

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

**VARIACIÓN Y CONTROL GENÉTICO EN PROPIEDADES
DE LA MADERA EN *Dipteryx panamensis* Pittier, DE 8 Y 18
AÑOS, SAN CARLOS, COSTA RICA.**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL CON EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA**

DALINA DE LOS ÁNGELES RODRÍGUEZ PÉREZ

CARTAGO, COSTA RICA, 2019

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

**VARIACIÓN Y CONTROL GENÉTICO EN PROPIEDADES
DE LA MADERA EN *Dipteryx panamensis* Pittier, DE 8 Y 18
AÑOS, SAN CARLOS, COSTA RICA.**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL CON EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA**

DALINA DE LOS ÁNGELES RODRÍGUEZ PÉREZ

CARTAGO, COSTA RICA, 2019

VARIACIÓN Y CONTROL GENÉTICO EN PROPIEDADES DE LA MADERA EN *Dipteryx panamensis* Pittier, DE 8 Y 18 AÑOS, SAN CARLOS, COSTA RICA.

Dalina de los Ángeles Rodríguez Pérez *

RESUMEN

Dipteryx panamensis Pittier es una especie de madera con alta densidad que está siendo utilizada en los programas de reforestación comercial en Costa Rica y recientemente han iniciado los programas de mejoramiento genético. El presente estudio determina las características morfológicas, propiedades físicas, color, módulo de elasticidad dinámico y la heredabilidad de madera de *Dipteryx panamensis* de ensayos genéticos de 8 y 18 años, ubicados en la Zona Norte de Costa Rica. De cada familia fueron muestreados 4 árboles a diferentes alturas para determinar las propiedades físicas y morfológicas, y a la altura del 1,3 m para determinar el color y el módulo de elasticidad. Los resultados mostraron que a nivel de familia y población se presenta un porcentaje de duramen de 6,1% a 19,5% entre familias y de 9% a 23,4% entre poblaciones. El peso específico básico registró valores entre 0,7 a 0,8. La contracción osciló entre 5,5% y 2,3% en sentido tangencial y radial respectivamente, el contenido de humedad verde de 51% a 72% entre familias y de 55% a 61% entre poblaciones; mientras que el módulo de elasticidad dinámico varió desde 2,7 GPa a 3,3 GPa entre familias y de 3,0 GPa a 3,2 GPa entre poblaciones. La mayor heredabilidad individual (h^2_a) entre familias se registró en el diámetro de duramen (57%), peso específico básico (17%), contenido de humedad verde (98%), densidad al 12% (77%), contracción tangencial al 12% (71%), contracción tangencial total (69%) y cambio de color ΔE^* (31%). Mientras que la mayor heredabilidad entre edades se observó en diámetro con corteza (60%), diámetro sin corteza (60%), diámetro de duramen (68%), densidad verde (31%), densidad al 12% (29%) y contracción radial total (27%). Las familias CSJ3, CSJ6, PV3, PV10 se ubicaron en las primeras posiciones del ranking genético en la mayoría de las variables investigadas.

Palabras claves: *Dipteryx panamensis*, Propiedades de la madera, Mejoramiento genético, Especies nativas, Costa Rica.

ABSTRACT

Dipteryx panamensis Pittier is a tree species with high density and used in commercial reforestation programs in Costa Rica and recently being genetically improved through breeding programs. This research determines the morphological characteristics, physical properties, color, modulus of dynamic elasticity and heritability of wood properties from different families, provenances at ages 8 and 18 years old, located in northern Region, Costa Rica. From each family, 4 trees were sampled at different heights for physical and morphological properties, and at the height of 1,3 m for color and modulus of dynamic elasticity. The results showed that family, provenance or age levels present a heartwood variation between 6,1% and 19,5% in families, and from 9% to 23,4% for populations; the specify gravity ranged between 0,7 and 0,8; shrinking reached 5,5% and 2,3% in tangential and radial direction respectively, the green moisture content between 51% and 72% in families, and from 55% to 61% for populations, and the modulus of dynamic elasticity between 2,7 GPa and 3,3 GPa in families, and from 3,0 GPa to 3,2 GPa in populations. The highest heritability among families is in heartwood diameter variables (57%), specify gravity (17%), green moisture content (98%), density at 12% (77%), tangential shrinking at 12% (71%), total tangential shrinking (69%) and change of color (ΔE^*) (31%), the higher heritabilities among ages goes to bark diameter variables (60%), without-bark diameter (60%), heartwood diameter (68%), green density (31%), density at 12% (29%) and total radial shrinking (27%). The families CSJ3, CSJ6, PV3, PV10 ranked in the top positions for all variables investigated.

Keywords: *Dipteryx panamensis*, Wood properties, Genetic breeding, Native tree species, Costa Rica.

*Rodríguez, D. (2019). Variación y control genético en propiedades de la madera en *Dipteryx panamensis* Pittier, de 8 y 18 años, San Carlos, Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 52p.

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

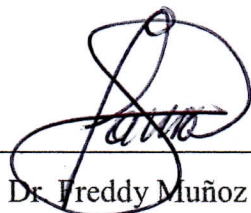
Trabajo final de graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por Dr. Róger Moya Roque, Dr. Olman Murillo Gamboa y Dr. Freddy Muñoz Acosta como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Forestal, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



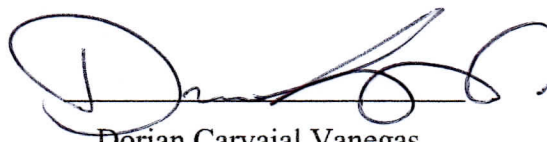
Dr. Róger Moya Roque
Director de tesis



Dr. Olman Murillo Gamboa
Profesor lector



Dr. Freddy Muñoz Acosta
Profesor lector



Dorian Carvajal Vanegas
Coordinador Trabajos Finales de Graduación



Dalina de los Ángeles Rodríguez Pérez
Estudiante

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
INTRODUCCIÓN	1
MATERIALES Y MÉTODOS	4
Sitio de estudio.....	4
Material genético de los ensayos	5
Establecimiento y manejo de los ensayos.....	6
Muestreo de ensayos	7
Muestreo dentro del árbol	8
Características morfológicas.....	8
Propiedades físicas.....	9
Módulo de elasticidad dinámico	11
Color	12
Análisis genético.....	13
Análisis estadístico	14
RESULTADOS	14
Características morfológicas.....	14
Propiedades físicas.....	24
Análisis genético.....	32
DISCUSIÓN	36
Características morfológicas.....	36
Propiedades físicas.....	37
Análisis genético.....	40
CONCLUSIONES	41
RECOMENDACIONES	42
REFERENCIAS	43

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características morfológicas a la altura del pecho según familias por procedencia en ensayo de procedencias/familias de 8 años de <i>Dipteryx panamensis</i> en San Carlos, Costa Rica.	17
Cuadro 2. Características morfológicas a la altura del pecho según poblaciones de ensayos genéticos de <i>Dipteryx panamensis</i> en San Carlos, Costa Rica.	18
Cuadro 3. Variación de los porcentajes de características morfológicas a diferentes alturas según poblaciones de ensayos genéticos de <i>Dipteryx panamensis</i> en San Carlos, Costa Rica.	22
Cuadro 4. Propiedades físicas a la altura del pecho según familias por procedencia en ensayo de procedencias/familias de 8 años de <i>Dipteryx panamensis</i> en San Carlos, Costa Rica.	26
Cuadro 5. Propiedades físicas y módulo de elasticidad dinámico a la altura del pecho según poblaciones de ensayos genéticos de <i>Dipteryx panamensis</i> en San Carlos, Costa Rica.	27
Cuadro 6. Parámetros genéticos de las propiedades de la madera analizadas según las diferentes familias de ensayo de procedencias/familias de <i>Dipteryx panamensis</i> en San Carlos, Costa Rica.	33
Cuadro 7. Ranking y estabilidad genéticos para las propiedades de la madera analizadas entre familias del ensayo de procedencias/familias de <i>Dipteryx panamensis</i> en San Carlos, Costa Rica.	34
Cuadro 8. Parámetros genéticos de las propiedades de la madera analizadas en ensayos genéticos de <i>Dipteryx panamensis</i> en San Carlos, Costa Rica.	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de las procedencias y los ensayos genéticos de <i>Dipteryx panamensis</i> en Costa Rica.	4
Figura 2. Distribución de las familias de las diferentes procedencias en el bloque I del ensayo de procedencias/familias de 8 años de <i>Dipteryx panamensis</i> en San Carlos, Costa Rica.	6
Figura 3. Patrones de corte para la determinación de las propiedades: Muestreo dentro del árbol (a), características morfológicas (b), muestreo para la determinación de las propiedades físicas, contracciones, color y módulo de elasticidad dinámico (c-d).	10
Figura 4. DAP y diámetro del duramen a la altura del pecho según familias por procedencia en ensayo de procedencias/familias de <i>Dipteryx panamensis</i> a los 8 años de edad en San Carlos, Costa Rica.	15
Figura 5. Variación de las características morfológicas a diferentes alturas según poblaciones de ensayos genéticos de <i>Dipteryx panamensis</i> en San Carlos, Costa Rica.....	20
Figura 6. Variación del diámetro, diámetro del duramen y porcentaje de duramen a diferentes alturas según procedencias y familias de ensayo de procedencias/familias de 8 años de <i>Dipteryx panamensis</i> en San Carlos, Costa Rica.	23
Figura 7. Propiedades físicas y módulo de elasticidad dinámico a la altura del pecho según familias por procedencia en ensayo genético de 8 años de <i>Dipteryx panamensis</i> en San Carlos, Costa Rica.	25
Figura 8. Variación de las propiedades físicas a diferentes alturas según poblaciones de ensayos genéticos de <i>Dipteryx panamensis</i> en San Carlos, Costa Rica.	30
Figura 9. Variación de las propiedades físicas a diferentes alturas según procedencias y familias en ensayo de procedencias/familias de 8 años de <i>Dipteryx panamensis</i> en San Carlos, Costa Rica.	31

INTRODUCCIÓN

El mejoramiento genético forestal tiene beneficios en las especies utilizadas para reforestación, entre ellos: el manejo de las semillas de especies comerciales, determina las subpoblaciones de especies forestales más adecuadas, selecciona especies e individuos capaces de adaptarse a ambientes de condiciones extremas, incrementa el rendimiento de los productos forestales, entre otros aspectos (Álvarez, 1995). El mejoramiento genético de especies forestales tiene como objetivo conseguir mediante selección y mejoramiento una forma superior del tronco, una mayor calidad de la madera, y un crecimiento rápido en altura y diámetro (Subramanian, Nicodemus y Radhamani, 1995). También se señala que el mejoramiento genético es un proceso de selección, conservación y evaluación continua, destinado a preservar la mayor parte de la variabilidad genética y generar ganancia por recombinación genética (White, Adams y Neale, 2007; Carreras, Bessega, López, Saidman y Vilardi, 2016).

Una etapa inicial del mejoramiento genético de las especies forestales es el establecimiento de ensayos de procedencias y familias a partir de semillas de polinización abierta recolectadas de individuos seleccionados fenotípicamente en poblaciones silvestres (Carreras et al., 2016). La selección e identificación de individuos en ensayos de procedencia o familia puede garantizar fuentes semilleras de calidad y es la base fundamental de un estudio de mejoramiento genético forestal (Moreno, Pérez, Eras, Minchala y Yaguana, 2018). Los resultados son positivos a corto, mediano y largo plazo para los productores en la producción de madera (Herasme, 1997; Hodge y Dvorak, 2004; Padua, 2004; Ávila, Murillo y Murillo, 2015). En este sentido, Cornelius (1994) menciona que un adecuado inicio en ensayos de procedencia y familia (buena intensidad de la selección, buena variación genética y rasgos deseados adecuados) puede dar resultados de ganancias genéticas de hasta 15% en altura y 35% en volumen (Ávila, Murillo, Murillo y Sandoval, 2015).

Las condiciones ambientales en la región tropical permiten que países como Costa Rica cuente con gran variedad de especies de árboles para la producción de madera en condiciones de plantaciones forestales (Petit y Montagnini, 2004; Moya, Salas, Berrocal y Valverde, 2015). En el país se encuentran alrededor de 20 especies de árboles en programas de reforestación con fines comerciales (Nichols y Vanclay, 2012; Moya et al., 2015), entre especies nativas y exóticas (Moya, Leandro y Murillo, 2009; Tenorio, Moya, Salas y Berrocal, 2016). Sin embargo, a pesar de esta variedad de especies, en Costa Rica el desarrollo del mejoramiento genético ha estado limitado a pocas especies forestales, entre las que destacan las especies exóticas como *Acacia mangium*, *Cupressus lusitanica* y principalmente en *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*, (FAO, 2012), limitando a pocos estudios importantes especies nativas como *Dipteryx panamensis*, *Hieronyma alchorneoides*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Samanea saman*, entre otras (Tenorio et al., 2016).

Especies nativas como *Dipteryx panamensis* Pittier, han ganado popularidad en diferentes proyectos de reforestación en Costa Rica (Moya et al., 2009), a pesar de la falta de información sobre las propiedades de la madera proveniente de árboles de plantaciones forestales (Moya et al. 2015; Tenorio et al., 2016). *D. panamensis* es una especie forestal que crece naturalmente en el bosque, pertenece a la familia Fabaceae-Papilionaceae, con una distribución natural desde los bosques de tierras bajas de Nicaragua hasta Colombia (Romo, 2005). En Costa Rica es abundante desde las llanuras de Guatuso en la vertiente norte hasta Bribri en toda la región caribe del país (Castañeda, Moreira, Arnáez y Sánchez, 2000). Esta especie presenta un fuste cilíndrico, tiene ramas ascendentes que forman una copa semiesférica y presenta una floración muy atractiva de color rosado-violeta y sus semillas son apreciadas por muchos tipos de aves (Fournier, 2003; Gamboa, 2008).

Desde el punto de vista de la madera, *D. panamensis* se adapta a diferentes ecosistemas en plantaciones forestales y los árboles producen madera de adecuadas propiedades, tales como altos valores de peso específico y resistencia mecánica, por tanto, adecuado para uso estructural y propiedades energéticas, tan importantes en la actualidad (Tenorio et al., 2016; Gaitán y Moya, 2016).

Recientemente se reportan las primeras investigaciones relacionadas al mejoramiento genético de la especie *D. panamensis* en Costa Rica. Martínez, Fallas, Murillo y Badilla (2016), mencionan que existe una fuerte variación genética y un alto potencial de mejoramiento genético para la especie *D. panamensis*. León, Murillo, Badilla, Ávila y Murillo (2017), mencionan que en dichos ensayos genéticos la mayor variabilidad genética se encuentra entre los individuos y entre las familias dentro de cada procedencia, mientras que existe una variabilidad genética muy pequeña entre las poblaciones nativas investigadas. Lo anteriormente mencionado indica que es posible crear una sola población reproductora para generar suficiente diversidad genética y atender la demanda de semilla en Costa Rica para programas de reforestación para los próximos 15 años, o hasta que haya una fuente semillera superior. Alves-Milho (2018), en uno de los primeros estudios en madera indica que el peso específico en ensayo genético de *D. panamensis* en Costa Rica presenta un 0,685 promedio, pero no relaciona de este parámetro con aspectos genéticos de la especie.

De acuerdo con la revisión de literatura, se observa una escasez de información sobre mejoramiento genético de *D. panamensis* en el país, y los estudios existentes están orientados en su mayoría al comportamiento del árbol en condiciones de plantación, dejando de lado la calidad de la madera, siendo este un factor de gran importancia en árboles de plantaciones. Por ejemplo, Moura, Da Silva y Nascimento (2014), en *Dipteryx alata*, especie del mismo género, indica altos valores de heredabilidad entre familias para variables como diámetro a la altura del pecho y altura total, mostrando una mayor posibilidad de seleccionar familias genotípicamente superiores para mejoramiento genético.

Debido al auge que ha tenido la especie *D. panamensis* a nivel costarricense en la producción de madera, el objetivo de este estudio es determinar las diferencias en las características morfológicas, propiedades físicas, módulo de elasticidad dinámico y cambio de color de la madera de árboles de *D. panamensis*. Así como determinar la heredabilidad a nivel de familias y poblaciones, presentes en ensayos genéticos estudiados a la edad de 8 y 18 años establecidos en San Carlos, Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

Los ensayos genéticos analizados se encuentran ubicados en la sede regional de San Carlos del Instituto Tecnológico de Costa Rica ($10^{\circ}21' N$ y $84^{\circ}30' O$) (Figura 1). Dicha localización está en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Premontano transición a Basal (Holdridge, 1967). En la región se presentan temperaturas y precipitaciones medias entre los $18-24^{\circ}C$ y $3800-4000$ mm, respectivamente. Los suelos donde están establecidos los ensayos genéticos son de orden ultisol, caracterizados por ser profundos, bien drenados y de color rojizo (Martínez et al., 2016), presenta características nutricionales promedio con los siguientes datos: $4,68$ pH, $3,30$ Ca, $1,57$ Mg, $0,07$ K, 31 Cu, 22 Mn, 105 Fe, $4,38$ Zn y $9,93$ P (Alves-Milho, 2018).

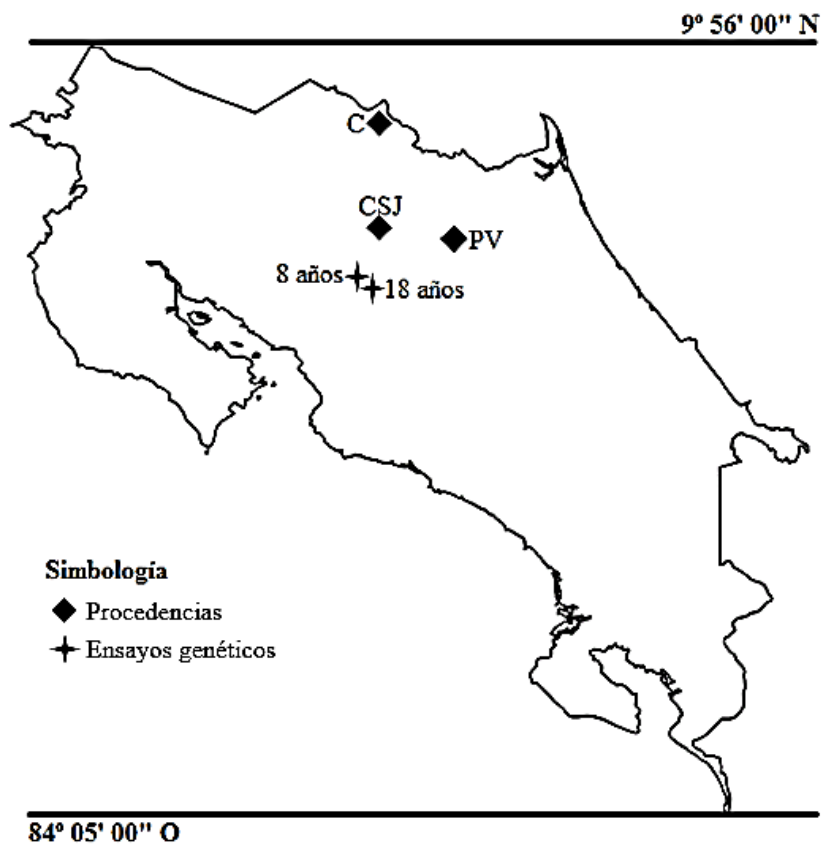


Figura 1. Ubicación geográfica de las procedencias y los ensayos genéticos de *Dipteryx panamensis* en Costa Rica.

Material genético de los ensayos

- Ensayo de procedencias/familias de 8 años

El material genético para el ensayo de procedencias/familias se basó en la recolección de 29 familias de *Dipteryx panamensis* en tres procedencias. Se realizó una amplia colección de semillas en la Zona Norte de Costa Rica, específicamente en CoopeSanJuan de Cutris de San Carlos (CSJ), Crucitas de Pocosol de San Carlos (C) y Puerto Viejo de Sarapiquí (PV) (Figura 1). Dichas procedencias estaban separadas con distancias geográficas entre 50-70 km. Se colectó semillas de 10 árboles madre en cada una de las procedencias, distanciados entre sí por más de 500 m. Todas las familias fueron obtenidas por polinización abierta (medios hermanos).

- Ensayo poblacional de 18 años

Se basó en la recolección de semillas de 15 familias y el establecimiento de ensayo genético de familias de *D. panamensis*. Sin embargo, con el tiempo se perdió el control de este. Por lo tanto, dicho ensayo se tomó como poblacional para efectos del presente estudio.

Establecimiento y manejo de los ensayos

- Ensayo de procedencias/familias de 8 años

El ensayo de procedencias/familias se estableció en junio de 2010. El diseño experimental consistió en un diseño de seis bloques completos al azar (Murillo y Badilla, 2001 y 2004). Dentro de cada bloque se distribuyó aleatoriamente tres parejas de cada familia (Figura 2). Los árboles fueron plantados con un distanciamiento de 3 x 3 m, por lo que la densidad inicial es de 1111 árboles/ha, utilizando árboles de relleno (R) y dos filas de borde para el ensayo genético. El sitio no tuvo ninguna preparación ni control de la acidez del suelo. El control de malezas se realizó cada 2-3 meses, lo que benefició en el inicio de su crecimiento. Se realizó el primer raleo al 50% de intensidad a los cuatro años del establecimiento mediante un raleo silvicultural, eliminando el árbol más desfavorable de cada pareja establecida en cada bloque.

x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
x	x	CSJ6	CSJ1	C8	C2	CSJ4	PV1	C9	C3	C1	PV2	PV5		
x	x	CSJ6	CSJ1	C8	C2	CSJ4	PV1	C9	C3	C1	PV2	PV5		
x	x	CSJ8	C6	SM9	C4	PV6	PV3	CSJ2	CSJ3	PV4	PV10	CSJ5		
x	x	CSJ8	C6	SM9	C4	PV6	PV3	CSJ2	CSJ3	PV4	PV10	CSJ5		
x	x	PV5	CSJ2	C5	PV7	PV1	PV2	CSJ8	C10	PV7	C7	PV8		
x	x	PV5	CSJ2	C5	PV7	PV1	PV2	CSJ8	C10	PV7	C7	PV8		
x	x	C7	PV9	SM9	C9	C8	CSJ4	R	CSJ1	C6	CSJ7	PV9		
x	x	C7	PV9	SM9	C9	C8	CSJ4	R	CSJ1	C6	CSJ7	PV9		
x	x	PV10	CSJ3	PV6	C3	C5	CSJ5	C1	PV4	C2	C10	PV8		
x	x	PV10	CSJ3	PV6	C3	C5	CSJ5	C1	PV4	C2	C10	PV8		
x	x	C7	CSJ8	PV2	CSJ6	PV9	CSJ7	PV8	PV3	CSJ6	CSJ7	C4		
x	x	C7	CSJ8	PV2	CSJ6	PV9	CSJ7	PV8	PV3	CSJ6	CSJ7	C4		
x	x	C6	CSJ2	PV6	CSJ3	C1	C9	C5	C3	SM9	C10	PV1		
x	x	C6	CSJ2	PV6	CSJ3	C1	C9	C5	C3	SM9	C10	PV1		
x	x	C4	PV10	CSJ1	PV4	CSJ5	CSJ4	PV5	C8	PV7	PV3	C2		
x	x	C4	PV10	CSJ1	PV4	CSJ5	CSJ4	PV5	C8	PV7	PV3	C2		
x	x	x	x	x	x	x	x							
x	x	x	x	x	x	x	x							

Figura 2. Distribución de las familias de las diferentes procedencias en el bloque I del ensayo de procedencias/familias de 8 años de *Dipteryx panamensis* en San Carlos, Costa Rica.

- Ensayo poblacional de 18 años

Se estableció en julio de 2000, con un distanciamiento de 3 x 3 m, por lo que la densidad inicial es de 1111 árboles/ha. El diseño experimental del ensayo genético consistió en un diseño de cuatro bloques completos al azar (Murillo y Badilla, 2001 y 2004). Dentro de cada bloque se distribuyó aleatoriamente tres parejas de cada familia. La densidad en el momento del muestreo fue de 937 árboles/ha, producto de la mortalidad del ensayo genético, ya que no se realizó ningún tipo de manejo silvicultural. Cabe recalcar que este ensayo genético se utilizó como ensayo poblacional para efectos de este estudio.

Muestreo de ensayos

- Ensayo procedencias/familias de 8 años

Se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) de todos los árboles presentes en el ensayo genético. Posteriormente, se estableció un diámetro de corta de 15 a 17 cm de DAP. Este rango permitió muestrear árboles codominantes y dejando en pie los individuos dominantes del ensayo genético. Se seleccionó 17 familias de las 29 familias presentes, debido a que solo 17 familias presentaron los requisitos que se necesitaban, los cuales eran tener al menos cuatro individuos con diámetros de 15 a 17 cm y dejar en pie al menos un individuo dominante de cada familia por bloque. Por lo tanto, se cortó cuatro árboles por familia para un total de 68 individuos, 20 individuos que proceden de CoopeSanJuan, 20 individuos de Puerto Viejo y 28 individuos de Crucitas.

- Ensayo poblacional de 18 años

Se realizó la medición total del ensayo genético, donde se obtuvo los parámetros de DAP, altura comercial hasta un diámetro de 10 cm y calidad de trozas. Se analizó los datos obtenidos para posteriormente seleccionar nueve individuos al azar que presentaran diámetros promedio de 18 ± 2 cm y 50% de calidad de trozas según la altura comercial del árbol, dejando en pie árboles con las mejores características de crecimiento.

Muestreo dentro del árbol

Se extrajo en todos los árboles muestreados discos cortados transversalmente con 3 cm de espesor en la base del árbol, al 1,30 m (DAP), al 25%, 50%, 75% y 100% de la altura comercial (Figura 3a), que corresponde a 10 cm, la cual es el diámetro para obtener trozas para la producción de tarimas (Moya, 2018).

Características morfológicas

En cada disco se dibujó una línea en dirección AB y otra perpendicular a esta en dirección CD, ambas pasando por el centro O de la médula (Figura 3b). En estas dos direcciones, se midió el diámetro total, el diámetro sin corteza, el diámetro del duramen, el diámetro de la médula, y el radio desde el centro O a la corteza en dirección A y otro radio en dirección D (Figura 3b). Basado en estas mediciones, se calculó: diámetro total, diámetro de duramen, porcentaje de duramen, espesor de albura, porcentaje de albura, espesor de corteza, porcentaje de corteza, diámetro de médula, porcentaje de médula, y porcentaje de excentricidad de la médula. En el caso de los porcentajes estos fueron calculados en relación con el área total del disco, y el espesor de corteza y albura como la diferencia entre diámetro total y diámetro sin corteza y, diámetro sin corteza y diámetro del duramen, respectivamente.

Propiedades físicas

Según los lineamientos de la norma ASTM D-2395 (ASTM, 2017), se cortó una sección diametral de cada disco en dirección AB con un ancho de 2 cm que contenga la médula (Figura 3c). Se dividió esta sección en la médula generando dos subsecciones, subsección A y subsección B, que fueron utilizadas para determinar el peso específico básico, la densidad verde, la densidad al 12% (seco al aire) y el contenido de humedad verde. De los sobrantes de cada disco a la altura del DAP, se extrajo dos muestras, una en sentido radial y otra en sentido tangencial para determinar las variables contracción radial y contracción tangencial, al 12% (seco al aire) y total (de condición verde a condición anhidra) (Figura 3d). Se pesó y se determinó el volumen por inmersión en agua de las subsecciones A y B en condición verde en balanza digital ES-1000H. Realizadas estas mediciones, se colocó las muestras en una cámara de acondicionamiento con temperatura de 22 °C y humedad relativa de 66% por aproximadamente 15 días hasta alcanzar un contenido de humedad constante, para luego medir nuevamente el peso y el volumen en condición al 12%. Seguidamente las muestras fueron llevadas al horno por 48 h a 105 °C para obtener el peso y el volumen en condición seca (ASTM, 2014). Las variables peso específico básico (ecuación 1), densidad verde (ecuación 2), densidad al 12% (ecuación 3) y contenido de humedad verde (ecuación 4) fueron calculadas de la siguiente manera:

$$PEB = \frac{P_s}{V_v} \quad (1)$$

$$D_v = \frac{m_v}{V_v} \quad (2)$$

$$D_{12} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (3)$$

$$CH_v = \frac{P_v - P_s}{P_s} * 100 \quad (4)$$

Donde: PEB = peso específico básico, P_s = peso seco (g), P_v = peso verde (g), P₁₂ = peso al 12% (g), V_v = volumen verde (cm³), V₁₂ = volumen al 12% (cm³), D_v = densidad verde (g/cm³), D₁₂ = densidad al 12% (g/cm³), m_v = masa verde (g), m₁₂ = masa al 12% (g) y CH_v = contenido de humedad verde (%).

En cuanto a las muestras radiales y tangenciales, se midió la longitud de las muestras, según el sentido del corte en condición verde para luego ser colocadas en la cámara de acondicionamiento con temperatura de 22 °C y humedad relativa de 66% por aproximadamente 15 días hasta un contenido de humedad constante. Se midió de nuevo en condición al 12% y se llevó al horno por 48 h a 105 °C para luego hacer la medición en condición seca. La contracción radial al 12% y la contracción tangencial al 12% se determinó como la diferencia de longitud entre condición verde y condición al 12%, y la contracción radial total y la contracción tangencial total como la diferencia de longitud entre condición verde y condición anhidra.

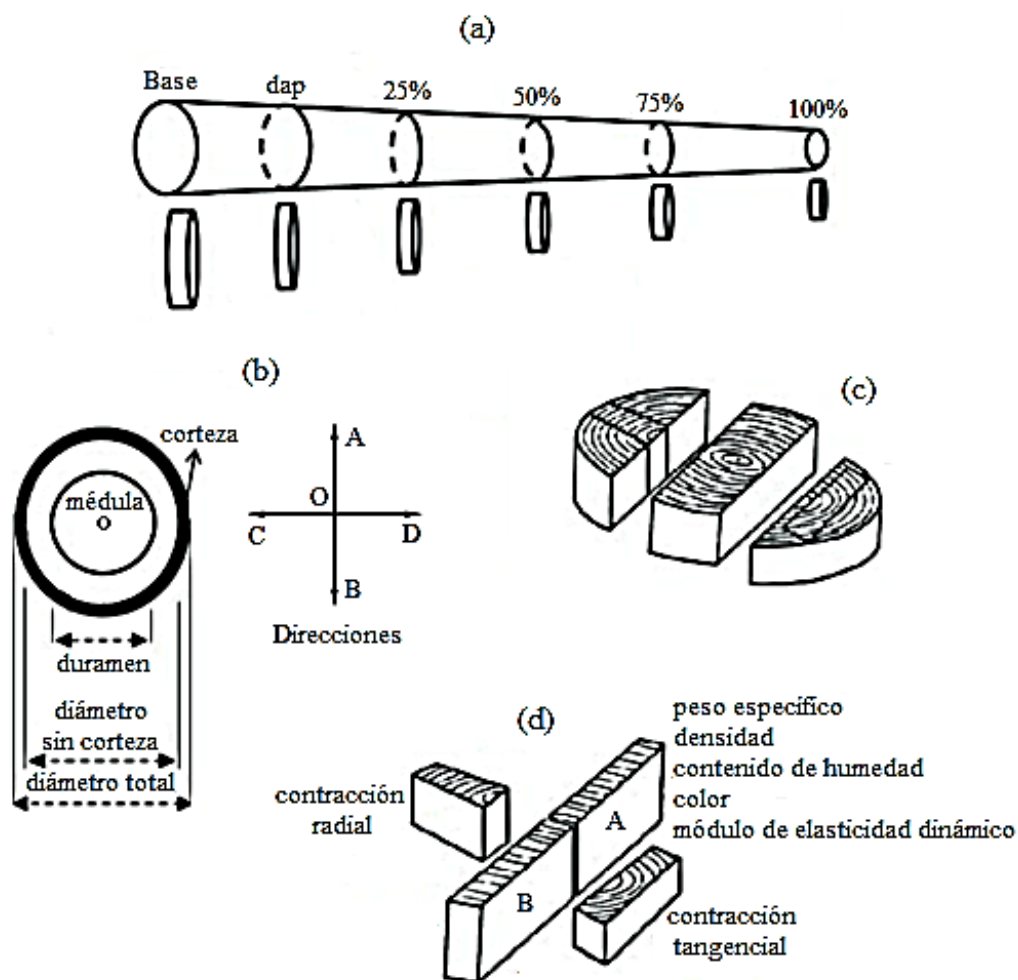


Figura 3. Patrones de corte para la determinación de las propiedades: Muestreo dentro del árbol (a), características morfológicas (b), muestreo para la determinación de las propiedades físicas, contracciones, color y módulo de elasticidad dinámico (c-d). Fuente: Tenorio et al. (2016).

Módulo de elasticidad dinámico

El módulo de elasticidad dinámico se determinó en las subsecciones A y B a la altura del DAP en condición al 12% (seco al aire). En estas muestras se midió el peso al 12%, volumen al 12%, longitud de la muestra y tiempo de ultrasonido. Se utilizó el peso al 12% y volumen al 12% para obtener la densidad de la madera, y la longitud de la muestra y el tiempo de ultrasonido para obtener la velocidad del ultrasonido. En el caso de la velocidad de ultrasonido fue determinado midiendo el tiempo en recorrer la onda del ultrasonido en la muestra. Para esto se utilizó el equipo SYLVATEST DUO, y sus 2 transductores de 22 kHz fueron colocados en cada extremo de la muestra (uno emisor y otro receptor de onda) (Méndez, 2015). El módulo de elasticidad dinámico se obtuvo mediante la ecuación 6:

$$E_{US} = V_{US}^2 * \rho h * 10^{-9} \quad (6)$$

Donde: E_{US} = Módulo de elasticidad dinámico (GPa), V_{US} = Velocidad del ultrasonido (m/s) y ρh = Densidad al 12% (kg/m^3).

Color

Se determinó el color en el área de duramen de las submuestras A y B tomadas a la altura del DAP y en condición al 12% (seco al aire), ya que esta porción de madera es considerada la más importante para la comercialización de *D. panamensis* (Tenorio et al., 2016). Se utilizó el espectrofotómetro MiniScan EZ 4500L, donde se obtuvo los parámetros L^* , a^* y b^* (Arce y Moya, 2015). Con la finalidad de determinar la variación del color de la madera de duramen de las diferentes familias, se usó como referencia (testigo) las muestras de *D. panamensis* de bosque natural que posee la xiloteca del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TECW), las cuales presentaron parámetros promedio de $L^*=47,28$, $a^*=10,86$ y $b^*=19,99$. La diferencia de color entre la madera de las familias y la muestra procedente de bosque natural se determinó mediante la ecuación 7 (ASTM, 2016):

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (7)$$

Donde:

ΔE = diferencia de color, $\Delta L = L_{\text{muestra}} - L_{\text{testigo}}$, $\Delta a = a_{\text{muestra}} - a_{\text{testigo}}$ y $\Delta b = b_{\text{muestra}} - b_{\text{testigo}}$.

Análisis genético

El análisis genético de las características morfológicas, propiedades físicas, módulo de elasticidad dinámico y color de las diferentes familias y poblaciones estudiadas se realizó con los datos tomados a la altura del DAP utilizando el software SELEGEN (Resende, 2007). Se analizó las familias presentes en el ensayo genético de procedencias/familias de 8 años mediante el modelo 19 (ecuación 8) de bloques completos, y las dos poblaciones estudiadas (8 años y 18 años) mediante el modelo 24 (ecuación 9) de bloques completos al azar con varias poblaciones sin estructura de familias (Resende, 2006).

$$y = X_r + Z_a + e \quad (8)$$

$$y = X_r + Z_g + W_p + e \quad (9)$$

Donde: y = vector de datos, r = vector de los efectos de repetición, a = vector de los efectos genéticos aditivos individuales, g = vector de los efectos genotípicos de las familias o poblaciones, p = vector de los efectos de las parcelas, e = vector de errores residuales y X , Z , W = matrices de incidencia para dichos efectos

Los parámetros genéticos considerados para el análisis entre familias con el modelo 19 fueron: heredabilidad individual en el sentido restringido, es decir, de los efectos aditivos ($h2a$), heredabilidad promedio de familias, asumiendo una supervivencia completa ($h2mp$), exactitud de la selección de familias, asumiendo una supervivencia completa ($Acprog$), coeficiente de variación genética aditiva individual ($CVgi\%$) y coeficiente de variación genética entre familias ($CVgp\%$). Mientras que con el modelo 24 se determinó la heredabilidad individual en sentido amplio, es decir, de los efectos genotípicos totales de las poblaciones ($h2g$), heredabilidad del promedio de poblaciones, asumiendo una supervivencia completa ($h2mp$) y exactitud de la selección de poblaciones, asumiendo una supervivencia completa ($Acproc$) (Resende, 2016).

Análisis estadístico

Se determinó el dato estadístico promedio para todas las pruebas realizadas. Mediante el programa estadístico InfoStat se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) donde se comparó las características morfológicas, las propiedades físicas, el módulo de elasticidad dinámico y el color, entre familias dentro de cada procedencia. Como segundo análisis se realizó otro ANDEVA para las características morfológicas, propiedades físicas, módulo de elasticidad dinámico y color entre las procedencias del ensayo de procedencias/familias de 8 años (consideradas como poblaciones para efectos del análisis) y el ensayo poblacional de 18 años de edad. Se estableció las diferencias entre variables mediante la prueba Tukey en los dos tipos de análisis.

RESULTADOS

Características morfológicas

- Diferencia entre familias a la altura del pecho

En la figura 4, se presentan el DAP y el diámetro del duramen a la altura del pecho para cada familia en cada una de las procedencias estudiadas. En la variable DAP (Figura 4a) la variación entre familias fue de 14,98 cm a 16,14 cm para la procedencia C, de 15,30 cm a 16,25 cm para CSJ y de 15,39 cm a 16,28 cm para PV. En cuanto a la variable diámetro del duramen (Figura 4b), la variación es de 3,75 cm a 6,29 cm para C, de 4,25 cm a 6,74 cm para CSJ y de 4,26 cm a 5,21 cm para PV. Al evaluar estadísticamente las diferencias entre las medias se encontró que el DAP y el diámetro de duramen no presentaron diferencias significativas entre familias de cada procedencia (Figura 4a y 4b).

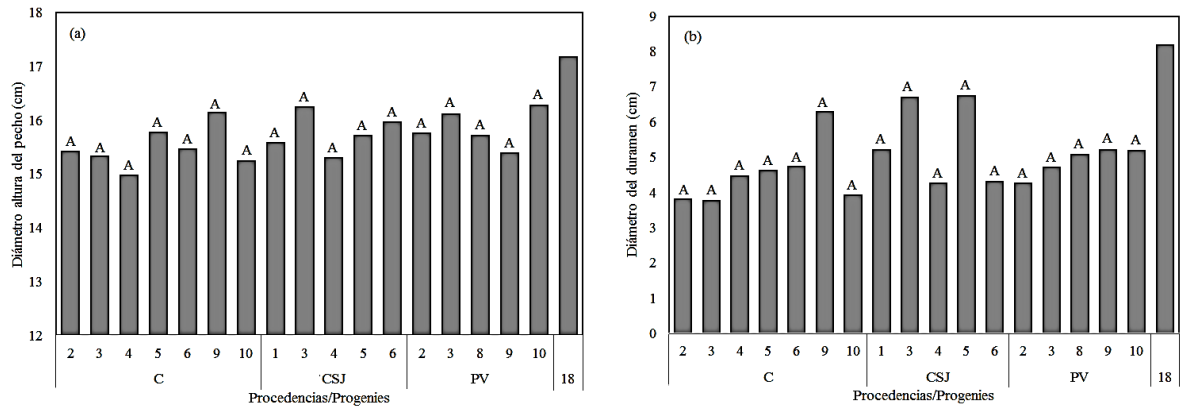


Figura 4. DAP y diámetro del duramen a la altura del pecho según familias por procedencia en ensayo de procedencias/familias de *Dipteryx panamensis* a los 8 años de edad en San Carlos, Costa Rica.

Leyenda: Letras diferentes sobre la barra de promedio, indica que existen diferencias estadísticas significativas entre familias de una misma procedencia a un nivel de confianza de 99%.

El resto de las características morfológicas de las familias en las diferentes procedencias, se presentan en el cuadro 1. En dicho cuadro se puede observar que solo la procedencia CSJ muestra diferencias significativas, específicamente en el porcentaje de corteza, donde la familia 3 es diferente estadísticamente a la familia 5. Sin embargo, no hay diferencias significativas entre 5 y las otras familias. En el resto de las características morfológicas, las cuales son porcentaje de duramen, espesor de albura, porcentaje de albura, espesor de corteza, diámetro de médula, porcentaje de médula y porcentaje de excentricidad, no presentan diferencias estadísticas entre las familias dentro de las procedencias. El porcentaje de duramen y porcentaje de albura fueron los que presentaron una variación más extensa, entre 6,1 y 17,9% y, de 69,4 a 83,9% respectivamente (Cuadro 1).

- Diferencia entre poblaciones a la altura del pecho

En el cuadro 2, se detallan las características morfológicas de las poblaciones del ensayo genético de 8 años, siendo comparadas entre sí y con el ensayo genético poblacional de 18 años. En el caso de las variables espesor de corteza, porcentaje de corteza, diámetro de médula, porcentaje de médula y porcentaje de excentricidad, la tendencia es muy similar, y no presentan diferencias significativas entre poblaciones. Para las variables diámetro, diámetro de duramen, porcentaje de duramen y porcentaje de albura, no se encuentran diferencias significativas entre las poblaciones de 8 años, pero sí hay diferencias significativas en edad con la población de 18 años, la cual presenta valores superiores para estas características. En cuanto a la variable espesor de albura, la variación es entre 4 cm y 5,1 cm, las poblaciones C y PV son diferentes estadísticamente a la población de 18 años, aunque entre C y PV no hay diferencias significativas.

Cuadro 1. Características morfológicas a la altura del pecho según familias por procedencia en ensayo de procedencias/familias de 8 años de *Dipteryx panamensis* en San Carlos, Costa Rica.

Ensayo genético	Procedencia	Familia	Porcentaje de duramen	Espesor de albura (cm)	Porcentaje de albura	Espesor de corteza (cm)	Porcentaje de corteza	Diámetro de médula (cm)	Porcentaje de médula	Porcentaje de excentricidad	
Procedencias/Familias	C	2	6,1 ^A	5,4 ^A	83,8 ^A	0,4 ^A	10,1 ^A	0,8 ^A	0,4 ^A	1,3 ^A	
		3	6,1 ^A	5,3 ^A	82,1 ^A	0,5 ^A	11,9 ^A	1,3 ^A	0,7 ^A	1,1 ^A	
		4	9,3 ^A	4,8 ^A	78,8 ^A	0,5 ^A	12,0 ^A	1,0 ^A	0,5 ^A	1,5 ^A	
		5	8,7 ^A	5,1 ^A	80,7 ^A	0,4 ^A	10,6 ^A	1,1 ^A	0,5 ^A	0,9 ^A	
		6	10,4 ^A	4,9 ^A	79,1 ^A	0,4 ^A	10,6 ^A	1,1 ^A	0,5 ^A	1,3 ^A	
		9	15,9 ^A	4,5 ^A	74,4 ^A	0,4 ^A	9,7 ^A	1,3 ^A	0,6 ^A	1,3 ^A	
		10	6,7 ^A	5,3 ^A	83,8 ^A	0,4 ^A	9,5 ^A	1,0 ^A	0,5 ^A	1,0 ^A	
		CSJ	1	11,5 ^A	4,8 ^A	78,1 ^A	0,4 ^A	10,5 ^{AB}	1,1 ^A	0,5 ^A	1,5 ^A
			3	17,9 ^A	4,4 ^A	72,6 ^A	0,4 ^A	9,5 ^A	1,3 ^A	0,7 ^A	1,1 ^A
			4	7,8 ^A	5,1 ^A	82,0 ^A	0,4 ^A	10,2 ^{AB}	1,1 ^A	0,5 ^A	0,6 ^A
	5		19,5 ^A	4,0 ^A	69,4 ^A	0,5 ^A	11,1 ^B	1,2 ^A	0,6 ^A	1,0 ^A	
	6		8,9 ^A	5,4 ^A	81,3 ^A	0,4 ^A	9,8 ^{AB}	1,1 ^A	0,5 ^A	1,8 ^A	
	PV	2	7,4 ^A	5,3 ^A	82,4 ^A	0,4 ^A	10,2 ^A	1,0 ^A	0,4 ^A	1,7 ^A	
		3	8,6 ^A	5,3 ^A	80,8 ^A	0,4 ^A	10,5 ^A	1,0 ^A	0,5 ^A	0,8 ^A	
		8	10,8 ^A	4,9 ^A	78,2 ^A	0,4 ^A	11,0 ^A	1,1 ^A	0,5 ^A	0,9 ^A	
		9	11,8 ^A	4,7 ^A	78,7 ^A	0,4 ^A	9,5 ^A	1,0 ^A	0,5 ^A	1,5 ^A	
		10	11,2 ^A	5,1 ^A	78,9 ^A	0,4 ^A	9,9 ^A	1,1 ^A	0,4 ^A	1,2 ^A	

Letrada: Letras diferentes junto al promedio, indica que existen diferencias estadísticas significativas entre familias de una misma procedencia a un nivel de confianza de 99%.

Cuadro 2. Características morfológicas a la altura del pecho según poblaciones de ensayos genéticos de *Dipteryx panamensis* en San Carlos, Costa Rica.

Ensayo genético	Población	Diámetro altura del pecho (cm)	Diámetro de duramen (cm)	Porcentaje de duramen	Espesor de albura (cm)	Porcentaje de albura	Espesor de corteza (cm)	Porcentaje de corteza	Diámetro de médula (cm)	Porcentaje de médula	Porcentaje de excentricidad
Procedencias/Familias	C	15,5 ^A	4,5 ^A	9,0 ^A	5,1 ^A	80,4 ^A	0,4 ^A	10,6 ^A	1,1 ^A	0,5 ^A	1,2 ^A
	CSJ	15,8 ^A	5,4 ^A	13,1 ^A	4,7 ^{AB}	76,6 ^A	0,4 ^A	10,2 ^A	1,1 ^A	0,5 ^A	1,2 ^A
	PV	15,8 ^A	4,9 ^A	10,0 ^A	5,1 ^A	79,8 ^A	0,4 ^A	10,2 ^A	1,1 ^A	0,5 ^A	1,2 ^A
Poblacional	18 años	17,2 ^B	8,2 ^B	23,4 ^B	4,0 ^B	66,1 ^B	0,5 ^A	10,5 ^A	1,1 ^A	0,5 ^A	1,4 ^A

Leyenda: Letras diferentes junto al promedio, indica que existen diferencias estadísticas significativas entre poblaciones a un nivel de confianza de 99%.

- Variación a diferentes alturas

La variación a diferentes alturas del árbol para las características morfológicas según poblaciones del ensayo genético de 8 años y el ensayo poblacional de 18 años se muestran en la figura 5. El diámetro del duramen disminuye con el aumento de la altura del árbol (Figura 5b), en la base del árbol las poblaciones C, CSJ y PV son iguales entre sí, pero diferentes a la población de 18 años; a la altura del 25%, 50% y 75% la diferencia se da entre la población de 18 años y las poblaciones C y PV, siendo C y PV estadísticamente iguales. En cuanto al espesor de albura (Figura 5c), solo al 100% de altura no se dan diferencias significativas; a la altura de la base del árbol, las poblaciones C, CSJ y PV son iguales entre ellas pero estadísticamente diferentes a la población de 18 años; al 25% y 50% las diferencias estadísticas se dan entre la población de 18 años y las poblaciones C y PV de 8 años; y a la altura del 75% se encuentran diferencias entre la población C y la población de 18 años.

El diámetro de médula tiende a aumentar hasta la altura de 1,30 m y a partir de esta disminuye con la altura (Figura 5e). En relación con las diferencias entre poblaciones, se tiene que hay diferencias significativas entre la población de 18 años y las poblaciones C y CSJ a la altura de 50% y 75%, y entre la edad de las poblaciones C, CSJ y PV con la edad de la población de 18 años a la altura de 100%. En cuanto al porcentaje de excentricidad de médula (Figura 5f), solo se observaron diferencias significativas entre la población PV y la población de 18 años a la altura de 100%. En las variables diámetro y espesor de corteza no se encontraron diferencias estadísticas significativas (Figura 5a y 5d).

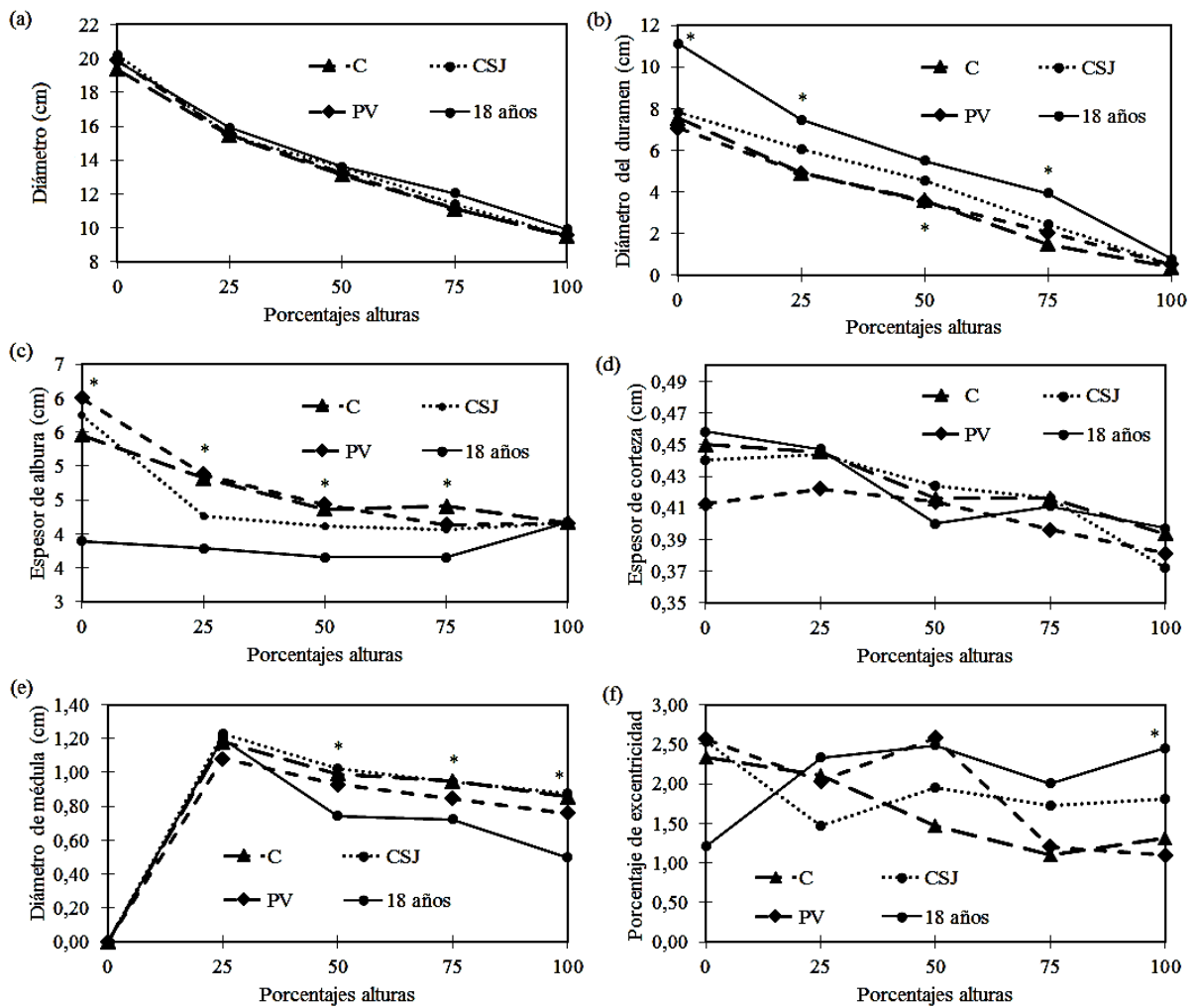


Figura 5. Variación de las características morfológicas a diferentes alturas según poblaciones de ensayos genéticos de *Dipteryx panamensis* en San Carlos, Costa Rica.

Leyenda: El asterisco (*) indica que existen diferencias estadísticas significativas entre poblaciones en la altura señalada.

El cuadro 3, muestra otras propiedades morfológicas del árbol, y se observa que en porcentaje de corteza no hay diferencias significativas a ninguna altura para ninguna de las poblaciones analizadas. En el porcentaje de duramen en la base del árbol, la población de 18 años es diferente estadísticamente a las poblaciones C, CSJ y PV; a la altura de 25% y 50% las poblaciones C y PV son iguales entre sí, pero diferentes a la población de 18 años; C tiene diferencias significativas a la altura de 75% con la población de 18 años; y a la altura de 100% no hay diferencias significativas. El porcentaje de albura tiene diferencias significativas en la mayoría de las alturas, exceptuando la altura 100%; en la base la población de 18 años es diferente a las demás poblaciones; al 25% y 50%, C y CSJ son estadísticamente diferentes a la población de 18 años; y al 75% la población C es diferente a las otras poblaciones. A la altura de la base y al 25% según la variable porcentaje de médula no se observan diferencias significativas; al 50% y 75% la población de 18 años es diferente a C y CSJ; y al 100% la diferencia se da en edad entre la población de 18 años y las demás poblaciones.

Las variables diámetro, diámetro del duramen y porcentaje del duramen según las familias de cada procedencia, tienden a disminuir conforme la altura del árbol aumenta. Sin embargo, principalmente en el porcentaje de duramen se encuentran variaciones notables entre alturas para algunas de las familias de cada procedencia. A su vez, no se encuentran diferencias estadísticas significativas en estas tres variables (Figura 6). Para las demás variables morfológicas que se estudiaron, las cuales fueron espesor de albura, porcentaje de albura, espesor de corteza, porcentaje de corteza, diámetro de médula, porcentaje de médula y porcentaje de excentricidad, se encontraron diferencias significativas en porcentaje de médula y porcentaje de excentricidad. En cuanto al porcentaje de médula la diferencia se dio entre las familias 3 y 4 de la procedencia C a una altura del 50%; y en el porcentaje de excentricidad, la diferencia está a la altura de 25% entre las familias 3 y 6 de la procedencia CSJ. Entre las demás familias las diferencias no fueron significativas entre sí.

Cuadro 3. Variación de los porcentajes de características morfológicas a diferentes alturas según poblaciones de ensayos genéticos de *Dipteryx panamensis* en San Carlos, Costa Rica.

Altura	Población	Porcentaje de duramen	Porcentaje de albura	Porcentaje de corteza	Porcentaje de médula
0	C	15,8 ^A	75,1 ^A	9,1 ^A	0,0 ^A
	CSJ	15,6 ^A	75,9 ^A	8,6 ^A	0,0 ^A
	PV	13,2 ^A	78,8 ^A	8,1 ^A	0,0 ^A
	18 años	32,2 ^B	58,8 ^B	9,0 ^A	0,0 ^A
25	C	11,2 ^A	77,6 ^A	11,3 ^A	0,6 ^A
	CSJ	16,6 ^{AB}	72,2 ^{AB}	11,2 ^A	0,7 ^A
	PV	10,6 ^A	78,8 ^A	10,6 ^A	0,5 ^A
	18 años	22,6 ^B	66,6 ^B	10,9 ^A	0,6 ^A
50	C	8,5 ^A	79,3 ^A	12,3 ^A	0,6 ^A
	CSJ	12,2 ^{AB}	75,7 ^{AB}	12,1 ^A	0,6 ^A
	PV	7,7 ^A	80,2 ^A	12,1 ^A	0,5 ^{AB}
	18 años	16,7 ^B	71,9 ^B	11,4 ^A	0,3 ^B
75	C	3,0 ^A	82,5 ^A	14,4 ^A	0,8 ^A
	CSJ	6,8 ^{AB}	79,1 ^{AB}	14,1 ^A	0,7 ^A
	PV	5,1 ^{AB}	81,1 ^{AB}	13,8 ^A	0,6 ^{AB}
	18 años	10,9 ^B	75,9 ^B	13,2 ^A	0,4 ^B
100	C	0,9 ^A	83,2 ^A	15,9 ^A	0,9 ^A
	CSJ	1,7 ^A	83,3 ^A	14,9 ^A	0,9 ^A
	PV	1,0 ^A	83,7 ^A	15,3 ^A	0,7 ^A
	18 años	1,8 ^A	82,7 ^A	15,5 ^A	0,3 ^B

Leyenda: Letras diferentes junto al promedio, indica que existen diferencias estadísticas significativas entre poblaciones a un nivel de confianza de 99%.

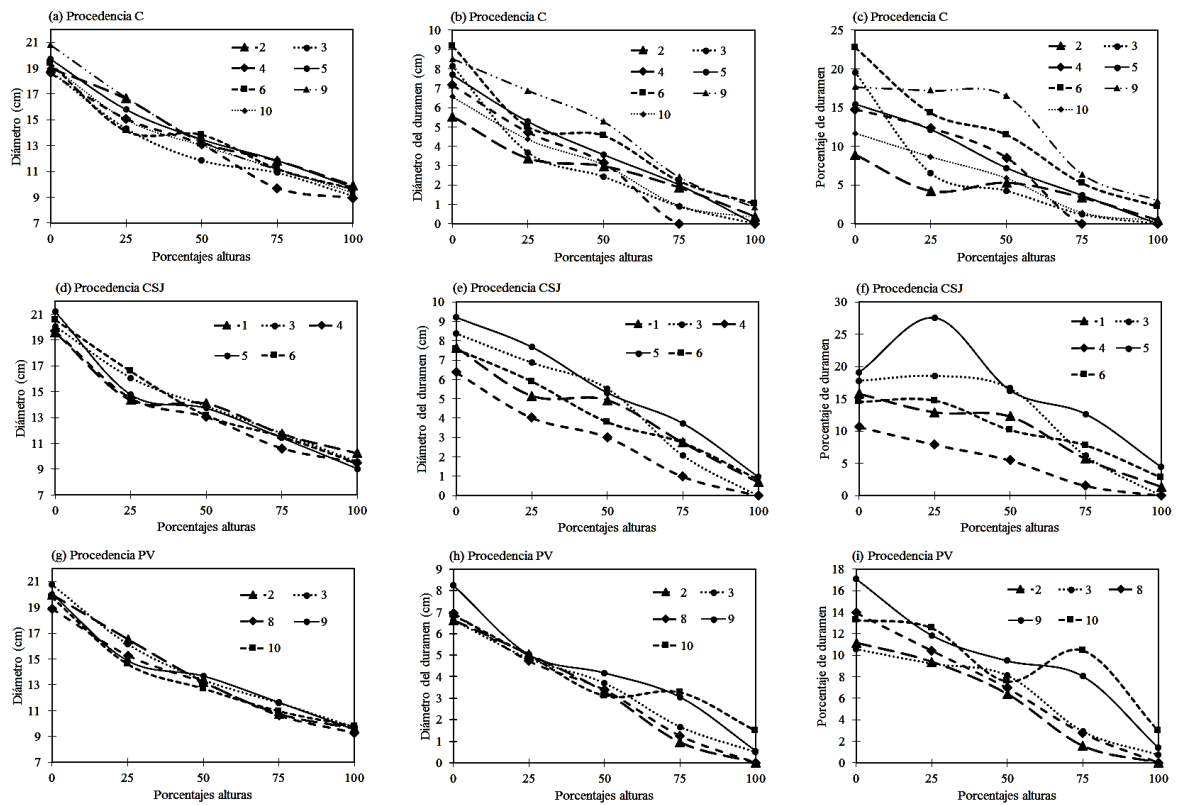


Figura 6. Variación del diámetro, diámetro del duramen y porcentaje de duramen a diferentes alturas según procedencias y familias de ensayo de procedencias/familias de 8 años de *Dipteryx panamensis* en San Carlos, Costa Rica.

Leyenda: El asterisco (*) indica que existe diferencias significativas entre familias en la altura señalada.

Propiedades físicas

- Diferencia entre familias a la altura del pecho

La densidad verde (Figura 7b), módulo de elasticidad dinámico (Figura 7d) y ΔE (Figura 7e) presentan variaciones de $1,12 \text{ g/cm}^3$ a $1,16 \text{ g/cm}^3$, de $2,74 \text{ GPa}$ a $3,33 \text{ GPa}$ y de $14,11$ a $21,90$ respectivamente. En todas las familias en cada procedencia no se evidenció diferencias significativas. En el peso específico básico (Figura 7a), la variación es de $0,66$ y $0,76$ entre familias de las tres procedencias; en la procedencia CSJ hay diferencias estadísticas significativas entre las familias 1-4, 1-5, 3-4, 3-6, 4-5 y 5-6 de esa misma procedencia, siendo superior la familia 4, en tanto que en las familias de las procedencias C y PV no hay diferencias significativas. La procedencia CSJ también posee diferencias significativas en la variable contenido de humedad verde (Figura 7c), donde las diferencias se dan entre las familias 1-5, 3-4, 3-6, 4-5 y 5-6; y en las familias de las procedencias C y PV no hay diferencias significativas.

En el cuadro 4 se muestra que no se encontraron diferencias estadísticas significativas en las variables contracción tangencial al 12%, contracción radial al 12%, contracción radial total, el parámetro L^* y b^* . La densidad al 12% posee una variación muy pequeña entre familias de la procedencia CSJ, donde 3 y 5 no tienen diferencias significativas, al igual que 4 y 6, pero sí existen diferencias de 3 y 5 con 4 y 6. La contracción tangencial total muestra diferencias significativas en las familias de CSJ y PV, donde 1 es diferente a 3, 5 y 6 en CSJ, y la familia 2 es diferente a las otras familias en PV. El parámetro a^* de color, presenta variaciones de $6,9$ a $9,7$ entre las familias de la procedencia C, siendo 3 y 9 diferentes estadísticamente; y existe poca variación en CSJ donde 3 y 6 estadísticamente tienen diferencias significativas.

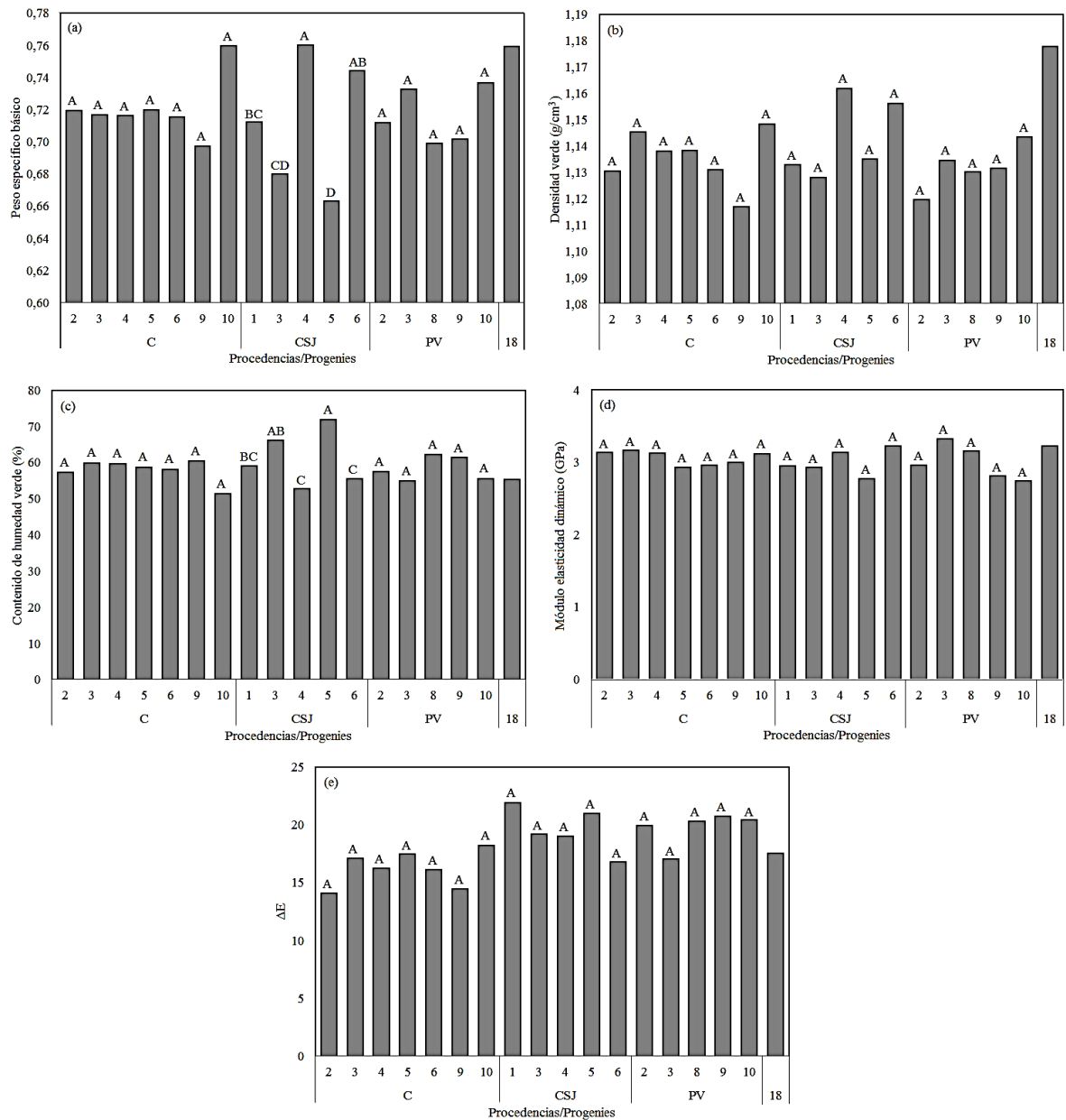


Figura 7. Propiedades físicas y módulo de elasticidad dinámico a la altura del pecho según familias por procedencia en ensayo genético de 8 años de *Dipteryx panamensis* en San Carlos, Costa Rica.

Legenda: Letras diferentes sobre la barra de promedio, indica que existen diferencias estadísticas significativas entre familias de una misma procedencia a un nivel de confianza de 99%.

Cuadro 4. Propiedades físicas a la altura del pecho según familias por procedencia en ensayo de procedencias/familias de 8 años de *Dipteryx panamensis* en San Carlos, Costa Rica.

Ensayo genético	Procedencia	Familia	Densidad al 12% (g/cm ³)	Contracción tangencial al 12% (%)	Contracción tangencial total (%)	Contracción radial al 12% (%)	Contracción radial total (%)	Parámetro de color		
								L*	a*	b*
Procedencias/Familias	C	2	0,9 ^A	3,2 ^A	5,8 ^A	1,6 ^A	2,5 ^A	58,1 ^A	8,1 ^{AB}	28,1 ^A
		3	0,9 ^A	3,1 ^A	5,5 ^A	1,3 ^A	2,3 ^A	62,7 ^A	6,9 ^A	25,7 ^A
		4	0,9 ^A	3,8 ^A	6,3 ^A	1,3 ^A	2,3 ^A	61,4 ^A	7,2 ^{AB}	26,6 ^A
		5	0,9 ^A	3,5 ^A	6,0 ^A	1,3 ^A	2,5 ^A	62,1 ^A	6,9 ^{AB}	28,1 ^A
		6	0,9 ^A	3,5 ^A	6,0 ^A	1,7 ^A	2,8 ^A	61,0 ^A	8,7 ^{AB}	27,6 ^A
		9	0,8 ^A	3,2 ^A	5,5 ^A	1,5 ^A	2,3 ^A	58,0 ^A	9,7 ^B	28,3 ^A
	10	0,9 ^A	3,5 ^A	5,7 ^A	1,4 ^A	2,5 ^A	63,3 ^A	7,0 ^{AB}	27,6 ^A	
	CSJ	1	0,8 ^{AB}	3,4 ^A	6,7 ^A	1,4 ^A	2,5 ^A	67,2 ^A	6,1 ^{AB}	27,6 ^A
		3	0,8 ^B	3,1 ^A	5,5 ^B	1,6 ^A	2,7 ^A	63,8 ^A	6,1 ^A	28,0 ^A
		4	0,9 ^A	3,4 ^A	5,9 ^{AB}	1,6 ^A	2,4 ^A	63,2 ^A	6,9 ^{AB}	29,2 ^A
		5	0,8 ^B	3,4 ^A	5,7 ^B	1,5 ^A	2,5 ^A	64,6 ^A	7,6 ^{AB}	30,9 ^A
		6	0,9 ^A	3,2 ^A	5,7 ^B	1,6 ^A	2,8 ^A	61,6 ^A	8,0 ^B	27,6 ^A
	PV	2	0,8 ^A	2,3 ^A	5,7 ^A	1,3 ^A	2,3 ^A	65,2 ^A	6,6 ^A	26,8 ^A
		3	0,9 ^A	3,4 ^A	6,0 ^{AB}	1,4 ^A	2,8 ^A	61,4 ^A	6,8 ^A	28,1 ^A
		8	0,8 ^A	3,0 ^A	5,9 ^{AB}	1,4 ^A	2,5 ^A	64,0 ^A	6,7 ^A	30,7 ^A
		9	0,8 ^A	3,3 ^A	5,8 ^{AB}	1,7 ^A	3,0 ^A	65,5 ^A	6,7 ^A	28,6 ^A
		10	0,9 ^A	3,9 ^A	6,5 ^B	1,7 ^A	2,8 ^A	64,9 ^A	7,2 ^A	29,2 ^A

Legenda: Letras diferentes junto al promedio, indica que existen diferencias estadísticas significativas entre familias de una misma procedencia a un nivel de confianza de 99%.

- Diferencia entre poblaciones a la altura de pecho.

En el cuadro 5, se detalla las propiedades físicas entre las diferentes poblaciones. En él, se observa que no hay diferencias estadísticas en las variables densidad al 12%, contracción tangencial al 12%, contracción tangencial total y módulo de elasticidad dinámico. Para las variables peso específico básico y densidad verde, la población de 18 años es estadísticamente diferente a las otras poblaciones. La población CSJ es superior y diferente estadísticamente a la población de 18 años en contenido de humedad verde. En cuanto a contracción radial al 12%, la población de 18 años es superior y diferente a las poblaciones C y PV. Las poblaciones C y CSJ son diferentes a la población de 18 años en contracción radial total. Para los parámetros de color, C es diferentes a CSJ y PV en el parámetro L, C es diferente a PV en el parámetro a*, y CSJ y PV son diferentes a la población de 18 años en el parámetro b*, pero iguales entre sí. En el cambio de color (ΔE) se encontró que las diferencias significativas se dan entre la población C y las poblaciones CSJ y PV, siendo superiores e iguales las poblaciones CSJ y PV.

Cuadro 5. Propiedades físicas y módulo de elasticidad dinámico a la altura del pecho según poblaciones de ensayos genéticos de *Dipteryx panamensis* en San Carlos, Costa Rica.

Variables	Ensayo genético			
	Procedencias/Familias			Poblacional
	C	CSJ	PV	18 años
PEB	0,7 ^A	0,7 ^A	0,7 ^A	0,8 ^B
Densidad verde (g/cm ³)	1,1 ^A	1,1 ^A	1,1 ^A	1,2 ^B
Densidad al 12% (g/cm ³)	0,9 ^A	0,8 ^A	0,9 ^A	0,9 ^A
Contenido de humedad verde (%)	57,9 ^{AB}	61,1 ^A	58,3 ^{AB}	55,3 ^B
Contracción tangencial al 12% (%)	3,4 ^A	3,3 ^A	3,2 ^A	3,5 ^A
Contracción tangencial total (%)	5,8 ^A	5,9 ^A	6,0 ^A	6,1 ^A
Contracción radial al 12% (%)	1,5 ^A	1,6 ^{AB}	1,4 ^A	1,9 ^B
Contracción radial total (%)	2,5 ^A	2,6 ^A	2,7 ^{AB}	3,1 ^B
Parámetro de color L*	60,9 ^A	64,1 ^B	64,2 ^B	62,9 ^{AB}
Parámetro de color a*	7,8 ^A	6,9 ^{AB}	6,8 ^B	7,7 ^{AB}
Parámetro de color b*	27,4 ^{AB}	28,6 ^A	28,7 ^A	26,0 ^B
Cambio de color ΔE^*	16,3 ^A	19,6 ^B	19,6 ^B	17,5 ^{AB}
Módulo elasticidad dinámico (GPa)	3,1 ^A	3,0 ^A	3,0 ^A	3,2 ^A

Legenda: Letras diferentes junto al promedio, indica que existen diferencias estadísticas significativas entre poblaciones a un nivel de confianza de 99%.

- Variación a diferentes alturas

Las propiedades físicas en las diferentes alturas (Figura 8) muestran que el peso específico básico y el contenido de humedad verde presentaron diferencias significativas entre poblaciones en todas las alturas (Figura 8a y 8c), mientras que en densidad verde solo a la altura de 25% no se encontraron diferencias estadísticas significativas (Figura 8b). A la altura de la base del árbol, se dan diferencias entre las poblaciones PV-CSJ y PV-C en peso específico básico, entre PV y CSJ en densidad verde, y entre C y PV en contenido de humedad verde. Al 25% de altura del árbol, la población de 18 años es diferente a la población CSJ, así como entre C y CSJ, tanto en peso específico básico como en contenido de humedad verde. A la altura de 50%, en peso específico básico las diferencias están entre C-PV, C-CSJ y CSJ con la población de 18 años, en densidad verde las diferencias se encuentran entre PV-C y PV y la población de 18 años, y en contenido de humedad C y CSJ. Para la altura de 75%, la población de 18 años es estadísticamente diferente a CSJ y PV en peso específico básico, y a PV en densidad verde, mientras en contenido de humedad verde la diferencia está entre las poblaciones C y CSJ. Al 100% de altura, la población de 18 años es diferente a CSJ y PV en peso específico básico, al igual que C y CSJ, y en cuanto a densidad verde y contenido de humedad verde la población CSJ es diferente a la población de 18 años.

En la figura 9, se observa la variación de las propiedades físicas de las familias de cada procedencia a distintas alturas. El peso específico básico tiende a disminuir con la altura y señala diferencias significativas al 0%, 25% y 50% de altura; a la altura de la base la diferencia se da entre las familias 2-9 y 2-10 de PV; en C entre las familias 6 y 10, y en CSJ entre 1-6, 3-6, 5-6 y 4-5 al 25%; y al 50% entre las familias 3 y 4 de CSJ (Figura 9a, 9b y 9c). La densidad verde muestra al igual que peso específico básico una tendencia a disminuir con la altura, también muestra diferencias significativas a la altura de la base del árbol entre las familias 3 y 4 de CSJ, y las familias 2-9 y 2-10 de PV; al 25% de altura son diferentes las familias 2-6, 4-6, 6-9 y 6-10 de C, y las familias 8-9 y 9-10 de PV (Figura 9d, 9e y 9f). En cuanto al contenido de humedad verde, la tendencia es ascendente hasta aproximadamente el 75% de altura, para luego disminuir. Las diferencias estadísticas del contenido de humedad verde se dan entre las familias 4-5 y 5-6 de la procedencia CSJ al 25%, al 50% entre las familias 3-4 y 4-5 de CSJ, al 75% de altura entre las familias 2-9, 3-9, 5-9, 6-10 y 9-10 de la procedencia C; y entre las familias 6-10 y 9-10 de C al 100% de altura (Figura 9g, 9h y 9i).

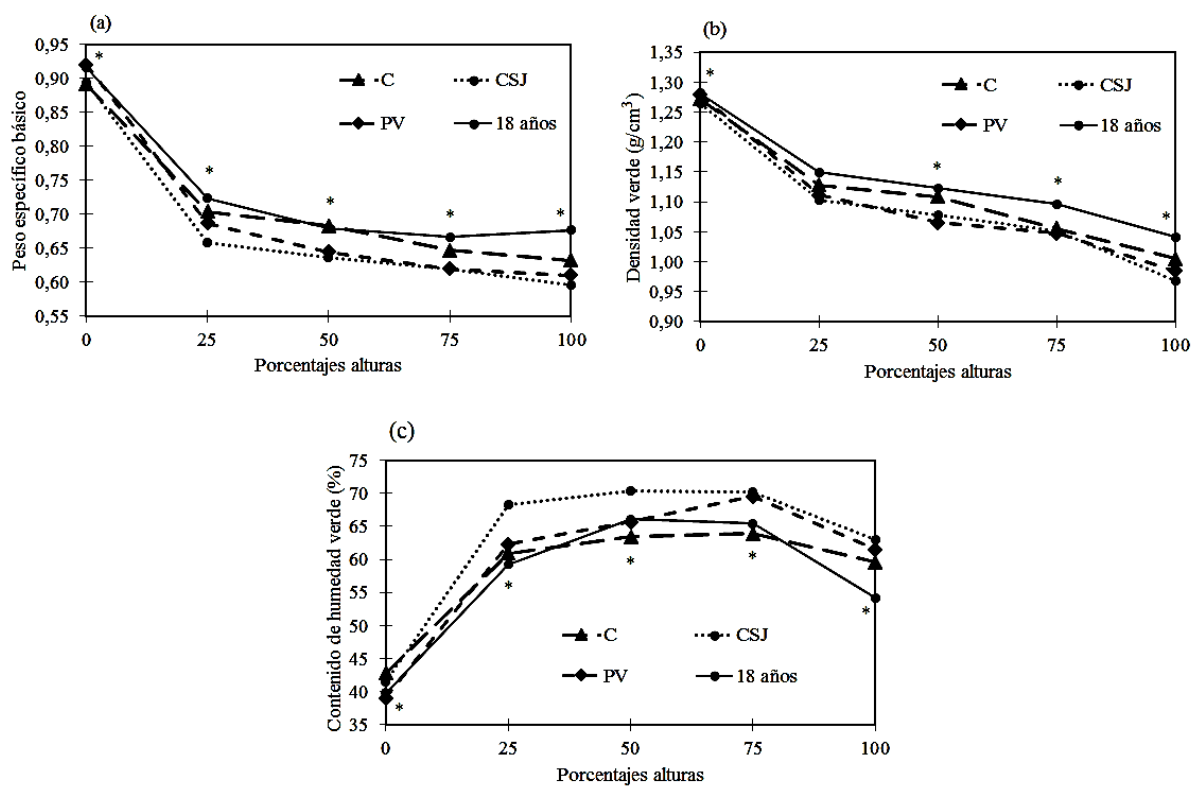


Figura 8. Variación de las propiedades físicas a diferentes alturas según poblaciones de ensayos genéticos de *Dipteryx panamensis* en San Carlos, Costa Rica.

Leyenda: El asterisco (*) indica que existe diferencias significativas entre poblaciones en la altura señalada.

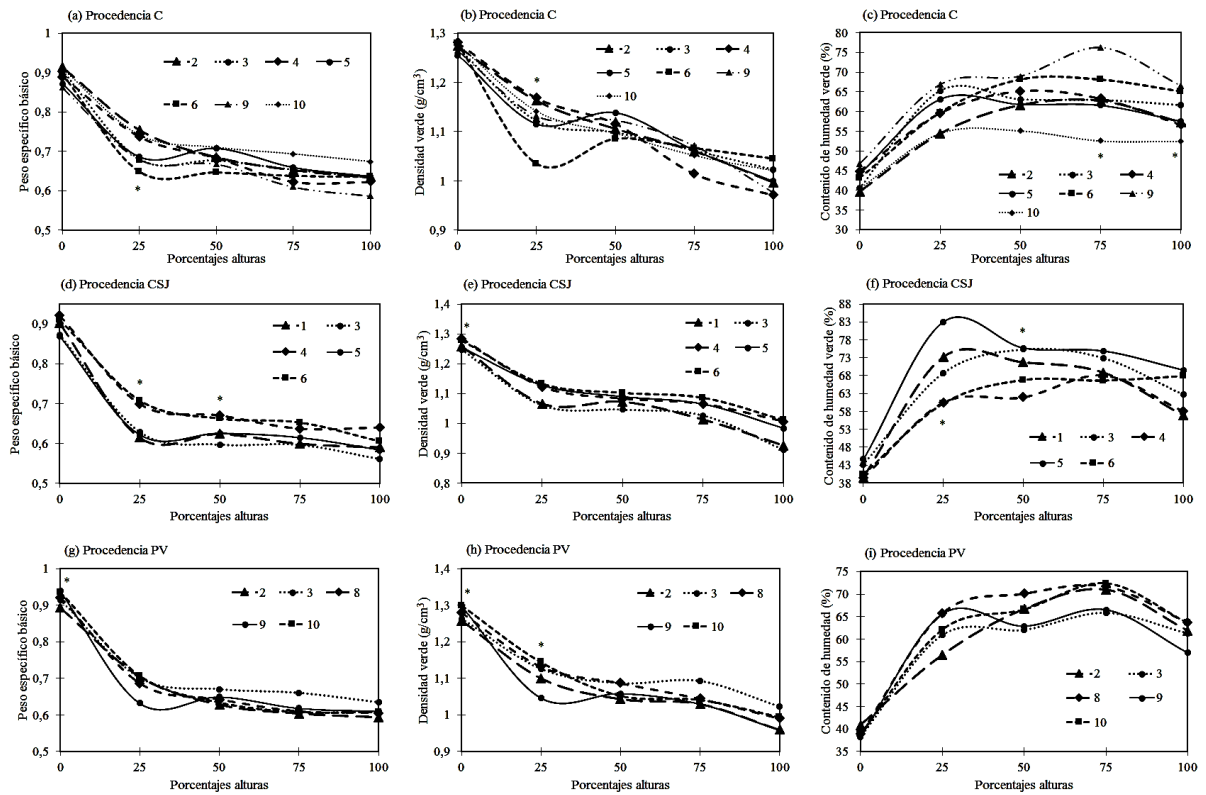


Figura 9. Variación de las propiedades físicas a diferentes alturas según procedencias y familias en ensayo de procedencias/familias de 8 años de *Dipteryx panamensis* en San Carlos, Costa Rica.

Leyenda: El asterisco (*) indica que existe diferencias significativas entre familias por procedencia en la altura señalada.

Análisis genético

- Análisis entre familias

Las variables diámetro de duramen, peso específico básico, contenido de humedad verde, densidad al 12%, contracción tangencial al 12%, contracción tangencial total y cambio de color ΔE presentan los mayores valores en los parámetros genéticos, con heredabilidad individual sobre el 15%, heredabilidad media de familias superior a 15%, exactitud de selección de familias mayores a 39%, coeficiente de variación genética individual mayores a 3% y coeficiente de variación genética entre familias mayores a 2%. Las variables diámetro de corteza, diámetro sin corteza, diámetro médula, densidad verde, contracción radial al 12%, contracción radial total y módulo de elasticidad dinámico presentan parámetros genéticos bajos, con valores menores a 7% en heredabilidad individual, menores a 7% en heredabilidad media de familias, menores a 26% en exactitud de selección de familias, con coeficiente de variación genética individual menores a 4% y con coeficiente de variación genética entre familias menores a 2% (Cuadro 6).

En el cuadro 7, se muestra el ranking genético y la estabilidad de las familias para cada una de las variables estudiadas. Considerando que las familias sobresalientes son las que se encuentran entre la posición 1 y 5 del ranking genético en un mayor número de variables, se determina que las familias CSJ3, CSJ6, PV3 y PV10 son las más destacadas, ya que se presentan en dicha posición (de 1 a 5) en 7 variables para CSJ3, 6 variables para CSJ6, 6 variables para PV3 y 8 variables para PV10. Las familias C2, C3, C4, C5, C6, C9, C10, CSJ1, CSJ4, CSJ5, PV2, PV8 y PV9 presentan solo de 2 a 5 variables en la posición de 1 a 5 en el ranking genético. En cuanto a la estabilidad, se observa que todas las familias estudiadas muestran poca estabilidad, ya que su posición en el ranking cambia considerablemente entre todas las variables.

Cuadro 6. Parámetros genéticos de las propiedades de la madera analizadas según las diferentes familias de ensayo de procedencias/familias de *Dipteryx panamensis* en San Carlos, Costa Rica.

Variables	Parámetros genéticos				
	h2a	h2mp	Acprog	CVgi%	CVgp%
Diámetro con corteza	0,01	0,01	0,1	0,51	0,26
Diámetro sin corteza	0,06	0,06	0,24	1,29	0,65
Diámetro de duramen	0,57	0,40	0,63	23,81	11,90
Diámetro de médula	0,01	0,01	0,12	2,65	1,32
Peso específico básico	0,17	0,15	0,39	3,37	1,68
Densidad verde	0,01	0,01	0,09	0,44	0,22
Contenido de humedad verde	0,98	0,56	0,75	12,40	6,20
Densidad al 12%	0,77	0,49	0,70	6,66	3,33
Contracción tangencial al 12%	0,71	0,46	0,68	14,16	7,08
Contracción tangencial total	0,69	0,46	0,67	7,72	3,86
Contracción radial al 12%	0,01	0,01	0,08	1,92	0,96
Contracción radial total	0,07	0,07	0,26	4,26	2,13
Cambio de color ΔE	0,31	0,25	0,50	13,63	6,81
Módulo elasticidad dinámico	0,01	0,01	0,09	1,02	0,51

Legenda: Donde h2a es heredabilidad individual en el sentido restringido, h2mp es heredabilidad promedio de familias, Acprog es exactitud de selección de familias, CVgi% es coeficiente de variación genética aditiva individual y CVgp% es coeficiente de variación genética entre familias.

Cuadro 7. Ranking y estabilidad genéticos para las propiedades de la madera analizadas entre familias del ensayo de procedencias/familias de *Dipteryx panamensis* en San Carlos, Costa Rica.

Diámetro con corteza	Diámetro sin corteza	Diámetro de duramen	Diámetro de médula	Peso específico básico	Densidad verde	Contenido de humedad verde	Densidad al 12%	Contracción tangencial al 12%	Contracción tangencial total	Contracción radial al 12%	Contracción radial total	Cambio de color ΔE	Módulo de elasticidad dinámico
C2 ¹³	C2 ¹²	C2 ¹⁶	C2 ¹⁷	C2 ⁵	C2 ¹⁴	C2 ¹²	C2 ¹¹	C2 ¹³	C2 ¹⁰	C2 ⁶	C2 ⁹	C2 ¹⁷	C2 ³
C3 ¹⁴	C3 ¹⁶	C3 ¹⁷	C3 ²	C3 ¹⁴	C3 ⁹	C3 ⁶	C3 ⁶	C3 ¹⁴	C3 ¹⁶	C3 ¹⁵	C3 ¹⁷	C3 ¹⁰	C3 ⁴
C4 ¹⁷	C4 ¹⁷	C4 ¹¹	C4 ¹²	C4 ⁴	C4 ²	C4 ⁷	C4 ⁹	C4 ²	C4 ³	C4 ¹⁶	C4 ¹⁵	C4 ¹³	C4 ⁵
C5 ⁶	C5 ⁶	C5 ¹⁰	C5 ¹⁰	C5 ¹²	C5 ¹⁰	C5 ⁹	C5 ⁴	C5 ³	C5 ⁴	C5 ¹⁴	C5 ¹²	C5 ⁹	C5 ¹¹
C6 ¹¹	C6 ¹³	C6 ⁸	C6 ⁵	C6 ⁶	C6 ³	C6 ¹⁰	C6 ¹²	C6 ⁵	C6 ⁶	C6 ¹	C6 ²	C6 ¹⁴	C6 ¹²
C9 ³	C9 ³	C9 ³	C9 ³	C9 ⁷	C9 ¹⁵	C9 ⁵	C9 ¹³	C9 ¹¹	C9 ¹⁷	C9 ⁸	C9 ¹⁶	C9 ¹⁶	C9 ⁹
C10 ¹⁶	C10 ¹⁴	C10 ¹⁵	C10 ¹⁶	C10 ²	C10 ⁸	C10 ¹⁷	C10 ¹	C10 ⁴	C10 ¹¹	C10 ¹¹	C10 ¹⁰	C10 ¹⁵	C10 ⁸
CSJ1 ¹⁰	CSJ1 ¹⁰	CSJ1 ⁵	CSJ1 ¹¹	CSJ1 ¹⁵	CSJ1 ¹¹	CSJ1 ⁸	CSJ1 ¹⁴	CSJ1 ⁷	CSJ1 ¹	CSJ1 ¹⁰	CSJ1 ¹¹	CSJ1 ¹	CSJ1 ¹⁰
CSJ3 ²	CSJ3 ¹	CSJ3 ²	CSJ3 ¹	CSJ3 ¹⁶	CSJ3 ¹⁶	CSJ3 ²	CSJ3 ¹⁵	CSJ3 ¹⁵	CSJ3 ¹⁵	CSJ3 ³	CSJ3 ⁶	CSJ3 ⁵	CSJ3 ¹⁴
CSJ4 ¹⁵	CSJ4 ¹⁵	CSJ4 ¹⁴	CSJ4 ⁷	CSJ4 ¹	CSJ4 ¹	CSJ4 ¹⁶	CSJ4 ²	CSJ4 ¹⁰	CSJ4 ⁸	CSJ4 ⁵	CSJ4 ¹³	CSJ4 ⁶	CSJ4 ⁷
CSJ5 ⁹	CSJ5 ⁹	CSJ5 ¹	CSJ5 ⁴	CSJ5 ¹⁷	CSJ5 ¹²	CSJ5 ¹	CSJ5 ¹⁷	CSJ5 ⁶	CSJ5 ¹²	CSJ5 ⁹	CSJ5 ⁷	CSJ5 ²	CSJ5 ¹⁶
CSJ6 ⁵	CSJ6 ⁵	CSJ6 ¹²	CSJ6 ⁸	CSJ6 ⁸	CSJ6 ⁴	CSJ6 ¹³	CSJ6 ³	CSJ6 ¹²	CSJ6 ¹³	CSJ6 ⁷	CSJ6 ³	CSJ6 ¹²	CSJ6 ²
PV2 ⁷	PV2 ⁷	PV2 ¹³	PV2 ¹⁴	PV2 ¹⁰	PV2 ⁶	PV2 ¹¹	PV2 ¹⁶	PV2 ¹⁷	PV2 ¹⁴	PV2 ¹⁷	PV2 ¹⁴	PV2 ⁴	PV2 ¹³
PV3 ⁴	PV3 ⁴	PV3 ⁹	PV3 ¹⁵	PV3 ³	PV3 ¹³	PV3 ¹⁵	PV3 ⁷	PV3 ⁸	PV3 ⁵	PV3 ¹³	PV3 ⁴	PV3 ¹¹	PV3 ¹
PV8 ⁸	PV8 ⁸	PV8 ⁷	PV8 ⁶	PV8 ¹³	PV8 ⁷	PV8 ³	PV8 ⁸	PV8 ¹⁶	PV8 ⁷	PV8 ¹²	PV8 ⁸	PV8 ³	PV8 ⁶
PV9 ¹²	PV9 ¹¹	PV9 ⁴	PV9 ¹³	PV9 ¹¹	PV9 ¹⁷	PV9 ⁴	PV9 ¹⁰	PV9 ⁹	PV9 ⁹	PV9 ²	PV9 ¹	PV9 ⁷	PV9 ¹⁵
PV10 ¹	PV10 ²	PV10 ⁶	PV10 ⁹	PV10 ⁹	PV10 ⁵	PV10 ¹⁴	PV10 ⁵	PV10 ¹	PV10 ²	PV10 ⁴	PV10 ⁴	PV10 ⁸	PV10 ¹⁷

Legenda: El número junto a la familia, indica la clasificación genética de dicha familia para cada variable, donde 1 es la más alta y 17 la más baja.

- Análisis entre edades

Las variables diámetro con corteza, diámetro sin corteza, diámetro de duramen, densidad verde, densidad al 12% y contracción radial total presentan los mayores valores en los parámetros genéticos, con heredabilidad individual entre 27% y 68%, heredabilidad del promedio de poblaciones del 80% al 99% y exactitud de selección de poblaciones del 89% y 100%. Las variables peso específico básico, contenido de humedad verde, contracción tangencial al 12% y contracción radial al 12% muestran valores de heredabilidad individual menores al 15%, aunque los parámetros heredabilidad del promedio de poblaciones y exactitud de selección de poblaciones revelan valores importantes mayores al 62% y 79%, respectivamente. Para las variables diámetro de la médula, contracción tangencial total, cambio de color ΔE y módulo de elasticidad dinámico los resultados fueron menores en los parámetros genéticos, con heredabilidad individual de 0%, heredabilidad promedio de poblaciones menores a 9% y exactitud de selección de poblaciones menores a 30% (Cuadro 8).

Cuadro 8. Parámetros genéticos de las propiedades de la madera analizadas en ensayos genéticos de *Dipteryx panamensis* en San Carlos, Costa Rica.

Variables	Parámetros genéticos		
	h2g	h2mg	Acproc
Diámetro con corteza	0,60	0,99	0,99
Diámetro sin corteza	0,60	0,99	0,99
Diámetro de duramen	0,68	0,99	1,00
Diámetro de médula	0,00	0,07	0,26
Peso específico básico	0,10	0,86	0,93
Densidad verde	0,31	0,97	0,98
Contenido de humedad verde	0,05	0,79	0,89
Densidad al 12%	0,29	0,96	0,98
Contracción tangencial al 12%	0,03	0,65	0,80
Contracción tangencial total	0,00	0,09	0,30
Contracción radial al 12%	0,15	0,62	0,79
Contracción radial total	0,27	0,80	0,89
Cambio de color ΔE	0,00	0,02	0,13
Módulo elasticidad dinámico	0,00	0,03	0,16

Legenda: Donde h2g es heredabilidad individual en sentido amplio, h2mp es heredabilidad del promedio de poblaciones y Acproc es exactitud de selección de poblaciones.

Considerando que la posición 1 es la mejor en el ranking genético, se reporta gran estabilidad genética para las edades analizadas, ya que la edad de 18 años está en la posición 1 en la mayoría de las variables; la excepción se da en la variable contenido de humedad verde, ya que la edad que adquiere la posición 1 es la de 8 años.

DISCUSIÓN

Características morfológicas

Tenorio et al. (2016), demuestra que *Dipteryx panamensis* a la edad de 13 años reporta 24,8% de duramen, 8,9% de corteza y 0,24% de médula. Sin embargo, para el presente estudio, los resultados entre familias fueron menores en porcentaje de duramen, mayores en porcentaje de corteza y mayores en porcentaje de médula (Cuadro1). Entre poblaciones, los resultados fueron menores para las tres poblaciones analizadas de 8 años según porcentaje de duramen, aunque muy similares con el ensayo poblacional de 18 años, y tanto en porcentaje de corteza como en porcentaje de médula, los resultados fueron mayores para las dos edades observadas (Cuadro 2). A su vez, Tenorio et al. (2016), señala que el porcentaje de duramen disminuye y el porcentaje de corteza aumenta conforme la altura del árbol incrementa, el cual fue el mismo comportamiento que se obtuvo en este estudio, tanto a nivel de poblaciones de 8 años (Cuadro 3), como a nivel de familias con ciertas excepciones en algunas alturas y familias (Figuras 6c, 6f y 6i).

Alves-Milho (2018), indica en estudio realizado con el mismo ensayo de procedencias/familias de *D. panamensis* utilizado en este ensayo, que la sección del duramen alcanza un 17% del DAP sin corteza, mientras que en el presente estudio el porcentaje de duramen para dicho ensayo genético (10,51%) es similar al reportado por el autor mencionado anteriormente, aunque menor ya que se toma en cuenta el DAP con corteza, debido a que se está utilizando un área mayor (área del disco con corteza) y no una menor (área del disco sin corteza) para calcular el porcentaje que abarca el duramen en el disco, considerando que la sección del duramen en el disco sea igual o con diferencia pequeña en tamaño. A su vez, el autor anterior, demuestra que entre familias hay diferencias significativas en el tamaño del duramen, pero no en la presencia de este. Del mismo modo, en este estudio se demuestra que las variables referentes al duramen solo son significativas entre poblaciones de diferente edad (Cuadro 2).

Propiedades físicas

Se ha registrado que para individuos de *D. panamensis* con edades mayores a 20 años y diámetros a la altura del pecho superiores a 30 cm, los parámetros peso específico básico y densidad verde alcanzan valores de 0,83 y 1,21 g/cm³, respectivamente (Blanco, Carpio y Muñoz, 2005), similares a los obtenidos en este estudio para las dos edades estudiadas, el cual reporta valores de 0,72 a 0,76 en peso específico básico, y de 1,14 g/cm³ a 1,18 g/cm³ para densidad verde (Figura 7b). Al mismo tiempo, Alves-Milho (2018) registra 0,68 en peso específico básico, recalcando que esta especie alcanza valores sumamente altos desde temprana edad y que la madera de esta especie puede ser usada a la intemperie y en uso estructural en su fase juvenil, siendo utilizada al máximo desde un primer raleo gracias al alto valor comercial que posee. Tenorio et al (2016), además de confirmar valores semejantes a los anteriormente mencionados en peso específico básico, los cuales al ser altos son beneficios para la resistencia mecánica de la madera, también revela contenidos de humedad verde del 59%, siendo favorable en el proceso de secado, debido a que disminuye el tiempo del mismo y aumenta la calidad de la madera (Moya y Muñoz, 2010), y que éste aumenta hasta la altura del 75% para luego disminuir, siendo el mismo comportamiento que se encuentra en este estudio para las diferentes familias y poblaciones (Figura 8b y Figura 9c, 9f y 9i).

En cuanto a las variables contracción tangencial y contracción radial, Tenorio et al. (2016) demuestran datos de 4,6% en sentido radial y 5,3% en sentido tangencial, y Blanco et al. (2005) reportan datos de 5,8% en sentido radial y 8,1% en sentido tangencial, los cuales para dichos autores son resultados considerados muy altos. En este estudio, entre familias, los valores obtenidos fueron de 2,3% a 3,0% para contracción radial y de 5,5% a 6,7% para contracción tangencial (Cuadro 4), y entre poblaciones los valores van de 2,5% a 3,1% para contracción radial y de 5,8% a 6,1% para contracción tangencial (Cuadro 5), siendo en ambos casos resultados equivalente a los reportados por otros autores. Sin embargo, estos resultados son menores según con quien se comparen, siendo favorables ya que hablamos de material proveniente de ensayos genéticos, el cual aún puede ser mejorado, para así disminuir los niveles de contracción, debido a que habrá mayor tendencia a que se presenten problemas durante el secado de la madera entre mayor sea el valor de la contracción de esta (Castro y Raigosa, 2000).

Los parámetros de color utilizados como testigo para este documento proceden de *D. panamensis* proveniente de bosque, con valores de $L^*=47,28$, $a^*=10,86$ y $b^*=19,99$. Los valores obtenidos para este estudio son mayores para L^* (más luminosidad), menores para a^* (menos rojo) y mayores para b^* (más amarillo), tanto a nivel de familia como a nivel de poblaciones (Cuadro 4 y 6), por lo que el material muestral es más claro que el material utilizado como testigo. Cui, Kamdem y Rypstra (2007), definen la percepción del color en varios niveles, si el valor de cambio de color está entre 0 y 0,5 se define como imperceptible, entre 0,5 y 1,5 como apenas perceptible, entre 1,5 y 3,0 es notable, entre 3 y 6 como perceptible y entre 6 y 12 como muy perceptible (Arce y Moya, 2015), lo cual nos permite determinar que el cambio de color ΔE^* es muy perceptible entre madera de *D. panamensis* de bosque y madera de *D. panamensis* de plantación/ensayo genético.

Tenorio et al (2016) demuestran en su estudio que *D. panamensis* presenta los valores más altos en la mayoría de las propiedades mecánicas analizadas, entre éstas el módulo de elasticidad, siendo comparada con especies como *Hieronyma alchorneoides*, *Samanea saman*, *Cordia alliodora*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Vochysia ferruginea*. Sin embargo, los autores determinaron el módulo de elasticidad por medio de flexión estática, a diferencia del presente estudio, el cual dicha variable fue determinada mediante ultrasonido (Ecuación 6). De igual manera, los datos reportados en este estudio exponen altos valores para las diferentes familias (Figura 7d), así como para las diferentes poblaciones (Cuadro 5), validando el excelente comportamiento de la especie en sus características mecánicas. A su vez, Sotomayor (2014), menciona que la técnica de ultrasonido ha sido estudiada por varios investigadores que concluyen que las ondas ultrasónicas pueden viajar a través de la madera y, a partir del cálculo de su velocidad, el material puede ser caracterizado respecto a su anisotropía y a sus propiedades mecánicas, además de recomendar el uso de pruebas por ultrasonido para determinar el módulo de elasticidad de la madera. Alves-Milho (2018), es quien ha estudiado familias de *D. panamensis* a nivel de propiedades físicas de la madera, específicamente en peso específico básico, y este reporta la existencia de diferencias significativas entre familias para esta variable, validando los datos de este estudio (Figura 7a), los cuales a nivel de edad tuvieron el mismo resultado (Cuadro 5).

Análisis genético

Estudios como el publicado por Martínez et al. (2016), exponen que para el ensayo de procedencias/familias de *D. panamensis* sometido a esta investigación, los valores de heredabilidad son sumamente altos, con alto potencial de mejoramiento genético, siendo identificados a temprana edad. Dicho estudio presenta registros heredables de hasta 72% en caracteres de crecimiento y superiores al 39% en caracteres cualitativos como bifurcación y ramas gruesas. Según el ranking genético presentado por Martínez et al. (2016), la familia PV3 es una de las mejores, ya que se encuentra en la posición 1 en variables estudiadas por el autor como DAP y altura total. La familia PV3, presenta también buenos resultados en el ranking genético del presente estudio, para variables como diámetro con corteza, diámetro sin corteza, peso específico básico, contracción tangencial total, contracción radial total y módulo de elasticidad dinámico (Cuadro 7).

Alves-Milho (2018), reporta para el mismo ensayo de procedencias/familias altos valores de heredabilidad en variables como peso específico básico, y menciona a autores como Zobel y Talbert (1988), donde indican que el peso específico básico 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 básico alto o bajo. También, nuevamente la familia PV3 se da a nombrar, ya que para el estudio de Alves-Milho (2018), esta familia está entre las tres primeras posiciones según volumen comercial, junto a CSJ1 y CSJ5; para la variable peso específico básico, algunas de las familias que sobresalen son PV10 y CSJ6, familias de gran importancia en el presente estudio (Cuadro 7).

León et al. (2017) coincide con el autor mencionado anteriormente, al colocar la familia PV3 en la posición 1 del ranking genético según el volumen comercial, siendo acompañada en las primeras posiciones con familias como CSJ1, C10 y CSJ3, donde CSJ3 también se encuentra entre las mejores familias para las variables estudiadas en este trabajo. Según León et al. (2017), la mayor riqueza genética se encuentra a nivel familiar dentro de las procedencias, por lo que los esfuerzos de mejoramiento deben centrarse en aumentar el número de familias en el programa, no solo para variables como altura, diámetro y volumen, sino también para variables relacionadas con las propiedades de la madera, las cuales se exponen en este estudio.

CONCLUSIONES

Las diferencias en las características morfológicas se producen mayormente entre edades muestreadas, específicamente en el diámetro a la altura del pecho y los parámetros de duramen y albura. Entre poblaciones de 8 años, se presentan pocas diferencias en las características morfológicas, a excepción del espesor de albura. Otro hecho que resalta es que las diferencias entre familias se dan solo en la procedencia CoopeSanJuan (CSJ) en el porcentaje de corteza.

En relación con la altura, tanto las familias como las poblaciones, las características morfológicas (características de diámetro, diámetro y porcentaje de duramen, espesor de albura y corteza) tienden a disminuir conforme aumenta la altura del árbol; el diámetro de médula aumenta hasta la altura de 25% para luego disminuir; las variables porcentaje de albura, de corteza y de médula aumentan con la altura del árbol; y el porcentaje de excentricidad mantiene un comportamiento inestable en las distintas alturas.

En las propiedades físicas, la procedencia Crucitas (C) presenta diferencias entre familias solo en el parámetro de color a^* ; las familias de la procedencia CoopeSanJuan (CSJ) muestran diferencias en las variables peso específico básico, contenido de humedad verde, densidad al 12%, contracción tangencial total y parámetro de color a^* ; y para las familias de la procedencia Puerto Viejo (PV), solo se hay diferencias en contracción tangencial total. Las diferencias entre las poblaciones de diferente edad se presentan en peso específico básico y densidad verde, y entre poblaciones de 8 años en contenido de humedad verde, contracción radial al 12% y total, en los parámetros de color L^* , a^* y b^* y en cambio de color ΔE^* . En la variación por altura, las propiedades físicas, muestran que el peso específico básico y la densidad verde tienden a disminuir con la altura del árbol, y el contenido de humedad aumenta hasta el 75% de altura para posteriormente disminuir, siendo un comportamiento que se presenta entre familias y poblaciones.

La heredabilidad entre familias es muy alta en las variables diámetro de duramen, peso específico básico, contenido de humedad verde, densidad al 12%, contracción tangencial al 12%, contracción tangencial total y cambio de color ΔE^* , donde la familia 3 de Puerto Viejo (PV3) destaca. Para la heredabilidad entre edades, las variables que destacan son diámetro con corteza, diámetro sin corteza, diámetro de duramen, densidad verde, densidad al 12% y contracción radial total, clasificando la edad de 18 años como la mejor, indicando un aumento de la heredabilidad con la edad.

RECOMENDACIONES

Debido a los buenos resultados que se obtuvieron en los árboles de 18 años de edad en las propiedades analizadas, así como en heredabilidad, se recomienda dar seguimiento a las propiedades de la madera del ensayo de procedencias/familias, que tiene 8 años, cuando éste presente una edad mayor, ya que actualmente se presentan pocas diferencias entre familias.

Realizar las futuras investigaciones de las propiedades de la madera mediante métodos no destructivos, como por ejemplo con tarugos o ultrasonidos, sin la necesidad de tumbar el árbol para obtener el material muestral.

REFERENCIAS

- Arce, N., y Moya, R. (2015). Wood characterization of adult clones of *Tectona grandis* growing in Costa Rica. *Cerne*, 21(3), 353-362.
- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). (2014). *D143 standard test methods for small clear specimens of timber*. 10.1520/D0143 Recuperado de <http://www.astm.org/Standards/D143>
- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). (2016). *D2244 standard practice for calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates*. Recuperado de <https://www.astm.org/Standards/D2244>
- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). (2017). *D2395 standard test methods for density and specific gravity (relative density) of wood and wood-based materials*. 10.1520/D2395 Recuperado de <http://www.astm.org/Standards/D2395>
- Álvarez, A. (1995). La genética forestal en Cuba. *Recursos Genéticos Forestales*. Consultado en <http://www.fao.org/docrep/006/v3965s/V3965S08.htm#ch8>
- Alves-Milho, S. (2018). *Potencial de mejoramiento genético en Dipteryx panamensis Pittier (FABACEAE)* (Tesis de Maestría). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
- Ávila, C., Murillo, R., y Murillo, O. (2015). Selection of Superior Clones of Two Genetic Groups of *Gmelina arborea* in the Costa Rican Southern Pacific Region. *Ciencias Ambientales*, 49(1), 17-35.
- Ávila, C., Murillo, R., Murillo, O., y Sandoval, C. (2015). Desarrollo juvenil de clones de *Gmelina arborea* Roxb. de dos procedencias, en sitios planos del Pacífico Sur de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 12(28), 23-35.
- Blanco, M., Carpio, I., y Muñoz, F. (2005). Fichas técnicas de veinte especies maderables de importancia comercial en Costa Rica. *San José, CR. Editorial de la universidad de Costa Rica*.

- Carreras, R., Bessega, C., López, C., Saidman, B., y Vilardi, J. (2016). Developing a breeding strategy for multiple trait selection in *Propolis alba* Gri seb., a native forest species of the Chaco Region in Argentina. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 90(2), 199-210.
- Cornelius, J. (1994). The effectiveness of plus-tree selection for yield. *Forest Ecology and Management*, (67), 23-34.
- Castañeda, H., Moreira, I., Arnáez, E., y Sánchez, E. (2000). Estudio morfológico de diferentes estadios ontogénicos de flor, fruto y semilla de *Dipteryx panamensis* (Pittier) Record & Mell (Fabaceae) (Almendra). *Tecnología en marcha*, 14(1), 124-132.
- Castro, F., y Raigosa, J. (2000). Crecimiento y propiedades físico-mecánicas de la madera de teca (*Tectona grandis*) de 17 años de edad en San Joaquín de Abangares, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 24(2).
- FAO. (2012). Estado de los recursos genéticos forestales de Costa Rica. FAO, Costa Rica. Recuperado en <http://www.fao.org/3/a-be886s.pdf>
- Fournier, L. A. (2003). *Dipteryx panamensis* (Pittier) Record & Mell. *Part II-Species Descriptions*, 446-448.
- Gaitán, J., y Moya, R. (2016). Characteristics and properties of torrefied biomass pellets from *Gmelina arborea* and *Dipteryx panamensis* at different times. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(3), 325-337.
- Gamboa, N. (2008). *Regeneración de Dipteryx panamensis en bosques bajo manejo forestal en el paisaje fragmentado del Noreste de Costa Rica*. (Magister Scientiae). San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia (UNED).
- Herasme Montas, R. (1997). Correlaciones juvenil – maduro en *Gmelina arborea* Roxb. (Tesis de maestría inédita). CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Hodge, G. y Dvorak, W. (2004). The CAMCORE international provenance / progeny trials of *Gmelina arborea*: Genetic parameters and potential gain. *New Forest*, 28, 147-166. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1023/B:NEFO.0000040942.34566.a7>
- Holdridge, L. (1967). *Life Zones Ecology* (p. 40-43). Tropical Scientific Center. San José, Costa Rica.

- León, N., Murillo, O., Badilla, Y., Ávila, C., Murillo, R. (2017). Expectec genetic gain and genotype by environment interaction in almond (*Dipteryx panamensis* (Pittier) Rec. and Mell) in Costa Rica. *Silvae Genetica*, 66(1), 9-13.
- Martínez, V., Fallas, L., Murillo, O., y Badilla, Y. (2016). Potencial de mejoramiento genético en *Dipteryx panamensis* a los 33 meses de edad en San Carlos, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(30), 3-12.
- Méndez, D. (2016). Determinación del módulo de elasticidad por los métodos dinámico y estático para madera termo-tratada de *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(30), 43-50.
- Moreno, J., Ruíz, C., Guamán, V., Patiño, J., y Arévalo, M. (2018). Characterization of seeds sources of the species *Cinchona officinalis* (rubiaceae), for purpose of propagation in vitro. *Revista Científica Institucional*, 10(3). DOI: <https://doi.org/10.26495/rtzh1810.327327>
- Moura, A., Da Silva, S., y Nascimento, A. (2014). Estimación de parámetros genéticos y verificación de la eficiencia de selección temprana en baru (*Dipteryx alata*). *Cría de cultivos y biotecnología aplicada*, 14 (4), 238-243.
- Moya, R., Leandro, L., y Murillo, O. (2009). Wood characteristics of *Terminalia amazonia*, *Vochysia guatemalensis* and *Hyeronima alchorneoides* planted in Costa Rica. *Bosque* 30(2): 78-87.
- Moya, R., Muñoz, F. (2010). Physical and mechanical properties of eight fast-growing plantation species in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science* 22(3): 317-328.
- Moya, R., Salas, C., Berrocal, A., y Valverde, J. C. (2015). Evaluation of chemical compositions, air-dry, preservation and workability of eight fastgrowing plantation species in Costa Rica. *Madera y bosques*, 21, 31-47.
- Moya, R. (2018). La producción de madera de especies nativas en plantaciones comerciales: una opción real. *Ambientico*, 267(6), 32-36.
- Murillo, O. y Badilla, Y. (2001). Estrategia de mejoramiento genético para el Programa de Conservación y Mejoramiento Genético de especies forestales de ITCR/FUNDECOR, Costa Rica. *Revista Forestal Latinoamericana*, 16(30), 273-285.

- Murillo, O. y Badilla, Y. (2004). Calidad y valoración de plantaciones forestales. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Nichols, J. D. y Vanclay, J. K. (2012). Domestication of native tree species for timber plantations: Key insights for tropical island nations. *International Forestry Review*, 14(4), 402-413.
- Padua, F. (2004). Juvenile selection of *Gmelina arborea* clones in the Philippines. *New Forest*, 28, 195-200. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1023/B:NEFO.0000040946.46722.1c>
- Petit, B. y Montagnini, F. (2004). Growth equations and rotation ages of ten native tree species in mixed and pure plantations in the humid neotropics. *Forests Ecology and Management*, 199(2), 243-257.
- Resende, M. D. (2006). O software Selegen-REMI/BLUP. Selegen. Campo Grande, Brasil: EMBRAPA.
- Resende, M. D. (2007). Sistema estadístico e seleção genética computadorizada. Selegen REM/BLUP. Brasília, Brasil: EMBRAPA.
- Romo, M. (2005). Efecto de la luz en el crecimiento de las plántulas de *Dipteryx micrantha* Harms «Shihuahuaco» trasplantadas a sotobosque, claros y plantaciones. *Revista Ecología Aplicada*, 4(1-2), 1-8.
- Sotomayor, J. (2014). Caracterización mecánica de la madera con métodos no destructivos. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 339 p.
- Subramanian, K., Nicodemus, A., y Radhamani, A. (1995). Mejora genética de la Teca en la India. *Recursos Genéticos Forestales*. Consultado en <http://www.fao.org/docrep/006/v3965s/V3965S13.htm#ch13>
- Tenorio, C., Moya, R., Salas, C., y Berrocal, A. (2016). Evaluation of wood properties from six native species of forest plantations in Costa Rican. *Revista Bosque* 37(1) 71- 84.
- White, T., Adams, W., y Neale, D. (2007). Tree improvement programs-structure, concepts and importance. *Forest Genetics*, 11, 285-303. [doi:10.1079/9781845932855.0395](https://doi.org/10.1079/9781845932855.0395)