a 75 meses de edad, de acuerdo a procedencias

Procedencia Crucitas	Procedencia Cope San Juan	Procedencia Puerto Viejo
----------------------	---------------------------	--------------------------

Fam ilia	DAP	Alt.T	Vol.co	Famili a	DA P	Alt. T	Vol.co m	Famili a	DA P	Alt. T	Vol.co m
1	1,97	2,17	0,0108	CSJ1	2,32	2,25	0,0143	PV1	1,76	2,07	0,0084
2	1,95	1,99	0,0100	CSJ2	2,12	2,11	0,0131	PV2	1,77	2,04	0,0081
3	2,19	2,22	0,0127	CSJ3	2,09	2,08	0,0125	PV3	2,37	2,28	0,0147
4	2,04	2,09	0,0106	CSJ4	2,04	2,19	0,0110	PV4	1,71	1,91	0,0071
5	2,23	2,23	0,0138	CSJ5	2,04	2,14	0,0117	PV5	2,17	2,20	0,0129
6	2,13	2,08	0,0121	CSJ6	2,34	2,19	0,0135	PV6	2,03	2,18	0,0105
7	1,66	1,85	0,0086	CSJ7	2,16	2,24	0,0119	PV7	2,04	2,09	0,0108
8	1,81	2,00	0,0090	CSJ8	1,94	2,14	0,0099	PV8	2,01	1,98	0,0105
9	1,99	1,99	0,0103	SM9	1,95	2,16	0,0101	PV9	1,94	2,18	0,0089
10	2,23	2,21	0,0127					PV10	2,03	2,17	0,0111

El cuadro muestra la amplia variación del IMA por familias, sugiriendo que familias con mejor IMA se pueden encontrar en las 3 procedencias. Así, en la procedencia Crucitas las familias 5 y 10 resultan con el mejor IMA para el DAP, superando el promedio tanto en DAP como en altura total y el volumen comercial. Del mismo modo en la procedencia Cope San Juan, las familias CSJ1 y CSJ6 resultan con los mejores IMAs. En la procedencia Puerto Viejo, las familias con mayores IMA resultan PV3, PV5 y PV10. Sin embargo, la procedencia Cope San Juan, registra el mayor número de familias con IMA superiores.

## 5.1.5. Discusión

### 5.1.5.1. Sobre el modelo de volumen

Ambos modelos de volumen tienen como base la expresión matemática de la variable combinada (DAP y altura). El ajuste logrado para las ecuaciones de volumen se encuentra dentro del marco permisible como se puede constatar:

Estadísticos de ajuste y de validación del modelo de volumen total

La validación del modelo para la estimación del volumen total resulta, con un sesgo de 0,78%, para la estimación con 54 árboles. Este sesgo es aceptable para el propósito de la investigación siendo que el valor máximo aceptable es 2,0%.

Cuadro N° 17. Resultados de la validación del modelo de volumen total para *D. panamensis* de 75 meses de edad

Volumen	Modelo	Sesgo	Valor Z	DW
VolTotal con corteza	$Y = -1,0043 + (d^2 HT)^{0.9170}$	0,78	1,17	1,93

Los valores de los estadísticos Z y DW comparados con los valores de referencia ( $Z_w = 1,96$ ,  $DW = 2,0$ ) corroboran los buenos resultados del test de sesgo del modelo. El valor Z de Wilcoxon corrobora la normalidad de la distribución de los residuos, mientras que el valor DW corrobora su independencia.

Estadísticos de ajuste y de validación del modelo de volumen comercial

La validación del modelo para la estimación del volumen comercial resulta, con un sesgo de 0,90%, para la estimación con 54 árboles. Este sesgo es aceptable para el propósito de la investigación siendo que el valor máximo aceptable es 2,0%.

Cuadro N° 18. Resultados de la validación del modelo de volumen comercial para *D. panamensis* de 75 meses de edad

Volumen	Modelo seleccionado	Sesgo	Valor Z	DW
Comercial	$Y = -$	0,90	2,32	2,49
Volcom <sub>sc</sub>	$0,01134 + 3,3246 * d^2 + 0,002138 * h_{com} + 0,1471 * d^2 h_{com}$			

Los valores de los estadísticos Z y DW resultan bastante cercanos a los valores de referencia ( $Z_w = 1,96$ ,  $DW = 2,0$ ). El valor Z de Wilcoxon corrobora la normalidad de la distribución de los residuos, mientras que el valor DW corrobora su independencia.



### 5.1.5.2. Calidad del crecimiento

Los valores de crecimiento encontrados en este estudio son ligeramente superiores, comparados con los valores encontrados por otros autores (Delgado 2003, Piotto *et al.* 2003, Alice *et al.* 2004, Petit y Montagnini 2006 y Schmidt 2009). Así mientras que el DAP promedio en el ensayo a los 75 meses (6,2 años) alcanzo 12,85 cm, con un CV= 22%; solo es comparable con los resultados encontrados por Piotto (2001) de 13,91 cm para Sarapiquí con 10 años de edad, y con los resultados encontrados por Delgado *et al.* (2003); 12,6 cm, para la zona Huetar Norte Z3, con 11 años de edad. También es comparable con los datos encontrados por Schmidt 2009, 13,6 cm de DAP, para los mejores 50 árboles en altura en Cope san Juan para la misma edad (véase el cuadro 19).

Cuadro N° 19. Comparación de resultados de crecimiento en DAP, altura dominante y volumen, del ensayo de *D. panamensis*, con otras mediciones

Lugar	Tratamiento	Edad	Numero	DAP <sub>50</sub>	Alt T <sub>50</sub>	G (m <sup>2</sup> /ha)	Volcom
sitio 1	1	6,8	780	16,1	15,6	9,3	61,4
sitio 1	1	7,8	580	18,2	16	9,8	66,8
sitio 2	2	7,1	967	13,6	12,7	5,8	27,4
sitio 2	2	8,1	956	13,9	13,1	6,2	30,6
sitio 3	2	6	1089	11	10,9	6,5	29,9
sitio 3	2	7	956	12,8	12,5	7,1	37,1
sitio 3	2	6,8	967	12,8	9,7	3,8	13,6
sitio 3	2	7,8	956	13,9	10,8	4,8	20
sitio 3	2	6,8	1044	13,6	15,2	6,4	35,8
sitio 3	2	7,8	1044	14,4	15,3	7,1	41,2
sitio 4 M	1	6,8	833	16,1	16,5	7,3	46
sitio 4 M	1	7,9	833	17,5	18,4	10,4	72
sitio 4 M	2	6,8	1994	16,1	16	11,7	67,5
sitio 4 M	2	7,9	1994	18,7	17,2	14	85
sitio 5	1	6,3	357	15,8	12,2	3,8	19,4
sitio 5	1	7,3	354	17,9	14,1	4,8	28,5
sitio 5	1	6,8	582	16	15,9	5,5	34,9
TEC B1	1	6,2	80	17,11	15	6,9	51,6
TEC B2	1	6,2	79	17,225	15,12	6,8	50,0
TEC B3	1	6,2	83	16,8	14,51	6,6	48,9
TEC B4	1	6,2	79	17,975	13,3	6,9	46,2
TEC B5	1	6,2	70	16,97	14,7	6,2	44,6

TEC B6	1	6,2	84	17,18	14,94	6,9	50,1
--------	---	-----	----	-------	-------	-----	------

Fuente: Elaboración propia con datos Schmidt 2009 y medición central del ensayo

Sin embargo, los resultados reportados por Schmidt para la Selva Sarapiquí CR, denominados lotes Montagnini de 6,8 años de edad (sitio 4M), con raleo y sin raleo, 16,1 cm de DAP, para los mejores 50, resultan superiores al promedio, pero inferiores si se compara con los mejores 50 dominantes del ensayo, que alcanzan 17,16 cm DAP.

Con respecto a los valores de crecimiento en altura total, los datos del ensayo son similares a los encontrados por Delgado *et al.* 2003; para las zonas Huetar Norte Z1, Z2, con 13,7 m de altura total, para edades de 11 años. Los valores estimados por Schmidt 2009 para la Selva y Cope San Juan resultan superiores con 15,2 m, 16,0m y 16,5 m. En el ensayo, el promedio de los mejores 50 árboles resulta en 14,75 m de altura total a 75 meses de edad. El mismo autor, reporto alturas dominantes de hasta 34 m para 24 años de edad en Cope San Juan.

Para la comparación de tratamientos con raleo y sin raleo se utilizó el análisis de varianza de las alturas dominantes.

Cuadro N° 20. Resultados del ANOVA de comparación del ensayo con otras mediciones en Hdom, con raleo y sin raleo

Analysis of Variance					
Fuente	GL	SC ajust	CM ajust	F	P
Tratamiento	1	14,030	14,030	4,52	0,055
Años	9	46,611	5,1790	1,67	0,201
Error	12	37,226	3,1022		
Lack of Fit	2	0,893	0,4466	0,12	0,886
Pure Error	10	36,333	3,633		
Total	22	101,327			
Model Summary					
S	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (adj)	R <sup>2</sup> (pred)		
1,761	63,26%	32,65%	*		

El análisis de varianza para Hdom resulta no significativo para ambos factores, tratamientos y edad. Dado que el p-value estimado 0,055 para tratamientos y 0,201 para edad, resulta superior al p-value de referencia  $\alpha = 0,05$ . Sugiriendo entonces que las alturas dominantes son similares para los 2 tratamientos (con raleo y sin raleo). El modelo resulta ajustado con un  $R^2$  de 0,6326 indicando que el modelo del ANOVA para Hdom explica solo el 63,26% de la variación entre tratamientos. El error estándar resultó en 1,76.

Sin embargo, la prueba de Ryan y Joiner resulta con un índice RJ de 0,909 y un "p" menor de 0,010 que resulta inferior al "p" de referencia 0,05. Por lo que se confirma la hipótesis alterna  $H_a$  de que los residuos del ANOVA no se ajustan a una distribución normal.

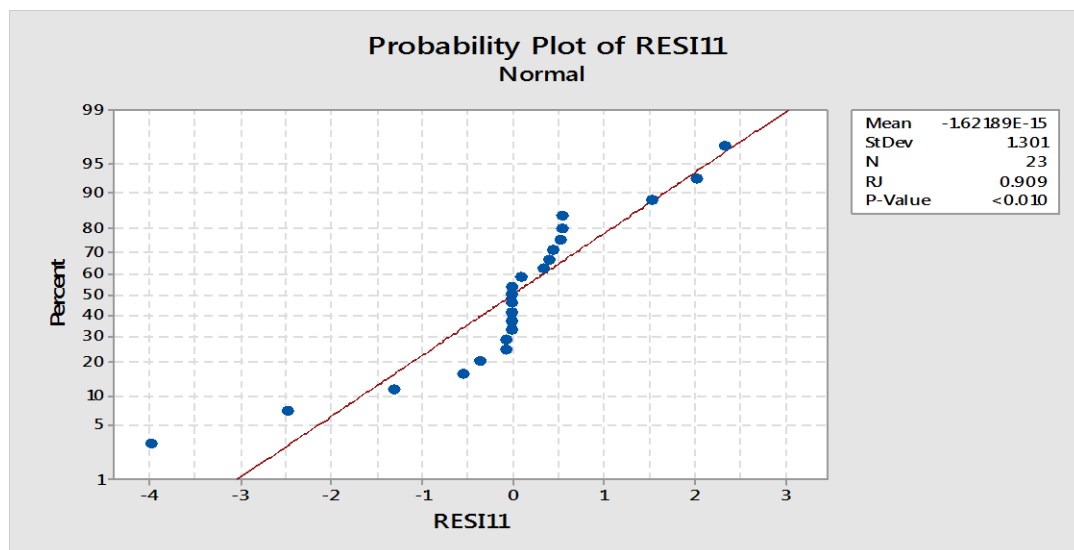


Figura N° 7. Test de Ryan y Joiner para normalidad de residuos del ANOVA Hdom con y sin tratamientos

La prueba de Levene con los residuos absolutos del ANOVA se muestra en sus resultados en el cuadro 21.

Cuadro N° 21. Test de Levene para Hdom, con raleo y sin raleo

Analysis of Variance
----------------------

Fuente	GL	SC ajust	CM ajust	F	P
Tratamiento	1	4,845	4,845	5,37	0,031
Error	21	18,942	0,9020		
Total	22	23,787			
Model Summary					
S	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (adj)	R <sup>2</sup> (pred)		
0,9497	20,37%	16,58%	2,07%		

El valor de “p” para tratamientos resultó en 0,031 menor que el “p” de referencia 0,05. Indicando que se acepta la Ha de que No existe homogeneidad de varianzas en los residuos. Por lo que se procedió una nueva corrida del ANOVA para Hdom, con datos transformados, el mismo que resulta en:

Cuadro N° 22. Resultados del ANOVA para Hdom de *D. panamensis* según tratamiento (con raleo y sin raleo), con datos transformados

Analysis of Variance for Transformed Response					
Fuente	GL	SC ajust	CM ajust	F	P
Tratamiento	1	17,237	17,237	9,44	0,010
Años	9	110,314	12,2572	6,71	0,002
Error	12	21,919	1,8265		
Lack of Fit	2	1,196	0,5980	0,29	0,755
Pure Error	10	20,723	2,0723		
Total	22	144,817			
Model Summary for Transformed Response					
S	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (adj)	R <sup>2</sup> (pred)		
1,351	84,86%	72,25%	*		

Los resultados del ANOVA con datos transformados confirman o encuentran que el factor tratamientos resulta con un “p” de 0,010, y el factor edad (años) resulta con un “p” de 0,002. Ambos, inferiores al “p” de referencia  $\alpha=0,05$ . Por lo que se admite que ambos factores aportan de manera significativa a las diferencia en alturas dominantes (con raleo y sin raleo). El error estándar es de 1,35 y el ajuste del modelo resulta en  $R^2=0,849$ .

La prueba de Bonferroni para tratamientos al 95% de probabilidad resulta en 2 grupos diferentes A y B. El primero, con tratamiento (raleo), con una media de 15,55 m de altura dominante, resulta significativamente diferente al segundo, sin tratamiento, con una media de 13,25 m de altura dominante.

Cuadro N° 23. Test de Bonferroni para Hdom, con tratamientos (con raleo y sin raleo), con datos transformados

Tratamiento	N	Promedio	Significancia
1	13	15,5503	A
2	10	13,2553	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Tanto la prueba de Ryan y Joiner como la prueba de Levene resultan con valores que confirman la hipótesis nula Ho, de normalidad de los residuos y de homogeneidad de varianzas.

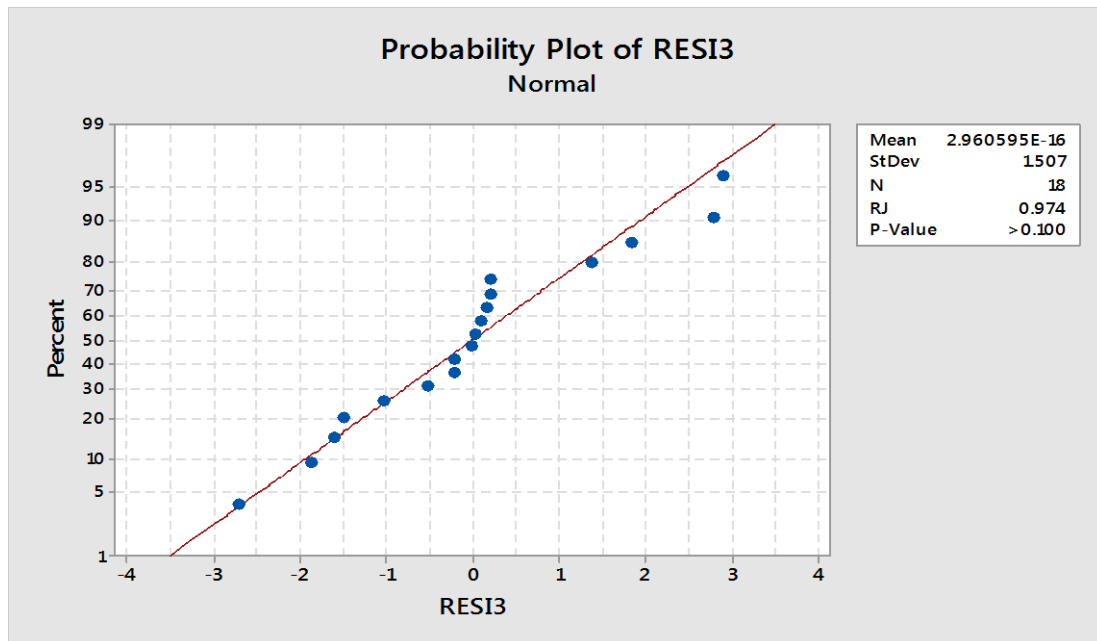


Figura N° 8. Test de Ryan y Joiner para normalidad de residuos del ANOVA Hdom con datos transformados

Cuadro N° 24. Test de Levene para Hdom, según tratamientos (con raleo y sin raleo) con datos transformados

Analysis of Variance for Transformed Response					
Fuente	GL	SC ajust	CM ajust	F	P
Tratamiento	1	1,420	1,4197	2,89	0,104
Error	21	10,310	0,4909		
Total	22	11,730			
Model Summary for Transformed Response					
S	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (adj)	R <sup>2</sup> (pred)		
0,7007	12,10%	7,92%	0,00%		

El valor de “p” resultante de la prueba de Levene es de 0,104, superior al “p” de referencia por lo que se acepta la hipótesis nula Ho de que existe homogeneidad de varianzas en los residuos del ANOVA realizado con valores transformados.

Los resultados de crecimiento del ensayo en AB y en volumen total (G= 6,72 m<sup>2</sup>/ha; V= 48,56 m<sup>3</sup>/ha) son comparables y superiores a los reportados por Schmidt 2009, para Cope San Juan (G= 6,4 m<sup>2</sup>/ha; V= 35,8 m<sup>3</sup>/ha) y la Selva, con raleo (G= 7,3 m<sup>2</sup>/ha; V= 46 m<sup>3</sup>/ha). También son similares a los obtenidos por Delgado et al 2003, pero para edades de 11 años (G= 7,8 a 9,0 m<sup>2</sup>/ha; V= 33,5 a 39,1 m<sup>3</sup>/ha).

En particular la comparación mediante el ANOVA con 3 factores, sitio, tratamiento y numero de árboles resulta en:

Cuadro N° 25. Resultados del ANOVA para volumen comercial de *D. panamensis*, comparando tratamientos (con raleo y sin raleo)

Analysis of Variance					
Fuente	GL	SC ajust	CM ajust	F	P
Sitio	6	5514,8	919,14	11,07	0,000
Tratamiento	1	297,6	297,56	3,59	0,078
Error	15	1245,0	83,00		

Lack of Fit	10	585,9	58,59	0,44	0,871
Pure Error	5	659,1	131,82		
Total	22	7208,8			
Model Summary					
S	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (adj)	R <sup>2</sup> (pred)		
9,1103	82,73%	74,67%	*		

El análisis de varianza de comparación de Volcom por tratamientos y por sitios para los árboles dominantes, resulta con valores diferentes. Para tratamientos el p-value estimado resulta 0,078 mayor que el p-value de referencia  $\alpha=0,05$ . Por lo que se acepta la hipótesis nula  $H_0$ , de que los tratamientos son similares o que No hay diferencias significativas entre ellos. Mientras que para sitios el p-value estimado resulta 0,00 inferior al p-value de referencia 0,05. Por lo que se confirma la hipótesis alterna  $H_a$  de que Si hay diferencias significativas entre los diferentes sitios comparados, al 95% de probabilidad. El factor número de árboles fue descartado y removido en el análisis, al igual que la combinación sitio x tratamiento. El modelo del ANOVA resulta con coeficiente de determinación de 0,8273, indicando que la variación en volumen comercial es explicada hasta en 82,73% por la variación en los factores sitio y tratamiento. El error estándar S resulta en 9,11.

La prueba de comparación de Bonferroni al 95% de probabilidad sugiere que la media encontrada en el Ensayo TEC se asemeja a la media Volcom de los sitios 4M, 5 y 1 (con raleo) y con edades ligeramente superiores.

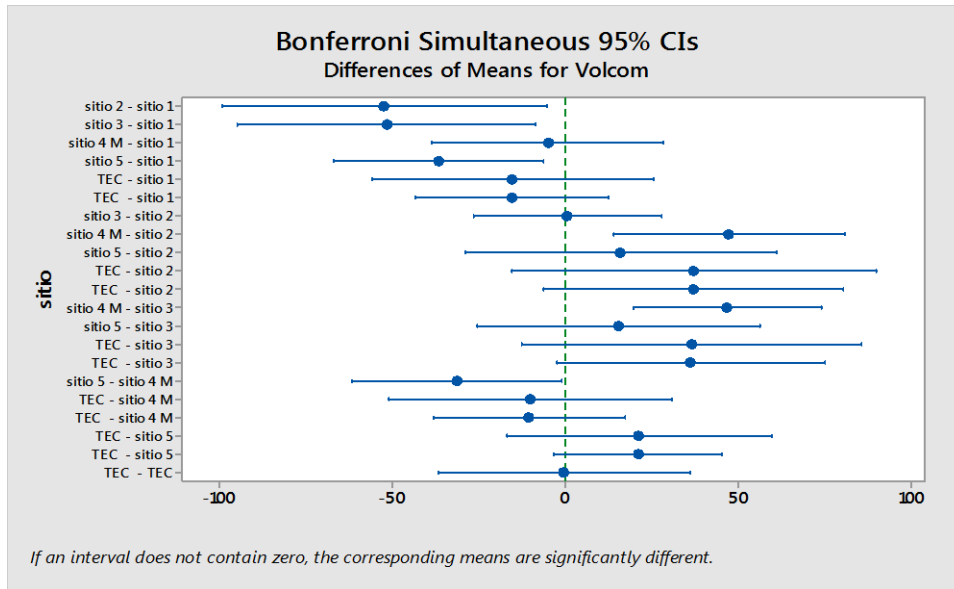


Figura N° 9. Prueba de Bonferroni para Volcom, con tratamientos y sin tratamientos  
Prueba de Ryan y Joiner para los residuos del ANOVA

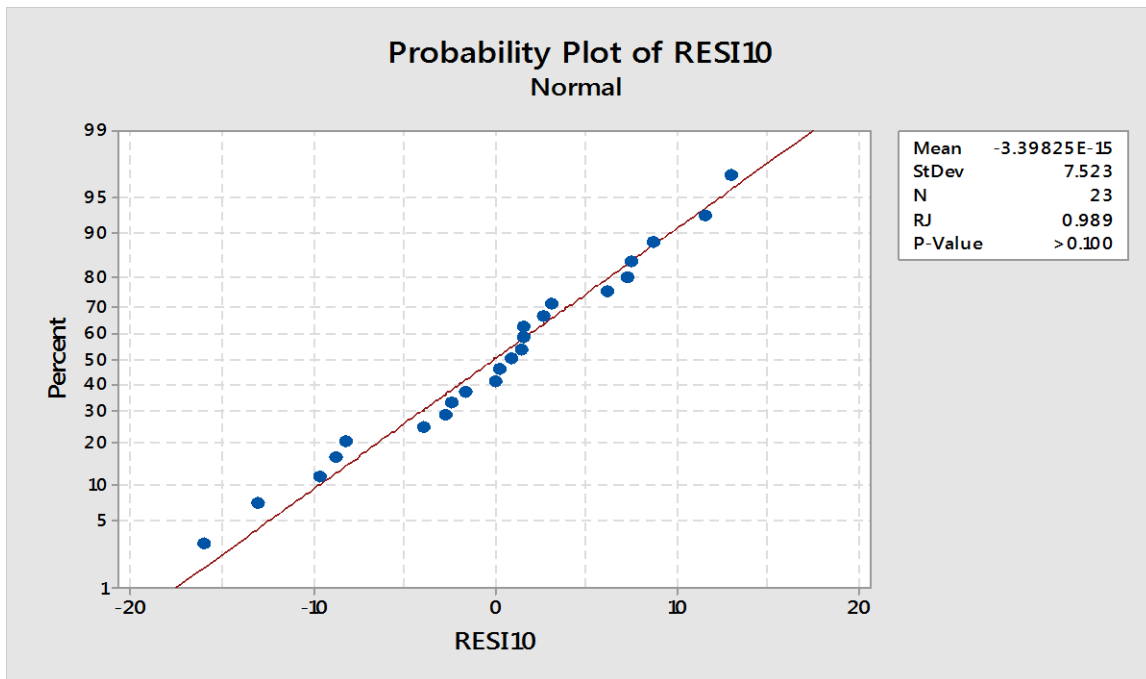




Figura N° 10. Test de Ryan y Joiner para los residuos del ANOVA Volcom, con tratamientos (con raleo y sin raleo)

La prueba de Ryan & Joiner para los residuos resulta significativa con un valor alto  $RJ=0,989$  y el valor de “p” estimado resulta mayor que el “p” de referencia  $\alpha=0,05$ . Por lo que se acepta la hipótesis nula  $H_0$ , de que los residuos tienen una distribución normal. O dicho de otro modo la prueba de normalidad del ANOVA resulta positiva.

Prueba de Levene con los residuos absolutos, para el factor tratamiento.

Cuadro N° 26. Test de Levene para Volcom según tratamientos

Fuente	GL	SC ajust	CM ajust	F	P
Tratamiento	1	36,87	36,87	1,73	0,203
Error	21	448,62	21,36		
Total	22	485,49			

La prueba de Levene con los residuos absolutos para tratamientos resulta con un “p” de 0,203 superior al “p” de referencia  $\alpha=0,05$ . Por lo que se acepta la hipótesis nula  $H_0$  de que los residuos cumplen con homogeneidad de varianzas. O dicho de otro modo la prueba de homocedasticidad del ANOVA resulta positiva.

El IMA correspondiente a los 50 árboles dominantes del ensayo resulta en la escala superior de los encontrados por Schmidt (2009) para la misma edad, tanto en altura total como en DAP. Véase la figura 11.

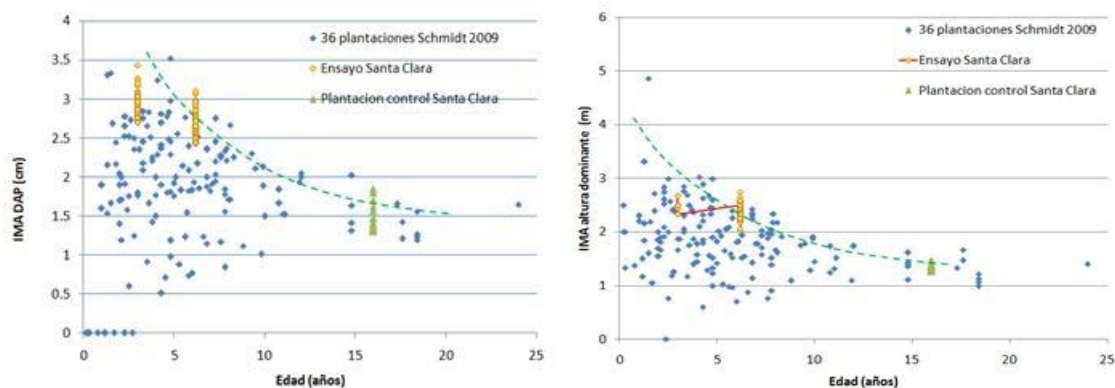


Figura N° 11. Comparación del IMA del DAP y altura total (árboles dominantes) del ensayo con los datos de Schmidt (2009).

De la figura se puede apreciar que el IMA obtenido del ensayo (puntos amarillos) para los 50 árboles dominantes se encuentra en la porción superior del rango de IMA encontrado por Schmidt (2009), tanto para el DAP como la altura total. Por el vigor del crecimiento reflejado en los IMA se puede inferir que el ensayo de *D. panamensis* se encuentra aún en la fase juvenil. De acuerdo con la figura podría interpretarse que la fase madura del crecimiento de *D. panamensis*, inicia alrededor de los 8-10 años, cuando el IMA tiende a ser constante, para ambos parámetros.

#### **5.1.5.3. El sitio y las prácticas silviculturales**

Un crecimiento importante de la especie debería tener sus causas en el sitio. Sin embargo, el análisis de laboratorio practicado en los suelos del ensayo corroboran un alta saturación de acidez (bases) y el nivel de bases es bajo confirmando que estamos ante suelos con posible toxicidad de acidez. Esta toxicidad podría ser particularmente con aluminio, presente en este tipo de suelos, lo que ha sido constatado por varios autores en la zona de estudio (Quirós y Gonzáles 1979, Gonzáles y Gonzáles 1981, Fallas 2014). Esta toxicidad podría estar limitando también el nivel de fosforo que se encuentra en el nivel crítico  $\leq 10,0$  y como sugieren algunos autores (Ladrach 2010, Molina 2007, Vitousek 1984, citado por Montagnini y Jordan 2002, Sánchez 1981), el nivel bajo de fosforo es una limitante para el crecimiento de muchas plantas. Sin embargo, la especie tolera muy bien la acidez (Montagnini *et al.* 2007, Schmidt 2009).

Si el sitio no es tan bueno como ha quedado demostrado por los suelos ácidos, la respuesta tan importante en el crecimiento puede tener su razón, por un lado en el material genético y por otro lado en las prácticas silviculturales realizadas. Las

prácticas silviculturales básicas realizadas (control de malezas 1 vez por año, raleo a los 3-4 años) pudo haber permitido una respuesta importante al crecimiento de la especie en el ensayo. Esta respuesta positiva a las prácticas silviculturales ya fue constatado por Montagnini *et al.* (2007) y Schmidt (2009) para esta especie.

La propuesta de las siguientes labores silviculturales a lo largo de la plantación parece tener respuesta positiva: limpieza y control de maleza 1 vez por año durante los 6 primeros años; raleo y poda de formación al año 3 a 4 con 50% de intensidad; segundo raleo a la edad 8-9 años con 40% de intensidad y poda final de calidad de mejores fustes; raleo final del 50% a la edad de 20 años.

#### **5.1.5.4. Crecimiento de futuro basado en los índices de sitio**

Gadow y Hui (1998) y Van Laar y Akça (2007) sostienen que el crecimiento en altura de rodales coetáneos es relativamente independiente de la densidad del rodal y entonces no es muy afectado por el raleo. Por esta razón la altura total no es solamente utilizada para caracterizar el desarrollo del rodal pero también para estimar el potencial de crecimiento del sitio. En virtud de ello es posible comparar las alturas dominantes del ensayo con las alturas dominantes de las plantaciones que sirvieron de base a Schmidt (2009). Utilizando para ello las curvas de índice de sitio de Schmidt 2009, que se muestran a continuación:

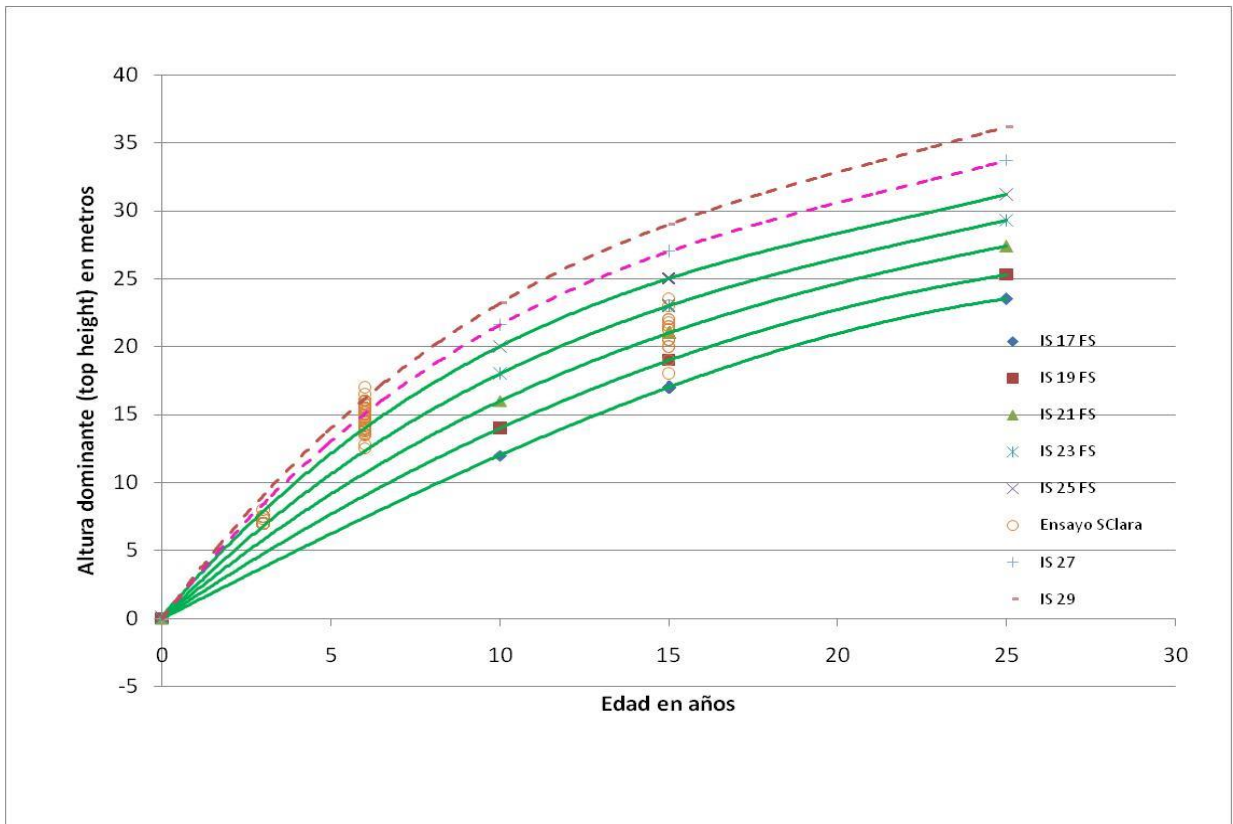


Figura N° 12. Comparación de Hdom del ensayo con las curvas de índice de sitio para *D. panamensis* de Schmidt (2009)

En la figura 12 se puede apreciar que los valores de altura dominante correspondientes al ensayo (edades de 3 y 6,2 años) son superiores a los valores reflejados en las curva de índice de sitio identificadas por Schmidt (2009, en verde). Por lo tanto, nuevas curvas de índice de sitio se han construido para los valores del ensayo, siguiendo la metodología empleada por Schmidt (2009), y que se representan en línea punteada. Se aprecia que es en las nuevas curvas de índice de sitio 27 y 29, donde se adaptan mejor la distribución de los valores de altura dominante encontrados en el ensayo objeto de la investigación.

Cuadro N° 27. Curvas de altura dominante en *D. panamensis*, con y sin prácticas silviculturales

	Altura dominante (m) por Edad
--	-------------------------------

Condición de manejo	5 años	10 años	15 años	20 años	25 años
Con manejo	12-14	20-23	25-28	28-32	32-36
Sin manejo	8-10	14-17	19-23	23-27	25-29

De la figura 12 y del cuadro 27 se puede apreciar que se puede lograr alturas dominantes superiores hasta en 7 m al cabo de 25 años siguiendo las curvas IS 27 y 29. Es decir, si se implementan a tiempo practicas silviculturales básicas, ya mencionadas. Dado que a los 16 años las alturas dominantes de la plantación control, sin manejo, se ubica entre los sitios 19-23

### 5.1.6. Conclusiones

5.1. El modelo que mejor se ajusta al volumen comercial de la especie a 75 meses de edad, es el de variable combinada generalizada  $Y = -0.0113 + (3.3246 * d_{sc}^2) + (0.0021 * h_{com}) + (0.1471 * d_{sc}^2 h_{com})$ . Mientras que para volumen total el modelo que mejor se ajusta es el de potencial de variable combinada linealizable mediante logaritmos  $Y = -1.0043 + (d^2 HT)^{0.9170}$

5.2. El crecimiento en DAP y en altura total a los 75 meses de edad, resulto en valores superiores a los mostrados por otros autores para otros sitios de Costa Rica. La especie en el ensayo crece anualmente en DAP un promedio  $2,07 \pm 0,45$  cm, mientras que el crecimiento en altura total es de  $2,14 \pm 0,29$  m. Este ritmo de crecimiento es muy similar que a la edad de 36 meses.

5.3. El crecimiento en volumen comercial  $48,56 \text{ m}^3_{\text{sc}}\text{ha}^{-1}$  a los 75 meses de edad se encuentra dentro del rango obtenido por la especie en otros sitios de Costa Rica. El promedio anual de  $7,8 \text{ m}^3/\text{ha} \pm 0,43$  para el volumen comercial parece alentador. No se trata de una especie de rápido crecimiento, pero los resultados son comparables con algunas plantaciones de Teca creciendo en la región del Pacífico de Costa Rica.

5.4. Al comparar los resultados en DAP y Hdom de los 50 árboles dominantes del ensayo con los reportados por Schmidt (2009), los promedios encontrados resultan significativamente diferentes; en el quintil superior para el DAP y en el medio superior para la Hdom. Los resultados encontrados son compatibles y similares a los encontrados por Schmidt 2009, en sitios donde se hubo practicado el raleo.

5.5. La población en estudio de *D. panamensis*, responde bien al tratamiento de raleo. Al comparar los sitios con tratamiento (raleo) incluyendo el ensayo con los sitios sin tratamiento, se encuentra diferencias significativas para Altura dominante y Volumen comercial por hectárea, al 95% de probabilidad.

5.6. El estudio confirma la validez de las curvas de IS formuladas por Schmidt 2009, e identificó dos curvas adicionales de IS 27 y 29, complementarias para la especie en Costa Rica y Panamá.

5.7. Al comparar el crecimiento futuro del ensayo (con la ayuda de las curvas de IS), con una plantación de la misma especie, sin manejo de 16 años y ubicada en el mismo lugar, se encuentran diferencias importantes. Las prácticas silviculturales básicas realizadas al ensayo en tiempo, forma e intensidad, pueden inducir resultados superiores en alturas dominantes y por ende en volumen.

5.8. El IMA en DAP y altura total de los árboles dominantes del ensayo se ubican en la porción superior de los valores de IMA encontrados por Schmidt y por su vigor sugieren que el ensayo se encuentra aún en la fase juvenil de crecimiento.

#### **5.1.7. Bibliografía**

Alice F., Montagnini F., Montero M. (2004). Productividad en plantaciones puras y mixtas de especies forestales nativas en la estación biológica la selva, Sarapiquí, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(2): 61-71. 2004

Butterfield, R., Espinoza, M. (1995). Screening trial of 14 tropical hardwoods with an emphasis on species native to Costa Rica: fourth year results. *New Forests* 9: 135-145

Caillez, Francis. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Con énfasis especial en los trópicos (vol. 1. Estimación del volumen) Estudio FAO, Montes 22/1, FAO, Roma 100pp.

Castañeda, H., Moreira, I., Arnáez, E., Sánchez, E. (2000). Estudio morfológico de diferentes estadios ontogénicos de flor, fruto y semilla de *Dipteryx panamensis* (Pittier) Record & Mell (Fabaceae) (Almendro). *Tecnología en marcha*, 14(1), 124 – 132.

Camacho Marlen (2015). Análisis de la restricción a la cosecha del almendro amarillo (*Dipteryx panamensis*). Consultoría “Fomento del manejo sostenible de los bosques naturales (MFS) para la mejora y conservación de las reservas de carbono” FONAFIFO, CR, 27pp

Delgado, A., Montero, M., Murillo, O., Castillo, M. (2003). Crecimiento de especies forestales nativas en la zona norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 27(1): 63-78.

Flores, E. (1992). Árboles y semillas del neo trópico. Museo Nacional de Costa Rica. San José, Costa Rica. 1(1): 64.

Fournier, L. (2003). *Dipteryx panamensis* (Pittier). Record & Mell. En The RNGR Team, Part II – Species Descriptions. Disponible en: <[www.rngr.net/publications/itsm/folder.2003-07-1.4726](http://www.rngr.net/publications/itsm/folder.2003-07-1.4726)> Páginas 446 - 448.

Gamboa, N. (2008). Regeneración de *Dipteryx panamensis* en bosques bajo manejo forestal en el paisaje fragmentado del Noreste de Costa Rica. (Tesis M.Sc.) Universidad Estatal a Distancia (UNED). San José, Costa Rica.

Gadow k, Hui G. 1998. Modelling Forest Development. 235 pp

Haninec, P., Madera, P., Smola, M., Habrova, H., Senfeldr, M., Uradnicek, L., Rajinoch, M., Pavlis, J., Cafourek, J., Novosadova, K., Smudla, R. (2016). Assessment of teak production characteristics using 1 m spacing in a plantation in Nicaragua. *Bois et Foret des tropiques* 2016, N° 330 (4)

Ignacio-Sánchez, E., Vargas-Hernandez, J., Lopez-Upton, J.; Borja-de la Rosa., A. (2005). Parámetros genéticos del crecimiento y densidad de madera en edades juveniles de *Eucalyptus urophylla* ST Blake. *Agrociencia* 39: 469-479. 2005

Ladrach William (2010). Manejo practico de plantaciones forestales en el trópico y subtropico. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 654 pp

León, Natalia. (2014). Análisis de ensayos de procedencia-progenie de (*Dipteryx panamensis* (Pittier) Record & Mell), en la Zona Norte y Sur de Costa Rica. Tesis Lic. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 79 p.

Losi, C.; Siccama, T.; Condit, R.; Morales, J. (2003). Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. *Forest Ecology and Management*, 184(1–3), 355 – 368. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00160-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00160-9)

Martínez, Víctor; Fallas, Lucía; Murillo, Olman; Badilla, Yorleny. (2016). Potencial de mejoramiento genético en *Dipteryx panamensis* a los 33 meses de edad en San Carlos, Costa Rica. *Rev. For. Mesoam. Kurú* Vol 13 (30): 3-12.

Montagnini, F., Jordan, C. (2002). Reciclaje de nutrientes (Fundamentos de Ecología) Extraído del libro *Ecología y Conservación del bosque lluvioso neotropical* (Guariguata y Katan 2002)

Montagnini Florencia, 2010. Plantaciones forestales con especies nativas (Una alternativa para la producción de madera y la provisión de servicios ambientales). Informe Especial. *Recursos naturales y ambiente* No. 43: 28-35



Montagnini, F.; Piotto, D., Ugalde, L. 2007. Environmental services and productivity of native species plantations in Central America. FAO (0388- B4)

Molina Eloy (...). Análisis de suelos y su interpretación. Amino Grow Fertilizantes. [www.aminigrowinternacional.com](http://www.aminigrowinternacional.com) Murillo, O.; Guevara, V. (2013). Estado de los recursos genéticos forestales de Costa Rica. MINAET/FAO/CONAGEBIO, San José, Costa Rica.

Murillo, O.; Badilla, Y. (2013). Definición de una metodología de muestreo de contratos del programa de pago de servicios ambientales para la medición de la biomasa, para el desarrollo de proyectos de comercialización de créditos de carbono. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal. San José, Costa Rica.

Murillo, O.; Badilla, Y. (2015). Definición de una metodología de muestreo de contratos del programa de pago de servicios ambientales para la medición de la biomasa, para el desarrollo de proyectos de comercialización de créditos de carbono. Consultoría Informe Final. FONAFIFO. CR 148pp.

Ortiz, E. (2011). Crecimiento y Rendimiento Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, Cartago, Costa Rica. 91pp

Petit B., Montagnini F. (2006). Growth in pure and mixed plantations of tree species used in reforest in rural areas of the humid region of Costa Rica, Central America. *Forest Ecology and Management* 233, 338-343

Petit B., Montagnini F. (2004). Growth equations and rotation ages of ten native tree species in mixed and pure plantations in the humid geotropic. *Forest Ecology and Management*.

Piotto D., Montagnini F., Ugalde I., Kanninen M. (2003a). Growth and effects of thinning of mixed and pure plantations with native trees in humid tropical Costa Rica. *Forest Ecology and Management*. 177(2003a) 427-439.

Piotto D., Montagnini F., Ugalde I., Kanninen M. (2003). Performance of forest plantations in small and medium size farms in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 175 (2003) 195:204

Redondo-Brenes, A. (2007). Growth, carbon sequestration, and management of native tree plantations in humid regions of Costa Rica. *New Forests* (2007) 34:253–268 DOI 10.1007/s11056-007-9052-9

Sánchez Pedro, 1981. Suelos del trópico (Características y manejo). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José Costa Rica, 623pp.

Schmidt, F. (2009). The effect of site selection on the growth of *Dipteryx panamensis* in timber plantations in Costa Rica and Panama. University of Technology. Faculty of Forest, Geo and Hydro sciences. Institute of Forest Growth and Forest Computer Sciences. Dresden, Germany.

Van Laar, A.; Akça, A. (2007). Forest Mensuration. *Managing Forest Ecosystems*, Volume 13. Springer, Dordrecht The Netherlands, 382 pp

Vasquez, A., Mata, R. (2012). Mapa de órdenes de suelo de Costa Rica; en Principales grupos de suelos dedicados a la producción de forraje en Costa Rica. Ppt UCR, CIA, 2014.

## **5.2. Peso específico de la madera y su variación axial y radial para *Dipteryx panamensis* Pittier de 75 meses de edad en Costa Rica. Filomeno, S.; Murillo, O.**

### **5.2.1. Resumen**

La investigación determina el PE y su variación axial y radial de la especie *Dipteryx panamensis* Pittier, Record and Mell, utilizando un método no destructivo, en un

ensayo de procedencia y progenie de 75 meses de edad en Costa Rica. Para ello, se identificó previamente un modelo a partir de una muestra de madera extraída en árboles en pie con un barrenado Pressler a la altura del pecho. Posteriormente, utilizando el mismo método, se extrajeron los tarugos de 400 árboles, para determinar el PE de cada uno de ellos por gravimetría según las normas ASTM D2395-14 (ASTM 2014<sup>a</sup>), en el laboratorio de la madera del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Finalmente, con el modelo identificado se estimó el PE de cada uno de los árboles de la investigación. Adicionalmente, una muestra de 35 probetas extraídas de los tarugos fue procesada para su lectura radial por Rayos X.

La investigación encontró que el peso específico de la madera de *D. panamensis* puede ser estimado de manera confiable a partir de una muestra tomada en árboles en pie con barrenado Pressler de 5mm de diámetro. El PE puede ser estimado mediante el modelo  $Y = b_1 Volcom^{b2} * PEbtarugo^{b3}$ . El valor promedio de PE obtenido para 398 árboles fue de  $0,685 \pm 0,038$  gr/cm<sup>3</sup>. El peso específico varía significativamente en sentido radial y en sentido axial. La madera cercana a la médula tiene menor peso específico que la madera cercana a la corteza. El porcentaje de duramen a 75 meses de edad alcanza 3,45% del área basal. El peso específico también varía de acuerdo al micro sitio y de manera no significativa entre familias.

**Palabras clave:** *Dipteryx panamensis*, almendro, plantaciones, peso específico, método no destructivo, Costa Rica

## **Abstract**

Present research aims to determine the specific gravity of the wood in standing trees of species *Dipteryx panamensis* Pittier from a 75 months provenance and progeny trial in Costa Rica. Using a non-destructive method, and from a sample of extracted wood in standing trees by a Pressler drill hole at the height of the chest it was identified a model to predict the WSG. Then, with this model, specific gravity for 400 trees was

determined based on borer wood samples, by gravimetric method according to ASTM standards D2395-14 (ASTM 2014<sup>a</sup>). A sample of 35 pieces of them was processed for reading wood density with X Ray.

Research found that WSG for *Dipteryx panamensis* Pittier, could be estimated as an accurate manner by a sample extracted with Pressler wood borer. Tree WSG could be estimated using a statistical model based on combined variable  $Y = b_1 MerchVol^{b2} * WSG_{samp}^{b3}$ . Average WSG obtained from 398 trees was  $0,685 \pm 0,038 \text{ gr/cm}^3$ . WSG tends to variation in axial direction and by radial direction in significative manner. The innerwood has a 20% lower WSG than outerwood, and wood from down stump has higher WSG than wood from the top. The hardwood percentage at 75 months of age could reach the 3.45% of basal area. WSG also tends to variation with micro site variation and by no significant manner between genetic families.

**Key words:** *Dipteryx panamensis*, almendro, specific gravity, plantations, non destructive methods, Costa Rica

### 5.2.2. Introducción

El almendro amarillo (*Dipteryx panamensis*, Pittier), es una especie forestal de la familia Fabaceae, subfamilia Papilionaceae, con una distribución natural desde los bosques de tierras bajas de Nicaragua hasta Colombia (Romo 2005). En Costa Rica es abundante en la costa Caribe y en toda la región Huetar Norte del país (Castañeda ET AL. 2000). Una vez que alcanza la madurez, es un árbol prominente que forma parte del dosel superior y puede llegar a medir 60 m de altura y un diámetro de hasta 2 m. Esta especie presenta un fuste cilíndrico y amplias raíces basales, sin embargo no presenta gambas. Tiene ramas ascendentes que forman una copa semiesférica y presenta una floración muy atractiva de color rosado-violeta (Gamboa 2008; Fournier 2003).

La especie posee un alto valor comercial debido a la dureza de su madera y peso específico que oscila en su madurez entre 0,83 – 1,09 g/cm<sup>3</sup> (Vozzo, 2002; Carpio Malawasi, 2003). Su secado al aire es rápido, pero con tendencia a agrietarse. Presenta una alta resistencia natural al ataque de agentes biológicos (hongos y bacterias) y un alto potencial para plantaciones de secuestro de carbono; sin embargo, su alto contenido de tálides y taninos dificultan su preservación (Flores 1992; Fournier 2003; Losi *et al.* 2003). La importancia de la especie en Centroamérica y en la región radica en su alta demanda en el comercio internacional para pisos (ITTO 2016, Ravenshorst *et al.* 2013). En Costa Rica se le ha declarado en veda por su relación alimenticia con aves en vía de extinción, que motivó una declaratoria de la Sala Constitucional (Sentencia 2008-13426) que prohíbe el aprovechamiento de la especie en todo el territorio nacional (Camacho M 2015).

El peso específico de esta especie en plantaciones ha sido recientemente estudiada por Tenorio *et al.* 2015. Los autores sostienen que de las 6 especies estudiadas (*Cordia alliodora*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Hieronima alchorneoides*, *Samanea saman*, *Vochyseia ferruginea*, *Dipteryx panamensis*) el almendro registró los valores más altos en peso específico y en resistencia mecánica. El peso específico obtenido para esta especie en esta investigación fue de 0,63 gr/cm<sup>3</sup>, que sugiere que estas especies ya pueden ser utilizadas en comercialización de madera aserrada también como en productos terminados de madera.

De acuerdo con Zobel y Talbert (1988), el peso específico afecta significativamente el rendimiento y la calidad de los productos de la madera y está bajo intenso control genético, por lo que normalmente responde positivamente a un programa de selección. Los autores señalan que el grosor de la pared celular afecta el peso específico de la madera, característica que muestra una heredabilidad razonablemente notable, lo cual permite el desarrollo potencial de árboles con madera de peso específico alto o bajo. Sin embargo, la proporción final de madera juvenil en el árbol afecta significativamente el valor global de peso específico. Lo que ocasiona una gran variación en sentido radial, esta variación típica se presenta a todo lo largo

del fuste. En dirección axial el porcentaje de madera juvenil es mayor conforme se avanza en la parte alta del fuste. Lo que resulta en grandes diferencias entre la madera de la parte superior e inferior del fuste (Zobel and Sprague, 1998).

En este estudio se define la densidad básica como la relación entre la masa y la unidad de volumen (Panshin y De Zeeuw, 1980). La densidad de la madera es la expresión de la presencia relativa de los distintos elementos celulares que la componen (vasos, traqueidas, fibras, células de parénquima). Esta depende del tamaño de las células, del grosor de la pared, y del grosor de los diferentes tejidos, con respecto al volumen total del leño (Zobel y Talbert 1984). Fujiwara (1992) encontró que desde el punto de vista anatómico la densidad básica está relacionada tanto con el espesor de la pared de las fibras como con su contenido. Mientras que la densidad de la madera es referido a la densidad del agua cuyo valor de referencia es 1,000 gr/cm<sup>3</sup> a 4,4<sup>o</sup> centígrados. El peso específico (specific gravity) depende de la relativa proporción de celulosa, lignina, hemicelulosa, otros componentes, gas y agua (contenido de humedad). Debido a que el contenido de humedad puede variar significativamente, se estandarizó algunas medidas del peso específico para facilitar las comparaciones entre especies. Todas las cuales están basadas en madera seca al horno (101-105°C), como sugieren Willianson y Wiemann(2010). Estos autores, del mismo modo que Zobel y Jett (1995) enfatizan que densidad básica y peso específico básico, ambos indican la cantidad de la substancia madera presente en una unidad de volumen. La manera estándar de medirlo es calculando el cociente entre el peso seco de la madera y el volumen verde

la misma pieza de madera, expresada en gr/cm<sup>3</sup> $PE_b = \frac{\text{madera seca al horno}}{\frac{\text{volumen verde}}{\text{Densidad del agua}}}$

No obstante, a la controversia densidad y peso específico se agrega la toma de la muestra de madera. Son abundantes los estudios del PE y la densidad de la madera mediante muestras tomadas a partir de discos de madera (Willianson y Wiemann 2010, Plourde *et al.* 2015). Es decir mediante muestras obtenidas del árbol apeado, pero son escasos los estudios que utilizan el tarugo de madera obtenido del fuste en pie para estimar el PE del árbol. Aunque existen estudios en pinos, muy pocos han sido

reportados en latifoliadas y menos aún en maderas duras como *D. panamensis* Pittier. La estimación del PE a partir de tarugos de madera a la altura del DAP, ha sido recientemente expuesta por Wiemann y Willianson (2013), quienes proponen una metodología relativamente sencilla para estimar el peso específico del árbol en su totalidad a partir del patrón de variación radial del peso específico.

El presente estudio se propone estimar el PE de la madera y su variación axial y radial de *Dipteryx panamensis* Pittier, en un ensayo de procedencia y progenie de 75 meses de edad, instalado en el TEC de Santa Clara San Carlos, zona norte de Costa Rica.

### **5.2.3. Materiales y Métodos**

#### **5.2.3.1. Materiales**

Ensayo de procedencia y progenie de *Dipteryx panamensis* Pittier de 75 meses de edad, ubicado en el campus del ITCR en Santa Clara, cantón de San Carlos, Alajuela en las siguientes coordenadas geográficas 10°21' Norte y 84°30' Oeste, en Costa Rica. El ensayo fue establecido con 29 familias genéticas de 3 procedencias y 1100 árboles por hectárea, con un espaciamiento de 3x3 m. La investigación se llevó a cabo luego del primer raleo a 36 meses de edad con 428 árboles.

Para formular el modelo, se obtuvieron 255 discos o rodajas, provenientes de 5 niveles de altura en 51 árboles tumbados y sus 51 tarugos de madera respectivos, extraídos previamente. Posteriormente, para determinar el PE se obtuvieron 400 tarugos de todos los árboles en pie del ensayo, mayores a 10 cm DAP. Los tarugos de madera se obtuvieron por medio del uso de barrenos Pressler de 5 mm de diámetro, se utilizaron 400 pajillas de plástico transparente, cuerda de escalar, papel de aluminio, mezcla líquida de sulfato de cobre y cola de madera para proteger el árbol en el lugar de extracción del tarugo.

Se utilizaron balanzas electrónicas de pesaje, marca OCONY ES-300 H con aproximación de 300x0,01g, debidamente calibradas.

Horno o estufa eléctrica (1), cámara de almacenaje con humedad controlada (1). Micro aserrío de banco de doble sierra para elaborar probetas de 2 mm de espesor a partir de los tarugos.

Lector para Densitometría por rayos X marca *Quintek Measurement Systems*, modelo *QTRS-01X*. Paquetes software de análisis estadístico, InfoStat 2015 y Minitab 17 (2013).

#### **5.2.3.2. Métodos**

De los árboles seleccionados a ser volteados (51) se procedió a extraer una muestra de madera (tarugo) del árbol en pie a 1,30 m con el barrenado Pressler, de longitud igual al radio. Posteriormente a cada árbol volteado se procedió a extraer 5 rodajas de madera de 2 pulgadas de espesor y procedentes de las siguientes ubicaciones: base del árbol, DAP, 0,25% de la altura comercial, 0,50% de la altura comercial, 0,75% de la altura comercial y 100% de la altura comercial. En cada troza de donde se tomó la muestra se midió el diámetro y la distancia de la base (altura). Tanto las rodajas de madera como los tarugos fueron etiquetados en campo y acondicionados de manera que no perdieran humedad drásticamente. Los tarugos de madera se colocaron dentro de pajillas plásticas, mientras que las rodajas de madera se envolvieron en papel aluminio, luego acondicionadas en bolsas plásticas para su transporte hasta el laboratorio del TEC en Cartago.

Las rodajas de madera en verde fueron medidas en su diámetro, grosor de la corteza y el diámetro del duramen. Este último fue valorado como un porcentaje del área de las rodajas para cada árbol.

La fase de gabinete contempló desde el análisis de las muestras en laboratorio, el procesamiento de los datos, hasta la selección de un modelo matemático que



permitiera estimar el PEb del árbol a partir de los tarugos. Para el ajuste del modelo se utilizó 42 árboles y para la validación del modelo se utilizó 9 árboles independientes.

El análisis en laboratorio contempló el pesaje en verde de las probetas extraídas de las rodajas de los árboles; posteriormente se realizó el pesaje en seco al horno (105 °C hasta peso constante) de las probetas. Mediante estos datos y siguiendo las normas ASTM D2395-14 (ASTM 2014<sup>a</sup>) fue estimado por gravimetría el PEb (Peso específico básico) de cada sección y posteriormente del fuste en su totalidad. El valor promedio de peso específico del árbol se determinó a partir de los valores correspondientes al PEb de las 5 rodajas y proporcional al volumen de los 4 trozas resultantes del fuste, como sigue:

$$\text{PEb árbol} = (\text{Vol. troza1}) \cdot (\text{PEb1} + \text{PEb2}) / 2 + (\text{Vol. troza 2}) \cdot (\text{PEb2} + \text{PEb3}) / 2 + (, , , , ) (\text{Vol. troza. 4}) \cdot (\text{PEb4} + \text{PEb5}) / 2$$

La estimación del PEb del árbol por ponderación ya fue utilizado por varios autores; entre otros Omonte y Valenzuela (2011) para *Eucalyptus regnans*, Igartua y Monteoliva (2010), para *Eucalyptus globulus*.

Seguidamente, se construyó una base de datos PE Rx vs Peso específico gravimétrico PEb, en Excel. Para identificar la expresión matemática que podría ser utilizado para predecir el PEb del árbol, se evaluaron los siguientes modelos:

Cuadro N°1. Modelos evaluados para la estimación del PE del árbol de *D. panamensis* en la zona norte de Costa Rica.

Nº	Modelo	Modelo de regresión	Tipo
1	Variable combinada incluye DAP <sup>2</sup>	$Y = b_0 + (b_1 \cdot \text{DAP}^2_{sc}) + (b_2 \cdot \text{Hcom}) + (b_3 \cdot \text{PEb DAP})$	Lineal
2	Variable combinada incluye volumen	$Y = b_0 + (b_1 \cdot \text{Volcom}_{sc}) + (b_2 \cdot \text{PEb Tarugo}^2)$	Lineal
3	Variable combinada incluye volumen	$Y = b_0 + (b_1 \cdot \text{Volcom}_{sc}) + (b_2 \cdot \text{PEb Tarugo}) + (b_3 \cdot \text{PEb})$	Lineal
4	Variable combinada Logarítmica	$Y = b_1 \cdot \text{Volcom}_{sc}^{b_2} \cdot \text{PEb Tarugo}^{b_3}$	Potencial
5	Variable combinada incluye Ga	$Y = b_0 + (b_1 \cdot \text{DAP}^2_{sc}) + (b_2 \cdot \text{Hcom}) + (b_3 \cdot \text{Ga}) + (b_4 \cdot \text{PEb})$	Lineal
6	Variable combinada incluye Ga	$Y = b_0 + (b_1 \cdot \text{Hcom}) + (b_2 \cdot \text{Ga}) + (b_3 \cdot \text{PEb Tarugo})$	Lineal
7	Variable combinada, incluye valor Pi	$Y = b_0 + (\pi \cdot R^2_{sc}) + (b_2 \cdot \text{Hcom}) + (b_3 \cdot \text{PEb Tarugo})$	Lineal

Donde:

$\text{Volcom}_{sc}$  = Volumen comercial sin corteza

$\text{PEbTarugo}$  = PE básico del Tarugo obtenido por gravimetría

$\text{Dap}^2\text{hcom}$  = DAP al cuadrado X altura comercial

$\text{Pi} \cdot \text{R}_{sc}^2$  = Valor de Pi (3,1416) X el radio sin corteza

GA= gradiente axial

La selección del modelo se realizó siguiendo la metodología sugerida por Caillez 1980 y adaptada por Ortiz 2011, que propone utilizar los siguientes criterios y estadísticos: coeficiente de determinación  $R^2$ , error estándar  $S_{yx}$ , coeficiente de variación CV%, para los modelos lineales; para los modelos no lineales, el Índice de ajuste (FI), error estándar en unidades reales ( $S_{eyx}$ ), y el CV%. Adicionalmente, se utilizaron los criterios de análisis de residuos (Yobs vs Yest), y el criterio de simplicidad y facilidad de uso del modelo.

El modelo seleccionado fue validado mediante el uso de 9 árboles independientes, complementarios a los de la muestra, con los que se estimó el Sesgo como medida de aceptación o rechazo del modelo. Además, se estimaron el valor de Z de Wilcoxon y el índice de Durbin y Watson para asegurar la distribución normal y la independencia de los residuos.

Validado el modelo (con menor sesgo), se extrajeron tarugos a los 400 árboles mayores de 10 cm DAP del ensayo completo de procedencia/progenie, que fueron medidos y pesados en verde el mismo día y almacenados en ambiente fresco y etiquetados. Posteriormente se ingresaron en una cámara de almacenado con humedad controlada, de 20 m<sup>3</sup> de capacidad y donde permanecieron 1 mes hasta adquirir 8-12% de humedad. La herida de cada uno de los árboles muestreados fue sellada con una preparación líquida a base de sulfato de cobre y cola de madera.

El pesaje en el laboratorio se realizó siguiendo el mismo procedimiento que para la muestra, de acuerdo con las normas ASTM descritas. Primero el pesaje en húmedo y

luego el pesaje en seco. Este último, hasta alcanzar el peso constante luego de 24 horas en una estufa eléctrica.

Una muestra de 35 árboles extraídos al azar de las 3 procedencias y del bloque 6 fue transformada en probetas de 2 mm de diámetro, 5 mm de ancho y del largo variable, para su lectura con el equipo de Rayos X del TEC. La estimación del peso específico radial se realizó siguiendo el protocolo de Densitometría por rayos X (Moya, R.; Tomazello, M. 2009; Gwace *et al.* 2001, Zumaeta *ET AL.* 2014). Con esto se obtuvo el peso específico radial de lectura en rayos X, PE Rx a un contenido de humedad del 8%. Para comparar este último con el PEb, obtenido por gravimetría se estimó el PERx al 0% de humedad, utilizando la fórmula propuesta por Simpson y Ten Wolde (1999).

$$Gb = \frac{Gm}{(1+0.265aGm)}$$

Donde:

Gb = es el peso específico básico

Gm = es el peso específico a 8%

a = es el factor de ajuste de contenido de humedad  $((30-8)/30)$

El procesamiento de la información se realizó en una hoja electrónica de Excel hasta lograr una base de datos BD del PEb de 382 árboles, conjuntamente con la proporción de duramen. Todas las comparaciones se realizaron en términos de Peso específico básico o densidad básica (0% de humedad). Se realizaron análisis estadísticos, ANOVA del PEb entre bloques y familias, y la prueba de Bonferroni para comparaciones. Para el análisis de los datos de la lectura PERx de cada árbol, la serie de valores obtenida por densitometría Rx fue dividida en segmentos de 1/10 del radio, y graficado en boxplot de Minitab 17, estimándose el promedio para cada segmento. Según la metodología utilizada por varios autores, entre otros, Miranda y Pereira 2015, Bastin *et al.* 2015, Un ANOVA para segmentos fue practicado para el análisis radial Medula-Corteza (pith-bark). Con los valores promedio de cada segmento se simuló un gráfico, ilustrativo del patrón de variación radial. El nivel de significancia

seleccionado fue de 0,05. En todos los casos fueron utilizados el programa Minitab 17 y corroborados con InfoStat 2015.

## 5.2.4. Resultados

### 5.2.4.1. PE del árbol en función del PE del disco y del PE del tarugo a 1.30 m

En la figura 1 se puede apreciar la relación existente entre el PE del árbol vs el PE del tarugo y el PE del disco de madera. Este último explica el 73,6% de la variación del PE del árbol; mientras que el PE del tarugo explica el 67,4% de la variación del PE del árbol.

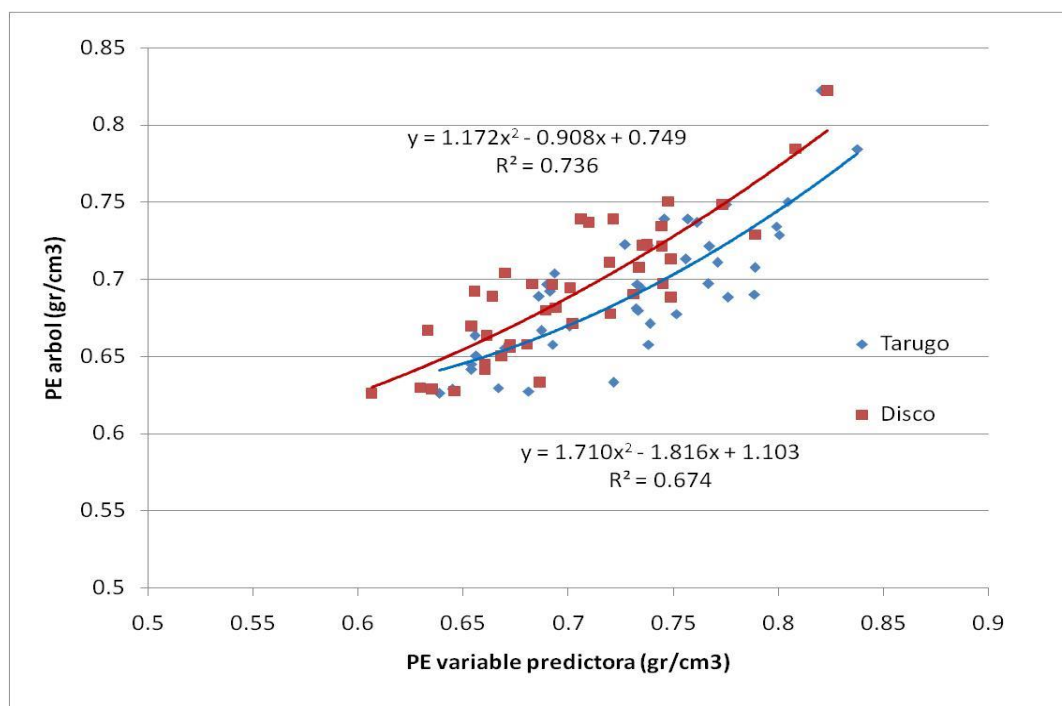


Figura N° 1. Relación del PE del árbol con las variables predictoras PE tarugo y PE disco en *D. panamensis*.

En ambos casos un polinomio de segundo grado puede explicar la relación entre ambas magnitudes.

#### 5.2.4.2. Selección y validación del modelo para estimar el PE del fuste a partir del PE del tarugo

Cuadro N°2. Resultados de la selección de modelos para estimar el PE del árbol en *D. panamensis* en Costa Rica.

Modelos	1	2	3	4	5	6	7
R <sup>2</sup>	0,761	0,761	0,675		0,849	0,845	0,761
Syx	0,022	0,022	0,026		0,018	0,018	0,022
FI				0,663			
Syxe				0,026			
CV%	3,206	3,206	3,738	3,761	2,583	2,578	3,206
Dist. De Residuos	No buena	Buena	Buena	Buena	Excelente	Muy Buena	Muy Buena

Del cuadro 2 se aprecia que el mejor modelo resultó ser el 5, de tipo lineal con variable combinada, que incluye DAPsc, Hcom, Gradiente axial, y PE del tarugo, con un coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,849. El error estándar Syx de este modelo fue el más bajo de todos los que se evaluaron en la investigación 0,018. Del mismo modo, el coeficiente de variación CV 2,58 % registró uno de los valores más bajos. La distribución de residuos resultante fue excelente, centrada a lo largo del eje X, y sin un patrón de dispersión anómalo.

No obstante, al validar el modelo con 9 árboles independientes de la muestra, se encuentra que el modelo 4 registra el menor sesgo y si se considera este criterio, el modelo 4 supera al modelo 5, véase a continuación en el cuadro 3.

Cuadro N° 3. Validación del modelo para estimar el PE de *Dipteryx panamensis* Pittier

Modelos	Durbin y Watson DW	SESGO %	Z Wilcoxon
3	2,271	-2,26	-2,07
4	1,658	-1,73	-1,12
5	1,443	-2,10	-2,54

Del cuadro 3 se aprecia que por los estadísticos estimados el modelo 4, de tipo potencial supera en precisión a los modelos 3 y 5, y con un sesgo más bajo -1.73%. El valor del test de signos de Wilcoxon registró un valor más bajo que el valor de referencia (1,96). Así también el valor de la prueba de Durbin y Watson registró un valor de 1,658, más bajo que el valor de referencia (2.0). Además, teniendo la ventaja de que no requiere de la estimación de la gradiente axial del PE. Por lo que el modelo seleccionado resulta:

$$LN(Y) = -0,1530 + (-0,0045 * LN(Volcom)) + 0,7192 * LN(PEbTarugo)$$

#### 5.2.4.3. PE básico en *Dipteryx panamensis* a 75 meses de edad

Los resultados de la variación del PE por familia genética y por bloque (micrositio) se presentan a continuación en el siguiente ANOVA, donde las unidades experimentales bloques fueron asignadas a los tratamientos (familias), tal como se aprecia del cuadro:

Cuadro N° 4. Análisis de Varianza para el PE de *Dipteryx panamensis* Pittier, de 75 meses de edad

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Bloque	5	0,047872	0,009574	6,10	0,000
Repetición	4	0,008023	0,002006	1,51	0,200
Familia(bloque)	165	0,251882	0,001527	1,20	0,107

Error	208	0,264566	0,001272		
Lack-of-Fit	204	0,264150	0,001295	12,45	0,012
Pure error	4	0,000416	0,000104		
Total	382	0,572343			
Model Summary					
	S	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (adj)	R <sup>2</sup> (pred)	
	0,0357	53,77%	15,11%	*	

Los resultados del ANOVA para 383 árboles (17 árboles resultaron con diámetros menores de 10 cm) indican que el factor bloques resulta significativo con un valor de “p” de 0,00, menor que el “p” de referencia  $\alpha=0,05$ , mientras que los factores repetición y familias resultan con “p” de 0,20 y 0,107, superiores al “p” de referencia. Por lo que se acepta la hipótesis nula  $H_0$  de que estos 2 últimos factores, familias y repetición No son significativamente diferentes. Mientras que el factor bloques resulta con diferencias significativas, al 95% de probabilidad.

El modelo del ANOVA resulta con un coeficiente determinación  $R^2 = 0,5377$  y un error estándar de  $S=0,0357$ . Esto indica la fortaleza del ANOVA, donde la variación de estos 3 factores explica el 53,77% de la variación en el PE.

La prueba de Ryan y Joiner resulta con un indicador  $RJ = 0,996$  y un p-value de 0,050, similar al p-value de referencia.

:

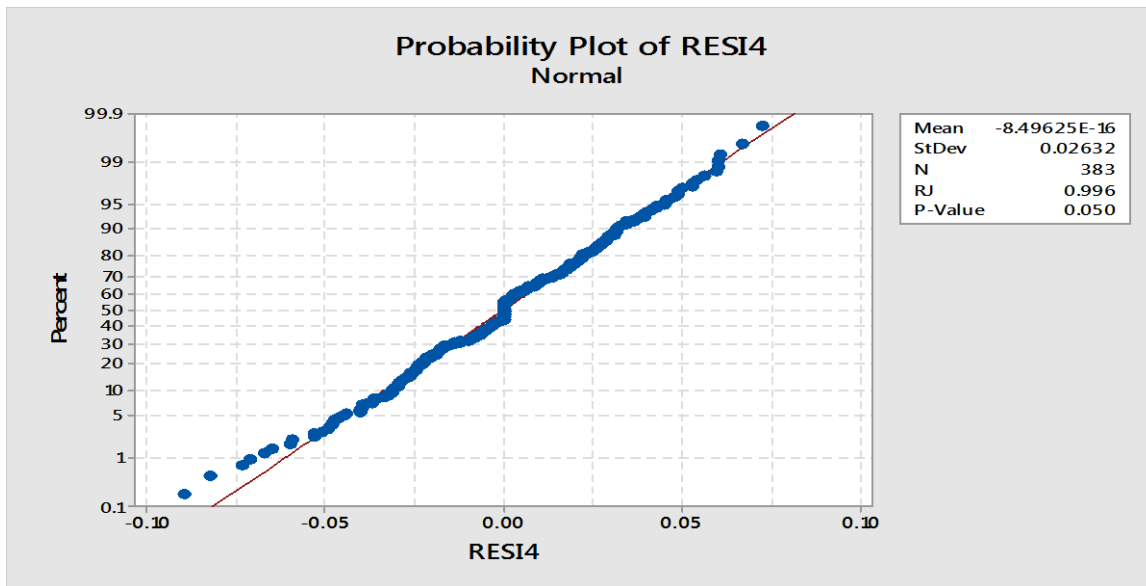


Figura N° 2. Prueba de Ryan y Joiner para el ANOVA del PE con 383 árboles de *Dipteryx panamensis*.

Los resultados de la distribución de residuos confirman la distribución normal y el buen ajuste del ANOVA. No obstante los resultados de la prueba de Levene, con los residuos absolutos se presentan a continuación:

Cuadro N° 5. Resultados de la prueba de Levene con residuos absolutos para el PE

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Bloque	5	0,003239	0,000648	1,35	0,246x
Familia(bloque)	165	0,072012	0,000436	2,66	0,000
Error	212	0,034826	0,000164		
Total	382	0,110077			
Model Summary					
S	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (adj)	R <sup>2</sup> (pred)		
0,01282	68,36%	42,99%	*		



Los resultados de la prueba de Levene, resultan con un “p” para el factor bloque de 0,246, mayor que el “p” de referencia, lo que confirma la hipótesis nula  $H_0$  de homogeneidad de varianzas de los residuos.

La prueba de comparaciones de Bonferroni no encuentra diferencias y clasifica a todas las familias genéticas como iguales, al 95% de probabilidad. Mientras que para bloques la prueba de Bonferroni obtiene resultados diferentes, que se aprecia de la figura:

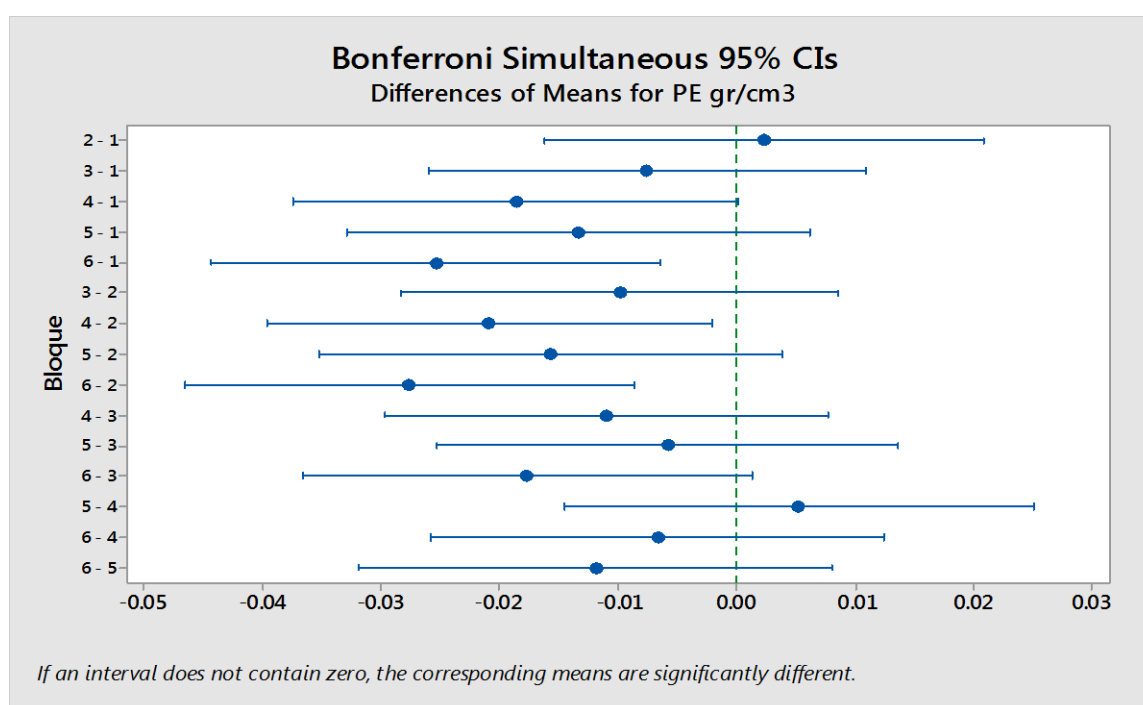


Figura N° 3. Variación del PE de la madera de *Dipteryx panamensis* en cada uno de los bloques del ensayo de procedencias/progenie.

De la figura 3, la prueba de Bonferroni para bloques sugiere que existen diferencias significativas entre algunos bloques (efecto ambiental) al 95% de probabilidad. Estas diferencias en el PE son mayores y significativas entre los bloques 6-2, 6-1, y 4-2.

#### 5.2.4.4. Variación del PE en sentido longitudinal

La variación del PE dentro del árbol fue estimada en sentido axial desde la base hasta la sección más alta del fuste comercial, como se muestra en la figura siguiente. La figura 4 muestra que la variación axial del PE sigue un patrón decreciente, que disminuye gradualmente desde la base hasta la parte superior del fuste.

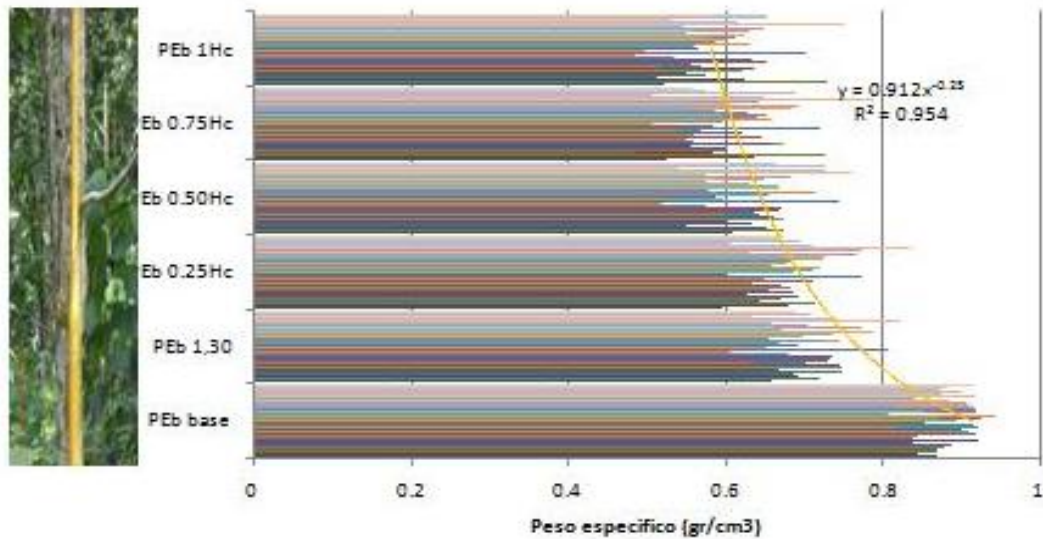
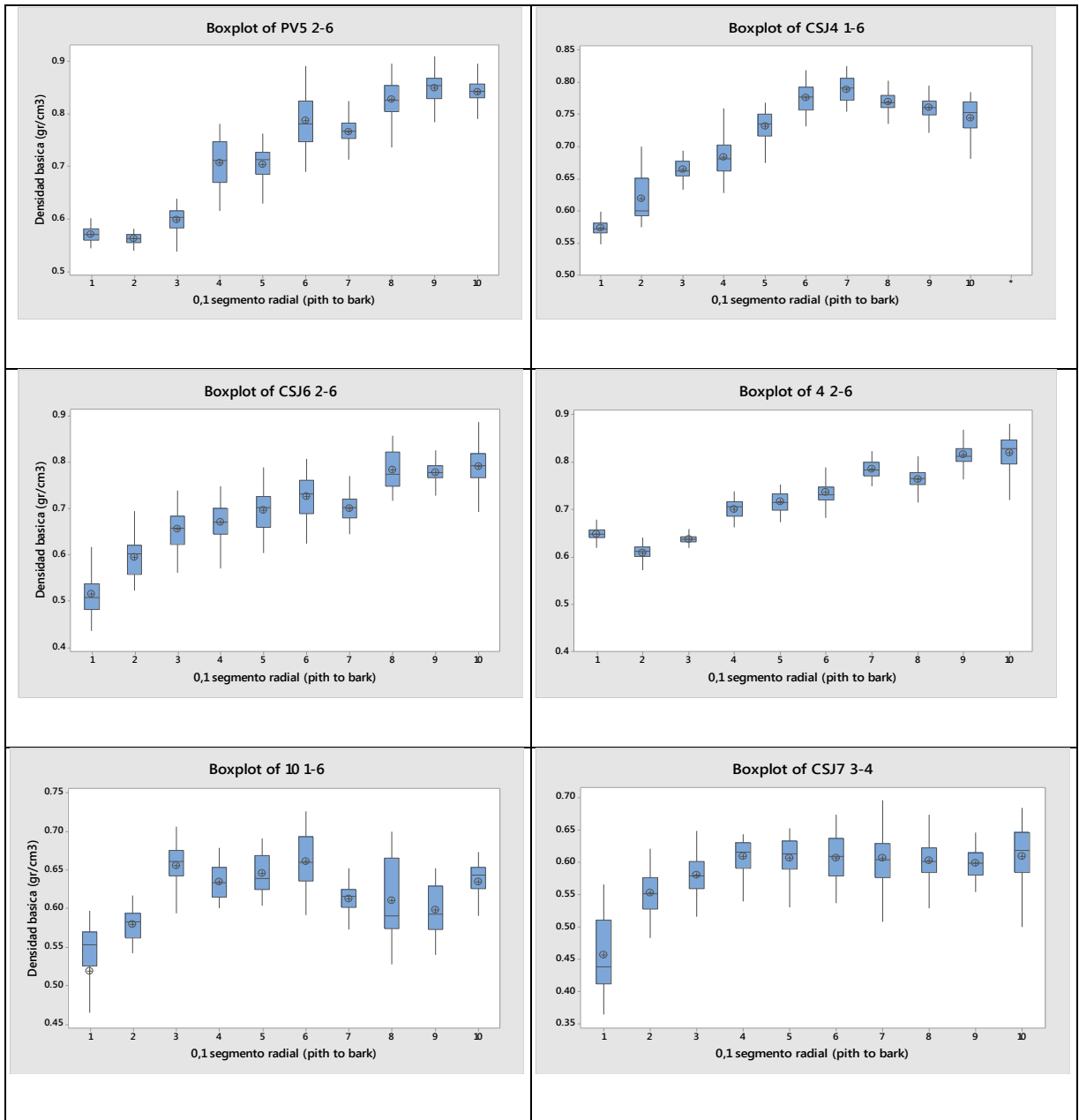


Figura N° 4. Variación del PE del árbol de *Dipteryx panamensis* en sentido axial o longitudinal, a la edad de 75 meses, zona norte de Costa Rica.

La variación axial o longitudinal resulta importante, de un promedio  $0,88 \text{ gr/cm}^3$  en la base hasta un promedio de  $0,58 \text{ gr/cm}^3$  en la parte más alta del fuste comercial, una gradiente de 58%, a 75 meses de edad. La curva de ajuste inicial resulta en una de tipo potencial, con un coeficiente de determinación  $R^2=0,95$ . Expresando que más del 95% de la variación del PE en sentido axial es explicada por la variación en sentido inverso a la altura del fuste.

### 5.2.4.5. La variación del PE en sentido radial

Los resultados del estudio de la densidad básica en sentido radial (pith to bark) se muestran a continuación, para 12 árboles de diferentes familias de los bloques 4 y 6.



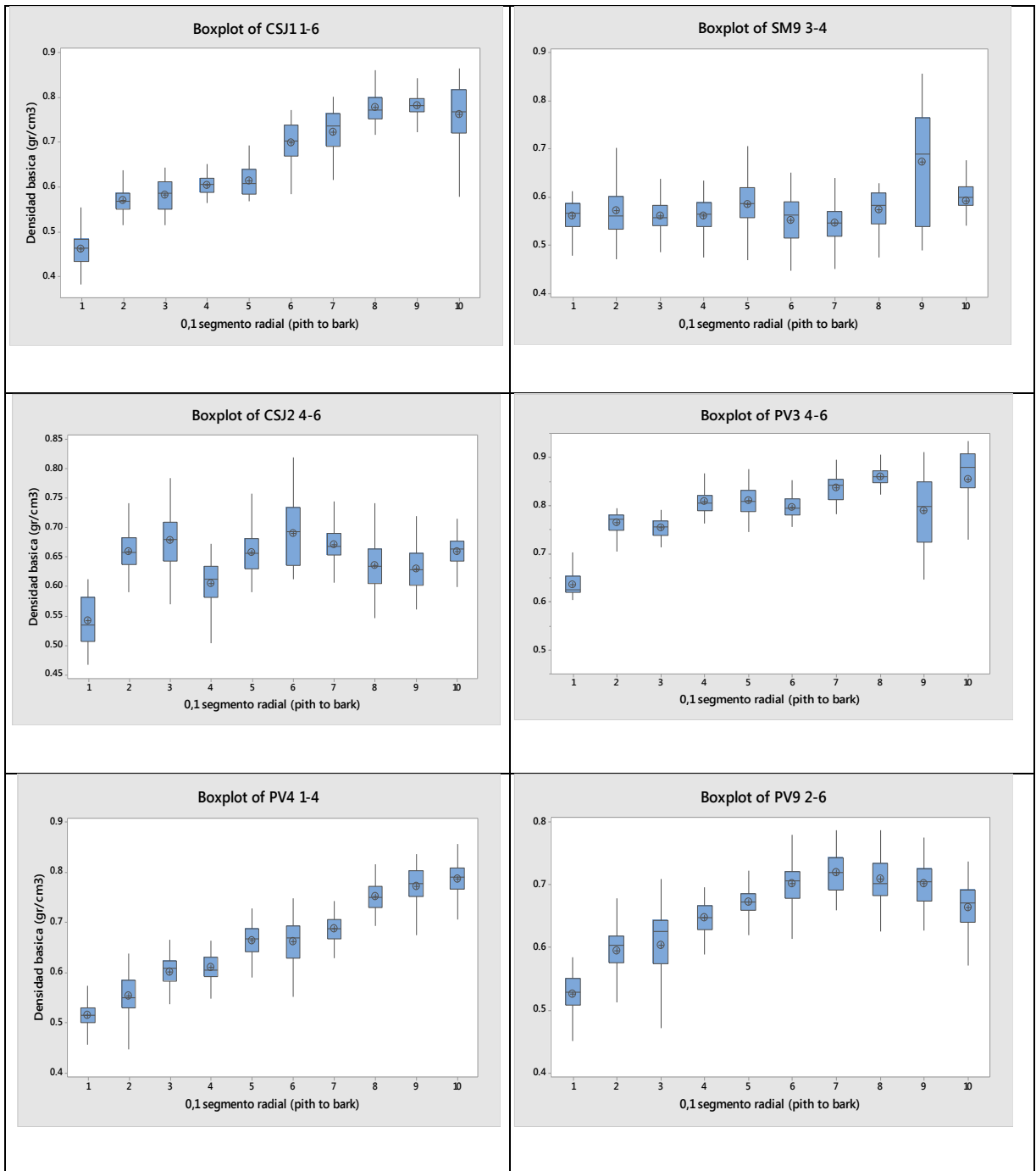


Figura N° 5. Variación de la densidad básica en sentido radial medula-corteza, para 12 árboles de diferentes familias genéticas de *Dipteryx panamensis* de 75 meses.

De la figura se aprecia que la variación radial del PE (medula- corteza) sigue un patrón similar de menor densidad básica en la zona cercana a la medula (alrededor de 0,4 a 0,5 gr/cm<sup>3</sup>) incrementándose progresivamente hacia la zona de corteza con densidad básica de 0,7-0,8 gr/cm<sup>3</sup>. Este patrón de variación varía ligeramente entre familias genéticas y entre árboles. Véase los promedios por familia en la siguiente gráfica:

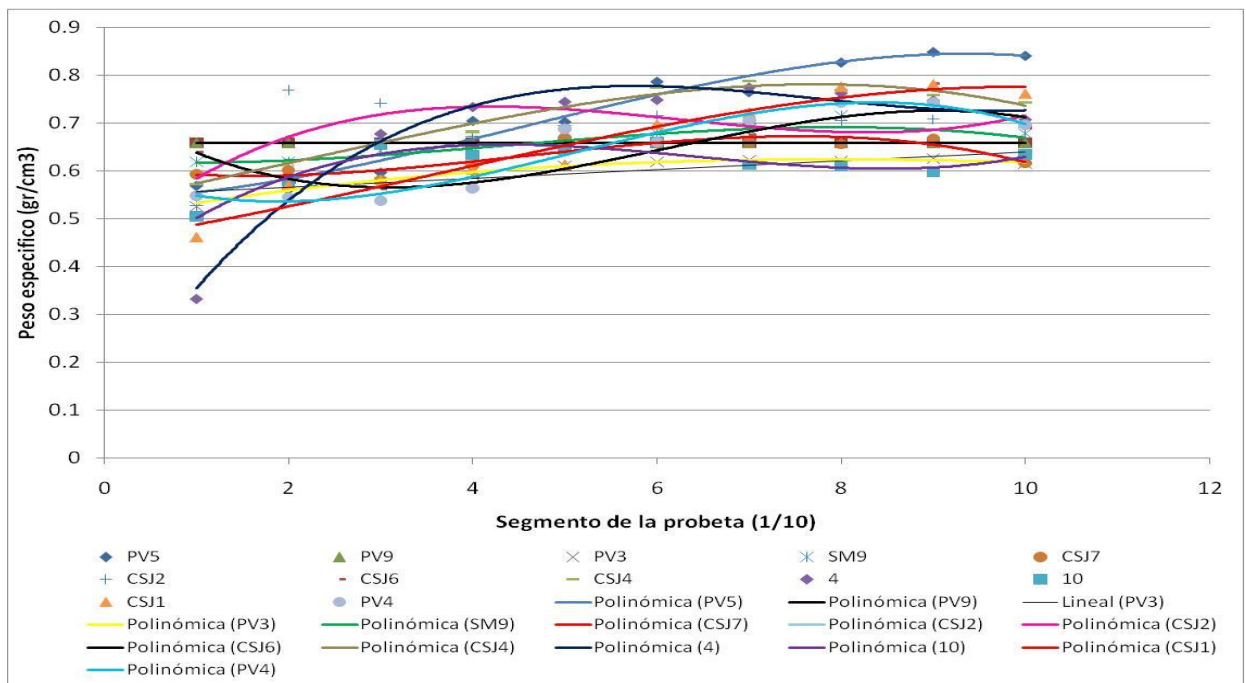


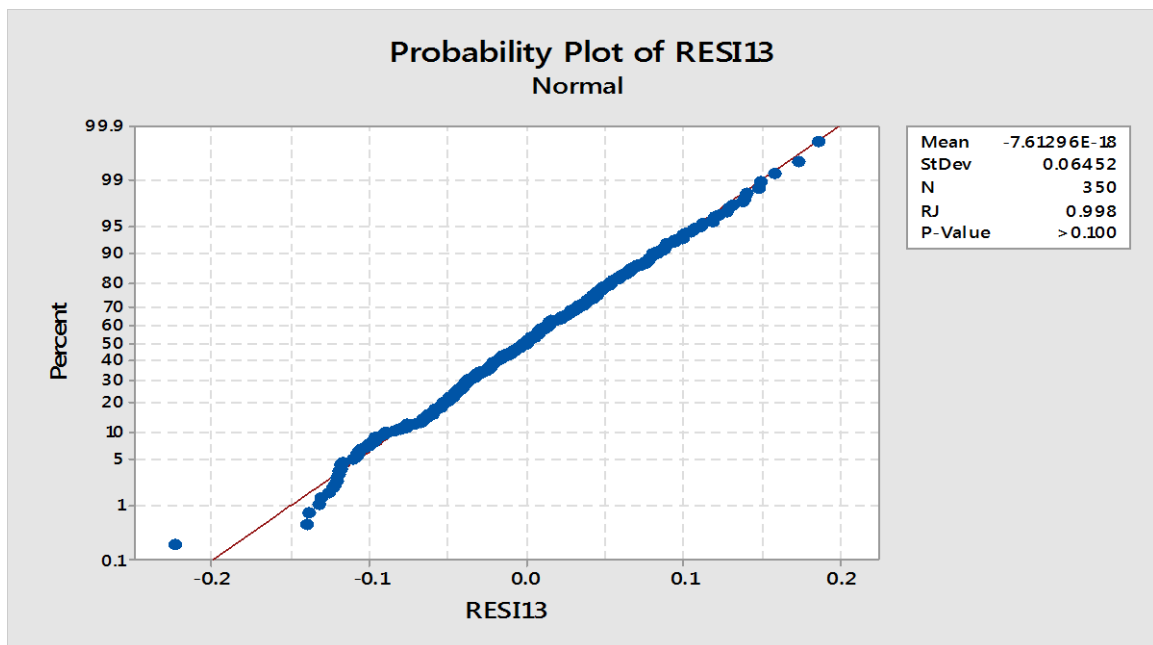
Figura N° 6. Variación del PE del árbol en sentido radial medula-corteza para *Dipteryx panamensis* de 75 meses de edad.

De las figuras 5 y 6 se aprecia que la variación radial del PE desde la médula (pith) hacia la corteza (bark) se presenta diferenciada, el segmento 1 cercano a la médula en promedio alcanza 0,55 gr/cm<sup>3</sup>, mientras que el segmento 10 cercano a la corteza alcanza en promedio 0,72 gr/cm<sup>3</sup>. Es decir, una diferencia de 30%, a 75 meses de edad. Las 35 curvas ajustadas por familias resultan en polinomios de tercer grado.

Cuadro N° 6. Resultados del ANOVA de segmentos en sentido radial del PE básico, para 12 familias genéticas de *Dipteryx panamensis* Pittier

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Familia	11	0,1552	0,014109	2,23	0,014
Segmento	9	0,8193	0,091030	14,41	0,000
Familia*Segmento	99	0,2496	0,002521	0,40	1,000
Error	230	1,4527	0,006316		
Total	349	2,6768			
S	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (adj)	R <sup>2</sup> (pred)		
0,0795	45,73%	17,65%	0,00%		

Los resultados del ANOVA muestran que hay diferencias significativas entre segmentos, dado que el “p” estimado (0,000) resulta menor que el “p” de referencia (0,05), al 95% de probabilidad. Para corroborar la validez del ANOVA se practicó la prueba de Ryan & Joiner (similar a la prueba de Shapiro Wilks) con los residuos cuyos



resultados se muestran a continuación.

Figura N° 7. Prueba Ryan & Joiner, de normalidad de residuos del ANOVA sobre PE básico de segmentos radiales, en *Dipteryx panamensis* de 75 meses.

La prueba de Ryan % Joiner resulta significativa (RJ= 0,998), con un p-value mayor de 0,100, el que resulta superior al p-value de referencia (0,05), indicando que se acepta la hipótesis de que los residuos tienen una distribución normal.

Por su parte la prueba de Levene con los residuos absolutos se resume en el cuadro 7.

Cuadro N° 7. Prueba de Levene para segmentos del PE radial de *Dipteryx panamensis* Pittier

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Familia	11	0,09443	0,008584	7,55	0,000
Segmento	9	0,01621	0,001801	1,58	0,119
Error	329	0,37393	0,001137		
Lack of Fit	99	0,11380	0,001150	1,02	0,453
Pure Error	230	0,26012	0,001131		
Total	349	0,48456			

La prueba de Levene con los residuos absolutos resulta positiva, donde el p-value para el factor segmentos resulta en 0,119 superior al p-value de referencia  $\alpha=0,05$ , por lo que se acepta la hipótesis nula  $H_0$  de que los residuos tienen varianzas homogéneas. Con ello se comprueba la propiedad de homocedasticidad de los residuos del ANOVA.

Para ilustra las diferencias entre los segmentos del PE radial presentamos los resultados de la prueba de comparación de Bonferroni al 95% de probabilidad. Los segmentos 1,2 y 3, cercanos a la medula, son significativamente diferentes con los demás segmentos radiales del PE.

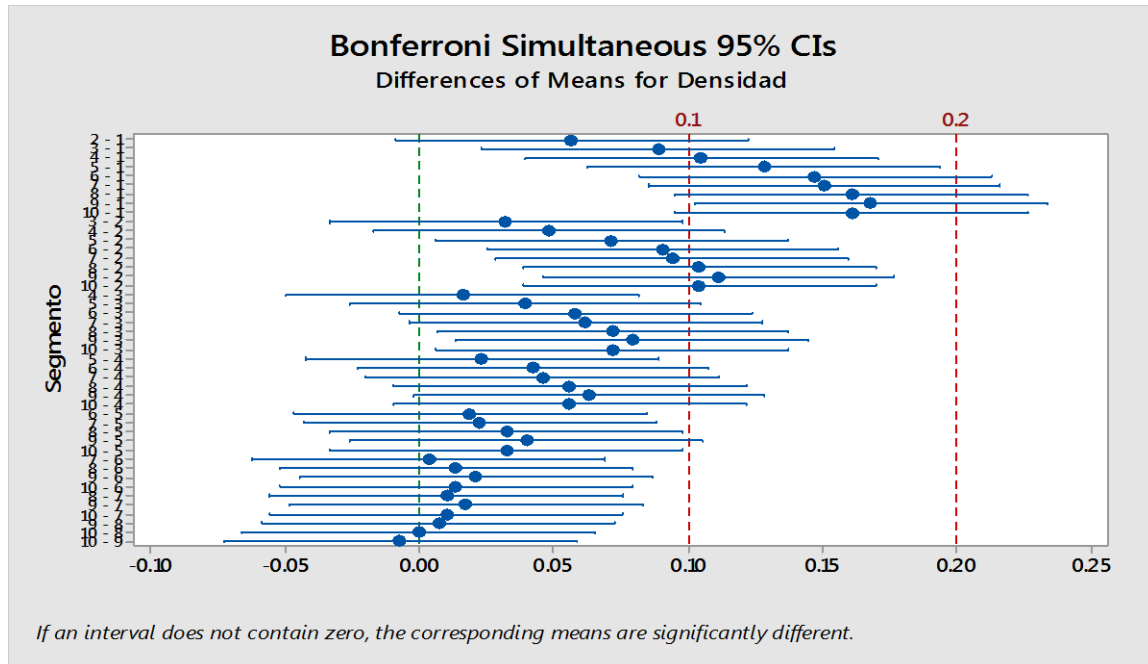


Figura N° 8. Prueba de Bonferroni para la variación radial del PE del árbol de *Dipteryx panamensis*.

De acuerdo con la figura solo los segmentos 1, 2, 3 (cercanos a la medula) tienen un PE básico significativamente diferente. El segmento 1 inmediato a la medula es diferente a los demás en 8 de las 9 comparaciones, mientras que el segmento 2 resulta diferente en 6 de las 8 comparaciones. Finalmente el segmento 3 resulta diferente en 3 de las 7 comparaciones. El resto de segmentos no tienen diferencias significativas entre ellos, en el PE básico. El otro resultado importante en esta prueba es la magnitud de la variación del PE básico en cada segmento. Este es, a la vista, superior en los 3 segmentos cercanos a la medula que en el resto de segmentos.



### 5.2.4.6. Presencia de Duramen

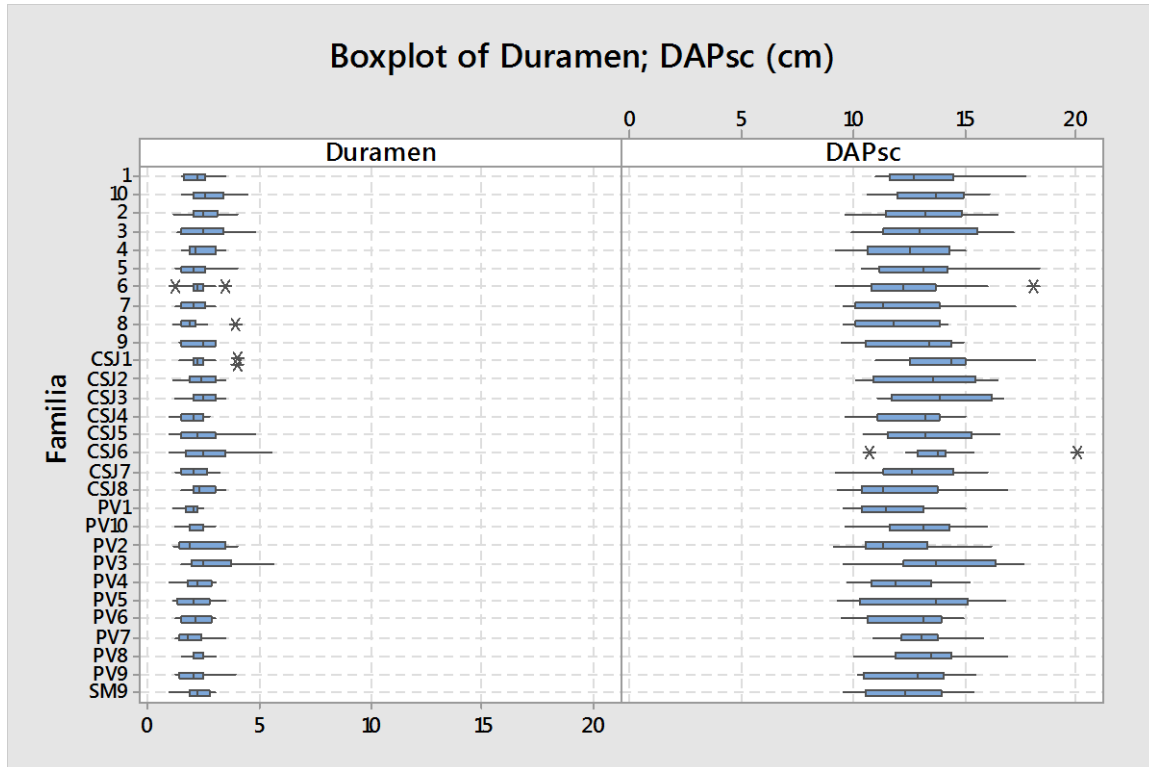


Figura N° 9. Presencia de duramen a nivel del DAP en *Dipteryx panamensis* Pittier, a 75 meses de edad en Costa Rica

Los resultados de la presencia de duramen se aprecian de la figura anterior, en relación al DAPsc (sin corteza). El diámetro de la sección del duramen alcanza en promedio 17% de la sección del DAP sin corteza. No se aprecia, sin embargo, una tendencia asociada con la familia genética.

Sin embargo, si se expresa la relación área del duramen respecto del área basal (nivel del DAP), este alcanza 3,45% en promedio.

Los resultados del ANOVA muestran que hay diferencias significativas entre el tamaño del duramen, según las familias, el bloque del que se trata, y el DAP; dado que el p-

value estimado para estos factores, resulta menor que el p-value de referencia (0,05), al 95% de probabilidad (véase el cuadro).

Cuadro N° 8. Resultados del ANOVA de presencia de duramen en *Dipteryx panamensis* Pittier, a 75 meses de edad en Costa Rica

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Familia	28	20,852	0,7447	1,78	0,011
Bloque	5	36,866	7,3731	17,61	0,000
DAPsc	86	85,383	0,9928	2,37	0,000
Error	262	109,718	0,4188		
Lack of Fit	253	105,393	0,4166	0,87	0,674
Pure Error	9	4,325	0,4806		
Total	381	252,819			
S	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (adj)	R <sup>2</sup> (pred)		
0,647	56,60%	36,89%	*		

El modelo resulta ajustado con un R<sup>2</sup>= 0,5660 y un error estándar S= 0,6471.

Para corroborar la validez del ANOVA se practicó la prueba de Ryan & Joiner (similar a la prueba de Shapiro Wilk) con los residuos cuyos resultados se muestran a continuación.

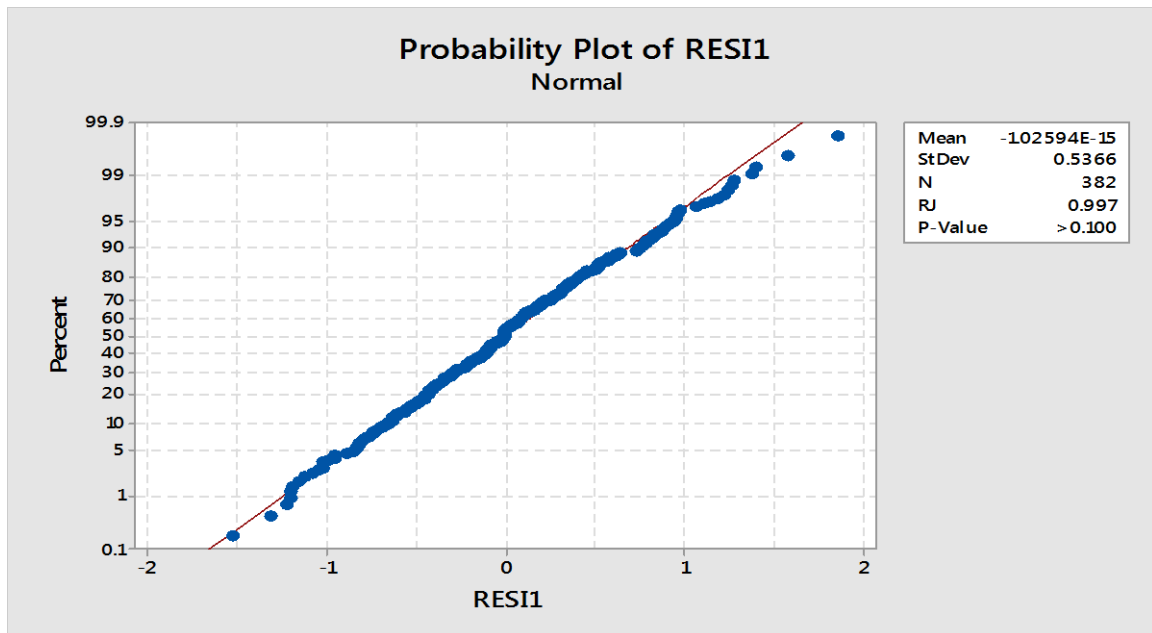


Figura N° 10. Prueba Ryan & Joiner, de normalidad de residuos del ANOVA sobre presencia de duramen, en *Dipteryx panamensis* de 75 meses de edad

La prueba de Ryan & Joiner para la normalidad de los residuos resulta significativa  $RJ=0,997$ ; con un p-value mayor de 0,100, el que resulta superior al p-value de referencia (0,05), indicando que se acepta la hipótesis nula  $H_0$  de que los residuos tienen una distribución normal.

La prueba de Levene para homogeneidad de varianzas de los residuos del ANOVA se muestra en el cuadro 9.

Cuadro N° 9. Prueba de Levene para *D. panamensis* Pittier, a 75 meses de edad en Costa Rica.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Familia	28	3,985	0,1423	1,35	0,119
Bloque	5	1,307	0,2615	2,48	0,033
DAPsc	86	11,546	0,1343	1,27	0,077
Error	262	27,658	0,1056		
Lack of Fit	253	25,551	0,1010	0,43	0,984
Pure Error	9	2,107	0,2341		
Total	381	44,497			

La prueba de Levene, con los residuos absolutos para el duramen resulta en un valor de “p” de 0,119, para el factor familia, superior al “p” de referencia  $\alpha=0,05$ , por lo que se acepta la hipótesis nula  $H_0$  de homogeneidad de varianzas para los residuos del ANOVA.

Mediante la prueba de Bonferroni para comparación de duramen, comprobamos las diferencias en presencia de duramen por familias.

La prueba de Bonferroni al 95% de probabilidad resulta en diferencias No significativas para el duramen, entre familias genéticas, al 95% de probabilidad.

Cuadro N°10. Prueba de Bonferroni para comparación de presencia de duramen según familias de *Dipteryx panamensis* Pittier, a 75 meses.

Grouping Information Using the Bonferroni Method and 95% Confidence				
Familia	N	Promedio	Grouping	
10	16	2,73883	A	
CSJ8	12	2,68819	A	
PV2	10	2,63672	A	
CSJ6	17	2,56790	A	
2	10	2,55655	A	
4	17	2,54801	A	

PV4	6	2,54772	A	
PV6	12	2,53038	A	
PV3	17	2,52077	A	
SM9	10	2,51724	A	
3	15	2,49935	A	
6	19	2,46129	A	
PV1	9	2,43422	A	
9	11	2,42927	A	
PV10	13	2,39591	A	
CSJ3	15	2,38407	A	
PV5	16	2,37878	A	
7	10	2,36612	A	
1	8	2,36340	A	
5	16	2,35733	A	
CSJ5	15	2,32899	A	
CSJ2	14	2,31871	A	
CSJ7	14	2,26307	A	
8	10	2,18340	A	
CSJ1	15	2,16270	A	
CSJ4	15	2,14533	A	
PV9	13	2,10904	A	
PV7	12	2,04611	A	
PV8	15	2,01599	A	
Means that do not share a letter are significantly different				

### 5.2.5. Discusión

### ***5.2.5.1. Asociación entre el PE y las variables dasométricas***

De la figura 1 se desprende que existe una fuerte correlación entre el PE del árbol y el PE del disco y el PE del tarugo, ambos extraídos a la altura del DAP. Por tanto, en esta especie el mejor método no destructivo de estimación del PE promedio del árbol, podría ser a partir del valor del PE del tarugo extraído con el barreno Pressler.

La estimación del PE del árbol a partir de tarugos extraídos a la altura del pecho DAP.

### ***5.2.5.2. Modelo seleccionado***

En este estudio se demostró que para estimar el PE promedio del árbol en pie debe tomarse en cuenta la variación radial y axial del PE. Sin embargo, la variación axial implica obtener valores del PE a lo largo del fuste, que son difíciles de obtener sin tumbar el árbol. Por tanto, un modelo no destructivo basado en muestras de barreno, puede solamente considerar la variación radial. Sin embargo, en la validación del modelo se pudo constatar que aquellos que tuvieron una alta performance, no fueron los mismos que fueron inicialmente seleccionados

El modelo basado en la función potencial del volumen comercial (sin corteza) con el PE del tarugo, resultó con el sesgo más bajo y con una buena distribución de los residuos. El modelo logra una precisión de  $PE \pm 0,026$ , que se estima acorde con el propósito de la investigación. Este modelo permite por tanto, predecir en una forma no destructiva el valor del PE del árbol, con una precisión y consistencia considerablemente alta. En el cuadro 3 se registra un valor de sesgo menor en el modelo 4, que podría también considerarse como un modelo de utilidad.

### ***5.2.5.3. Variación del PE de los árboles de *Dipteryx panamensis* del ensayo***

Del cuadro 5, la figura 5 y el cuadro 8, se puede apreciar e interpretar que la variación del PE entre familias resulta No significativa al 95% de confianza. Puede observarse que los valores promedio no difieren mucho entre sí, entre familias como tampoco entre las tres procedencias. Los valores se mantienen en un rango entre 0,65 gr/cm<sup>3</sup> y 0,7gr/cm<sup>3</sup>, ligeramente superior a los valores reportados por Tenorio *et al* (2015) a los 13 años de edad. Pero es en la procedencia de Puerto Viejo en el que se encuentran familias con valores más altos de PE. Importante de observar es, que estos valores de PE demuestran que la especie desde temprana edad alcanza ya valores sumamente altos. La madera de almendro puede entonces utilizarse a la intemperie y en uso estructural en su fase juvenil, desde los productos que puedan obtenerse en un primer raleo.

Sin embargo, la variación del PE en sentido radial entre bloques mostrada en los resultados del cuadro 9 indica una importante fuente de variación ambiental. Moya y Arce (2003), Moya y Tomazello (2009), han demostrado en particular para *Tectona grandis* y *Gmelina arborea*, en Costa Rica la relación entre la densidad por hectárea y las condiciones climáticas, con las propiedades físicas de la madera y en particular con el peso específico. Del mismo modo que Miranda y Pereira (2015), han demostrado la importante variación que hay en el PE (densidad básica de la madera) para *Eucalyptus globulus* en su primera (18 años) y segunda rotación. El PE más alto fue obtenido para el distanciamiento de 4x5 en la primera rotación y de 4x4 en la segunda rotación. Esto sugiere una variación importante del PE debido al distanciamiento, pero también debido a la edad.

#### **5.2.5.4. Variación del PE en sentido longitudinal**

La variación axial o longitudinal del PE para *Dipteryx panamensis*, sigue una curva decreciente desde la base hasta un 75% del fuste para luego incrementarse nuevamente. Esta característica ya fue observada por Tenorio *et al* (2015) en *Dipteryx*

con árboles de plantación a la edad de 13 años, y también ha sido reportada en especies tropicales por Wiemann y Williamson (2014). La magnitud de la gradiente axial del PE, 58% a lo largo del fuste, es sin embargo importante a esta edad y es posible que está vinculado a la presencia de madera juvenil; tal como lo sostienen Zobel y Sprague (1988). Los autores sostienen que el patrón radial de las propiedades de la madera desde la medula hacia la corteza se presenta a lo largo del fuste, no obstante el porcentaje de madera juvenil es mayor en la parte más alta del fuste, a causa de que menos madera madura es producida con respecto a la madera juvenil, la cual permanece más o menos constante en la parte alta del fuste (Zobel B, Sprague 1998)

La tendencia de que el PE disminuye desde la base hacia el ápice o la parte alta del fuste, en árboles de plantaciones forestales, ha sido corroborada recientemente para otras especies, como *Eucalyptus regnans* de 16 años (Omonte y Valenzuela 2011) y para *Eucalyptus globulus* de 7 años de edad por (Igartua y Monteoliva 2010). Sin embargo, el patrón de variación del PE de *Dipteryx panamensis* difiere de los patrones encontrado por los autores mencionados. En que el menor PE ocurre hacia la mitad del fuste comercial volviendo a incrementarse ligeramente hacia el ápice. Para el caso del PE de *Dipteryx panamensis* el PE más bajo ocurre en la parte más alta del fuste comercial, en promedio  $0,59 \text{ gr/cm}^3$ , mientras que el PE máximo ocurre en la base, en promedio  $0,88 \text{ gr/cm}^3$ , a 75 meses de edad tal y como se aprecia de la figuras 4 y 11.

Este patrón de variación del PE en sentido longitudinal ha sido analizado en detalle mediante en el cuadro 11.

Cuadro N° 11. Resultados del análisis de varianza del PE en sentido longitudinal o axial para *Dipteryx panamensis*



Fuente	GL	SC	CM	F	P	
Modelo	2,38	4	0,60	197,98	0,0001	
Rodaja	2,38	4	0,60	197,98	0,0001	
Error	0,62	205	1.0E-03			
Total	3,00	209				
Modelo PEb						
N=210, R <sup>2</sup> = 0.79, R <sup>2</sup> Aj= 0.79, CV= 8.09						
Test : Bonferroni, Alfa =0.05, DMS= 0.03397, Error: 0.0030 , gl: 205						
Discos	Medias	N	E.E	Significancia		
1	0,59	42	0,01	A		
0,75	0,61	42	0,01	A	B	
0,50	0,63	42	0,01		B	
0,25	0,68	42	0,01			C
0,01	0,88	42	0,01			D
Medias con una letra común no son significativamente diferentes						

Del cuadro se aprecia que el ANOVA confirma las diferencias significativas existentes entre el PE de las rodajas ubicada a 0% de la altura comercial, 25% de la altura comercial, 50%, 75% y 100% de la altura comercial. Encontrándose además un ligero parecido entre la rodaja ubicada a 50% de la altura comercial y aquella ubicada a 75% de la misma. Véase el mismo patrón de variación del PE en verde y sentido longitudinal, a partir de las mismas rodajas.

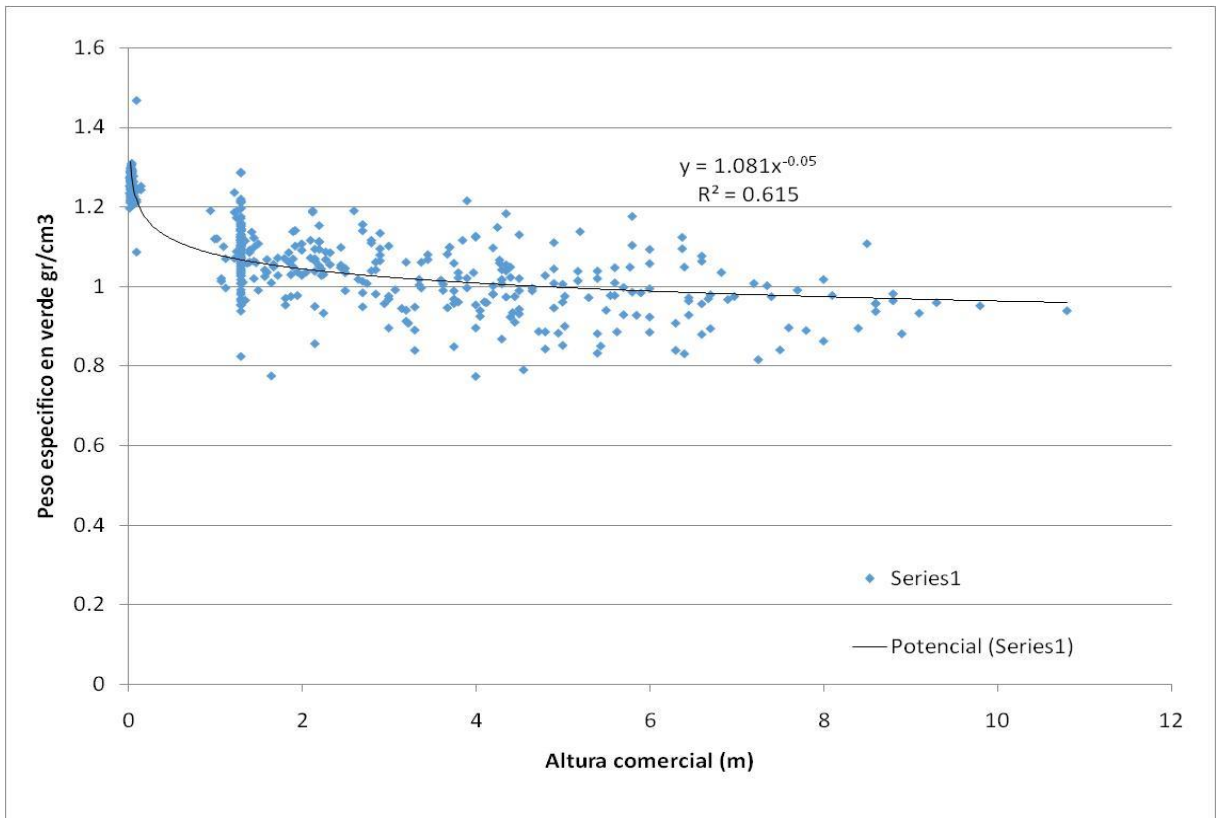


Figura N° 11. Patrón de variación del PE (en verde) en sentido longitudinal para *Dipteryx panamensis*

Este hecho tiene una gran importancia al momento de seleccionar la mejor troza en función del volumen comercial. Si bien la primera troza (2,50 m) podría tener un volumen importante, el PE de esta troza podría tener diferencias importantes a lo largo de la misma, 0,88 gr/cm<sup>3</sup> en la cabeza mayor y 0,68 gr/cm<sup>3</sup> en la cabeza menor, restándole así su valor en el mercado. A esta edad podría tener un PE más uniforme la segunda troza. Es de esperar que estas diferencias disminuyan con la edad del rodal.

#### 5.2.5.5. Variación del PE en sentido radial

Aunque de menor magnitud que la variación del PE en sentido longitudinal, la variación del PE en sentido radial sigue una curva decreciente desde la madera cercana a la corteza (outerwood) hacia la médula (corewood), tal y como ocurre en la mayoría de especies forestales (Zobel y van Buijtenen, 1989) y como se aprecia de la figura 8. El patrón típico de variación del PE radial en *Dipteryx panamensis* sigue una curva que se ajusta a un polinomio de 3er grado. Este patrón de variación radial es diferente a la encontrada por Omonte y Valenzuela 2011, para *Eucalyptus regnans* de 16 años y por (Igartua y Monteoliva 2010) para *Eucalyptus globulus* de 7 años de edad. Sin embargo, las diferencias encontradas entre la madera cercana a la corteza y la madera cercana a la médula, sugieren que existen diferencias significativas entre el PE en las diferentes zonas de crecimiento, “inner and outer Wood”.

En efecto el análisis de segmentos del PE en sentido radial presentado en la figura 8 revela que los segmentos 1, 2, y 3 son significativamente diferentes al resto a un 95% de probabilidad. Lo que sugiere diferencias hasta en un 20% del PE en la madera cercana a la medula, con el resto de la madera más cercana a la corteza. El porcentaje de madera con menor peso específico y cercano a la médula alcanza un promedio de 30%, lo que sugiere la posible existencia de madera con propiedades diferentes atribuibles a la posible existencia de madera juvenil. Tal como sugieren Zobel y Sprague (1998); la uniformidad de la madera puede ser considerada la más importante de las propiedades; las diferencias entre la madera juvenil y la madera madura son la principal razón para la diversidad en las calidades de madera, tanto dentro como entre los árboles. Una próxima investigación debería poder esclarecer sobre las propiedades físico mecánicas de ambos tipos de madera.

#### 5.2.6. Conclusiones

5.1. Es posible estimar de manera confiable y no destructiva el PE de la madera de *Dipteryx panamensis* Pittier a partir de muestras de barreno (tarugos).

5.2. El modelo que mejor se ajusta para determinar el PE de la madera de *Dipteryx panamensis* Pittier a 75 meses de edad es:  $LN(PE) = -0,153 + (-0,0045 * LN(VolCom) + 0,7192 * LN(PE \text{ tarugo}))$

5.3. El PE de la madera de *Dipteryx panamensis*, varía significativamente en el sentido axial del tronco hasta -58% desde la base hasta la parte alta del fuste; y en sentido radial varía hasta en un 30% de aumento desde la médula hacia la corteza.

5.4. El PE del árbol varía de manera significativa entre algunos bloques y esta variación se muestra también entre segmentos por bloque, revelando el moderado control ambiental a 75 meses de edad de la especie.

5.5. El estudio corrobora que a los 75 meses de edad los árboles de *Dipteryx panamensis* pueden desarrollar duramen con diámetro promedio equivalente al 17% del diámetro (sin corteza) del árbol.

5.6. La investigación del PE en *Dipteryx panamensis* Pittier constata que las diferencias entre familias resultan No significativas al 95% de probabilidad. El almendro alcanza valores de PE de la madera desde 0,65 gr/cm<sup>3</sup> hasta 0,72 gr/cm<sup>3</sup> a los 75 meses de edad. Estos valores sugieren un moderado potencial de mejoramiento genético y garantizan su posible utilización como madera estructural y a la intemperie, aún desde un primer raleo.

### 5.2.7. Bibliografía

ASTM (2015). Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials. Designation: D2395 – 14'1

Badilla, Y.; Murillo, O.; Obando, G. (2002). Reforestación con especies nativas en la zona norte del país. Seminario Nacional sobre Especies Nativas. Universidad Nacional, INISEFOR. Heredia, Costa Rica.

Bastin, JF.; Fayolle, A.; Tarelkin, Y.; Van den Bulcke, J.; de Haulleville, T.; Mortier, F.; Beeckman, H.; Van Acker, J.; Serckx, A.; Bogaert, J.; De Cannière, C. 2015. Wood Specific Gravity Variations and Biomass of Central African Tree Species: The Simple Choice of the Outer Wood. PLoS ONE 10(11): e0142146. doi:10.1371/journal.pone.0142146

Butterfield, R.; Espinoza, M. (1995). Screening trial of 14 tropical hardwoods with an emphasis on species native to Costa Rica: fourth year results. *New Forests*, 9: 135-145

Carpio Malavassi (2003). *Maderas de Costa Rica 150 especies forestales*. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica, pp. 340

Castañeda, H.; Moreira, I., Arnáez, E.; Sánchez, E. (2000). Estudio morfológico de diferentes estadios ontogénicos de flor, fruto y semilla de *Dipteryx panamensis* (Pittier) Record & Mell (Fabaceae) (Almendro). *Tecnología en marcha*, 14(1), 124 – 132.

De Ridder, M.; Van den Bulcke, J.; Vansteenkiste, D.; Van Loo, D.; Dierick, M.; Masschaele, B.; De Witte, Y.; Mannes, D.; Lehmann, E.; Beeckman, H.; Van Hoorebeke, L.; Van Acker, J. (2011). High-resolution proxies for wood density variations in *Terminalia superba*. *Annals of Botany* 107: 293–302, 2011

Flores, E. (1992). Árboles y semillas del neo trópico. Museo Nacional de Costa Rica. San José, Costa Rica. 1(1): 64.

Fournier, L. (2003). *Dipteryx panamensis* (Pittier). Recor&Mell. En the RNGR Team, Part II – Species Descriptions. Disponible en: [www.rngr.net/publications/itsm/folder.2003-07-1.4726](http://www.rngr.net/publications/itsm/folder.2003-07-1.4726) Páginas 446 - 448.

Forest Products Laboratory 1999. Wood Handbook. Wood as an engineering material. Gen. Tech Rep. FPL-GTR-113. Madison WI. US Department of Agriculture, Forest Service. Forest Products Laboratory 463p.

Fujiwara, S. 1992. Anatomy and properties of Japanese hardwoods II. Variation of dimension of ray cells and their relation to basic density. IAWA bulletin 13(4), 397-402

Gwace, D.; Bridgwater, F.; Byram, T.; Lowe, W. (2001). Genetic parameter estimates for growth and wood density in Loblolly pine (*Pinustaeda* L). Forest Genetics 8:1 (47-55)

Igartúa, D.V; Monteoliva, S.E; Monterubbianesi M.G; Villegas, M.S. 2003. Basic density and fibre length at breast height of *Eucalyptus globulus* ssp. *Globulus* for parameter prediction of the whole tree. IAWA Journal, Vol. 24 (2), 2003: 173–184

Igartúa, D.; Monteoliva, S. 2010. Densidad básica, longitud de fibras y crecimiento en dos procedencias de *Eucalyptus globulus* en Argentina. BOSQUE 31(2): 150-156, 2010

León, N. 2014. Análisis de ensayos de procedencia-progenie de (*Dipteryx panamensis* (Pittier) Record & Mell), en la Zona Norte y Sur de Costa Rica. Tesis Lic. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 79 p.

Losi, C.; Siccama, T.; Condit, R.; Morales, J. (2003). Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. Forest Ecology and Management, 184(1–3), 355 – 368. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00160-9

Miranda, I.; Pereira, H. (2015). Variation of wood and bark density and production in coppiced *Eucalyptus globulus* trees in a second rotation. Forest (early view). – doi:10.3832/for1442-008 [online 2015-09-08]

Moya, R.; Tomazello, M. (2009). Wood density variation and tree ring demarcation in *Gmelina arborea* trees using x-ray densitometry. CERNE, vol. 15, núm. 1, Enero-Marzo, 2009, pp. 92-100.

Moya, R.; Arce, V. (2003). Efecto del espaciamiento en plantación sobre dos propiedades físicas de madera de teca a lo largo del fuste. Madera y Bosques, vol. 9, núm. 2, otoño, 2003, pp. 15-27 Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, México.

Murillo, O.; Obando, G.; Badilla, Y.; Azofeifa, M. (2002). Creación de GENFORES, una cooperativa de mejoramiento genético forestal en Costa Rica. Instituto Nacional de Investigaciones y Servicios Forestales (INISEFOR). Heredia, Costa Rica.

Murillo, O.; Guevara, V. (2013). Estado de los recursos genéticos forestales de Costa Rica. MINAET/FAO/CONAGEBIO, San José, Costa Rica.

Murillo, O.; Badilla, Y. (2013). Definición de una metodología de muestreo de contratos del programa de pago de servicios ambientales para la medición de la biomasa, para el desarrollo de proyectos de comercialización de créditos de carbono. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal. San José, Costa Rica.

Omonte M.; Valenzuela L. (2011). Variación radial y longitudinal de la densidad básica en árboles de *Eucalyptus regnans* de 16 años. Maderas Ciencia y Tecnología 13(2): 211-224. Concepción, Chile.

Ortiz, E. (2011). Crecimiento y Rendimiento Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, Cartago, Costa Rica. 91pp

Panshin, A.; De Zeeuw, C. (1980). Textbook of Wood Technology. 4a ed. McGraw Hill. Nueva York, EEUU. 722 pp.

Plourde, B.; Boukili, V.; Chazdon, R. (2015). Radial changes in wood specific gravity of tropical trees: inter- and intraspecific variation during secondary succession. Functional Ecology 2015, 29, 111–120

Tenorio, C.; Moya, R.; Salas, C.; Berrocal, A. (2016). Evaluation of wood properties from six native species of forest plantations in Costa Rican. *Revista Bosque* 37(1) 71-84.

Vozzo, J. A. (2002). *Tropical tree seed manual*. Washington D.C., United States Department of Agriculture Forest Service, pp. 899

Williamson, B.; Wiemann, M. (2010). Measuring wood specific gravity ... correctly. *American Journal of Botany* 97(3): 519–524. 2010.

Wiemann, M.; Williamson, B. (2013). Biomass Determination using Wood Specific Gravity from Increment Cores. General Technical Report FPL–GTR–225, Forest Products Laboratory, USDA, 7 pp

Wiemann, M.; Williamson, B. (2014). Wood Specific Gravity Variation with Height and Its Implications for Biomass Estimation. Research Paper FPL–RP–677, USDA, 9pp

Zobel, B.; Talbert, J. (1988). Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Editorial LIMUSA. México, 543 pp.

Zobel, B.J.; Van Buijtenen, J.P. 1989. Wood variation: Its causes and control. Springer-Verlag, Berlín. Germany. 363 p.

Zobel, B.; Sprague J. (1998). Juvenile Wood in forest trees. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York. Printed in Germany, 300pp.

Zobel, B.; Jett, J. (1995). Genetics of wood production. Springer Series in wood Sciences. Springer- Verlag, Berlin Heidelberg, 337pp

Zumaeta L.; Tomazello Filho, M.; Sergio, C.; del Castillo, D.; Yopez, F.; Yopez, D.; Jim, A.; Bardales, J.; 2014. Anatomía y Densitometría de Rayos X en árboles de *Cedrelinga catenaeformis* Ducke, (FABACEAE), del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera de Loreto. [www.google.com.pe/docplayer.es/52145960-Anatomia-y-densitometria-de-rayos-x-en-arboles-de-cedrelinga](http://www.google.com.pe/docplayer.es/52145960-Anatomia-y-densitometria-de-rayos-x-en-arboles-de-cedrelinga)



### **5.3. Potencial de mejoramiento genético en volumen comercial y peso específico de *Dipteryx panamensis* Pittier, a 75 meses de edad en Costa Rica. Filomeno, S., Murillo, O.....**

#### **5.3.1. Resumen**

La investigación determina el potencial de mejoramiento genético de la especie *Dipteryx panamensis* Pittier, de un ensayo de procedencia/progenie a los 75 meses de edad en la zona norte de Costa Rica. El análisis del potencial genético se basó en una selección por crecimiento en volumen comercial y el peso específico de la madera. El volumen fue estimado a partir de modelos construidos con base en 56 árboles apeados del mismo ensayo. De los cuales se tomó también muestras de madera con barreno de 5mm y discos de madera para validar la estimación del peso específico (PE). Se ajustó una regresión entre el valor de PE de los discos vs el de la muestra del barreno. En la medición central del ensayo se midieron el DAP, la altura total y comercial, la calidad del fuste y su estado fitosanitario para cada árbol. En todos los árboles en pie mayores de 10 cm DAP se tomó muestras de la madera utilizando el barreno. Para la estimación del peso específico de la muestra se siguió los procedimientos de las normas ASTM 2014. Con la base de datos se obtuvo el ranking genético de las mejores familias e individuos dentro de familias, para cada uno de los caracteres investigados, con la ayuda del software SELEGEN, modelos 1 y 5.

La investigación encontró que existe un potencial importante pero moderado de mejoramiento genético en esta población investigada. Se confirma la mayor variación dentro de familias que entre familias. Se encontró diferencias No significativas entre procedencias para ambos caracteres Peso específico y volumen comercial. Las mejores familias superiores en volumen comercial y peso específico de la madera, fueron CSJ1, CSJ6 y 10. Si se utiliza la semilla de estas tres familias, se obtendría una ganancia genética de 19,03% en volumen comercial y de 0,96 en peso específico. Sin

embargo, mediante propagación clonal se alcanzaría ganancias mayores que 25% en volumen comercial y 1,0% en peso específico.

Por el contrario, si se seleccionan los 10 mejores individuos por volumen comercial se alcanzan ganancias genéticas de hasta 26,08%, pero una pérdida de -0,14% en peso específico de la madera. Del mismo modo si se seleccionan los mejores individuos por peso específico se obtienen ganancias genéticas de 3,57%, y de 2,85% en volumen comercial. Se encontró correlaciones genéticas negativas entre peso específico y volumen comercial lo que configura un efecto de compensación entre ambos caracteres (trade off).

**Palabras clave:** *panamensis*, almendro, ensayo de progenie, ganancia genética en volumen comercial y peso específico, Costa Rica

## **Abstract**

Research aims to determine the potential for genetic improvement on *Dipteryx panamensis* Pittier, at 75 months provenance and progeny trial in Costa Rica. Using the genetic selection by families and individuals in growth and wood specific gravity, trial measurement was conducted between August and September 2017 on all the trees, 474. The merchantable volume and WSG were estimated from models fitted on the basis of a sample 56 felled trees. The volume, by using a merchantable volume table and the WSG by non destructive wood samples extracted on standing trees of the total trial. WSG determination, from different wood samples, was done following the ASTM 2014 rules. Selection of the best families and the best 10 individuals was conducted by using SELEGEN software models 1 and 5.

Research found that there is significant genetic potential in the trial. It confirms the important variation within families than among families. Non significant differences at 95% level were found between provenances for both characters merchantable volume and WSG. Superior families by merchantable volume and WSG are CSJ1, CSJ6, and

10. By using seed propagation of those families, the genetic gains could reach 19,03% in merchantable volume and 0,96% for WSG. Whereas if you select the best individuals by only merchantable volume genetic gains reach up to 26,08%, but -0,14% in WSG. Similarly, if the best individuals are selected by WSG results in genetic gains of 3,57% in merchantable volume and 2,85% in WSG. Non significant and negative genetic correlations between WSG and merchantable volume were found. There is evident a trade effect between merchantable volume and WSG.

**Key words:** *Dipteryx panamensis*, almendro, breeding, genetic selection by WSG and merchantable volume, Costa Rica

### 5.3.2. Introducción

El almendro amarillo (*Dipteryx panamensis*, Pittier), es una especie forestal nativa, de la familia *Fabaceae*, subfamilia *Papilionaceae*, con una distribución natural desde los bosques de tierras bajas de Nicaragua hasta Colombia (Romo 2005). En Costa Rica es abundante en el caribe y en toda la región Huetar Norte del país (Castañeda *ET AL.* 2000). Una vez que alcanza la madurez, es un árbol prominente que forma parte del dosel superior y puede llegar a medir 60 m de altura y un diámetro de hasta 2 m. Esta especie presenta un fuste cilíndrico y amplias raíces basales, sin embargo no presenta gambas. Tiene ramas ascendentes que forman una copa semiesférica y presenta una floración muy atractiva de color rosado-violeta (Gamboa 2008; Fournier 2003).

La especie posee un alto valor comercial debido a la dureza de su madera y peso específico que oscila entre 0,83 – 1,09 g/cm<sup>3</sup> (Vozzo, 2002; Carpio Malawasi, 2003). Su secado al aire es rápido, pero con tendencia a agrietarse. Presenta una alta resistencia natural al ataque de agentes biológicos (hongos y bacterias) y un alto potencial para plantaciones de secuestro de carbono; sin embargo, su alto contenido

de tálides y taninos dificultan su preservación (Flores 1992; Fournier 2003; Losi *et al.* 2003). La importancia de la especie en Centroamérica y en la región radica en su alta demanda en el comercio internacional para pisos (ITTO 2016, Ravenshorst *et al.* 2013). En Costa Rica se le ha declarado en veda por su relación alimenticia con aves en vía de extinción, que motivó una declaratoria de la Sala Constitucional (Sentencia 2008-13426) que prohíbe el aprovechamiento de la especie en todo el territorio nacional (Camacho 2015).

El peso específico de esta especie en plantaciones ha sido recientemente estudiada por Tenorio *et al.* (2015). El autor sostiene que de las 6 especies estudiadas (*Cordia alliodora*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Hyeronima alchorneoides*, *Samanea saman*, *Vochyseae ferruginea*, *Dipteryx panamensis*) esta última tiene los más altos valores en peso específico como en resistencia mecánica. El peso específico encontrado para esta especie es de 0,63 gr/cm<sup>3</sup>. Y que los resultados obtenidos sugieren que estas especies ya pueden ser utilizadas en comercialización de madera aserrada también como en productos terminados de madera.

De acuerdo con Zobel y Talbert (1988), el peso específico afecta significativamente el rendimiento y la calidad de los productos de la madera y está bajo intenso control genético, por lo que responde bien a un programa de selección. El grosor de la pared celular afecta el peso específico de la madera, característica que muestra una heredabilidad razonablemente notable, lo cual permite el desarrollo de árboles con madera de peso específico alto o bajo. Sin embargo, señala el mismo autor que la presencia de madera juvenil afecta significativamente el peso específico. Lo que ocasiona una gran variación en sentido radial, esta variación típica se presenta a todo lo largo del fuste. Y el porcentaje de madera juvenil es mayor en la parte alta del fuste a causa de que menos madera madura es producida allí, quedando casi constante la producción de madera juvenil. Lo que resulta en grandes diferencias entre la madera de la parte superior del fuste y la madera de la parte inferior (Zobel and Sprague 1998).

Zobel y Jett (1995), sostienen que en los trópicos, la presencia de nudos, la densidad de la madera y el grano en espiral, son 3 de los factores más importantes que afectan la calidad de la madera en coníferas de rápido crecimiento. Los autores concluyen citando a Wilcox (1977) que muy poco se puede hacer en mejoramiento genético para controlar el mal efecto de los nudos, pero el mejoramiento genético del peso específico puede ser muy efectivo. Los mismos concluyen citando a Nylinder (1965) que no es suficiente la forma común de reportar el crecimiento y tamaño de los árboles por el volumen; es necesario convertir y reportar la información en unidades de peso a partir del volumen.

En los últimos 20 años se ha discutido mucho sobre el crecimiento y la calidad de la madera y se han reportado estudios sobre crecimiento y peso específico de la madera en diferentes partes del mundo y para diferentes especies, coníferas y latifoliadas con resultados diversos. Williamson y Wienann (2014) advierten sobre la variación del peso específico de la madera con respecto a la altura del árbol. Perera *et al.* (2012) encuentran que no hay relación entre la densidad de la madera (anillo de crecimiento) y el ancho de los anillos de crecimiento para 3 especies *Swietenia macrophylla*, *Kaya senegalensis*, y *Pauwlonia fortunei*, de 79,49 y 16 años respectivamente. Del mismo modo en *Gmelina arborea*, Moya y Tomazello (2007) y Moya y Tomazello (2009) no encontraron evidencias de correlación entre crecimiento y densidad básica de la madera. Mientras que Weber y Sotelo Montes (2007) encontraron las densidades más bajas  $387 \pm 33 \text{ kg/m}^3$  en las zonas de mayor crecimiento en volumen, mientras que en las zonas de menor crecimiento la densidad fue de  $413 \pm 40 \text{ kg/m}^3$ , en un ensayo de procedencia y progenie de *Guazuma crinita*. Por su parte Pliura *et al.* (2007) trabajando en clones de híbridos de *Populus deltoides* encontraron que la correlación genética entre la densidad básica de la madera y la altura fue más débil que la existente con el diámetro DAP, por lo que recomienda usar el peso seco de la fibra como indicador de selección. En *Pinus taeda* Gwhace *et al.* (2001) encontraron que la heredabilidad varía entre 0,18-0,43 para juveniles mientras que para árboles maduros fue de 0,48-0,69. Para *Eucalyptus nitens* McConnochie y Borralho (1998) encontraron una heredabilidad

de 0,59 para la densidad básica de la madera medida con Pylodin. Para *Prosopis africana* Sotelo Montes y Weber (2009) reportaron una heredabilidad de  $0,34 \pm 0,15$ , para la densidad básica de la madera. Para clones de *Eucalyptus urophylla* de 3 años se reportó una heredabilidad de  $0,69 \pm 0,05$ , mientras que para volumen fue de  $0,52 \pm 0,05$  (Sánchez *et al.* 2005). Sin embargo, no se encontró correlación genética significativa entre ambas variables. Stanger *et al.* (2002) investigando *Pinus patula*, de 13 proveniencias encontraron una heredabilidad de  $0.44 \pm 0.001$  en la densidad básica de la madera.

Posterior a los logros de Aracruz Celulosa S.A. con *Eucalyptus urophylla* y *E. grandis*, en Brasil, que reportaron ganancias de 112% en crecimiento ( $m^3/ha/año$ ), 25% en densidad básica de la madera, contenido de pulpa 23%, productividad forestal ( $ton\ pulpa/ha/año$ ) de 135% (Ladrach W. 2010), se ha investigado la posible ganancia genética en diversos caracteres y para varias especies en Centroamérica y Colombia. En particular, Pawlosky y Murillo (2013), Espitia *et al.* (2010), para *Acacia mangium*; Mesén (2001), Cornelius y Hernández (1994), Espitia *et al.* (2016) para *Gmelina arborea*; Rojas y Arias (2004) para *Pinus caribaea, hondurensis*; Vallejos *et al.* (2010), Espitia *et al.* (2011) para *Tectona grandis*; entre otros. En particular para *D. panamensis* se ha encontrado ganancias genéticas que alcanzan casi un 50% en volumen comercial a temprana edad (León *et al.* 2017). Sin embargo, la investigación simultanea de crecimiento y peso específico de la madera no ha sido abordada aún en esta especie.

La presente investigación tiene el propósito de determinar y cuantificar el potencial de mejoramiento genético en peso específico de la madera y crecimiento de la especie *D. panamensis* Pittier, en un ensayo de procedencia y progenie de 75 meses de edad, en San Carlos, Costa Rica.

### 5.3.3. Materiales y Métodos

### 5.3.3.1. Materiales

Se evaluaron 475 árboles a los 75 meses de edad en un ensayo de procedencia/progenie de *D. panamensis* Pittier, en San Carlos, zona norte de Costa Rica. El ensayo fue establecido con el diseño experimental de Bloques Completos al Azar, con 6 bloques. Se evaluaron tres procedencias de origen local (Cutris de San Carlos, Pocosol de San Carlos y Puerto Viejo de Sarapiquí. En cada procedencia se colectó semilla de 9 a 10 árboles madre (familias de polinización abierta), separados espacialmente por al menos 500 m de distancia. Las plantas fueron reproducidas separadas por árbol, en el invernadero experimental de la cooperativa de mejoramiento genético (GENFORES), en el campus del Instituto Tecnológico de Costa Rica en Santa Clara de San Carlos, zona norte del país (10°21'N y 84°30'W). El sitio corresponde a la zona de vida Bosque Muy Húmedo Tropical del sistema de zonas de vida de Holdridge, donde la precipitación oscila entre los 3500 y 3800 mm/año sin una estación seca definida. La temperatura promedio oscila entre los 25 y 28 °C. Los suelos son del orden Ultisoles, pesados, arcillosos, profundos y muy compactados.

En el diseño experimental, las familias fueron aleatoriamente asignadas en cada bloque, sin importar su procedencia. En cada bloque, cada familia estuvo representada por 3 parejas de progenies desconectadas y aleatoriamente distribuidas, para un total de 36 árboles por progenie (Figura 1). Además, el ensayo fue completado con 2 hileras de borde con plantas de la misma especie de semilla local. Los árboles fueron plantados a una distancia de 3 x 3m sin preparación del sitio. El ensayo tuvo un primer raleo en el año 3 (a los 36 meses), con una intensidad de un 50% de los individuos, donde se eliminó el árbol de peor desempeño dentro de cada pareja.

A cada árbol en el ensayo se le evaluó el crecimiento en el DAP (cm), altura comercial y altura total en m (con ayuda de un barra telescópica), calidad para aserrío de las primeras 4 trozas de 2,5m de longitud según la metodología desarrollada por Murillo y Badilla (2004), peso específico de la madera y diámetro del duramen a partir de una muestra al DAP obtenida con un barrenos Pressler de 5 mm de diámetro. La forma del

fuste fue calificada en tres categorías (recto, levemente torcido, y severamente torcido). Finalmente, se anotó el estado fitosanitario de cada árbol de manera binomial (árbol sano y árbol con síntomas leves y evidentes de algún problema fitosanitario como presencia de termita o daños en el follaje). A 75 meses de edad el ensayo cuenta con 475 árboles en pie, 473 de ellos con fuste completo.

### **5.3.3.2. Métodos**

Con base en una muestra de 56 árboles de la misma especie y edad, ubicados adyacentes del ensayo se formularon 2 modelos, 1 para estimar el volumen comercial y el otro para estimar el peso específico. Los árboles fueron medidos, en diámetro, altura total, comercial, número de trozas, y fueron extraídos muestras de madera con un barreno Pressler de 5 mm a la altura del DAP y luego derribados. Los datos fueron procesados en laboratorio y formuladas las BD respectivas. Para el volumen comercial fueron seguidos los procedimientos sugeridos por Caillez F, 1980 y por Ortiz E, 2011. Se analizaron 6 modelos para volumen, mientras que para el PE, se analizaron 7 modelos. Para el PE se siguieron los procedimientos sugeridos por Moya y Tomazello Jr (2009). Los modelos seleccionados fueron luego validados de manera independiente con árboles que incluyeron árboles del ensayo. Se utilizó el estadístico sesgo (%) como indicador de mejor ajuste y se complementó con los indicadores de Durbin y Watson y Z de Wilcoxon.

Validados los modelos, se procedió a la medición central del ensayo, previa identificación con placas numeradas y previa señalización de la altura del pecho DAP, en cada uno de los árboles. Los modelos derivados de volumen comercial y de peso específico obtenidos sirvieron para determinar el volumen comercial sin corteza de los 475 árboles del ensayo y para determinar el peso específico de cada uno de ellos a partir del tarugo extraído a la altura del pecho.



Seguidamente, el conjunto de la base de datos fue organizada para ser procesada por el software SELEGEN (versión 2015, Resende, EMBRAPA, Brasil), para lo cual se seleccionaron 379 árboles con información completa. Los modelos utilizados fueron, 5 y 1 cuya expresión matemática se muestra a continuación:

Modelo 5

$$Y = \mu + X_r + Z_a + W_p + Q_s + T_i + e$$

Este modelo sirvió para corroborar las diferencias entre procedencias para los caracteres volumen comercial y peso específico.

Modelo 1, para analizar las familias y sus progenies, dentro de procedencia

$$Y = \mu + X_r + Z_a + W_p + T_i + e$$

Donde “Y” es el vector de datos, “r” es el vector de los efectos de la repetición sumados a la media general, “a” es el vector de los efectos genéticos aditivos individuales, “p” es el vector de los efectos de la parcela (conjunto de progenies de cada familia en cada bloque), “s” es el vector de los efectos de procedencia, “i” es el vector de los efectos de la interacción genotipo y ambiente; “e” es el vector de errores residuales. Las letras mayúsculas representan las matrices de incidencia para los efectos referidos (Resende 2006).

La ganancia genética GG fue estimada mediante las fórmulas:

$GG = S * h_{fam}^2$ , para la ganancia entre familias, mientras que para la ganancia entre individuos dentro de familias, la fórmula fue  $GG = S * h_i^2$

$$GG = (S_{fam} * h_{fam}^2) + (S_{withinFam} * h_{ad}^2)$$

S = es el diferencial de selección

Se ensayaron los métodos de selección entre familias y entre individuos dentro de familias. En esta última se analizó la selección por valores independientes de caracteres. Para la selección se tuvo en cuenta que el mejoramiento intenta capturar

en cada progenie lo mejor de sus progenitores, para continuar aumentando el desempeño. Se seleccionaron las mejores familias por volumen comercial, las mejores familias por peso específico y, seleccionaron las mejores familias superiores en ambos caracteres.

El potencial de mejoramiento genético fue valorado a partir del rango de ganancia genética posible, determinado por la selección de mejores familias e individuos. Se determinó también la edad óptima de selección para volumen comercial, al comparar la heredabilidad y la varianza genética aditiva del DAP, a las edades, 33, 48 y 75 meses de edad.

### 5.3.4. Resultados

#### 5.3.4.1. Varianza genética y heredabilidad en los caracteres estudiados

Los resultados de la corrida con el programa Selegen se presentan en el cuadro 1 para cada uno de los principales caracteres:

Cuadro N° 1. Parámetros genéticos para cada carácter de importancia en *Dipteryx panamensis* en San Carlos, zona norte de Costa Rica

Parámetro	DAP	Altura total	Altura comercial	Volumen total	Volumen comercial	Calidad Fuste	Forma Fuste	Estado fitosanitario	Peso específico	% Duramen
Va	0,7960	0,0624	0,1486	0,0002	0,0002	0,8879	0,1128	0,0008	286,2053	0,3700
Vparc	0,0422	0,1920	0,2093	0,0000	0,0000	0,5679	0,1067	0,0035	39,8929	0,0784
Ve	3,9515	1,9108	1,5813	0,0012	0,0007	108,162	0,5665	0,1974	1077,902	3,5850
Vf	4,7897	2,1652	1,9392	0,0014	0,0009	109,618	0,7860	0,2018	1404,000	4,0333
h2a	0,1662	0,0288	0,0766	0,1593	0,1973	0,0081	0,1435	0,0040	0,2039	0,0917
±	0,1185	0,0493	0,0804	0,1160	0,1291	0,0262	0,1101	0,0183	0,1312	0,0880
c2parc	0,0088	0,0887	0,1079	0,0101	0,0116	0,0052	0,1357	0,0175	0,0284	0,0194
h2mpF	0,5564	0,1382	0,2892	0,5442	0,5975	0,0563	0,4166	0,0270	0,5899	0,3948

Acprog	0,7459	0,3718	0,5378	0,7377	0,7730	0,2372	0,6455	0,1644	0,7681	0,6283
h2ad	0,1313	0,0239	0,0658	0,1257	0,1576	0,0061	0,1299	0,0030	0,1661	0,0718
CVgi%	6,5398	1,8210	5,4095	14,4930	18,8133	1,2096	16,311	2,4688	2,4687	17,739
CVgp%	3,2699	0,9105	2,7048	7,2465	9,4066	0,6048	8,1559	1,2344	1,2343	8,8696
CVe%	7,1513	5,5695	10,3863	16,2448	18,9120	6,0667	23,639	18,144	2,5207	26,901
CVr	0,4572	0,1635	0,2604	0,4461	0,4974	0,0997	0,3450	0,0680	0,4897	0,3297
PEV	0,0883	0,0134	0,0264	0,0000	0,0000	0,2095	0,0165	0,0002	29,3402	0,0560
SEP	0,2971	0,1159	0,1625	0,0051	0,0043	0,4577	0,1283	0,0139	5,4167	0,2366
Media general	13,6427	13,7156	7,1266	0,1045	0,0713	77,8977	2,0590	1,1445	685,2937	3,4290

Va=varianza genética aditiva; Vparc= varianza ambiental entre familias dentro de bloques; Ve= varianza residual o no explicada por el modelo; Vf= varianza fenotípica total; h2a= heredabilidad individual en sentido estricto de los efectos aditivos; h2mF= heredabilidad media de las Familias asumiendo sobrevivencia completa; Ac prog= Exactitud del programa; h2ad= heredabilidad aditiva o dentro de familias; CVgi= coeficiente de variación genética aditiva individual; CVgp=coeficiente de variación genotípica entre familias; CVe= coeficiente de variación experimental; CVr= coeficiente de variación relativa; PEV=varianza del error de predicción de valores genotípicos; SEP= desviación estándar del valor genotípico predicho.

Los caracteres con relativa alta heredabilidad, tanto individual ( $\geq 0,15$ ) como familiar ( $\geq 0,50$ ) resultaron ser el DAP, volumen total, volumen comercial y peso específico. Los valores de exactitud también registraron valores altos, superiores a 0,65 en los mismos caracteres cuantitativos mencionados.

La forma de fuste registró una heredabilidad importante, tanto individual ( $h^2a= 0,1435\pm 0,1101$ ) como para la heredabilidad de familias ( $h^2mF=0,4166$ ). El resto de caracteres, altura total, altura comercial, calidad de fuste, estado fitosanitario y porcentaje de duramen resultan con Baja heredabilidad, tanto a nivel individual como a nivel de familias. La exactitud del programa aplicado (Acprog) resulta en valores menores de 0,70 para los 5 últimos caracteres mencionados.

La varianza genética aditiva registró un valor alto de 0,796 para el DAP, siendo una proporción equivalente de 16,6% de la varianza fenotípica total, Vf; en 0,0002 para el volumen comercial, siendo un equivalente de 19,7% de la Vf; en 286,2053 para el peso específico, siendo un equivalente de 20,3% de la Vf. Finalmente, para la forma

de fuste, la varianza aditiva resulto en 0,1128 siendo un equivalente de 14,3% de la varianza fenotípica total.

La desviación estándar para el valor genético predicho SEP resultó baja para los caracteres más importantes como son el DAP, el volumen comercial, el peso específico y la forma del fuste. El coeficiente de variación genético familiar (CVgp) es uno de los parámetros de mayor relevancia, que nos indica la riqueza genética presente en la población. En el cuadro se puede observar que registró valores bajos para casi todos los caracteres investigados, con excepción del volumen total y del volumen comercial. Se observa que los parámetros de potencial genético son menores para el peso específico de la madera, a pesar de su excelente heredabilidad en el sentido estricto.

#### ***5.3.4.2. Ranking de los mejores genotipos en Volumen comercial y peso específico***

En la figura 1 se aprecia que las 3 primeras familias que sobresalen con mayor volumen comercial son PV3, CSJ1, y CSJ5. Le siguen en valor, las familias, CSJ6, 1, CSJ3, 5, 10, CSJ7, CSJ2. En todos los casos las medias genotípicas superan la media fenotípica de 0,071264 m<sup>3</sup><sub>sc</sub>.

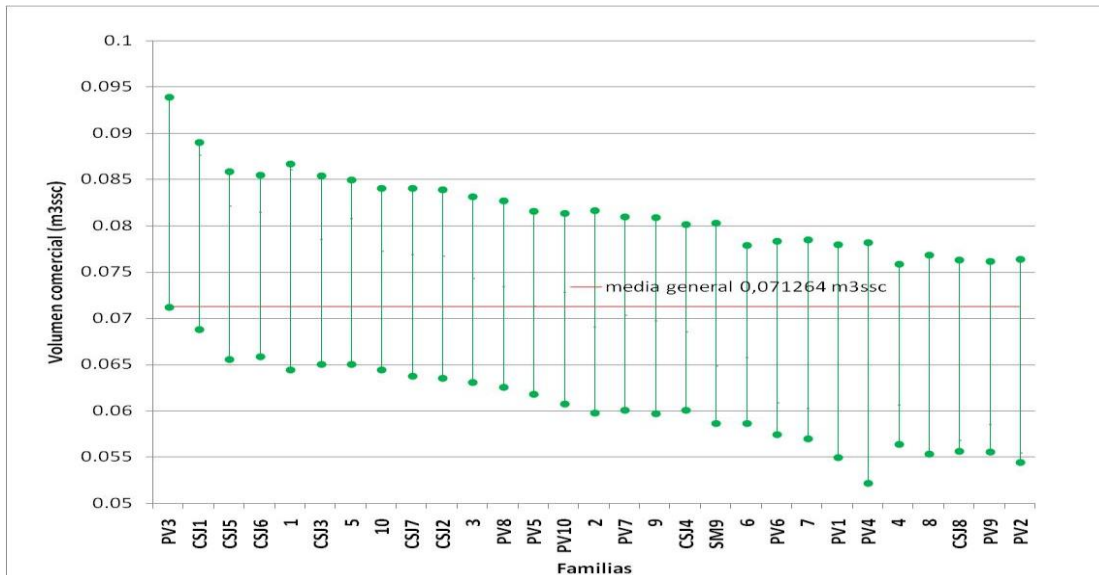
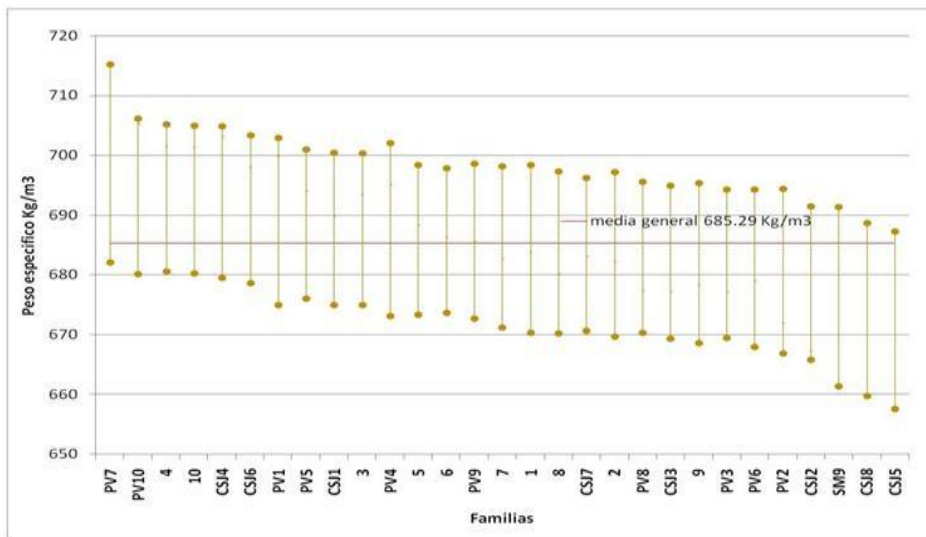


Figura N° 1. Ranking genético de los mejores genotipos en volumen comercial de *D. panamensis* a 75 meses de edad, San Carlos, zona norte de Costa Rica.

La familia PV3 proviene de Puerto Viejo, mientras que las familias CSJ1, CSJ2, CSJ3, CSJ5, CSJ6, CSJ7, provienen de Cope San Juan (zona norte del país). Finalmente las familias 1, 5, 10 provienen de la procedencia Crucitas.

Mientras que el ranking de las mejores familias en peso específico se puede apreciar



en la figura 2.

Figura N° 2. Mejores genotipos en peso específico de *D. panamensis* a 75 meses de edad

De la figura 2 se puede interpretar que las primeras 10 familias que destacan por su peso específico son: PV7, PV10, 4, 10, CSJ4, CSJ6, PV1, PV5, CSJ1, 3. En todos los casos las medias genotípicas superan la media fenotípica de 685,29 Kg/m<sup>3</sup>.

### 5.3.4.3. Potencial de ganancia genética en *D. panamensis*

Del cuadro N° 2 se aprecia que dependiendo del criterio de selección los resultados en ganancias genéticas son importantes en los caracteres de volumen comercial y peso específico. Si el criterio es seleccionar las mejores familias, se tienen 3 alternativas que se describe a continuación.

En el primer caso, al seleccionar las mejores 5 familias por Volcom y luego los 10 mejores individuos se consigue una GG de hasta 25,42% (12,65+12,77) para el volumen comercial y al mismo tiempo una GG en peso específico de -0,51% (-0,31-0,19). El índice de diversidad genética  $N_e$ , para esta selección resulta en 16,47. En el

segundo caso (seleccionando primero las 5 mejores familias en PE) y posteriormente los 10 mejores individuos, se obtiene una ganancia genética GG de hasta 1,83% en volumen comercial (-1,25 +3,08) y una ganancia de hasta 2,69% (1,67+1,02) en PE. Mediante esta selección se consigue un índice de diversidad genética de 16,47.

Cuadro Nº 2. Estimación de ganancia genética para el peso específico y volumen comercial en *D.panamensis* de 75 meses de edad

Criterio de selección	Nº individuos	Ganancia genética en Volcom %			Ganancia genética en PE %			Diversidad genética Ne
		Familias	Individuos	Total Volcom	Familias	Individuos	Total PE	
Mejores familias Volcom	71	12,65	12,77	25,42	-0,31	-0,19	-0,51	16,47
Mejores familias PE	74	-1,25	3,08	1,83	1,67	1,02	2,69	16,47
3 Familias superiores	49	8,86	10,17	19,03	0,97	-0,01	0,96	10,1
5 Familias Volcom 48 meses	77	9,92	11,63	21,56	0,06	-0,18	-0,12	16,67
Mejor árbol 10_1	17	5,01	10,12	15,13	1,38	0,41	1,79	3,4
Mejor árbol volcom PV3_1	17	19,03	15,49	34,52	-0,71	-0,50	-1,21	3,4
Mejor árbol PE 3_1	15	2,51	9,45	11,97	0,70	1,84	2,54	3,33
10 Individuos PLUS Volcom	57	13,54	12,54	26,08	0,20	-0,34	-0,4	13,25
10 Individuos PLUS PE	91	1,29	2,28	3,57	1,42	1,42	2,85	9,14
Valores independientes de caracteres	74	11,57	8,21	19,78	0,47	0,50	0,96	17,14

Al seleccionar solo 3 de las familias superiores tanto en Volcom como en PE, se obtiene una ganancia genética de 19,03% (8,86+10,17) en volumen comercial y de 0,96% (0,97-0,01) en peso específico. El índice de diversidad genética alcanza 10.1.

Al seleccionar las 5 familias que resultaron mejores en Volcom a los 48 meses de edad, la ganancia genética a los 75 meses alcanza 21,56% (9,92+11,63) en volumen comercial, pero se alcanza -0,12% como ganancia para PE. Mientras que el índice de diversidad Ne que se lograría es de 16,67.

Finalmente, al aplicar la selección de los mejores individuos (mediante valores independientes de los caracteres), resulta en una ganancia genética de 19,78% (11,57+8,21) para el volumen comercial y hasta 0,96% (0,47+0,50) para el PE. Mediante esta selección se obtiene un índice de diversidad genética de 17,14.

#### 5.3.4.4. Correlaciones genéticas entre los caracteres investigados

Del cuadro 3 se puede apreciar las correlaciones genéticas existentes entre los principales caracteres estudiados.

Cuadro N° 3. Matriz de correlaciones genéticas entre las principales variables investigadas para *D. panamensis* a los 75 meses de edad. San Carlos, zona norte de Costa Rica.

Variables	DAP	Altura total	Altura comercial	Volumen total	Volumen comercial	Calidad Fuste	Forma Fuste	Estado Fitosanitario	Peso Específico	Duramen
DAP	1	0,546	0,6802	0,9738	0,9433	0,1958	-0,199	-0,1049	0,131	0,179
Altura total	0,546	1	0,6566	0,6661	0,5984	0,0713	-0,187	-0,1659	0,012	0,097
Altura comercial	0,680	0,656	1	0,7198	0,8373	0,1692	-0,464	-0,2663	-0,167	0,077
Volumen total	0,973	0,666	0,7198	1	0,9648	0,1839	-0,236	-0,1282	0,077	0,189
Volumen comercial	0,943	0,598	0,8373	0,9648	1	0,1997	-0,315	-0,1638	-0,026	0,158
Calidad Fuste	0,195	0,071	0,1692	0,1839	0,1997	1	-0,554	-0,2954	-0,213	0,019
Forma Fuste	-0,198	-0,187	0,4643	-0,236	-0,3151	0,5537	1	0,2652	0,085	0,086
Estado Fitosanitario	-0,104	-0,165	0,2663	-0,1282	-0,1638	0,2954	0,265	1	0,182	0,282
Peso Específico	0,131	0,012	0,1677	0,077	-0,0265	0,2132	0,085	0,182	1	0,012
Duramen	0,179	0,097	0,0776	0,1892	0,1587	0,0191	-0,086	0,2827	0,012	1



Se observa que la correlación genética entre Volumen comercial y Peso específico resulta ligeramente negativa  $-0,0265$ , mientras que la correlación genética del PE con el DAP resultó en  $0,1318$ . La correlación genética entre el PE y la altura total resulta en  $0,0122$ , al igual que con la altura comercial que resultó negativa  $-0,1677$ .

Las correlaciones genéticas positivas más altas resultaron entre el DAP y el volumen total ( $0,9738$ ); entre el volumen comercial y el volumen total ( $0,9648$ ); entre el volumen comercial y el DAP ( $0,9433$ ).

### **5.3.5. Discusión**

#### ***5.3.5.1. Varianza entre procedencias y entre familias***

Los resultados del cuadro 1 y el cuadro 4, revelan la poca o escasa diferencia (No significativa al 95% de probabilidad) de las procedencias entre sí, para los factores volumen comercial y peso específico. Por el contrario los mismos resultados confirman las importantes diferencias entre familias genéticas, para los 2 caracteres estudiados. Resultados similares, diferencias significativas entre familias y diferencias no significativas entre procedencias, para volumen comercial fueron encontrados por León 2014 y para el DAP y altura comercial por Martínez *ET AL.* 2015, para el mismo ensayo.

Los resultados de correr Selegen en el modelo 5 se presentan en el cuadro N° 4:

Cuadro N° 4. Aporte de procedencias a la varianza genética de Volcom y Peso específico.

Volumen comercial	Peso específico
Va = 0,000156	Va = 285,894298
V <sub>parc</sub> = 0,000010	V <sub>parc</sub> = 39,903495
V <sub>proc</sub> = 0,000011	V <sub>proc</sub> = 0,191938
Ve = 0,000737	Ve = 1078,126760
Vf = 0,000915	Vf = 1404,116492
h <sub>2a</sub> = 0,170993 +- 0,1202	h <sub>2a</sub> = 0,203612 +- 0,1311
c <sub>2parc</sub> = 0,011396	c <sub>2parc</sub> = 0,028419
c <sub>2proc</sub> = 0,011621	c <sub>2proc</sub> = 0,000137
CV <sub>gi</sub> % = 17,505556	CV <sub>gi</sub> % = 2,467332
CV <sub>gp</sub> % = 8,752778	CV <sub>gp</sub> % = 1,233666
CV <sub>e</sub> % = 18,848885	CV <sub>e</sub> % = 2,520772
Média general = 0,071448	Média general = 685,291295

Como se puede constatar del cuadro, No hay un gran aporte de procedencias a la nueva media, tanto en volumen comercial como en peso específico. Esto se presenta de manera evidente en el análisis de la varianza genética y el aporte de procedencias (V<sub>proc</sub>) al mismo. Para el primer carácter el aporte de procedencias a la varianza genética total Vf fue de 1,09%, mientras que para el segundo carácter fue de de 2,8%.

La escasa diferencia entre las procedencias o la similitud entre ellas podría estar en estrecha relación con el amplio espectro geográfico para el flujo génico (mediante distribución de polen y semilla) encontrado por Hanson *et al.* 2007, para *D. panamensis* en Costa Rica. El autor sugiere que la dispersión de las semillas por aves y mamíferos amplifica de manera importante el ámbito geográfico del flujo génico de esta especie. Del mismo modo Meza 2010, analizando el ADN de 2 poblaciones de *D. panamensis* en Costa Rica, (incluida 2 muestras de poblaciones coincidentes con 2 procedencias del ensayo) encontró diferencias No significativas para el AMOVA al 95% de probabilidad. Esto sugiere que las 3 procedencias del ensayo incluyen poblaciones

similares compuestas de medios hermanos, puesto que las distancias geográficas entre los puntos de recolección de semillas de las procedencias fueron de 50-75 km.

Los mismos resultados sugieren que la riqueza del ensayo se encuentra en la alta variación (significativa) encontrada entre familias genéticas, y dentro de familias genéticas, para los 2 caracteres en estudio, lo que coincide con los resultados encontrados por Leon et al 2015.

#### **5.3.5.2. *Compensación entre Peso Específico y Volumen comercial***

A juzgar por las correlaciones genéticas obtenidas e ilustradas en el cuadro N° 3, No existe una correlación positiva entre el peso específico y el volumen comercial, en esta especie a 75 meses de edad. La correlación (-0,0265) resulta negativa pero bastante débil. Es decir que, si se selecciona la familia o el individuo que más crece en volumen comercial no es claro si se podría dejar de incluir a la familia o al individuo con mayor peso específico. Esta baja correlación genética entre caracteres de crecimiento y los de propiedades de la madera, o calidad del fuste, determinan su total independencia de segregación y la ausencia de asociación genética entre estos grupos.

Este efecto de independencia entre el crecimiento en volumen comercial y el peso específico de la madera, ya ha sido mencionado ampliamente en la literatura (Zobel y Talbert 1988, Zobel y Sprague 1998, Zobel y Van Buijtenen 1989, Zobel and Jett 1995 para coníferas y Weber et al 2007 para *Guazuma crinita*). Sin embargo, al seleccionar los mejores individuos por volumen comercial, tanto con las mejores familias a los 48 meses como a los 75 meses, se registra una pérdida leve en el peso específico de la madera. Probablemente esté explicado por una correlación genética, muy leve pero negativa entre ambos caracteres (cuadro 3).

Por lo que, habrá que estudiar simultáneamente ambos caracteres, tal como sugieren, Zobel y Talbert 1988, Gwace *et al.* 2001, Espitia *et al.* 2016, la muy baja correlación

que existe entre densidad básica y crecimiento, entre algunas especies, puede inducir a errores si la selección se realiza basada solo en uno de las caracteres. Se requiere tenerlas en cuenta a la hora de la selección. O como sugieren (Zobel y Talbert 1984, Zobel y Sprague 1998, Zobel y van Buijtenen 1989, Zobel y Jett 1995) que el crecimiento y el peso específico de la madera son características genéticamente independientes o al menos con muy poca o baja correlación, principalmente en coníferas, Las intenciones de estimar el peso específico únicamente con base en el crecimiento (anillos de crecimiento) pueden conducir a conclusiones erróneas (Zobel & van Buijtenen 1989, Zobel and Jett 1995)

#### **5.3.5.3. Ambiente vs herencia en crecimiento y en PE**

A juzgar por los valores de heredabilidad de progenie ( $h^2_{mp}$ ) en los caracteres Volumen comercial y Peso específico; se trata de caracteres altamente heredables desde ya en plantaciones juveniles. La magnitud de los valores de heredabilidad 0,59 y 0,58 respectivamente, indica que la especie puede ser mejorada en ambos caracteres mediante una adecuada selección. El control genético del volumen comercial ya fue demostrado ampliamente para otras especies como *Tectona grandis* y *Gmelina arborea* en Córdoba Colombia (Espitia ET AL. 2011, Espitia ET AL. 2016). No obstante para el carácter de peso específico o densidad de la madera los estudios sobre el control genético de este carácter son más escasos. Sin embargo, Gion ET AL. 2011; sugiere que para *Eucalyptus (urophylla y grandis)*, el control genético sobre la densidad de la madera es evidente y completamente estable durante el desarrollo ontogénico (14-59 meses). Este control genético (sostiene el autor) es no obstante mayor que para las propiedades químicas de la madera. Por su parte, Sotelo Montes (2007) investigando la especie *Calycophyllum spruceanum* de 39 meses de edad en la Amazonia peruana encontró también una alta heredabilidad (0,53-0,65) para el carácter de densidad básica. Para *Prosopis africana* de 13 años se encontró una

heredabilidad en la densidad básica de la madera de  $0,34 \pm 0,15$ , basado en 256 familias (Weber y Sotelo Montes 2009)

Sin embargo, la influencia del ambiente y de las condiciones de manejo, en el volumen comercial y el peso específico, no pueden ser soslayadas o menospreciadas, Moya y Arce (2003), Moya y Tomazello Jr, 2009, han demostrado en particular para *Tectona grandis* y *Gmelina arborea*, en Costa Rica la relación entre la densidad por hectárea y las condiciones climáticas, con las propiedades físicas de la madera y en particular con el peso específico. Del mismo modo que Miranda y Pereira 2015, han demostrado la importante variación que hay en el PE (densidad básica de la madera) para *Eucalyptus globulus* en su primera y segunda rotación a los 18 años de edad. El más alto PE fue obtenido para el distanciamiento de 4x5 en la primera rotación y de 4x4 en la segunda rotación.

A esto se adiciona que, la heredabilidad del mismo carácter no solamente varía con la edad. Así, León *et al.* 2015, evaluando 2 ensayos de *Dipteryx panamensis*, incluido el ensayo objeto de este estudio, a 48 meses de edad encontró que la heredabilidad individual para volumen comercial alcanzo  $0,22 \pm 0,008$ , mientras que la heredabilidad de progenie para el mismo carácter alcanzo 0,74. Siendo que en el mismo ensayo a 75 meses de edad y para el mismo carácter se estimó una heredabilidad individual de  $0,19 \pm 0,1291$  y una heredabilidad de progenie de 0,59. Gwace *et al* 2001, 2002, ya hubo señalado esta variación en la heredabilidad en volumen comercial y peso específico para *Pinus taeda*. Esta variación en la heredabilidad para el DAP, el volumen comercial y el peso específico encontrados a diferente edad se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 5. Estadísticos para estimar el potencial de mejoramiento genético en volumen comercial y PE en *D.panamensis* a 75 meses de edad

Carácter	Edad en meses	Media fenotípica	h <sup>2</sup> fam	h <sup>2</sup> a	Varianza aditiva	Exactitud
Volumen comercial	48	0,0268	0,74	0,22±0,08	0,0001	0,86
	75	0,0713	0,59	0,19±0,12	0,0002	0,77
Peso específico	75	685,29	0,58	0,20±0,13	286,20	0,76
DAP	33	6,69	0,59	0,44±0,12	1,25	0,76
	48	9,52	0,68	0,34±0,15	1,31	0,82
	75	13,64	0,55	0,16± 0,11	0,7960	0,74

La heredabilidad de la progenie a los 48 meses, para el carácter de volumen comercial en *D. panamensis*, fue valorada en el mismo ensayo en 0,74 y la varianza aditiva en 0,0001 y la heredabilidad individual en  $0,22 \pm 0,08$  (León *et al* 2015); mientras que a los 75 meses la heredabilidad de la progenie fue valorada en 0,59 y la varianza aditiva en 0,0002 y la heredabilidad individual en  $0,19 \pm 0,12$  (véase el cuadro 4). Esto sugiere que la heredabilidad del carácter volumen comercial en *D. panamensis* está disminuyendo. Véase en la figura identificado en barras azules.

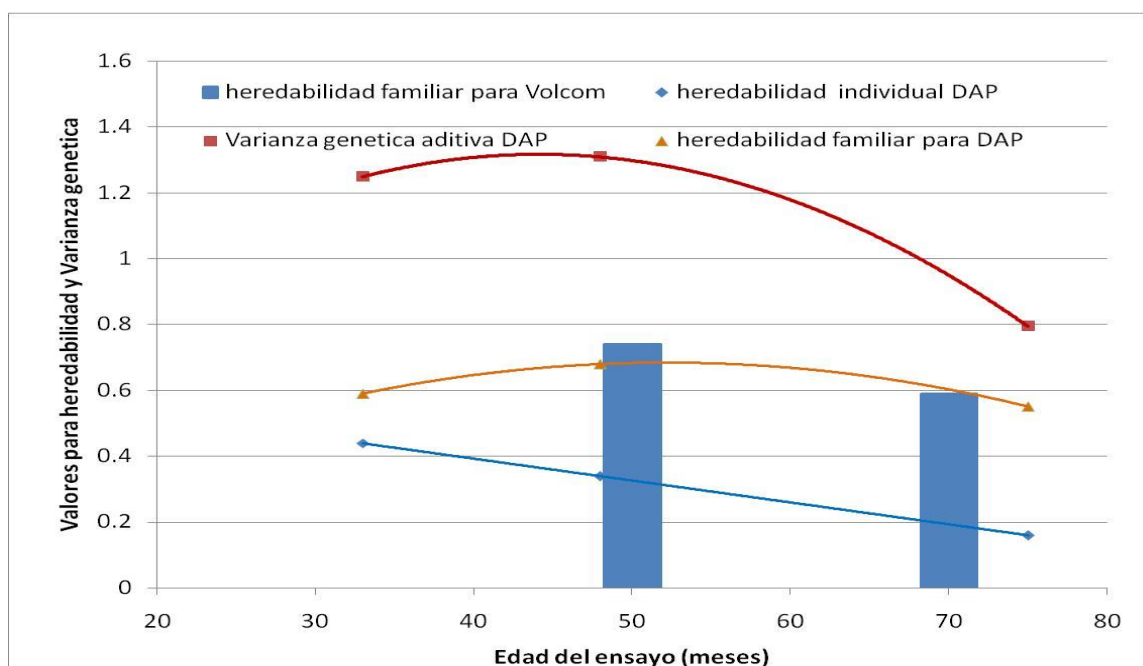


Figura Nº 3. Heredabilidad familiar, heredabilidad individual para el carácter DAP y heredabilidad para Volcom en *D. panamensis* de 75 meses de edad.

De la figura se puede apreciar que la heredabilidad individual para el DAP, disminuyó desde los 33 meses en que se realizó el primer control con una pendiente constante. Mientras que la varianza aditiva y la heredabilidad de la familia siguieron un mismo patrón, de incremento hasta los 48 meses, y disminuyendo luego hasta los 75 meses. Esto se puede interpretar en el sentido que mientras la heredabilidad individual alcanzó su máximo a los 33 meses, la varianza aditiva o de mejora genética para el DAP resulta en su punto máximo, a los 48 meses de edad, coincidiendo en su tendencia con la heredabilidad de la familia. Mientras que la heredabilidad de familia para el volumen comercial coincide con la heredabilidad de familia del DAP en los datos disponibles 48 y 75 meses. Esto sugiere que la selección óptima para el volumen comercial podría estar alrededor de los 48 meses de edad dado que la correlación genética entre el DAP y el volumen comercial es alta, 0,94.

Mientras que, para el carácter PE con una heredabilidad estimada, de 0,5899 para la familia y  $0,2039 \pm 0,1312$  para los individuos y con una varianza aditiva relativamente alta 286,20; no fue evaluado sin embargo a los 48 meses. No obstante, por el valor de

heredabilidad obtenido, relativamente similar en comparación al volumen comercial y por el factor ambiental en interacción importante encontrado ( $V_{\text{parc}} = 39,89$ ), relativamente alto, se asume que la heredabilidad de este carácter podría estar aun en incremento, para alcanzar su óptimo (valor máximo) en los siguientes meses. Y es que la heredabilidad podría ser mayor para el PE, que para el volumen comercial. Así, para *Eucalyptus urophylla* de 3 años se encontró heredabilidad en el PE de  $0,69 \pm 0,05$ , mientras que para volumen fue de  $0,52 \pm 0,05$ , (Sánchez ET AL. 2005). Del mismo modo Sotelo Montes 2007 investigando la especie *Calycophyllum spruceanum* a 39 meses de edad encontró una heredabilidad de  $0,53 \pm 0,12$  para la densidad básica de la especie,  $0,25 \pm 0,05$  para la altura y  $0,20 \pm 0,04$  para el DAP. No obstante, Gwace ET AL. 2001, 2002, investigando *Pinus taeda* para diferentes edades encontró que la heredabilidad individual para la densidad básica fue 0,31 a los 5 años; 0,20 a los 10 años; y 0,28 a los 13 años. El autor sugiere que la edad óptima para seleccionar *Pinus taeda* por PE es a los 5 años.

Sin embargo, la heredabilidad también varía según la familia genética de que se trate. Esto es lo que muestra los resultados del análisis con el programa Selegen realizado por cada variable. Véase la figura siguiente. De esta figura se aprecia que la mayor heredabilidad para volumen comercial se obtuvo para la familia PV2, mientras que para el carácter de peso específico se obtuvo para la familia SM9. Del mismo modo que la más baja heredabilidad en volumen comercial se obtuvo para las familias PV3 y 7; mientras que en peso específico fueron para PV3 y CSJ8.



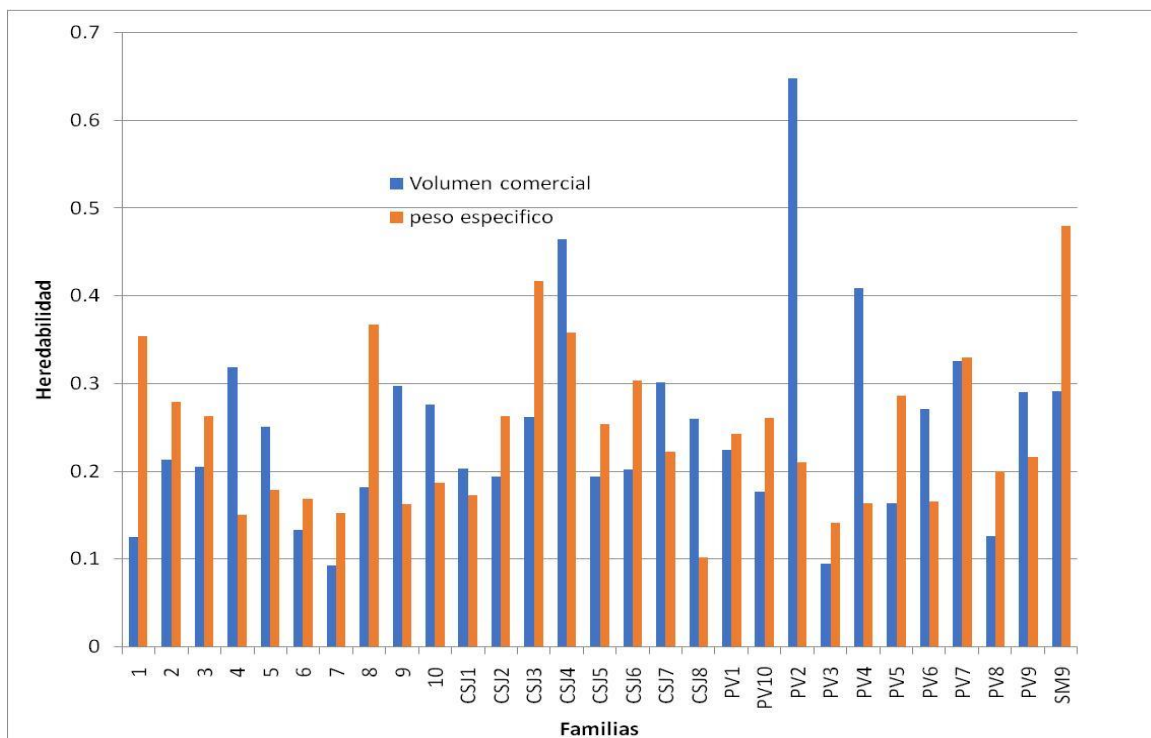


Figura N° 4. Valores de heredabilidad en Volumen comercial y peso específico, para *Dipteryx panamensis* de 75 meses de edad.

En consecuencia, la relativa moderada heredabilidad encontrada para los caracteres, peso específico y volumen comercial, en *D. panamensis* Pittier, a la edad de 75 meses. Su alta variabilidad entre familias constituyen una ventaja para su mejoramiento genético.

#### 5.3.5.4. Familias y árboles superiores genéticamente

En total 7 de las 10 primeras familias en volumen comercial a los 75 meses de edad ya se encontraban en ese ranking a los 48 meses de edad. Estas son PV3, CSJ1, CSJ3, CSJ7, CSJ2, 5 y 10. Las 3 mejores familias en volumen comercial a 75 meses de edad resultan PV3, CSJ1 y CSJ5. Las 2 primeras familias PV3, CSJ1, ya se encontraron en el mismo ranking a 48 meses de edad (León et al 2015). Por su parte las 3 mejores familias por PE (PV7, PV10, y 4) a 75 meses de edad no se encuentran

entre las mejores 10 familias por volumen comercial, a 75 meses ni a 48 meses. No obstante, hay familias que tienen un peso específico moderado, superior a la media fenotípica, y al mismo tiempo tienen un volumen comercial superior a la media también fenotípica. Estas familias, superiores en ambos caracteres resultan: CSJ6, 10 y CSJ1. Estas familias, contienen una amplia variación genética tanto en Volumen comercial como en peso específico.

De acuerdo con el cuadro, estas familias, superiores en ambos caracteres resultan: CSJ6, 10 y CSJ1. Estas familias, contienen una amplia variación genética tanto en Volumen comercial como en peso específico y sus valores están por encima de la media general, para ambos caracteres.

Cuadro Nº 6. Ranking de mejores familias en peso específico de la madera y en volumen comercial para *D. panamensis* de 75 meses

Volumen comercial media general 0,0713 m <sup>3</sup> ssc					Peso específico media general 685,29 Kg/m <sup>3</sup>			
Familia	LSIC	LIIC	MedFe notípica		Familia	LSIC	LIIC	MedFen otípica
PV3	0,091	0,071	0,094		PV7	708,497	682,156	715,334
CSJ1	0,089	0,069	0,088		PV10	706,198	680,229	705,165
CSJ5	0,086	0,066	0,082		4	705,297	680,585	701,465
CSJ6	0,086	0,066	0,081		10	705,012	680,305	701,301
1	0,087	0,065	0,086		CSJ4	704,887	679,590	703,025
CSJ3	0,085	0,065	0,079		CSJ6	703,428	678,688	697,956
5	0,085	0,065	0,081		PV1	702,964	675,010	699,755
10	0,084	0,065	0,077		PV5	701,077	676,082	693,926
CSJ7	0,084	0,064	0,077		CSJ1	700,459	675,048	689,771
CSJ2	0,084	0,064	0,077		3	700,372	675,046	693,396

La amplia variación entre las mejores familias se logra apreciar en su valor medio para cada carácter. Mientras que la variación dentro de familias se aprecia en los valores de cada límite superior LSIC e inferior LIIC. Del mismo modo en cuanto al PE se refiere, las tres mejores familias exhiben un patrón similar de alta variación entre e intra familias. Esto permite seleccionar las mejores familias y los mejores individuos dentro de familias.

Del mismo modo, cuando se investiga por el árbol con mejor calificación genética en volumen comercial, peso específico, y mejor calificación fenotípica (forma, calidad de fuste, duramen), a los 75 meses de edad, se que encuentra que es el 10\_1 ubicado en el bloque 1. Este árbol obtiene un volumen comercial de 0,0874 m<sup>3</sup>ssc, muy por encima de la media general; un peso específico de 698,28 Kq/m<sup>3</sup>, y una calidad de fuste alta 86,67% siendo la forma de fuste tipo 1 (bastante cilíndrico y recto) y un porcentaje de duramen que supera 7% del área basal.

#### ***5.3.5.5. Potencial de ganancia genética por familias y por individuos***

De acuerdo con los resultados de la figura N° 5, la selección por familias genéticas permite conseguir ganancias genéticas moderadas entre 1,83% y 34,52% para el volumen comercial. Mientras que para el peso específico esta ganancia resulta entre -0,12% y 3,25%. Con índices de diversidad genética  $N_e$ , entre 3,4 y 17,14.

La selección por mejores familias Volcom a 75 meses de edad, resulta en ganancias genéticas de 25,42% para Volcom y -0,51% para PE; con un índice  $N_e$  de 16,47. Mientras que la selección por mejores familias PE resulta en ganancias genéticas de 1,83% para volumen comercial y 2,69% para peso específico. Por su parte la selección de las 3 familias superiores en ambos caracteres resulta en ganancias genéticas de 19,03% para volumen comercial y 0,93% para peso específico.

Al seleccionar las 5 mejores familias que resultaron para Volcom a los 48 meses de edad y que volvieron a salir mejores a los 75 meses de edad, las ganancias genéticas resultan en: 21,56% para volumen comercial y -0,12% para peso específico. Véase la figura a continuación.

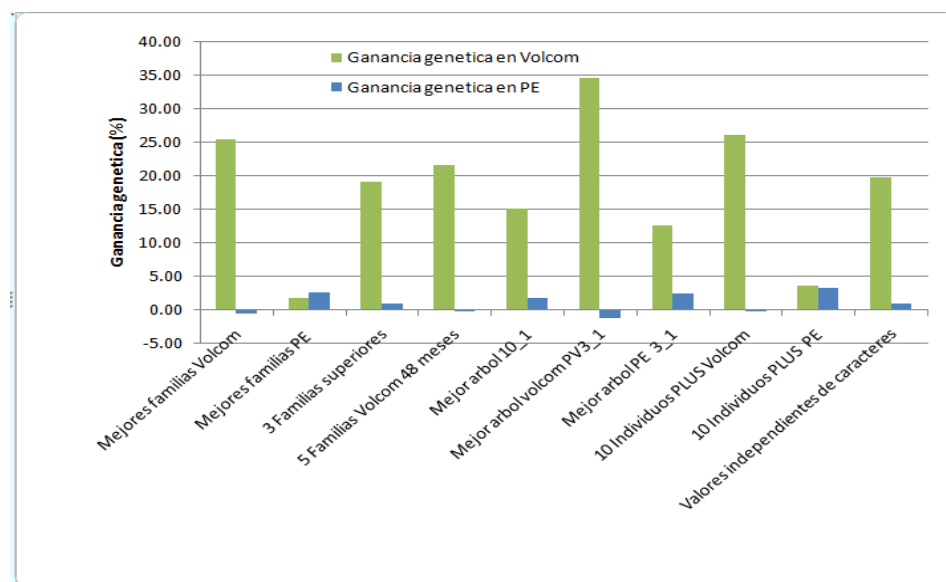


Figura N° 5. Ganancias genéticas obtenidas en Volumen comercial y Peso específico para *Dipteryx panamensis* a los 75 meses, y según el criterio de selección.

Al seleccionar el mejor árbol por volumen comercial PV3\_1 (bloque 1) se logra una ganancia genética de 34,52% en volumen comercial y de -1,21% en peso específico. Pero si se selecciona el mejor árbol por peso específico 3\_1 (bloque 3) se logra una ganancia genética de 12,63% en volumen comercial y de 2,54% en peso específico. Si se selecciona el mejor árbol tanto en volumen comercial como en peso específico 10\_1 (bloque 1) se obtiene una ganancia genética de 15,13% en volumen comercial y 1,79% en peso específico. Vale la pena mencionar aquí que una ganancia de 1% en el peso específico podría significar importantes réditos en el mercado considerando la especie, tal como lo señala Zobel y Talbert 1988, para la producción de pulpa.

Mientras que la selección por individuos, mediante valores independientes de caracteres, tal como se muestra en la siguiente figura, permite obtener ganancias de hasta 19,78% para volumen comercial y hasta 0,96% para peso específico, tal como se muestra en la siguiente figura:

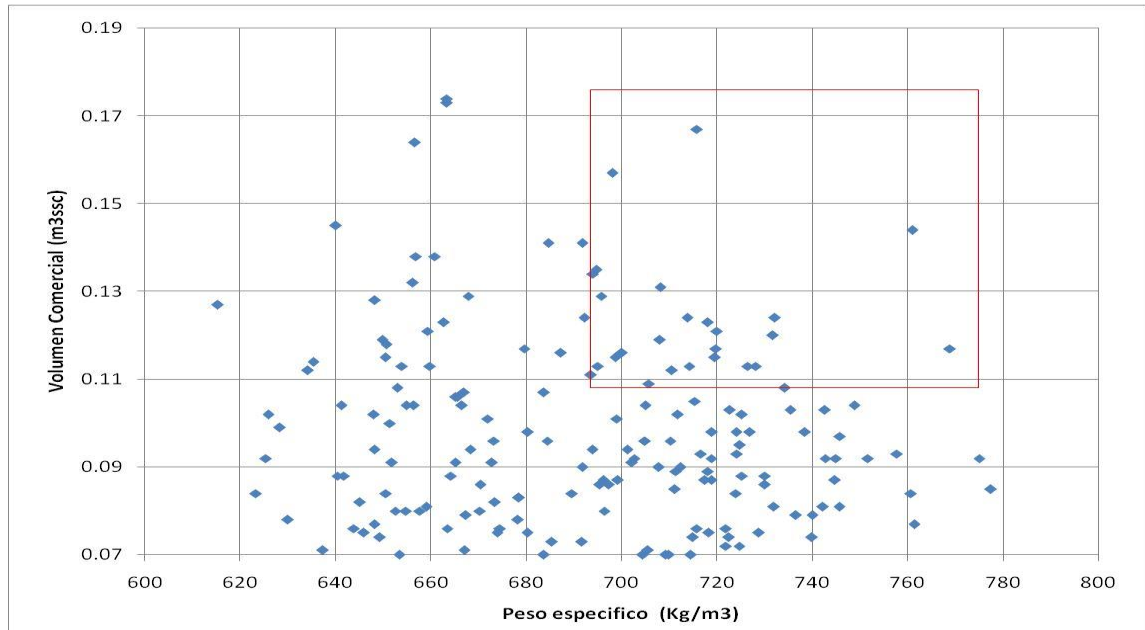


Figura N° 6. Selección genética mediante valores independientes de caracteres para *Dipteryx panamensis* de 75 meses de edad en Costa Rica

A 75 meses de edad el potencial de mejora genética es alto, si se seleccionan los mejores 10 individuos por ambos caracteres. Este alcanza 19,78% en volumen comercial y 0,96% en peso específico. Las ganancias genéticas obtenidas a los 75 meses de edad, en volumen comercial, son más modestas que las ganancias genéticas que se obtuvieron a 48 meses de edad, del orden de 48% (Leon *et al.* 2015). Por lo que la disminución en la heredabilidad en este carácter, de 0,74 a los 48 meses de edad a 0,59 a los 75 meses de edad puede entenderse que la edad óptima de selección está a 48 meses. A mayor heredabilidad de este carácter mayor ganancia genética (Zobel y Talbert 1988, Cornelius 1994, mencionado por Espitia *et al.* 2016).

#### ***5.3.5.6. Mejora genética para *Dipteryx panamensis* a los 75 meses de edad***

Con los resultados de las estimaciones en ganancia genética y conociendo el efecto trade off entre volumen comercial y peso específico en esta especie, es decir que si seleccionamos solo por volumen comercial podríamos estar dejando de lado los árboles con mayor peso específico. Se sugiere entonces que el plan de mejoramiento de la especie pueda considerar lo siguiente:

##### **Huerto semillero**

Convertir el ensayo en huerto semillero con las mejores 5 familias por PE (PV7, PV10, 4, 10, CSJ4) y las 5 mejores familias por Volumen comercial (PV3, CSJ1, CSJ5, CSJ6, 1) para coleccionar semillas y conservar los mejores genotipos de la colección actual, por ambos caracteres. Esto garantizará la propagación con semillas que logran ganancias superiores al 25% en volumen comercial, por un lado y semillas que podrán garantizar ganancias superiores al 2,50% en peso específico. Además se conservarán los 10 árboles superiores seleccionados por valores independientes de caracteres y obtener aún mayores ganancias al transferir la fracción aditiva de cada genotipo seleccionado. La media fenotípica del volumen comercial Volcom pasa de 0,0713 m<sup>3</sup>ssc, hasta alcanzar 0,122 m<sup>3</sup>ssc. Por su parte la media fenotípica sub poblacional para el peso específico de los mejores 10 árboles, pasa de 685,29 Kg/m<sup>3</sup> hasta 711,1 Kg/m<sup>3</sup>. Véase la figura 7.

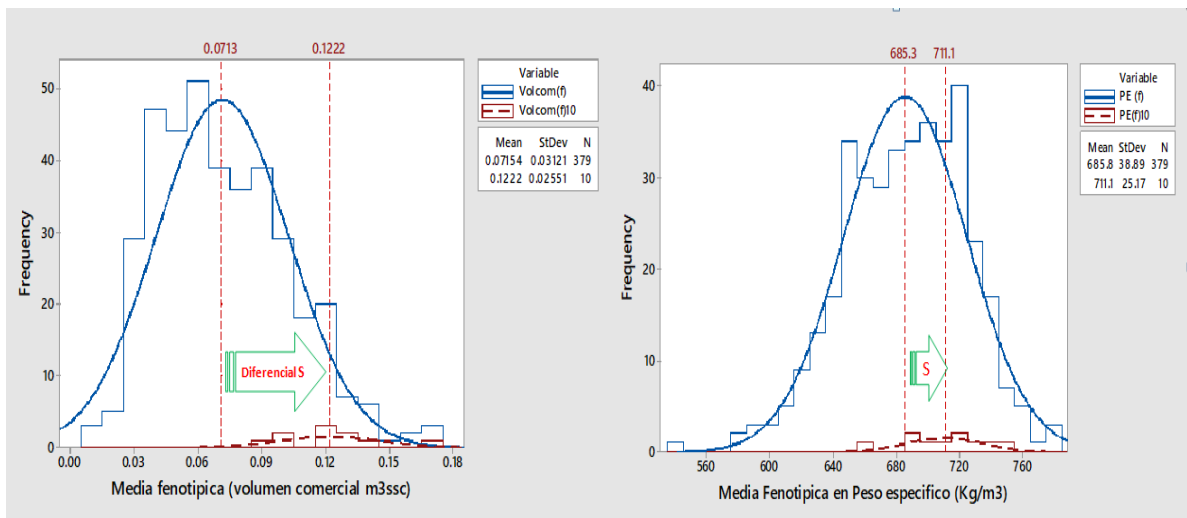


Figura N°7. Selección de los mejores 10 árboles en volumen comercial y peso específico mediante valores independientes de caracteres en *D. panamensis* de 75 meses de edad, Costa Rica.

Sin embargo, estas ganancias podrían ser superiores, al menos en volumen comercial si se transfiere el genotipo completo en cada árbol y no solamente la varianza aditiva del carácter volumen comercial. Estos últimos garantizaran una ganancia posiblemente superior al 25% en volumen comercial y mayor de 1% en peso específico, vía propagación de clones.

### Sub Población élite

Los 10 árboles plus de las familias superiores identificadas, pueden ser utilizados luego como progenitores para siembras comerciales, mediante la utilización de su semilla (aprovechamiento solo de la varianza genética aditiva) o clonándolos directamente (aprovechamiento de toda la varianza genética, aditiva y no aditiva) con el fin de lograr la mayor ganancia genética potencial tal como se sugiere en programas de mejora genética (Espitia *et al.* 2016, Ipinza 1998, Mesén 2001, Murillo & Badilla 2009, Vallejos *et al.* 2010). Es bastante conocida la ventaja de utilizar los mejores individuos (árboles elites) mediante clonación para mejorar la producción y acortar el periodo de rotación

de la plantación, así como y en particular en la instalación y diseño de un nuevo programa de mejoramiento genético (Resende 2012).

Cuadro N° 7. Mejores individuos (TOP 10) por volumen comercial y PE para *D. panamensis* de 75 meses de edad en Costa Rica.

Orden	Bloque	Familia	Árbol	DAP cm	AltTotal m	AltCom m	Volcom m <sup>3</sup> ssc	PE Kg/m <sup>3</sup>	NoTroz as	Calidad Fuste
1	VI	CSJ6	2	20,90	14,00	7,80	0,174	663,41	3,00	81,67
2	III	PV3	1	17,00	15,50	8,40	0,124	732,18	3,00	74,33
3	VI	CSJ1	3	16,80	16,00	9,80	0,141	691,80	3,00	70,67
4	VI	CSJ1	1	16,60	16,50	9,50	0,134	693,92	4,00	90,00
5	VI	1	1	15,50	15,80	10,50	0,129	695,78	4,00	83,33
6	I	10	1	15,90	17,00	9,50	0,123	718,13	4,00	86,67
7	II	PV3	2	13,8	15,5	10	0,097	745,83	4	90
8	V	PV3	3	14,5	13,5	9,1	0,098	738,51	4	86,67
9	III	10	1	16,9	14,5	8	0,117	719,81	3	74,33
10	IV	CSJ1	1	15,4	12,3	7,05	0,085	711,16	2	60
Media				16,33	15,06	8,97	0,12	711,05	3,40	79,77
DS%				1,93	1,46	1,11	0,03	25,17	0,70	9,74

Del cuadro se aprecia que la población elite 10 mejores en Volcom y peso específico, resulta distribuida entre los diferentes bloques (I, II, III, IV, V y VI). Las familias genéticas involucradas resultan PV3, CSJ1, CSJ6, 1, y 10. La sub población elite logra en promedio un volumen comercial de 0,122 m<sup>3</sup>ssc y un peso específico de 711,1 Kg/m<sup>3</sup> por árbol. Se puede también constatar que todos los árboles seleccionados tienen una calidad de fuste arriba de 60%, mientras que el número de trozas se encuentra entre 2 y 4, con una media de 3,40.

### 5.3.6. Conclusiones



5.1. Existe un buen potencial de mejoramiento genético para caracteres de importancia económica, como el volumen comercial y densidad de la madera, en la población de *Dipteryx panamensis* establecida en el ensayo de procedencia/progenie en San Carlos, zona norte de Costa Rica.

5.2. Es posible mejorar simultáneamente la tasa de crecimiento en volumen comercial y el peso específico de la madera de *D. panamensis* Pittier.

5.3. La estrategia de selección que optimiza la ganancia genética en almendro, consiste en elegir las mejores familias y los mejores individuos dentro de estas familias, con restricción en la cantidad de individuos por familia, para evitar reducir severamente la diversidad genética de la población comercial.

5.4. La heredabilidad familiar encontrada para el volumen comercial a los 75 meses es de 0,59, cuyo valor se ha disminuido con relación a la evaluación a los 48 meses de edad, lo que sugiere realizar la selección a una edad más temprana. La heredabilidad familiar para el PE a los 75 meses es de 0,58, que al no disponer de otra evaluación anterior se sugiere realizar la selección a una edad más tardía.

5.5. No hay diferencias significativas entre procedencias para ninguno de los caracteres analizados, lo que sugiere que los tres sitios de colecta representados en el ensayo, constituyen poblaciones que forman parte de una misma meta población de gran magnitud presente en la zona norte del país. Dado que no hay diferencias significativas entre procedencias, el trabajo de mejoramiento puede fusionar todas las familias en una misma población de mejoramiento para efectos de selección y cruzamiento.

5.6. Se registró una correlación genética débil y negativa entre los caracteres volumen comercial y peso específico para *D. panamensis* a los 75 meses de edad.

5.7. El mejor criterio de selección genética considerando simultáneamente las 2 variables en estudio resulta la de selección mediante valores independientes de caracteres. Con este se logra captar la máxima diversidad de la progenie y dentro de

las progenies. El índice de diversidad genética que se logra es alto, 17,14 con la inclusión de 5 familias.

5.8. La sub población elite (TOP 10) resulta con un promedio de 0,122 m<sup>3</sup>ssc y 711 Kg/m<sup>3</sup> por árbol y bien distribuida en el ensayo, e identificada con los siguientes códigos, bloque I: 10\_1; bloque II: PV3\_2 ; bloque III: 10\_1, y PV3\_1; bloque IV: CSJ1\_1; bloque V: PV3\_3; bloque VI: CSJ1\_1, CSJ1\_3, CSJ6\_2, y 1\_1.

### 5.3.7. Bibliografía

Badilla, Y.; Murillo, O.; Obando, G. (2002). Reforestación con especies nativas en la zona norte del país. Seminario Nacional sobre Especies Nativas. Universidad Nacional, INISEFOR. Heredia, Costa Rica.

Butterfield, R.; Espinoza, M. (1995). Screening trial of 14 tropical hardwoods with an emphasis on species native to Costa Rica: fourth year results. *New Forests*, 9: 135-145

Caillez, Francis. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Conénfasis especial en los trópicos (vol. 1. Estimación del volumen) Estudio FAO, Montes 22/1, FAO, Roma 100pp.

Castañeda, H.; Moreira, I., Arnáez, E.; Sánchez, E. (2000). Estudio morfológico de diferentes estadios ontogénicos de flor, fruto y semilla de panamensis (Pittier) Record & Mell (Fabaceae) (Almendro). *Tecnología en marcha*, 14(1), 124 – 132.

Cornelius, J. & M. Hernández. 1994. Variación genética en crecimiento y rectitud del fusteen *Gmelina arborea* en Costa Rica. *Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales* 10: 9-12.

Espitia, M.; Murillo, O.; Castillo, C. (2011). Ganancia genética esperada en teca (*Tectona grandis* L.f.) en Córdoba (Colombia). Colombia Forestal Vol. 14(1): 81-93/ Enero-Junio, 2011

Espitia, M.; Murillo, O.; Castillo, C. (2016). Ganancia genética esperada en melina (*Gmelina arborea* Roxb.) en Córdoba (Colombia). Revista Arvore, Viçosa-MG, v 40, Nº1 p(71-80) <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000100008>

Flores, E. (1992). Árboles y semillas del neo trópico. Museo Nacional de Costa Rica. San José, Costa Rica. 1(1): 64.

Fournier, L. (2003). *D. panamensis* (Pittier). Record&Mell. En the RNGR Team, Part II – Species Descriptions. Disponible en: [www.rngr.net/publications/itsm/folder.2003-07-1.4726](http://www.rngr.net/publications/itsm/folder.2003-07-1.4726) Páginas 446 - 448.

Gwace, D.; Bridgwater, F.; Byram, T.; Lowe, W. (2001). Genetic parameter estimates for growth and wood density in Loblolly pine (*Pinus taeda* L.). Forest Genetics 8:1 (47-55).

Gwace, D.; Harding, K.; Purnell, R.; Bridgwater, F. (2002). Optimum selection age for wood density in loblolly pine. NRC Research Press (32: 1393/1399) Web site at <http://cjfr.nrc.ca> on, 27 July 2002.

Gion, J.; Carouché, A.; Deweer, S.; Bedon, F.; Pichavant, F.; Charpentier, J.; Baillères, H.; Rozenberg, P.; Carocha, V.; Ognouabi, N.; Verhaegen, V.; Grima-Pettenati, J.; Vigneron, P.; Plomion, Ch. (2011). Comprehensive genetic dissection of wood properties in a widely-grown tropical tree: Eucalyptus. Gion *ET AL*. BMC Genomics 2011, 12:301 <http://www.biomedcentral.com/1471-2164/12/301>

Hanson, T.; Brunfeld, S.; Finegan, B.; Waits, L. 2007. Conventional and genetic measures of seed dispersal for *Dipteryx panamensis* (Fabaceae) in continuous and fragmented Costa Rican rain forest. Journal of Tropical Ecology, 23, pp 635-642. doi:10.1017/S0266467407004488.

Ignacio-Sánchez, E.; Vargas-Hernández, J.; López-Upton, J.; Borja-de la Rosa, A. (2005). Parámetros genéticos del crecimiento y densidad de madera en edades juveniles de *Eucalyptus urophylla* s. t. Blake. Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 39: 469-479. 2005.

León, N. 2014. Análisis de ensayos de procedencia-progenie de (*Dipteryx panamensis* (Pittier) Record & Mell), en la Zona Norte y Sur de Costa Rica. Tesis Lic. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 79 p.

Martínez V.; Fallas L.; Murillo O.; Badilla Y. (2015). Potencial de mejoramiento genético en *Dipteryx panamensis* a los 33 meses de edad en San Carlos, Costa Rica. *Rev. For. Mesoam. Kurú* Vol 13 (30): 3-12.

McConnochie, M.; Borralho, N. (1998). Genetic parameters for growth and wood density traits in *Eucalyptus nitens* in new Zealand. Co-operative Research Centre for Temperate Hardwood Forestry, Locked Bag 2, P. O. Sandy Bay, Tasmania 7005, Australia

Mesén, F. 2001. Introducción al mejoramiento genético forestal. En: Identificación, selección y manejo de fuentes semilleras. Serie Técnica / No. 32. Convenio CONIF, INSEFOR y MADR. Bogotá. 118p.

Meza Natalia 2010. Validación del protocolo AFLP para Caracterización Molecular y Análisis de diversidad genética en panamensis (Pitier) (Fabaceae). Tesis para optar el título de Ingeniero en Biotecnologías. TEC Cartago, 52pp

Miranda, I.; Pereira, H. (2015). Variation of wood and bark density and production in coppiced *Eucalyptus globulus* trees in a second rotation. *Forest (early view)*. – doi:10.3832/for1442-008 [online 2015-09-08]

Moya, R.; Arce, V. (2003). Efecto del espaciamiento en plantación sobre dos propiedades físicas de madera de teca a lo largo del fuste. *Madera y Bosques*, vol. 9, núm. 2, otoño, 2003, pp. 15-27 Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, México.

Moya, R.; Tomazello, M. (2009). Wood density variation and tree ring demarcation in *Gmelina arborea* trees using x-ray densitometry. *CERNE*, vol. 15, núm. 1, Enero-Marzo, 2009, pp. 92-100.

Murillo, O.; Obando, G.; Badilla, Y.; Azofeifa, M. (2002). Creación de GENFORES, una cooperativa de mejoramiento genético forestal en Costa Rica. Instituto Nacional de Investigaciones y Servicios Forestales (INISEFOR). Heredia, Costa Rica.

Murilo, O.; Badilla, Y. (2004). Manual. Calidad y valoración de plantaciones forestales. Taller de publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica.

Murillo, O.; Guevara, V. (2013). Estado de los recursos genéticos forestales de Costa Rica. MINAET/FAO/CONAGEBIO, San José, Costa Rica.

Murillo, O.; Badilla, Y. (2013). Definición de una metodología de muestreo de contratos del programa de pago de servicios ambientales para la medición de la biomasa, para el desarrollo de proyectos de comercialización de créditos de carbono. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal. San José, Costa Rica.

Ortiz, E. (2011). Crecimiento y Rendimiento Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, Cartago, Costa Rica. 91pp

Pavlotzky, B. y Murillo, O. (2013). Ganancia genética esperada en *Acacia mangium* en San Carlos, Costa Rica. *Rev. Forestal Mesoamericana* Vol 10 (24): 14-25.

Pliura, A.; Zhang, S.; MacKay, J.; Bousquet, J. (2007). Genotypic variation in wood density and growth traits of poplar hybrids at four clonal trials. *Forest Ecology and Management* 238 (2007) 92–106

Resende, M.; ResendeMJr.; Sansaloni, C.; Petroli, C.; Missiaggia, A.; Aguiar, A.; Abad, J.; Takahashi, E.; Rosado, A.; Faria, D.; Pappas GJr.; Kilian, A.; Grattapaglia, D. (2012). Genomic selection for growth and wood quality in Eucalyptus: capturing the missing heritability and accelerating breeding for complex traits in forest trees. *New Phytologist* (2012) 194: 116–128

Sotelo Montes, C.; Beaulieu, J.; Hernández R. (2007). Genetic variation in wood shrinkage and its correlations with tree growth and wood density of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. *NRC Research Press. Can. J. For. Res.* 37: 966–976 (2007)

Sotelo Montes, C.; Weber, J. 2009. Genetic variation in wood density and correlations with tree growth in *Prosopis africana* from Burkina Faso and Niger. *Ann. For. Sci.* 66 (2009) 713 Available online at: INRA, EDP Sciences, 2009 [www.afs-journal.org](http://www.afs-journal.org)

Stanger, T.; Dvorak, B.; Hodge, G. (2002). Variation and genetic control of basic wood density in *Pinus patula* grown in South Africa. Shaw Research Centre, Sappi Forests (Pty) Ltd., P. O. Box 473, Howick, 3290, South Africa

Tenorio, C.; Moya, R.; Salas, C.; Berrocal, A. (2016). Evaluation of wood properties from six native species of forest plantations in Costa Rican. *Revista Bosque* 37(1) 71-84

Valencia-Manzo, S.; Vargas-Hernandez, J. (2001). Correlaciones genéticas y selección simultánea del crecimiento y densidad de la madera en *Pinus patula*. *Agrociencia* 35: 109-120.

Vallejos, J.; Badilla, Y.; Picado, F.; Murillo, O. (2010). Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. *Agronomía Costarricense* 33: 105-119.

Weber, J.; Montes, C.; Cornelius, J.; Ugarte, J. (2011) .Genetic variation in tree growth, stem form and mortality of *Guazuma crinita* in slower- and faster-growing plantations in the Peruvian Amazon. *Silvae Genet* 30: 70-78

Zobel, B.; Talbert, J. (1988). Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Editorial LIMUSA. México, 543 pp.

Zobel, B.; Sprague J. (1998). Juvenile Wood in forest trees. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York. Printed in Germany, 300pp.

Zumaeta L.; TomazelloFilho, M.; Sergio, C.; del Castillo, D.; Yepez, F.; Yepez, D.; Jim, A.; Bardales, J.; 2014. Anatomía y Densitometría de Rayos X en árboles de *Cedrelinga catenaeformis* Ducke, (FABACEAE), del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera de Loreto. [www.google.com.pe/docplayer.es/52145960-Anatomia-y-densitometria-de-rayos-x-en-arboles-de-cedrelinga](http://www.google.com.pe/docplayer.es/52145960-Anatomia-y-densitometria-de-rayos-x-en-arboles-de-cedrelinga)

## Capítulo VI: Conclusiones

6.1. El modelo que mejor se ajusta al volumen comercial de la especie a 75 meses de edad, es el de variable combinada generalizada  $Y = -0.0113 + (3.3246 * d_{sc}^2) + (0.0021 * h_{com}) + (0.1471 * d_{sc}^2 h_{com})$ . Mientras que para volumen total el modelo que mejor se ajusta es el de potencial de variable combinada linealizable mediante logaritmos  $Y = -1.0043 + (d^2 HT)^{0.9170}$

6.2. El crecimiento en DAP y en altura total a los 75 meses de edad, resulto en valores superiores a los mostrados por otros autores para otros sitios de Costa Rica. La especie en el ensayo crece anualmente en DAP un promedio  $2,07 \pm 0,45$  cm, mientras que el crecimiento en altura total es de  $2,14 \pm 0,29$  m. Este ritmo de crecimiento es muy similar que a la edad de 36 meses.

6.3. El crecimiento en volumen comercial  $48,56 \text{ m}^3_{\text{sccha}^{-1}}$  a los 75 meses de edad se encuentra dentro del rango obtenido por la especie en otros sitios de Costa Rica. El promedio anual de  $7,8 \text{ m}^3/\text{ha} \pm 0,43$  para el volumen comercial parece alentador. No se trata de una especie de rápido crecimiento, pero los resultados son comparables con algunas plantaciones de Teca creciendo en la región del Pacífico de Costa Rica.

6.4. Al comparar los resultados en DAP y Hdom de los 50 árboles dominantes del ensayo con los reportados por Schmidt 2009, los promedios encontrados resultan significativamente diferentes; en el quintil superior para el DAP y en el medio superior para la Hdom. Los resultados encontrados son compatibles y similares a los encontrados por Schmidt 2009, en sitios donde se hubo practicado el raleo.

6.5. La especie en estudio *D. panamensis*, responde bien al tratamiento de raleo. Al comparar los sitios con tratamiento (raleo) incluyendo el ensayo con los sitios sin tratamiento, se encuentran diferencias significativas para Altura dominante y Volumen comercial por hectárea, al 95% de probabilidad.

6.6. El estudio confirma la validez de las curvas de IS formuladas por Schmidt 2009, e identificó dos curvas adicionales de IS 27 y 29, complementarias para la especie en Costa Rica y Panamá.

6.7. Al comparar el crecimiento futuro del ensayo (con la ayuda de las curvas de IS), con una plantación de la misma especie, sin manejo de 16 años y ubicada en el mismo lugar, se encuentran diferencias importantes. Las prácticas silviculturales básicas realizadas al ensayo en tiempo, forma e intensidad, pueden inducir resultados superiores en alturas dominantes y por ende en volumen.

6.8. El IMA en DAP y altura total de los árboles dominantes del ensayo se ubican en la porción superior de los valores de IMA encontrados por Schmidt y por su vigor sugieren que el ensayo se encuentra aún en la fase juvenil de crecimiento.

6.9. Es posible estimar de manera confiable y no destructiva el PE de la madera de *Dipteryx panamensis* Pitier a partir de muestras de barreno (tarugos).



6.10. El modelo que mejor se ajusta para determinar el PE de la madera de *Dipteryx panamensis* Pittier a 75 meses de edad es:  $LN(PE) = -0,153 + (-0,0045 * LN(VolCom) + 0,7192 * LN(PE \text{ tarugo}))$

6.11. El PE de la madera de *Dipteryx panamensis*, varía significativamente en el sentido axial del tronco hasta -58% desde la base hasta la parte alta del fuste; y en sentido radial varía hasta en un 30% de incremento desde la médula hacia la corteza.

6.12. El PE del árbol varía de manera significativa entre algunos bloques y esta variación se muestra también entre segmentos por bloque, revelando el moderado control ambiental a 75 meses de edad de la especie.

6.13. El estudio corrobora que a los 75 meses de edad los árboles de *Dipteryx* pueden desarrollar duramen hasta en 10 % del área basal.

6.14. La investigación del PE en *Dipteryx panamensis* Pittier constata que las diferencias entre familias resultan No significativas al 95% de probabilidad. El almendro alcanza valores de PE de la madera desde 0,65 gr/cm<sup>3</sup> hasta 0,72 gr/cm<sup>3</sup> a los 75 meses de edad. Estos valores sugieren un moderado potencial de mejoramiento genético y garantizan su posible utilización como madera estructural y a la intemperie, aún desde un primer raleo.

6.15. Existe un buen potencial de mejoramiento genético para caracteres de importancia económica, como el volumen comercial y densidad de la madera, en la población de *Dipteryx panamensis* establecida en el ensayo de procedencia/progenie en San Carlos, zona norte de Costa Rica.

6.16. Es posible mejorar simultáneamente la tasa de crecimiento en volumen comercial y el peso específico de la madera de *D.panamensis* Pittier.

6.17. La estrategia de selección que optimiza la ganancia genética en almendro, consiste en elegir las mejores familias y los mejores individuos dentro de estas familias,

con restricción en la cantidad de individuos por familia, para evitar reducir severamente la diversidad genética de la población comercial.

6.18. La heredabilidad familiar encontrada para el Volumen comercial a los 75 meses es de 0,59, cuyo valor se ha disminuido con relación a la evaluación a los 48 meses de edad, lo que sugiere realizar la selección a una edad más temprana. La heredabilidad familiar para el PE a los 75 meses es de 0,58, que al no disponer de otra evaluación anterior se sugiere realizar la selección a una edad más tardía.

6.19. No hay diferencias significativas entre procedencias para ninguno de los caracteres analizados, lo que sugiere que los tres sitios de colecta representados en el ensayo, constituyen poblaciones que forman parte de una misma metapoblación de gran magnitud presente en la zona norte del país. Dado que no hay diferencias significativas entre procedencias, el trabajo de mejoramiento puede fusionar todas las familias en una misma población de mejoramiento para efectos de selección y cruzamiento.

6.20. Se registró una correlación genética débil y negativa entre los caracteres volumen comercial y peso específico para *D. panamensis* a los 75 meses de edad.

6.21. El mejor criterio de selección genética considerando simultáneamente las 2 variables en estudio resulta la de selección mediante valores independientes de caracteres. Con este se logra captar la máxima diversidad de la progenie y dentro de las progenies. El índice de diversidad genética que se logra es alto, 17,14 con la inclusión de solo 5 familias.

6.22. La sub población elite resultante (TOP 10) resulta bien distribuida en el ensayo, con un promedio de 0,122 m<sup>3</sup>ssc y 711 Kg/m<sup>3</sup>por árbol e identificada con los siguientes códigos, bloque I: 10\_1; bloque II: PV3\_2 ; bloque III: 10\_1, y PV3\_1; bloque IV: CSJ1\_1; bloque V: PV3\_3; bloque VI: CSJ1\_1, CSJ1\_3, CSJ6\_2, y 1\_1.

## Capítulo VII. Recomendaciones

7.1. La colección genética del ensayo motivo de la investigación podría ser mejorado incorporando nuevas procedencias (por ejemplo enriquecimiento con procedencias de la costa Caribe Nicaragua y de la costa Caribe de Panamá y eventualmente con procedencias de Colombia). Esto le daría un gran valor genético y tal vez único a la colección de esta especie.

7.2. Propagación por clonación de los mejores 10 individuos y establecimiento del huerto semillero con mejores familias Volcom y PE. Esta tarea ya puede realizarse dado que se han identificado los individuos en cada bloque del ensayo. La propagación vegetativa de cumarú ha sido realizada con éxito en otros países como Perú utilizando propagadores de subirrigación.

7.3. Se hace necesario una profundización del estudio para conocer el comportamiento del crecimiento en Diámetro y en altura total durante el año (behavior). Esto se puede realizar con la ayuda de dendrómetros incorporados para las familias superiores en PE y volumen comercial.

7.4. Se requiere además y complementariamente, un estudio del PE en sentido radial para averiguar y cuantificar el porcentaje de madera juvenil que se puede encontrar en la especie, (con el próximo raleo del ensayo). Pero además es necesario estimar la heredabilidad del PE a esa edad con el fin de tener punto de comparación con el resultado de esta investigación y definir la edad óptima de selección para el PE.

7.5. Se sugiere tener en cuenta los datos colectados de esta investigación (número de trozas, calidad de fuste, estado fitosanitario y crecimiento de futuro) en la programación del segundo raleo y en el diseño del plan de manejo final.

7.6. En virtud de realizarse próximamente el próximo raleo al ensayo, sería conveniente y necesario investigar el efecto del raleo en la heredabilidad del volumen comercial y del PE.

7.7. Para demostrar la potencialidad económica de la especie se hace necesario 1 análisis económico financiero del ciclo total. La realización de un estudio análisis económico financiero de la especie hasta su puesta en valor en el mercado, tanto como madera aserrada como en productos de mayor valor agregado

## Capítulo VIII. ANEXOS

Anexo 1. MEDICION DE CRECIMIENTO Y DENSIDAD DE LA MADERA EN ALMENDRO ( D.panamensis)

Equipo aforador:		Localidad																				
Fecha:		pendiente																				
Arbol		DIAMETRO cm														Altura m						
# arb	Calidad	Ba	0,3	1	1,3	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	final	H total	H com	d = 5 cm	d=10 cm	Tocón cm	Coraza mm
	1 ... 4	Tz1	Tz2	Tz3	Tz4	Tz5	Tz6	Tz7	Tz8	Tz9	Tz10											
	Calidad																					
	Calidad																					
	Calidad																					
	Calidad																					
	Calidad																					
	Calidad																					
	Calidad																					

Calidad																					
---------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Anexo 2. MEDICION DE CRECIMIENTO Y DENSIDAD DE LA MADERA EN ALMENDRO ( D.panamensis)

Equipo aforador:						Localidad		
Fecha:						pendiente		
# árbol	Disco de madera	Con corteza		Sin corteza		Duramen (cm)		Observaciones
		D1 cc	D2 cc	D1 sc	D2 sc	D1	D2	
	Base							
	1,3m							
	0,25 hc							
	0,50 hc							
	0,75 hc							
	1 hc							
	Base							
	1,3m							
	0,25 hc							
	0,50 hc							
	0,75 hc							
	1 hc							
	Base							
	1,3m							
	0,25 hc							
	0,50 hc							
	0,75 hc							
	1 hc							
	Base							
	1,3m							
	0,25 hc							
	0,50 hc							
	0,75 hc							
	1 hc							