



**Contribución al
conocimiento de
las semillas
de cinco especies
forestales nativas
y dos exóticas de
Córdoba, Colombia**

**MIGUEL M. ESPITIA CAMACHO | CARLOS E. CARDONA AYALA
RODRIGO O. CAMPO ARANA | HERMES ARAMÉNDIZ TATIS
ENDER M. CORREA ÁLVAREZ**



FORCARIBE



Contribución al conocimiento de las semillas de cinco especies forestales nativas y dos exóticas de Córdoba, Colombia



**MIGUEL M. ESPITIA CAMACHO | CARLOS E. CARDONA AYALA
RODRIGO O. CAMPO ARANA | HERMES ARAMÉNDIZ TATIS
ENDER M. CORREA ÁLVAREZ**



FORCARIBE



© 2017 Universidad de Córdoba
Carrera 6 No. 76-103
Tel. (4) 7860255 - PBX: +57(4)7860151
Montería, Córdoba, Colombia



Contribución al conocimiento de las semillas de cinco especies forestales nativas y dos exóticas de Córdoba, Colombia



**MIGUEL M. ESPITIA CAMACHO | CARLOS E. CARDONA AYALA
RODRIGO O. CAMPO ARANA | HERMES ARAMÉNDIZ TATIS
ENDER M. CORREA ÁLVAREZ**



FORCARIBE

Contribución al conocimiento de las semillas de cinco especies forestales nativas y dos exóticas de Córdoba, Colombia / Miguel M. Espitia Camacho... [et al] -- Barranquilla: Ediciones Universidad Simón Bolívar, 2017.

297 p.; 17 x 24 cm.
ISBN: 978-958-9244-78-4

Nota: Este libro es resultado de la realización del proyecto de investigación "Estandarización del procesamiento de semillas para conservación de germoplasma de cinco especies forestales nativas en Córdoba", identificado con el código 1.2.08.110-30FCA-02-11, aprobado y cofinanciado en la Convocatoria interna de proyectos de investigación de 2011 de la Universidad de Córdoba, el cual se ejecutó bajo la alianza estratégica Universidad de Córdoba y Cadena Forestal de Córdoba (FORCARIBE).

1. Plantas -- Conservación de especímenes forestales -- investigaciones -- Córdoba (Región, Colombia) 2. Mejoramiento selectivo de árboles -- investigaciones -- Córdoba (Región, Colombia) 3. Plantas en vía de extinción -- investigaciones -- Córdoba (Región, Colombia) 4. Conservación de bosques -- Córdoba (Región, Colombia) 5. Forestación -- Córdoba (Región, Colombia) 6. Reforestación -- Córdoba (Región, Colombia) I. Espitia Camacho, Miguel M. II. Cardona Ayala, Carlos E. III. Campo Arana, Rodrigo O. IV. Araméndiz Tatis, Hermes V. Correa Álvarez, Ender M. VI. Universidad de Córdoba VII. Tit.

634.956 C764 2016 SCDD 21 ed.

Universidad Simón Bolívar-Sistema de Bibliotecas

CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DE LAS SEMILLAS DE CINCO ESPECIES FORESTALES NATIVAS Y DOS EXÓTICAS DE CÓRDOBA, COLOMBIA

Miguel M. Espitia Camacho, I.A., Ph. D. Mejoramiento Genético de Plantas; mmespitia@correo.unicordoba.edu.co, mespitia37@hotmail.com; Docente Titular Facultad de Ciencias Agrícolas - Universidad de Córdoba.

Carlos E. Cardona Ayala, I.A., Ph. D. Ciencias Naturales para el Desarrollo con énfasis en Sistemas de Producción Agrícola; ccardonaayala@yahoo.com; Docente Titular Facultad de Ciencias Agrícolas - Universidad de Córdoba.

Rodrigo O. Campo Arana, I.A., Ph. D. Fitopatología; rodrigocampo43@hotmail.com; Docente Titular Facultad de Ciencias Agrícolas - Universidad de Córdoba.

Hermes Araméndiz Tatis, I.A., Ph. D. Mejoramiento Genético de Plantas; haramendiz@hotmail.com; Docente Titular Facultad de Ciencias Agrícolas - Universidad de Córdoba.

Ender M. Correa Álvarez, I.A. M. Sc. Mejoramiento Genético de Plantas; endermanz@hotmail.com. Investigador CORPOICA – C.E. Caribia (Sevilla - Magdalena).

ISBN: 978-958-9244-78-4

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada en sistema recuperable o transmitida en ninguna forma por medios electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros, sin la previa autorización por escrito de Ediciones Universidad Simón Bolívar y de los autores. Los conceptos expresados de este documento son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente corresponden con los de la Universidad Simón Bolívar y da cumplimiento al Depósito Legal según lo establecido en la Ley 44 de 1993, los Decretos 460 del 16 de marzo de 1995, el 2150 de 1995, el 358 de 2000 y la Ley 1379 de 2010.

Producción Editorial

Universidad Simón Bolívar

Carrera 54 No. 59-102

<http://publicaciones.unisimonbolivar.edu.co/edicionesUSB/>

dptopublicaciones@unisimonbolivar.edu.co

Barranquilla - Cúcuta

Portada:

Ilustración de la diversidad morfológica de las semillas de las especies estudiadas.

Las fotos corresponden al desarrollo del proyecto de investigación que originó este libro.

Junio 2017

Printed and made in Colombia

Dedicatoria

A todos los habitantes, defensores, gestores, conservadores e investigadores de los bosques forestales nativos del departamento de Córdoba y la región Caribe colombiana.

Al sector reforestador y académico de Colombia y en especial a todos los miembros de la Cadena Forestal y del Mueble del área de influencia del departamento de Córdoba y la región Caribe colombiana.

Agradecimientos

Los autores desean expresar públicamente sus sinceros agradecimientos a las siguientes instituciones y personas:

A la Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas y Departamento de Ingeniería Agronómica y Desarrollo Rural, por su apoyo logístico para la publicación de este texto.

A la Oficina Administrativa de Investigación y Extensión de la Universidad de Córdoba, por su apoyo económico para la publicación de este texto.

A la Cadena Forestal de Córdoba/FORCARIBE, por la colaboración y acompañamiento en la investigación.

A los estudiantes y/o tesisistas del Programa de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba: Jorge Montiel Vargas, Rafael Garzón Cabeza, Francisco Peña Murillo, Ulises García Rodríguez y Arnold Ruiz Pérez.

A los ingenieros agrónomos: Carlos Castillo Pinedo, Jenry Hernández y Naudith Urango Esquivel, auxiliar profesional de investigación y auxiliares de los Laboratorios de Fitomejoramiento y Fitopatología, respectivamente, del Programa de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba.

A todos los auxiliares de campo de las plantaciones donde se realizó el trabajo de investigación.

Contenido

Agradecimientos	7
Presentación	11
Introducción General	15
Capítulo 1	
Características morfológicas de las semillas de cinco especies forestales nativas	29
Capítulo 2	
Modelos de secado de semillas de cinco especies forestales nativas.	63
Capítulo 3	
Tolerancia a la desecación de semillas de cinco especies forestales nativas	91
Capítulo 4	
Determinación de la viabilidad de semillas con tetrazolio de cinco especies forestales nativas.....	113
Capítulo 5	
Parámetros de germinación de semillas en laboratorio y casa malla de cinco especies forestales nativas	147

Capítulo 6

Correlaciones entre dimensiones, peso y parámetros de germinación de semillas de cinco especies forestales nativas	173
---	-----

Capítulo 7

Influencia de la conformación de mezclas de semillas, sobre la variabilidad genética en futuras plantaciones de cinco especies forestales nativas.....	203
--	-----

Capítulo 8

Identificación de hongos en semillas de seis especies forestales nativas	231
---	-----

Capítulo 9

Identificación de hongos asociados a semillas de tres especies forestales exóticas	251
---	-----

Capítulo 10

Efecto del tipo de semilla en la ganancia genética esperada en melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb.)	275
--	-----

Presentación

El presente texto ha sido preparado en el marco del proyecto de investigación “Estandarización del procesamiento de semillas para conservación de germoplasma de cinco especies forestales nativas en Córdoba”, identificado con el código 1.2.08.110-30FCA-02-11, aprobado y cofinanciado en la Convocatoria interna de proyectos de investigación de 2011 de la Universidad de Córdoba, el cual se ejecutó bajo la alianza estratégica Universidad de Córdoba y la Cadena Forestal de Córdoba (FORCARIBE).

Este libro de investigación que se ha titulado *Contribución al conocimiento de las semillas de cinco especies forestales nativas y dos exóticas de Córdoba, Colombia*, constituye un nuevo aporte científico y tecnológico de los investigadores forestales de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba. En él se recopilan los resultados más importantes obtenidos en dos proyectos de investigación ejecutados en Córdoba y su área de influencia, especialmente en aspectos relacionados con características morfométricas, secado, viabilidad, parámetros de germinación, correlaciones, variabilidad genética, y hongos asociados a las semillas forestales, tanto de especies nativas, como comerciales exóticas, las cuales por su calidad de madera han sido priorizadas por la Cadena Forestal de Córdoba (FORCARIBE) y el sector productor y transformador de madera fina de este departamento.

Este texto, se convierte además en un soporte técnico y pedagógico valioso para asesorar, apoyar y guiar a los investigadores en mejoramiento genético,

productores de semillas de alta calidad genética, docentes universitarios, estudiantes (pregrado y postgrados), extensionistas, asesores técnicos, profesionales, reforestadores y operadores que se desempeñan en empresas forestales, que requieren del conocimiento básico y técnico de las semillas que manejan en sus programas de mejoramiento genético, establecimiento de fuentes semilleras, viveros y plantaciones, con el objeto de atender la demanda de la región y/o programas de siembra, destinados a la conservación (*in situ* o *ex situ*), reforestación de bosques y cuencas, producción de madera de alto rendimiento y excelente calidad; además, puede ayudar al propietario o productor forestal que autogestiona estas labores de gran importancia en la silvicultura moderna, ya sea efectuándolas directamente o con trabajadores bajo su dependencia.

El desarrollo del contenido y las recomendaciones que se ofrecen recogen la experiencia de más de 30 años de trabajo de sus autores en su calidad de docentes, investigadores y extensionistas nacionales en el mejoramiento genético de forestales y cultivos agrícolas. El libro responde a las necesidades académica, técnica y comercial de empresas forestales de contar con literatura propia, válida, actualizada, eficaz y fácil de aplicar en los diversos procesos de la silvicultura moderna, especialmente en las actividades relacionadas con la conservación de los recursos genéticos forestales, suministro de semillas, programas de mejoramiento genético, establecimiento de viveros y siembra de plantaciones para asegurar el uso sostenible (eficaz y eficiente), al igual que la conservación confiable de semillas, para minimizar los problemas de deficiente calidad de semilla (sexual y asexual) que se viene utilizando en la implementación de muchas plantaciones forestales de la región Caribe y en el área de influencia de Córdoba, por pequeños y medianos productores.

El texto consta de diez capítulos, a saber: 1) Características morfométricas de las semillas de cinco especies forestales nativas; 2) Modelos de secado de semillas de cinco especies forestales nativas; 3) Tolerancia a la desecación

de semillas de cinco especies forestales nativas; 4) Determinación de la viabilidad de semillas con tetrazolio de cinco especies forestales nativas; 5) Parámetros de germinación de semillas en laboratorio y casa malla de cinco especies forestales nativas; 6) Correlaciones entre dimensiones, peso y parámetros de germinación de semillas de cinco especies forestales nativas; 7) Influencia de la conformación de lotes mezclados de semillas, sobre la variabilidad genética en futuras plantaciones de cinco especies forestales nativas; 8) Identificación de hongos en semillas de seis especies forestales nativas; 9) Identificación de hongos asociados a semillas de tres especies forestales exóticas y 10) Efecto del tipo de semilla en la ganancia genética esperada en melina (*Gmelina arborea* Roxb.). Dada la importancia comercial de las especies exóticas melina, teca y acacia para Córdoba, se presentan en el libro dos capítulos (9 y 10) que tratan sobre resultados obtenidos en investigación en semillas en sanidad y ganancia genética, con el objeto de darle mayor fortaleza, transversalidad e integralidad.

Por su naturaleza de libro de investigación, cada capítulo se ha escrito atendiendo la estructura de un artículo científico, excepto que no se incluyeron los autores, resumen, palabras clave, *abstract* y *key words*. Con el objeto que cada capítulo sea completo e independiente de los demás, los autores han considerado cuando la situación lo amerita, repetir en cada uno de ellos, algunos componentes que son comunes y necesarios, lo cual sin duda alguna facilita y fortalece la visión general, integral y lógica del proceso de investigación científica de cada capítulo y del texto en general. A pesar de lo anterior, se ha tratado de simplificar el documento hasta donde es posible sin sacrificar la precisión técnico-científica.

Un fenómeno común a todas las realizaciones y actividades de cualquier autor, es que siempre van a tener contribuciones de otras personas, y este texto no es la excepción, por ello queremos hacer públicos nuestros agradecimientos y reconocimientos, a los aportes de los estudiantes de Ingeniería Agronómica

en los niveles de pregrado y postgrado de la Universidad de Córdoba (Montería-Colombia); colegas docentes e investigadores colombianos que han revisado y sugerido correcciones al documento. Desde ya estamos igualmente agradecidos con todos aquellos lectores que amablemente nos hagan conocer los errores y fallas que aún persisten, los cuales asumimos como responsables.

El uso de fuentes y/o nombres de productos en este texto es solo para fines de identificación y no implica ningún aval ni recomendación. Además, los contenidos u opiniones expresadas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad de los autores en cada capítulo.

Los autores

Introducción General

En el sector forestal mundial, diversos factores como el crecimiento de la economía, la globalización de la agricultura y el aumento de la población, siguen aumentando la demanda de servicios ecosistémicos, madera y productos forestales no maderables (FAO, 2011). Los problemas ocasionados por la deforestación de bosques naturales y la necesidad de aumentar la producción de madera proveniente de bosques plantados, es una oportunidad para países como Colombia, dada sus ventajas comparativas por posición geográfica y condiciones edafoclimáticas, que le permite producir maderas de alta calidad, durante cualquier época del año (MADR, 2007; CFC, 2011). Sin embargo, a nivel nacional en la cadena forestal y su industria se han identificado brechas tecnológicas agrupadas en tres grandes áreas: a) Manejo postcosecha y transformación, b) Manejo integrado del cultivo y c) Material de siembra y mejoramiento genético. Entre las limitantes precisadas en esta última se encuentra el avance en sistemas de reproducción sexual y asexual y el establecimiento de sistemas de certificación de calidad genética y física del material vegetal (MADR, 2008; CFC, 2011), las cuales han sido priorizadas y son de gran interés para el establecimiento y afianzamiento de plantaciones comerciales con especies forestales nativas de importancia en Córdoba, como: *Cedrela odorata* L., *Cariniana pyriformis* Miers, *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, *Anacardium excelsum* (Bertero & Balb. ex Kunth), Skeels y *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (CONIF *et al.*, 1998; CONIF, 2003; CFC, 2011; Espitia & Araméndiz, 2013).

El sector forestal comercial de Colombia y Córdoba tienen como propósito fundamental incrementar las áreas plantadas, rendimientos y calidad de la madera sólida, mejorar la productividad, competitividad y sostenibilidad de las plantaciones y los productos de la madera. No obstante, para lograr estos propósitos, se hace necesario contar con excelente oferta ambiental (suelos y clima), buenas prácticas de silvicultura y programas de mejora genética que ofrezcan semilla (sexual y asexual) de alta calidad genética, que permitan obtener mayores ganancias en rendimiento y calidad de la madera, los cuales constituyen los principales objetivos del mejoramiento genético para especies forestales (exóticas o nativas) cuando se quiere producir madera sólida de alta calidad. Las nuevas tecnologías permiten hablar hoy día del cultivo de madera dejando atrás los términos reforestación o forestación, donde es imprescindible un buen trabajo en el manejo del recurso suelo, semilla de la mejor calidad posible (genética, fisiológica, física y sanitaria) y un manejo oportuno de la plantación (Murillo *et al.*, 2012).

El sector forestal constituye uno de los componentes agrarios priorizados en la agenda de competitividad de Colombia y del departamento de Córdoba. Para responder a tan importante reto y aprovechar las ventajas comparativas en un mundo de economías abiertas, el gobierno colombiano, en consenso con los sectores académico, reforestador, comercializador y transformador de la madera, ha definido una serie de políticas estratégicas para contribuir al cumplimiento de la visión de la Cadena Forestal Colombiana para el año 2025. Se ha propuesto contar con un sector forestal competitivo, acorde con el principio de sostenibilidad, generador de desarrollo, empleo y bienestar rural, que consolide a Colombia como un país forestal, con una participación destacada a nivel mundial (MADR, 2005; CFC, 2011).

El departamento de Córdoba presenta suelos aptos para producir madera; de los 2.502.000 ha del área total del departamento, 898.000 ha (35,89 %) tienen potencial forestal, de ellas 326.000 ha (36,3 %) no tienen ninguna

restricción y 572 mil ha (63,7 %) presentan alguna restricción menor, lo cual señala que en el departamento existe todavía suficiente área con potencial y aptitud forestal para aumentar las áreas de siembra y responder a los desafíos de generar empresas, empleos e ingresos en el sector rural de forma sostenible y competitiva, para el mercado nacional e internacional (MADR, 2005; Rincón, 2009; CFC, 2011; Proexport, 2012; Espitia *et al.*, 2014).

En 2014, el departamento de Córdoba presentó un área forestal plantada de 32.800 ha, las cuales representaron, aproximadamente, el 9 % del total en Colombia. Las especies forestales que predominan en este año son: *Tectona grandis* L.F. con 10.200 ha (31,1 %), *Tabebuia rosea* (Bertol.) D.C. con 9.500 ha (29,0 %), *Acacia mangium* Willd. con 8.500 ha (25,9 %), *Bombacopsis quinata* con 2.300 ha (7,0 %), *Gmelina arborea* Roxb. con 1.500 ha (4,6 %) y *Eucalyptus tereticornis* Smith con 800 ha (2,4 %). Esto señala que aproximadamente 11.800 ha (36 %) del área forestal comercial estuvo representada por dos especies forestales nativas *T. rosea* y *B. quinata*. Lo anterior demuestra que en el sector forestal de Córdoba se valoran estas especies desde el punto de vista comercial, a pesar de que faltan estudios de mejoramiento genético y tecnológico para incrementar su producción y productividad. Ello permite suponer que con apoyo gubernamental favorable e investigación intensiva continua en especie exóticas y nativas, es posible que en la Cadena Forestal de Córdoba se logre ampliar la oferta de especies y la meta propuesta de plantar 100 mil ha para el año 2025 (CFC, 2011; Espitia *et al.*, 2014; CFC, 2015).

Las especies forestales nativas y sus bosques o plantaciones son de gran importancia por sus innumerables beneficios y usos directos y potenciales, como fuente de servicios ecosistémicos (protección, regulación y conservación del suelo, aire, agua, biodiversidad, clima, recreación, paisajismo, barreras rompevientos, ecoturismo, etc.), materias primas para las industrias de alimento, medicina, papel, implementos deportivos, musicales, medios de

transporte, elementos religiosos, culturales, biodiversidad, dendroenergía, viviendas, artesanías, biocombustibles, mobiliario, tintes y extractivos, textiles, forrajes para alimentación animal, propiedades alucinógenas, psicoestimulantes, euforizantes, defatigantes, fermentación de bebidas, venenos sagitarios o ictiotóxicos, judiciales y ordálicos, entre otros (FAO, 2010, 2011; Portal Forestal, 2010; MAVDT, 2011).

Las especies forestales nativas se caracterizan por su gran adaptación a las variaciones de clima, han coevolucionado con sus enemigos naturales, presentan enorme riqueza potencial en maderas y otros usos de alto valor, constituyen fuentes de variabilidad genética para la solución de problemas bióticos o abióticos silvícolas a través del desarrollo de las tecnologías más avanzadas de su cultivo y mejoramiento genético, coadyuvan en la reducción de la presión sobre el bosque nativo, disminución del deterioro ambiental y reducción de emisiones de carbono. Además, son fuentes generadoras de empleo e ingreso en las zonas rurales más pobres del país y la mayoría de pueblos afro e indígenas (FAO, 2010; Araméndiz *et al.*, 2010; Portal Forestal, 2010; MAVDT, 2011).

Los bosques naturales se encuentran amenazados de forma intensiva por la deforestación. El Ministerio del Medio Ambiente de Colombia estima una deforestación de 120 mil ha cada 12 meses (MAVDT, 2011), que representa el 32 % del territorio nacional y afecta el 55 % de la región Andina, 40 % en la región Pacífica, 30 % en la región Caribe, 15 % en la región de la Orinoquia y 10 % de la Amazonia (MAVDT, 2011).

Para el año 2000, al momento de la firma del Acuerdo Regional de Competitividad en Córdoba, según un diagnóstico estratégico previo, existían cerca de 700.000 ha de bosque primario y secundario y 10.000 ha de plantaciones forestales. Para el año 2007, estaban en el departamento de Córdoba cerca de 550.000 ha de bosque natural (primario y secundario) y

aproximadamente 23.000 ha de plantaciones de especies maderables nativas e introducidas (acacia, teca, roble, frijolito, pino y eucalipto, entre otras) (Ruiz, 2008).

Dada la importancia en la reforestación, uso industrial, existencia de bosques naturales y el peligro de extinción de las especies forestales nativas, en Colombia se han realizado varios procesos de identificación y priorización de especies estratégicas potenciales para el sector forestal a nivel ambiental y comercial, los cuales han definido un listado de 29 especies forestales nativas (Rodríguez & Nieto, 1999; Rodríguez, 2000; Silva, 2001; Nieto, 2004). En Córdoba, la Cadena Forestal ha priorizado por su potencial de reforestación e industrial 15 especies forestales nativas, entre las cuales se encuentran: *Cariniana piryformis* (Abarco), *Cedrela odorata* (Cedro), *Tabebuia rosea* (Roble), *Anacardium excelsum* (Caracolí), *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don. (Chingalé), *Schizolobium parahyba* (Tambor), *Bombacopsis quinata* (Ceiba roja), *Juglans neotropica* Diels (Cedro sabanero), *Swietenia macrophylla* King (Caoba) y *Vochysia tetraphylla* (G.Mey.) DC. (floramarrillo). La mayoría de estas especies no han sido suficientemente investigadas, no tienen paquete tecnológico, se encuentran amenazadas y en peligro de desaparición, debido a la alta presión y al uso indiscriminado del bosque natural por madera, quema y deforestación para otros diversos usos (CONIF *et al.*, 1998; CFC, 2011; Montiel, 2014). El abarco es una especie que se encuentra en la lista roja de plantas en peligro de extinción en la IUCN (2011). En Colombia, Calderón *et al.* (2002) y Rojas-Gutiérrez (2009) consideran que las especies *C. odorata* (Cedro), *C. pyriformis* (Abarco), *B. quinata* (Ceiba roja), *A. excelsum* (Caracolí) y *S. parahyba* (Tambor) están en peligro o riesgo crítico (RC).

A continuación se describen las características principales más importantes de las especies nativas estudiadas:

***Cedrela odorata* L. (Cedro).** Es un árbol nativo de América tropical, puede

llegar a tener 60 metros de altura, no obstante también es bastante ancho, pues su tronco recto y cilíndrico puede llegar a medir hasta 2 metros de diámetro. El color de su corteza externa es gris, la interna cambia hacia el marrón. La albura del cedro es de color amarillo o rosado claro, al acercarse al duramen cambia hacia tonos marrones, en unas especies es más rojiza y en otras más amarillento. Los frutos contienen de 13 a 34 semillas desarrolladas. Las semillas son samaroides, abultadas en su ápice, de 2 a 3 cm de largo y 5 mm de ancho (incluyendo el ala). La parte abultada es oblonga, ligeramente gomosa, lateralmente aplanada, de 7 a 8 mm de largo, de 3,5 a 5 mm de ancho y de 1,2 a 1,5 mm de grosor. El tegumento es de color pardo claro a rojo-pardo, rugoso, opaco, cartáceo y extendido en la base en un ala lateral delgada y quebradiza, que resulta de la extensión del rafe-exostoma (Niembro, 2010). Según Trujillo (2013), las semillas son ortodoxas y pueden almacenarse con un contenido de humedad entre 6 % y 8 % y de 3 a 5°C. Los usos principales de la madera son en aserrío (construcción de botes y lanchas deportivas, muebles, ebanistería fina, etc.), madera redonda y especie productora de miel (Trujillo, 2007; CONIF *et al.*, 1998). La madera es considerada duradera, fuerte, liviana, fácil de trabajar y además ofrece un bonito acabado y no se astilla al utilizar clavos o tornillos sobre su superficie (Infomaderas, 2014a).

***Cariniana pyriformis* Miers (Abarco).** El árbol alcanza 40 metros de altura, su fuste cónico cuenta con un diámetro de 2 metros. Su corteza externa es color café oscura y fisurada, mientras que la interna es blanca y bastante fibrosa. Su albura es de color café rosado claro y muda gradualmente hacia un tono marrón oscuro rosado con líneas oscuras que destacan su veteado. La madera tiene una textura de mediana a fina, brillo mediano, grano de recto a entrecruzado y olor y sabor ausentes. Su semilla es alada, color café de 4,1 cm de largo y de 0,8 cm de ancho, la testa es dura y seca. La cantidad de semillas por kilogramo varía de 6000 a 6500. El porcentaje de germinación en semillas frescas es de 77 % y el contenido de humedad promedio varía de 9,5 % a 12,1 %. La semilla es ortodoxa, se puede almacenar con temperaturas

de $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y de $14 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y un contenido de humedad promedio de 8,7 %, bajo estas condiciones se conservan durante 450 días con un 50 % de germinación. La germinación es epigea y se inicia a los 9 días de la siembra y finaliza a los 20 días (Salazar, 2000). La madera se usa principalmente en la construcción de vigas, tarimas, construcciones navales, esculturas, tornería, construcciones de hangares, muebles, ebanistería, gabinetes, pisos, tableros contrachapados y postes para transmisión, entre otros (Trujillo, 2007; CONIF *et al.*, 1998). Así mismo, se obtienen buenos resultados de lijado, cepillado y encolado (Infomaderas, 2014b).

***Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don. (Chingalé).** Esta especie es autóctona de nuestro país. El árbol puede alcanzar en su edad adulta hasta 35 metros de altura, su fuste es recto y puede llegar a tener un diámetro de 80 centímetros. Su corteza interna es color castaño oscuro, mientras que la externa es fisurada y de tonalidad gris amarilloso. La albura y el duramen son de color blanco cremoso y no se diferencian mucho entre sí. Presenta textura media, brillo moderado, grano recto, veteado acentuado definido por líneas vasculares más oscuras, satinado, jaspeado y mancha azul y olor y sabor ausentes o no distintivos (Infomaderas, 2014c). Sus usos principales son en construcción liviana, encofrados, tableros decorativos, chapas, pulpa para papel, entre otros (Trujillo, 2007; CONIF *et al.*, 1998). Es una madera liviana fácil de trabajar, buena estabilidad dimensional, con propiedad mecánica baja y utilizada para la fabricación de muebles de bajo costo y guacales (Infomaderas, 2014c).

***Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand (Ceiba roja).** Es un árbol autóctono de la América tropical, alcanza una altura entre 35 y 40 metros, con diámetro del fuste entre 1 y 3 metros, siendo maderable entre los 20 y 23 años. El tronco es recto y cilíndrico, su corteza externa es roja con púas que la protegen, mientras que la interna es blanca amarillenta. Su albura es amarilla muy clara y pálida, cuando se va acercando al duramen su tono va mudando hacia un marrón rojizo. Su madera es veteada con arcos superpuestos, brillo mediano y grano

recto a entrecruzado. En Colombia *B. quinata* al igual que otras especies, hicieron parte de un grupo de 29 especies nativas seleccionadas para la identificación de fuentes semilleras dentro del marco del convenio realizado entre las instituciones CIID de Canadá, el INDERENA y CONIF en 1985 para la investigación en mejoramiento de semillas forestales con especies nativas (Rodríguez & Nieto, 1999). Además, dentro de las especies forestales nativas el *B. quinata* es la más reforestada a nivel nacional, seguida por el *T. rosea*, *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken y *Alnus acuminata* H.B.K. (Silva, 2001; Urueña, 2001). Sus semillas son de color marrón oscuro, miden de 4 a 5 mm de ancho, un kilogramo contiene entre 12000 y 32000 semillas, cuya viabilidad se pierde rápidamente si no se le da un almacenamiento adecuado. Se le considera una semilla ortodoxa, se almacenan en bolsas plásticas selladas, con un contenido de humedad del 5 % y a una temperatura constante de 5°C (Salazar, 2000). Es una madera fácil de trabajar, tanto manualmente como con maquinaria, y presenta un buen acabado. Este tipo de madera se emplea principalmente para la fabricación de muebles y tableros contrachapados (Infomaderas, 2014d).

***Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake (Tambor).** Es un árbol de crecimiento rápido, puede alcanzar en pocos años una altura de unos 40 m. Sus frutos son vainas y cada una contiene una semilla, las cuales son relativamente grandes, redondas, aplanadas y muy duras, miden de 2 a 3 cm de largo y 1,5 a 2,0 cm de ancho. Hay aproximadamente entre 1250 y 1600 semillas por kilogramo, de las cuales un 85 % son viables. Semillas almacenadas sin pre-tratamiento tienen un porcentaje de germinación promedio entre 40 y 50 % y se tardan de dos a tres semanas para completar su germinación; semillas con pre-tratamiento pueden germinar en un 90 % a partir del tercer día y se completa en dos semanas. Las semillas son ortodoxas, para su almacenamiento se recomienda el uso de recipientes herméticos o de aluminio, colocarlos a una temperatura de 4°C y un contenido de humedad de 4,9 %, bajo estas condiciones se puede almacenar hasta por tres años (Salazar, 2000).

Gracias a su rápido crecimiento es una planta muy utilizada en los parques, jardines y plazas de muchas ciudades así como en proyectos paisajísticos en muchos jardines botánicos. La semilla, conocida como *pata de elefante*, es frecuentemente utilizada por artesanos, combinadas especialmente con macramé y alambres (World Agroforestry, 2014). La madera es poco resistente, pero se suele usar en la construcción de embarcaciones livianas, ebanistería, embalajes y madera redonda (Trujillo, 2007).

***Anacardium excelsum* (Bertero & Balb. ex Kunth) Skeels (Caracolí).** Esta especie es autóctona de nuestro país, el árbol puede alcanzar una altura de 40 metros, su tronco es recto y cilíndrico, con diámetro de 2,5 metros. La corteza externa es café oscura con manchas claras y la interna es de color rosado y emana una resina amarilla. La albura es de color café muy pálido, mientras que su duramen es amarillo rojizo. Su veteado es conspicuo producido por líneas vasculares, textura gruesa, brillo mediano a brillante, grano de recto a entrecruzado, olor y sabor no distintivos (Infomaderas, 2014e). Su fruto es una nuez curva, similar a la semilla de *Anacardium occidentale* L. (Marañón), la drupa mide de 2,0 a 3,5 cm de largo por 1,5 cm de ancho y 0,5 cm de espesor. Tiene forma de espiral o de “S”. Las semillas son grandes, contenidas en las nueces, miden aproximadamente 2,0 a 2,5 cm de largo y 1,0 a 1,5 cm de ancho. En promedio un kilogramo contiene entre 250 y 370 semillas, los porcentajes de pureza van de 90 a 100 %. Con semillas frescas el porcentaje de germinación varía de 40 a 98 %. Su semilla es recalcitrante, la germinación es de tipo epigea y se inicia a los 12 o 13 días hasta los 30 días (Salazar, 2000). Es una madera liviana, con buena estabilidad dimensional y propiedades mecánicas bajas.

En el Caribe húmedo es limitada la investigación básica y aplicada en semillas de especies agrícolas y forestales nativas en aspectos como: análisis anatómico, morfológico, calidad física, determinación de curvas y sensibilidad al secado, estandarización de pruebas rápidas de viabilidad por especies, y clasificación

de frutos y semillas en función de su procesamiento, lo cual repercute en el mantenimiento de la calidad de las semillas para los programas de conservación y uso sostenible de los recursos genéticos forestales; así mismo, para la satisfacción de la demanda de material de siembra en proyectos de plantaciones forestales comerciales, recuperación de bosques naturales y cuencas hidrográficas, entre otros. Se estima que este problema origina pérdidas del 25 % de la semilla en almacenamiento (comercial y conservación de germoplasma) y un 20 % en el proceso de viverización (Rodríguez & Nieto, 1999).

La conservación *ex situ* de especies vegetales adquiere cada día más relevancia como parte de una estrategia para preservar la diversidad biológica existente en el mundo. Las actividades agrícolas y forestales, así como las ciudades y complejos turísticos están expandiendo aceleradamente sus fronteras, generando degradación de ecosistemas naturales y extinción local de especies. Esto sin contar con otros factores, como la constante degradación por pastoreo y desertificación. Los bancos de semillas, las colecciones de campo y los jardines botánicos son los métodos más comunes para conservar la diversidad biológica vegetal *ex situ*. Los primeros (bancos de semillas), en particular, permiten conservar por mucho tiempo y en un espacio reducido muestras representativas de diversidad genética de una gran cantidad de especies de plantas (Gold *et al.*, 2004).

Las semillas de las plantas o árboles cultivados y/o silvestres juegan un papel integral importante para satisfacer la demanda de bienes y servicios ecosistémicos en muchos sectores de la sociedad, tanto en el sector rural como urbano, lo cual sin duda alguna contribuye a mejorar la calidad de vida de las comunidades involucradas en todos los países del mundo. Además, las semillas tienen función primordial en los aspectos biológicos, botánicos, fisiológicos, genéticos, ecológicos y, en la evolución, dispersión, adaptación, conservación y uso del germoplasma de las plantas. Tienen gran importancia en casi todos los aspectos que hacen posible y sostenible

la vida del ser humano, los animales y los microorganismos en el planeta (Niembro, 1988); contribuyen significativamente a la atención de las demandas y requerimientos actuales de la sociedad relacionados con la manera de enfrentar los efectos negativos del cambio climático, la necesidad de acceso a alimentos inocuos y funcionales y de nuevos ingredientes activos o medicinas para enfermedades emergentes, la recuperación, conservación y mantenimiento de suelos, aguas y biodiversidad. Además, son fuentes de materias primas para la agroindustria, la generación de biocombustibles, las artesanías y la lúdica; son imprescindibles en el mejoramiento genético de los cultivos agrícolas y forestales, y constituyen elementos ancestrales culturales de gran valor espiritual y religioso en muchas comunidades, entre otros (FAO, 2014; Hugo, 2013).

El conocimiento preciso de las semillas de los árboles es una condición indispensable para entender su proceso de evolución, domesticación y mejoramiento genético de las especies nativas promisorias de gran valor. La semilla es el medio natural de dispersión, colonización, propagación, multiplicación, sucesión, regeneración natural, cultivo y perpetuación de más de 250 mil especies. Las semillas de dicotiledóneas y en general de árboles y arbustos constituyen una de las estructuras más complejas originadas en el reino vegetal. Cada planta produce sus propias semillas, cuya ontogenia, morfología, anatomía, histología, constitución genética y composición química varía notablemente de acuerdo con la especie (Niembro, 1988; Escobar & Torres, 2013). La semilla es la forma más práctica y eficiente para recolectar, transportar, estudiar y almacenar la diversidad vegetal, por corresponder a un estado compacto, resistente e independiente dentro del ciclo de vida de una planta. Cada una de ellas es, potencialmente, un nuevo individuo que contiene parte de la variabilidad genética presente en toda una población. No obstante, el conjunto de semillas producidas en un año determinado, contiene toda o gran parte de la diversidad genética constituyente de la población original (Gold *et al.*, 2004).

La conservación de germoplasma y el desarrollo de nuevos genotipos mejorados de especies de maderas de interés comercial (nativas y/o exóticas) en los sitios de siembra, juega un papel importante para el establecimiento de plantaciones altamente competitivas a gran escala. Zobel & Talbert (1988) sostienen que los problemas de producción y abastecimiento de materia prima no se solucionan solo con el establecimiento de plantaciones; para ello es necesario desarrollar programas de mejoramiento genético y semillas de apoyo, que permitan aumentar su productividad y calidad. Lo anterior, solo es posible en la medida que los cultivadores de madera, puedan tener acceso a semillas de calidad integral, fuentes confiables y darles el manejo óptimo en vivero, de tal manera que en las plantaciones se pueda aprovechar el potencial genético previsto de la semilla sexual o vegetativa que se utilizó.

El conocimiento de las técnicas apropiadas para procesar y germinar las semillas de las especies forestales, es importante para contribuir de manera positiva con los proyectos de reforestación y en la conservación de las especies y su diversidad genética. Existen grandes diferencias entre las semillas de las distintas especies en cuanto a su respuesta a las técnicas de manejo, almacenamiento, germinación y conservación. Esto requiere realizar estudios que permitan conocer con certeza, cuáles son los métodos de manejo más apropiados para las semillas de cada especie y así asegurar su viabilidad y la obtención de porcentajes de germinación altos (Salazar, 2000).

El conocimiento de las características de las semillas, la estandarización y optimización de los procesos de determinación de curvas de secado, sensibilidad al secamiento, pruebas de viabilidad, parámetros de germinación, correlaciones entre caracteres morfométricos y fisiológicos, variabilidad genética y hongos asociados de semillas en especies forestales nativas permitirá: a) minimizar el uso de semillas requerido en los monitoreos del contenido de humedad y calidad fisiológica de las mismas y b) determinar valores de secado óptimos para alcanzar los contenidos de humedad

requeridos para el almacenamiento y conservación de semillas de cada especie, c) evaluar de forma rápida y confiable la viabilidad de uno o varios lotes de semilla, sin necesidad de realizar pruebas de germinación que para algunas especies requiere de muchos días, d) mantener la variabilidad genética y calidad del germoplasma y así, contribuir en el desarrollo de programas de conservación y reforestación mediante el uso de germoplasma de mejor calidad física, genética, fisiológica y sanitaria. Además, constituye un aporte en la creación de condiciones de mercado que garanticen al usuario-reforestador, semilla de óptima calidad ofrecida por el productor de semilla (Espitia & Araméndiz, 2013; Trujillo, 2013).

Los resultados de esta investigación que se presentan en este libro, pretenden contribuir a la optimización del procesamiento de semillas con fines de propagación y/o conservación de las especies forestales nativas: Cedro (*Cedrela odorata*), Ceiba roja (*Bombacopsis quinata*), Tambor (*Schizolobium parahyba*), Abarco (*Cariniana pyriformis*) y Caracolí (*Anacardium excelsum*).

El presente libro *Contribución al conocimiento de las semillas de cinco especies forestales nativas y dos exóticas de Córdoba, Colombia*, tiene como objetivo fundamental brindar un soporte técnico y pedagógico valioso para asesorar, apoyar y guiar a los investigadores en mejoramiento genético, productores de semilla (sexual y asexual) de alta calidad genética, docentes universitarios, estudiantes (pregrado y postgrado), extensionistas, asesores técnicos, profesionales, reforestadores y operadores forestales que se desempeñan en empresas forestales que requieren del conocimiento básico y técnico de las semillas que manejan en sus programas de mejoramiento genético, establecimiento de fuentes semilleras, viveros y plantaciones, con el objeto de atender la demanda de la región y/o programas de siembras forestales nativas, destinadas a la producción de madera de alto rendimiento y excelente calidad; además, puede ayudar al propietario o productor forestal que autogestiona estas labores de gran importancia en la silvicultura

moderna, ya sea efectuándolas directamente o con trabajadores bajo su dependencia. El libro responde también a la necesidad académica, técnica y comercial de empresas forestales de contar con literatura propia, válida, actualizada, eficaz y fácil de aplicar en los diversos procesos de conservación de germoplasma y silvicultura moderna, especialmente en las actividades relacionadas con las características, secado, viabilidad, parámetros de germinación, correlaciones, variabilidad genética y hongos asociados a las semillas forestales de especies nativas, las cuales por su calidad de madera han sido priorizadas por la Cadena Forestal de Córdoba, FORCARIBE, y el sector productor y transformador de madera fina de Córdoba.

El texto también es de gran importancia por sus aportes básicos en el suministro de semillas, programas de mejoramiento genético, establecimiento de viveros y siembra de plantaciones, para asegurar el uso sostenible (eficaz y eficiente), al igual que la conservación confiable de semilla, para minimizar los problemas de deficiente calidad de semilla (sexual y asexual) que se viene utilizando en la implementación de muchas plantaciones forestales de la región Caribe y en el área de influencia de Córdoba, por pequeños y medianos productores.

Este libro de investigación, corresponde principalmente a uno de los resultados obtenidos en el proyecto de investigación: “Estandarización del procesamiento de semillas para conservación de germoplasma de cinco especies forestales nativas en Córdoba”, identificado con el código 1.2.08.110-30FCA-02-11, aprobado y cofinanciado por la Universidad de Córdoba, en la Convocatoria interna de proyectos de 2011, el cual se ejecutó bajo la alianza estratégica Universidad de Córdoba y Cadena Forestal de Córdoba (FORCARIBE).

Finalmente, con el objeto de facilitar la presentación de esta Introducción General, las referencias bibliográficas aquí mencionadas, se relacionan en la bibliografía del Capítulo 1, que se presenta a continuación.

Capítulo 1.

CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LAS SEMILLAS DE CINCO ESPECIES FORESTALES NATIVAS

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la morfología y germinación de las semillas y las plántulas de especies agrícolas y forestales ha sido de gran importancia para definir su multiplicación, establecimiento y regeneración natural. El conocimiento e interpretación de los diferentes parámetros biométricos de la semilla, germinación y sus plántulas, es clave y base para la comprensión de la autoecología, colecta, conservación, manejo sostenible y el desarrollo de prácticas silviculturales de las especies (Poorter & Rose, 2005). Aun cuando el valor de la semilla en la estructura de costos de la reforestación actualmente es insignificante, su calidad integral y manejo óptimo en vivero, la hacen el insumo más importante en la producción agrícola y forestal, dado que es el primer paso para lograr el éxito, por ser portador de propiedades intrínsecas físicas, genéticas, fisiológicas y sanitarias, lo cual le confiere un aporte positivo enorme al manejo silvicultural, crecimiento, rendimiento, calidad, productividad, competitividad y sostenibilidad de las plantaciones y producción de madera (Murillo *et al.*, 2012).

En la Agenda de Competitividad del Sector Forestal de Córdoba (CFC, 2011), la semilla como material de siembra, se ha priorizado dentro de las áreas temáticas de la cadena forestal y su industria. Igualmente, se ha contemplado

el mejoramiento genético y el establecimiento de sistemas de certificación de calidad genética y física del material vegetal como líneas estratégicas de investigación, desarrollo tecnológico e innovación para el sector agropecuario por cadenas productivas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR (2008).

La semilla se origina del óvulo fertilizado y al llegar a la madurez se distinguen en ella las siguientes partes: a) La cubierta seminal, la cual se forma a partir de uno o de los dos tegumentos que rodean el saco embrionario; b) el perispermo, tejido diploide procedente de la nucela que se presenta en diversas cantidades en las semillas de algunas especies; c) el endospermo, tejido generalmente triploide que resulta de la fusión de uno de los núcleos espermáticos con los dos núcleos polares, el cual se presenta en diversas cantidades en las semillas de algunas especies, y d) el embrión, que se origina de la fertilización de la oosfera (ovocélula) por uno de los núcleos espermáticos y que dará origen posteriormente a una nueva planta después de la germinación de la semilla. A pesar de su aparente simplicidad, las semillas de los árboles y arbustos constituyen una de las estructuras más complejas que se han originado en el reino vegetal. Las semillas de algunas especies son muy variables (eurispermas), sin embargo, las de la gran mayoría presentan caracteres morfológicos, anatómicos e histológicos sumamente estables (stenospermas), por lo que son utilizadas como elementos de identificación en taxonomía, arqueología, paleobotánica y manejo de fauna silvestre, así como en diversas actividades prácticas relacionadas con el manejo de viveros, jardines botánicos y bancos de germoplasma (Niembro, 1988).

La mayoría de las especies forestales del trópico se propagan mediante semilla sexual y su calidad fisiológica y genética influye de manera significativa en el éxito de la producción y productividad de las plantaciones. En Colombia es limitado el aprovechamiento de las especies forestales nativas, debido a las pocas investigaciones realizadas sobre fuentes de semillas, calendarios fenológicos, biología floral y sobre la recolección y beneficio (limpieza, secado,

contenido de humedad y almacenamiento) de semillas. La poca información disponible y el uso de diferentes métodos para el procesamiento de las semillas de especies forestales tropicales, pone de manifiesto la necesidad de estandarizar estos procesos para su conservación a corto, mediano y largo plazo; ya sea, para su disposición en el establecimiento de plantaciones comerciales o para la conservación de germoplasma (Correa *et al.*, 2012). Lo anterior, para el Caribe húmedo es de gran importancia, dado que presenta condiciones ambientales de alta humedad relativa (85 % HR) y temperatura (>27°C), que influyen significativamente en la calidad de las semillas (Araméndiz *et al.*, 2007; Espitia & Araméndiz, 2013; Espitia *et al.*, 2014). Además, las estrategias y métodos de manejo (recolección, procesamiento y almacenamiento) son específicos para cada especie determinada (Hong & Ellis, 1996; Correa, 2012).

Las cinco especies forestales en estudio: *Cedrela odorata* L. (Cedro), *Cariniana pyriformis* Miers (Abarco), *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand (Ceiba roja), *Anacardium excelsum* (Bertero & Balb. ex Kunth) Skeels (Caracolí) y *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (Tambor) han sido priorizadas en el Caribe colombiano por reforestadores pequeños, medianos y grandes, empresas reforestadoras y transformadoras de la madera, y la Cadena Forestal de Córdoba. En general, su prioridad está dada por su gran adaptación y dispersión en el trópico, aportes a la conservación y regeneración de los bosques naturales, bondades en los procesos de producción de maderas, reforestación, servicios ecosistémicos, silvicultura, viveros, excelente calidad y nobleza de la madera e importante demanda de este tipo de maderas en los mercados locales, nacionales e internacionales (Rodríguez & Nieto, 1999; Rodríguez, 2000; Gómez & Toro, 2008; Rivera-Martin *et al.*, 2013). A pesar de las anteriores ventajas comparativas y riesgos, las características de las semillas de especies forestales nativas en Córdoba son menos conocidas y han sido menos estudiadas, que las de las semillas de las especies forestales exóticas comerciales y las de los cultivos agrícolas, sin embargo no por ello deben considerarse menos importantes.

El estudio de las características anatómicas, morfológicas, dimensiones y peso de las semillas de especies forestales nativas y exóticas, dada su importancia ha sido realizado por varios autores para la determinación de la viabilidad, germinación, conservación, uso en viveros y silvicultura, en semillas de *Pinus brutia* Ten. (Merve *et al.*, 2015); *Pinus tropicalis* Morelet (Bonilla, 2014); *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (Barboza-Nogueira *et al.*, 2014); *Tabebuia rosea* (Abbate & Massanori, 2014); *Mucuna pruriens* (L.) DC (Deminicis *et al.*, 2014), *Bumelia obtusifolia* Roem. & Schult. (Nascimento, 2013); *Plinia trunciflora* (O. Berg) Kausel (Hössel *et al.*, 2013); *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. (Ribeiro-Reis *et al.*, 2012); *Jatropha curcas* L. (Brenha *et al.*, 2012); *Piptadenia moniliformis* Benth (Azerêdo *et al.*, 2011); *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna (Lazarotto *et al.*, 2011); *Schizolobium parahyba* (Ferreira *et al.*, 2007) y otras especies como *Coffea arabica* L. (Clemente *et al.*, 2011); *Alibertia patinoi* (Cuatrec.) Delprete & C.H. Perss. (Escobar & Torres, 2013); *Annona cherimola* Mill. x *A. squamosa* (Giménez *et al.*, 2014); especies del género *Crocus* (Candan, 2015). En Colombia los estudios más mencionados en este tópico en especies forestales nativas, son los realizados por Rodríguez & Nieto (1999), Rodríguez (2000) y Gómez & Toro (2008) en semillas de las especies *Alnus jorullensis* Kunth, *Cariniana piryformis*, *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Tabebuia rosea*, *Anacardium excelsum*, *Cedrela montana* Moritz ex Turcz., *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb., *Erythrina edulis* Triana ex Micheli, *Erythrina fusca* Lour., *Jacaranda copaia*, *Juglans neotropica*, *Lafoensia speciosa* (Kunth) DC., *Samanea saman* (Jacq.) Merr. y *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson. Recientemente, Rivera-Martin *et al.* (2013) han reportado otro trabajo similar en tres especies forestales útiles amazónicas: *Cariniana micrantha* Ducke, *Manilkara bidentata* (A. DC.) A. Chev. y *Peltogyne paniculata* Benth. Esto demuestra que el número de especies forestales nativas sigue en aumento a nivel nacional a medida que en las diferentes zonas con bosques naturales se van investigando y conociendo sus características, bondades y potencial silvícola e industrial.

Conocer la morfología de frutos y semillas es imprescindible para la interpretación de la fenología reproductiva, la ecología de la dispersión y la germinación, aspectos relevantes para la aplicación de tratamientos silviculturales apropiados. Por otra parte, contribuye a la definición de técnicas de almacenamiento y tratamientos pre-germinativos necesarios para garantizar mayores porcentajes de germinación en programas de propagación sexual en laboratorio y/o vivero (Rivera-Martin *et al.*, 2013). Por todo lo anterior, el incremento del conocimiento básico y la caracterización de los bosques, y la identificación y valoración de las especies vegetales nativas promisorias de la región del Sinú, dará pautas para la conservación y uso sostenible de las especies de interés de las comunidades. De igual forma, un mejor y más profundo conocimiento de la biología de las especies y sus semillas, permitirá abordar aspectos como el diseño de programas para el manejo integral de los recursos, la formulación de planes de manejo y aprovechamiento sostenible, el monitoreo y restauración de las poblaciones en su hábitat natural, y ayudará a evaluar las dinámicas ecológicas (producción, dispersión, repoblación, colonización, etc.) a largo plazo de las especies forestales nativas de Córdoba.

El objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar las características morfológicas de las semillas de cinco especies forestales nativas de Córdoba (Colombia): *Cedrela odorata* L. (Cedro), *Cariniana pyriformis* Miers (Abarco), *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand (Ceiba roja), *Anacardium excelsum* (Bertero & Balb. ex Kunth) Skeels (Caracolí) y *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (Tambor), y su relación con el peso de las mismas, como información básica para ser usada en los procesos de silvicultura, viveros, mejoramiento genético y la conservación óptima del germoplasma de estas especies forestales nativas priorizadas en el Caribe colombiano. Parte de estos resultados se socializaron en el XLIII Congreso Anual de la Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal, COMALFI (Espitia & Araméndiz, 2013).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización

La investigación se llevó a cabo entre junio de 2012 y septiembre de 2013 en instalaciones del Laboratorio de Fitomejoramiento de la Universidad de Córdoba (Montería, Colombia), ubicada en la zona media del valle del Sinú, a 8°52' de latitud norte y 76°48' longitud oeste respecto al meridiano de Greenwich, a una altura de 13 m.s.n.m. La zona ecológica corresponde al bosque seco tropical con temperatura promedio de 28°C, humedad relativa de 84 % y precipitación anual de 1200 mm (Palencia *et al.*, 2006).

2.2. Material genético

Se evaluaron cinco lotes familiares de semilla sexual de libre polinización de sendos árboles tomados al azar en diferentes plantaciones del departamento de Córdoba (Colombia), en cada una de las cinco especies: *C. odorata* (Cedro), *C. pyriformis* (Abarco), *B. quinata* (Ceiba roja), *A. excelsum* (Caracolí) y *S. parahyba* (Tambor).

2.3. Procedimiento

Las cinco especies en estudio son consideradas como alógamas o prevalentemente alógamas (Niembro, 1988; Trujillo, 2013), por ello, cada lote de semilla de cada árbol en cada especie, se asumió como una familia de medios hermanos.

Las semillas fueron colectadas por los auxiliares y profesionales encargados del banco de germoplasma del Laboratorio de Fitomejoramiento de la Universidad de Córdoba, durante el primer semestre de 2012 en los municipios de Montería, Tierralta, Planeta Rica, San Antero, Ciénaga de Oro y San Carlos, del departamento de Córdoba. Cada árbol muestreado fue georreferenciado, sin embargo para simplificar su ubicación, en la Tabla 1.1 solo se presentan las coordenadas geográficas de las fincas donde se encuentra la población de árboles, en las cuales se tomaron las semillas de los cinco árboles muestreados al azar de las cinco especies en cada municipio.

En general, los árboles muestreados de las cinco especies al momento de la colecta de la semilla, presentaron las siguientes características: edades entre 10 y 22 años, altura entre 8 y 18 metros y DAP de 20 a 53 cm. El proceso de muestreo de árboles y colecta de semillas en cada una de las especies se realizó atendiendo los protocolos específicos propuestos por Gold *et al.* (2004), ajustados y validados por Murillo *et al.* (2012).

Tabla 1.1. Localización de los árboles muestreados de tambor, abarco, ceiba roja, cedro y caracolí en el departamento de Córdoba, 2012.

Especie	Municipio	Finca	Área reforestada de la finca (Ha)	Coordenadas	
				Latitud N	Longitud O
Tambor: <i>S. parahyba</i>	TIERRALTA	Campamento Urrá	5	08°00'51,22"	076°10'52,32"
		Jesús Antonio Ruiz	15	08°04'22,04"	076°10'38,62"
		Kanguroid 3F	25	08°02'00,69"	076°11'52,29"
		Palmira	20	08°08'50,19"	076°07'59,95"
Subtotal			65		
Abarco: <i>C. pyriformis</i>	TIERRALTA	Kanguroid 3F	40	08°04'14,8"	076°11'30,1"
Subtotal			40		
Ceiba roja: <i>B. quinata</i>	PLANETA RICA	La Independencia	50	08°24'47,6"	075°36'16,9"
		Cucharita	150	08°26'57,22"	075°31'11,68"
	SAN ANTERO	REFOPAL	50	09°19'39,95"	075°49'54,06"
Subtotal			250		
Cedro: <i>C. odorata</i>	MONTERÍA	Lusitania	10	08°37'46,3"	076° 15'48.2"
		La Antioqueña	12	08° 41'14,1"	076° 15'35.7"
		Universidad de Córdoba	0,5	08°42'27,73"	075°40'06,47"
	SAN CARLOS	San Miguel	5	08°42'23,67"	075°40'13,19"
Subtotal			27, 5		
Caracolí: <i>A. excelsum</i>	C. DE ORO	Los Ángeles	10	08°51'16,75"	075°35'21,06"
	SAN CARLOS	San Miguel	5	08°42'23,67"	075°40'13,19"
	MONTERÍA	Universidad de Córdoba	0, 5	08°42'27,73"	075°40'06,47"
Subtotal			15, 5		

Fuente: Autores del texto.

Para estimar las características morfométricas y anatómicas de las semillas, se muestrearon cinco árboles tomados al azar/especie (repetición). De cada uno de los cinco árboles se utilizó una muestra al azar de 100 semillas, para un total de 500 semillas/especie. Así mismo, se identificaron de forma precisa las partes esenciales de las semillas a evaluar en la prueba, tales como embrión, endospermo y radícula. Para ello, se utilizaron las descripciones reportadas por Martin (1946) y Niembro (1988) para semillas de estas especies.

En laboratorio se identificaron y describieron de forma precisa las partes esenciales anatómicas en 10 semillas completas y sanas tomadas al azar para cada especie. Se estimaron las variables morfométricas relacionadas con las dimensiones (cm): ancho máximo (AS), largo máximo (LS), relación ancho/largo (RALA). También se registró el peso fresco de semilla (PES), peso fresco de 100 semillas (P100S) y número de semillas por kilogramo (NSKG). Como se mencionó anteriormente, se utilizó una muestra al azar de 100 semillas/árbol dentro de cada especie. Los valores estimados de las semillas de cada árbol se promediaron y se asumieron como repetición, por lo tanto el valor de cada repetición provino de 100 semillas/árbol y los valores promedios/especie de un total de 500 semillas (cinco árboles).

Para describir la morfología interna de las semillas en cada especie, se realizó un pre-acondicionamiento (remojo) de las mismas, se dejaron inmersas en agua destilada a temperatura ambiente (entre 25°C y 30°C), para las especies *C. odorata*, *C. pyriformis*, *B. quinata* y *A. excelsum* se utilizó un tiempo de remojo de 24 horas, tiempo que está dentro de los rangos aceptados por el ISTA (2005; 2014) para las especies arbóreas. En el caso de las semillas de *S. parahyba*, las cuales presentan una cubierta muy dura, se escarificó con lija la cubierta de la semilla en el extremo distal de los cotiledones tal como lo recomienda el ISTA (2005; 2014) para semillas duras de la familia Fabaceae, para luego ser sumergidas en agua destilada durante 48 horas a temperatura ambiente (entre 25°C y 30°C).

En semillas de *C. odorata* y *S. parahyba* se realizaron cortes longitudinales a través del embrión, descartando la mitad de cada semilla. Para las semillas de

C. pyriformis, *B. quinata* y *A. excelsum*, no se realizaron cortes longitudinales, debido a que, por sus tipos de embriones (axial-foliado-plegado, axial-foliado-doblado, y acumbente, respectivamente), el corte provocaba su disgregación, por lo que la separación de la cubierta seminal en estas semillas permitió una total exposición del embrión y de las partes consideradas “esenciales” y de importancia para la realización de otro tipo de estudios, como la prueba de tetrazolio (ISTA, 2005; 2014). Con la ayuda de un estereoscopio (Vista Visión®) se pudo mejorar la localización y visualización de las estructuras internas de las semillas. Este procedimiento de retiro de la cubierta seminal como parte de la preparación de la semilla, ha sido aplicado exitosamente también en pruebas de tetrazolio para semillas de *Arachis hypogaea* L. (Bittencourt & Vieira, 1999), *Gossypium* sp. (Vieira & Von pinho, 1999), *Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf. (Bhering *et al.*, 2005), y *Gleditschia amorphoides* (Griseb.) Taub. (Fogaça *et al.*, 2006), entre otras.

2.4. Análisis estadístico de los datos

Con los datos obtenidos de cada una de las seis variables, se realizaron estadísticas descriptivas para cada especie ($n = 500 = 5 \text{ árboles} \times 100 \text{ semillas/árbol}$), con el propósito de obtener estimaciones confiables de las características que identifican las semillas de cada especie. Para comparar los valores promedios de las seis variables entre las cinco especies, se realizaron análisis de varianza a una vía para muestras independientes, equivalente a un diseño completamente aleatorizado, y pruebas de medias de Duncan al 5 % de probabilidad estadística, mediante el uso del programa computacional GENES versión Windows (2009.7.0), desarrollado por Cruz (2010).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Características morfométricas externas e internas de las semillas

Las características morfométricas y peso de las semillas se presentan a través de estadísticas descriptivas (Tabla 1.2). La ilustración anatómica externa e interna de las semillas de las cinco especies en estudio, se muestran al final

del presente capítulo, en las Figuras 1.1 y 1.2. A continuación se relacionan los resultados obtenidos para cada especie.

Tabla 1.2. Estadísticas descriptivas para las dimensiones y peso de las semillas de cinco especies forestales nativas en Córdoba (Colombia).

<i>Cedrela odorata</i> (Cedro)									
Variable	Datos (#)	Media	Mínimo	Máximo	CV (%)	Varianza	Desviación Estándar	IC (95%)**	
								LI	LS
AS (cm)	500	0,90	0,85	0,96	2,39	0,0005	0,0216	0,899	0,910
LS (cm)	500	2,27	2,19	2,71	4,40	0,0100	0,1000	2,245	2,298
RALA*	500	0,40	0,33	0,50	5,22	0,0004	0,0210	0,395	0,407
PES (g)	500	0,0110	0,0093	0,0136	7,49	6,4x10-7	0,0008	0,011	0,011
P100S (g)	500	1,101	0,930	1,355	7,49	0,0068	0,0825	1,079	1,123
NSKG (#)	500	94965	79198	124091	8,54	65737963,3	8107,9	92724,7	97058,2
<i>Cariniana pyriformis</i> (Abarco)									
AS (cm)	500	0,69	0,58	0,80	6,03	0,0017	0,0418	0,681	0,704
LS (cm)	500	3,905	3,5	4,21	4,18	0,0266	0,1632	3,860	3,947
RALA*	500	0,183	0,159	0,206	5,84	0,0001	0,0107	0,180	0,186
PES (g)	500	0,069	0,043	0,151	35,30	0,0006	0,0244	0,062	0,075
P100S (g)	500	6,91	4,26	15,07	35,32	5,9513	2,4395	6,232	7,536
NSKG (#)	500	19498	7082	31390	29,60	33299230,0	5770,5	17903,5	20987,7
<i>Bombacopsis quinata</i> (Ceiba roja)									
AS (cm)	500	0,38	0,35	0,41	4,00	0,0002	0,0152	0,377	0,385
LS (cm)	500	0,48	0,45	0,51	3,12	0,0002	0,0149	0,474	0,482
RALA*	500	0,80	0,76	0,84	1,77	0,0002	0,0142	0,794	0,802
PES (g)	500	0,0315	0,0253	0,0343	5,49	2,9x10-6	0,0017	0,031	0,032
P100S (g)	500	3,146	2,533	3,432	5,49	0,0299	0,1728	3,098	3,190
NSKG (#)	500	33876	29998	44407	7,32	6149840,7	2479,9	33191,0	34516,4
<i>Anacardium excelsum</i> (Caracolí)									
AS (cm)	500	1,76	1,66	1,88	3,20	0,0032	0,0565	1,748	1,778
LS (cm)	500	3,25	3,06	3,46	3,45	0,0125	0,1119	3,215	3,275
RALA*	500	0,55	0,50	0,60	4,65	0,0006	0,0254	0,539	0,553
PES (g)	500	2,37	1,67	2,91	17,17	0,1660	0,4075	2,261	2,479
P100S (g)	500	237,35	166,57	291,44	17,17	1660,22	40,75	226,090	247,867
NSKG (#)	500	454	352	609	18,33	6918,0	83,2	430,8	475,3

<i>Schizolobium parahyba</i> (Tambor)									
AS (cm)	500	1,32	1,27	1,38	1,81	0,0006	0,0239	1,312	1,324
LS (cm)	500	2,09	1,94	2,16	2,06	0,0018	0,0430	2,076	2,099
RALA*	500	0,64	0,62	0,86	4,88	0,0010	0,0311	0,628	0,645
PES (g)	500	0,815	0,6826	0,8895	7,89	0,0041	0,0643	0,797	0,831
P100S (g)	500	81,48	68,264	88,952	7,89	41,3803	6,4328	79,704	83,142
NSKG (#)	500	1296	1140	3070	19,78	65735,3	256,4	1225,4	1362,5

*: RALA: Relación AS/LS (Adimensional)

**: IC (95%): Intervalo de confianza al 5% de probabilidad; LI: límite de confianza inferior; LS: límite de confianza superior.

3.1.1. *Cedrela odorata* (Cedro)

Las características morfométricas de las semillas de esta especie se muestran en la Tabla 1.2. En general, las semillas son de forma ovoide, comprimidas, planas, están provistas de un ala oscura, lisa y fácilmente quebradiza, la testa es de color castaño (Figura 1.1a). La estructura interna, según Martin (1946), muestra un embrión axial, recto y espatulado, color blanco o crema con dos cotiledones grandes y planos; la radícula es sobresaliente y corta; el endospermo es delgado, uniforme y blancuzco (Figura 1.1b). Todas estas características concuerdan con las reportadas para esta misma especie por Wilson (1924), Standley & Steyermark (1946), Corner (1976), Pennington & Styles (1981), Niembro (1982), Klein (1984), Pennington & Görts van Rijn (1984), Stoffers (1984), Gómez & Toro (2008), Montiel (2014).

3.1.2. *Cariniana pyriformis* (Abarco)

Las características morfométricas de las semillas de esta especie, se muestran en la Tabla 1.2. La semilla es de forma piramidal u obovada, con la extremidad micropilar aguda, la testa es dura y seca, de color café cuando está seca y se torna negra cuando se humedece, tiene un ala terminal (Figura 1.1c). El embrión, según Martin (1946), es axial subtipo plegado, con cotiledones de color crema y foliáceos, superpuestos, los cuales forman pliegues bastante acentuados (Figura 1.1d). Estas características coinciden con las reportadas por Maia (2001), Gómez & Toro (2008); Flores (2010) y Montiel (2014), en

investigaciones con semillas de *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze y *Cariniana pyriformis*, con algunas leves desviaciones.

3.1.3. *Bombacopsis quinata* (Ceiba roja)

Las características morfológicas de las semillas de esta especie se muestran en la Tabla 1.2. La semilla es de forma redondeada y lisa, con cubierta seminal de color marrón oscuro (Figura 1.1e). El embrión, según Martin (1946), es axial, foliado, doblado, convoluto, con cotiledones gruesos planoconvexos, de color blanco a crema y doblados sobre el hipocótilo (Figura 1.1f), descripciones concordantes con las de Salazar (2000), Flores (2010) y Montiel (2014).

3.1.4. *Anacardium excelsum* (Caracolí)

Las características morfológicas de las semillas de esta especie se muestran en la Tabla 1.2. Estas características coinciden con las encontradas por Niembro (1988). Las semillas son grandes en forma de espiral o de “S” (Figura 1.2a). El embrión, según Martin (1946) y Niembro (1988), es masivo provisto de cotiledones gruesos color crema y carnosos, con ápice redondeado y unidos parcialmente en la base sobre la inserción de la radícula (acumbentes) (Figura 1.2b); el endospermo es muy delgado. Descripciones similares han sido reportadas por Rodríguez (2000), Salazar (2000) y Montiel (2014).

3.1.5. *Schizolobium parahyba* (Tambor)

Las características morfológicas de las semillas de esta especie se muestran en la Tabla 1.2. La semilla es de forma oval y aplanada, con testa lisa, muy dura y brillante, con ápice redondeado y base atenuada, de color café con el borde oscuro (Figura 1.2c). El embrión es axial, recto, ocupa toda la semilla, cotiledones de colores verde manzana, carnosos y lisos. La inserción de un cotiledón con otro es en forma semilunar. La radícula es prominente, recta, de color crema a blanca (Figura 1.2d). El endospermo es lateral, de consistencia vidriosa que al hidratarse se torna gelatinoso, viscoso y

transparente. El tipo de endospermo, según Niembro (1988) y Ferreira *et al.* (2007), es característico de varias especies de la familia Fabaceae de los géneros *Clitoria*, *Schizolobium*, *Delonix*, *Mimosa*, *Leucaena*, entre otras. Estas características son muy similares a las reportadas por Salazar (2000), Ferreira *et al.* (2007), Da Silva & Vitti (2008) y Montiel (2014).

Los resultados encontrados permiten conceptualizar que las características morfométricas de las semillas, de cada especie estudiada, varían muy poco y el efecto del ambiente no es muy importante, por lo que tales caracteres son estables y poco afectados o influenciados por el ambiente.

Las diferencias observadas al interior de cada una de las cinco especies y las reportadas por otros autores, pueden obedecer a factores no considerados en este estudio, como: constitución genética propia de cada especie (control genético, interacciones genéticas a nivel del núcleo y/o del citoplasma, etc.), nivel de domesticación y/o mejoramiento genético, tipo de reproducción, nivel de alogamia, morfología, anatomía, histología, composición química, condiciones ambientales durante el desarrollo ontogénico de la semilla, mecanismos de protección de la semilla en el fruto, colecta, beneficio, manejo y conservación de las semillas, los cuales varían notablemente de acuerdo con la especie (Niembro, 1988; Niembro *et al.*, 2007). Por otra parte, Falconer & Mackay (1996) señalan que la diferencia entre las relaciones genéticas para un mismo grupo de variables, aun en una misma especie, es común y se explica por una influencia moderada de los factores ambientales y/o factores genéticos no aditivos (interacciones genéticas), los cuales subestiman o sobreestiman la verdadera expresión del nivel de asociación entre las variables estudiadas, ya que esos factores ambientales pueden afectar a las variables en estudio a través de un mismo o diferentes mecanismos fisiológicos.

Con base en las estimaciones de las varianzas, las variables de las semillas

que mostraron mayor variabilidad fenotípica en las cinco especies estudiadas, fueron P100S y NSKG. Esto sugiere como lo señalan Murillo *et al.* (2012), Correa (2012) y Correa *et al.* (2013), que en estas características se presentan las mayores probabilidades de lograr progresos significativos por selección en los caracteres en estudio de las semillas, de acuerdo con las necesidades, condiciones, requisitos y objetivos de los programas de mejoramiento genético, viveristas, silvicultores y reforestadores.

3.2. Comparación de las características cuantitativas de las semillas de las cinco especies

La comparación de las características cuantitativas de las semillas entre especies es importante para los procesos de comercialización, viverización y densidad de siembra de acuerdo con las necesidades particulares de cada proyecto forestal. En este texto se consideró de interés comparar las medias de todas las características cuantitativas de las cinco especies estudiadas. Las estimaciones de cuadrados medios y su significancia estadística para las seis variables de las especies en estudio, se presentan en la Tabla 1.3. Se detectaron diferencias significativas al 1 % de probabilidad ($p < 0,01$) entre las cinco especies, lo cual es un resultado esperado cuando se comparan varias especies o varias procedencias de una misma especie (Merve *et al.*, 2015; Candan, 2015; Bonilla, 2014; Barboza-Nogueira *et al.*, 2014; Abbade & Massanori, 2014; Deminici *et al.*, 2014; Nascimento, 2013; Hössel *et al.*, 2013; Rivera-Martin *et al.*, 2013; Ribeiro-Reis *et al.*, 2012; Brenha *et al.*, 2012; Azerêdo *et al.*, 2011; Lazarotto *et al.*, 2011; Gómez & Toro, 2008; Ferreira *et al.*, 2007; Rodríguez, 2000 y Rodríguez & Nieto, 1999).

En general, los coeficientes de variación (CV) fueron menores de 28,5 %, oscilando entre 2,07 % (AS) y 28,45 % (P100S) en las seis variables estudiadas. Estos valores se consideran aceptables y buenos para este tipo de ensayos, a pesar que las cinco especies presentan semillas con dimensiones y pesos muy diferentes, como se puede observar en la Tabla 1.2. Con base en los valores

de los coeficientes de variación estimados se puede concluir que la técnica experimental utilizada fue excelente y que los resultados son muy confiables.

Tabla 1.3. Cuadrados medios (CM) y nivel de significancia de las características morfométricas y variables gravimétricas de las semillas de cinco especies forestales nativas en Córdoba (Colombia).

Fuente de Variación	G.L.	CM					
		AS (cm)	LS (cm)	RALA ¹	PES (g)	P100S (g)	NSKG (#)
Especies	4	1,456244**	8,238326**	0,287117**	4,877199**	48769,27**	7320356707,1**
Error	20	0,000445	0,00339	0,00048	0,03461	346,2259	2585344,48
Total	24						
Media		1,018	2,387	0,519	0,654	65,4	27874,2
CV (%)		2,07	2,44	4,22	28,44	28,45	5,77

1. RALA: Relación AS/LS (Adimensional). **: Significativos al 1% de probabilidad.

Los valores promedios para las seis variables y las cinco especies en estudio se presentan en la Tabla 1.4 y confirman los resultados de los análisis de varianza presentados en la Tabla 1.3.

Ancho de la semilla

Se puede observar que el mayor ancho de la semilla (AS) lo presentó la especie caracolí (*A. excelsum*) con 1,764 cm, mientras que el menor valor promedio para este carácter lo exhibió ceiba (*B. quinata*) con 0,394 cm. El AS de caracolí correspondió a casi 4,5 veces el de ceiba. Las otras tres especies presentaron valores estadísticamente diferentes e intermedios entre estas dos especies. Al comparar la variabilidad fenotípica estimada por la varianza dada en la Tabla 1.2, se puede observar que en general este rasgo presentó muy baja variabilidad fenotípica dentro de cada especie, dado que los valores de varianza obtenidos en el estudio para la cinco especies, fueron muy bajos, oscilando entre 0,0002 (Ceiba) y 0,0032 (Caracolí). Esta baja variabilidad puede obedecer a los siguientes eventos: a) la muestra de semillas de cinco árboles/especie es aún pequeña para estimar la variabilidad de este carácter;

b) los cinco árboles/especie muestreados de donde se tomó la semilla en cada especie, estaban posiblemente muy emparentados genéticamente, a pesar que fueron muestreados en varios municipios y en lotes diferentes, y c) el ancho de la semilla es un carácter que está controlado por muy pocos genes, por tanto es muy poco influenciada por el ambiente, lo que la hace a su vez una variable muy propia de cada especie y con baja variabilidad (Murillo *et al.*, 2012; Correa, 2012 y Correa *et al.*, 2013).

Tabla 1.4. Valores promedios de las características de las semillas de cinco especies forestales nativas en Córdoba (Colombia).

Especie	AS (cm)		LS (cm)		RALA ¹		PES (g)		P100S (g)		NSKG (#)	
Cedro	0,910	c	2,252	c	0,41	d	0,0110	C	1,084	c	92746,8	a
Tambor	1,334	b	2,122	d	0,63	b	0,8478	B	84,794	b	1180,6	d
Abarco	0,690	d	3,878	a	0,18	e	0,0732	C	7,300	c	14576,6	c
Caracolí	1,764	a	3,198	b	0,55	c	2,3056	A	230,540	a	451,6	d
Ceiba	0,394	e	0,484	e	0,82	a	0,0330	C	3,304	c	30415,4	b

1. RALA: Relación AS/LS (Adimensional). Promedios con la misma letra no son estadísticamente diferentes, según la prueba de DUNCAN.

Largo de la semilla

Estadísticamente el mayor largo de la semilla (LS) incluyendo el ala (para algunas especies), lo mostró abarco (*C. pyriformis*) con 3,878 cm, a su vez la semilla que presentó el menor largo fue la de ceiba (*B. quinata*) con 0,484 cm. El LS de abarco fue aproximadamente ocho veces el de ceiba. Las otras tres especies mostraron valores promedios estadísticamente diferentes y más cercanos a abarco que a ceiba (Tabla 1.4). Al comparar la variabilidad fenotípica estimada por la varianza dada en la Tabla 1.2, se puede observar que en general este rasgo al igual que el AS, presentó muy baja variabilidad fenotípica dentro de cada especie, dado que los valores de varianza obtenidos en el estudio para las cinco especies, fueron muy bajos, oscilando entre 0,0002 (Ceiba) y 0,0032 (Caracolí). Esta baja variabilidad puede deberse a las mismas razones relacionadas en el AS.

Relación ancho/largo de la semilla (RALA)

La RALA es una característica de interés, porque puede dar idea del nivel de esfericidad, compactación y forma de la semilla de una especie determinada, lo cual a su vez influye en otras características y condiciones de manejo, uso y conservación de las semillas (Correa *et al.*, 2013). La RALA osciló entre 0,18 (abarco) y 0,82 (ceiba roja), las otras tres especies presentaron promedios alrededor de 0,50 (Tabla 1.4). Los resultados altos de RALA en ceiba, se deben a la mayor esfericidad y compactación de su semilla (Figura 1.1e), comparada con la de abarco, cedro, tambor (alargada y plana) y la de caracolí (alargada y tubular) (Figuras 1.1 y 1.2). Sin embargo, la forma de la semilla no tiene correlación y/o efecto importante con la viabilidad, germinación y/o el nivel de dormancia de la semilla (Rivera-Martin *et al.*, 2013; Correa-Álvarez *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2012; Correa, 2012; Mwase & Mvula, 2011; Rodríguez, 2000; Gómez & Toro, 2008; Rodríguez & Nieto, 1999).

Peso de la semilla (PES) y peso de 100 semillas (P100S)

Estas dos variables se interpretan conjuntamente en razón a que presentaron por su origen y naturaleza biológica un mismo comportamiento (Tabla 1.4). Se observa que la especie con las semillas más pesadas fue caracolí, mientras que cedro, ceiba y abarco resultaron ser, estadísticamente, las especies con semillas menos pesadas. Por su parte la especie tambor presentó pesos de semillas intermedio estadísticamente.

Al comparar las dimensiones y peso de la semilla de las cinco especies, se puede detectar que el mayor peso de la semilla estuvo muy asociado con el ancho de la misma, esto se puede corroborar al contrastar tales caracteres para las semillas más (caracolí) y menos pesadas (cedro, ceiba y abarco). En forma general, se puede deducir que la magnitud del peso de las semillas (PES) de caracolí, tambor, abarco y ceiba, resultaron ser 210, 77, 7 y 3 veces, respectivamente, más pesadas que la semilla de cedro. Esta relación es de gran importancia práctica, dado que el peso de la semilla en cada especie

tiene gran utilidad al calcular el número de semillas/kg (NSKG), sobre todo al momento de representar y conservar la variabilidad genética, al igual que al comprar y calcular el número de plántulas necesarias en viveros de cada una de estas especies para plantar determinada área en proyectos de regeneración de bosques naturales, ensayos genéticos y/o reforestación comercial (Niembro, 1988; Rodríguez & Nieto, 1999; Rodríguez, 2000; Araméndiz *et al.*, 2007; Gómez & Toro, 2008; Espitia & Araméndiz, 2013; Rivera-Martin *et al.*, 2013; Espitia *et al.*, 2014).

Número de semillas/kilogramo (NSKG)

Los resultados obtenidos (Tabla 1.4) señalan que esta variable en las cinco especies estudiadas, como era de esperarse, presentó una relación inversa con el peso de las semillas y el peso de 100 semillas (PES y P100S), dado su origen y naturaleza biológica. Esto se puede corroborar al observar que cedro, ceiba y abarco, que fueron las especies con semillas menos pesadas, resultaron con mayor NSKG, con 92.747, 30.415 y 14.577, respectivamente; mientras que caracolí, que presentó las semillas más pesadas, muestra el menor número con 452 semillas/kg, aproximadamente.

Con el objeto de analizar el impacto práctico que tienen los resultados obtenidos en NSKG de la Tabla 1.4, bajo el supuesto que se necesitaran 1.333 plántulas/ha, con distancia de siembra de 3m x 3m (1.111 plántulas/ha) y asumiendo una germinación y producción de plántulas en vivero del 80 % (1.333 plántulas/ha); con un kilogramo de semilla de cada especie, alcanzaría para sembrar: 70; 23; 11; 0,9 y 0,3 ha, aproximadamente, con las especies cedro, ceiba, abarco, tambor y caracolí, respectivamente. Por otro lado, para plantar una hectárea con cada una de estas especies, con base en los mismos supuestos, esto es, 1.333 plántulas/ha, se necesitarían 14; 44; 91; 1.129 y 2.952 gramos de semilla aproximadamente, de cedro, ceiba, abarco, tambor y caracolí, respectivamente. Esta situación tiene un efecto económico directo de gran importancia en la definición del precio de la semilla.

Estas diferencias e impactos que tiene el número de semillas/kg en el uso de semilla para siembra en las diferentes especies, por razones obvias, lo determinan como uno de los factores de gran interés, junto con la preferencia por la especie (calidad de la semilla, duración del turno, adaptación, calidad y demanda de la madera, entre otros), los que seguirán definiendo el precio del kg de semilla, llegando incluso a jugar un papel de gran importancia, para justificar en el futuro que la comercialización de la semilla forestal certificada se realice por número de semillas (unidades) y no por kg. Esta tendencia se fortalecerá aún más, cuando en el sector forestal en el futuro no muy lejano, se inicie la comercialización y siembra de la semilla de árboles con biotecnologías, tal como ha sucedido en el sector agrícola con la llegada y uso de la semilla transgénica de algodón y maíz en Colombia y Córdoba (Espitia & Araméndiz, 2013; Espitia *et al.*, 2014).

De acuerdo con varios autores (Niembro, 1988; Rodríguez & Nieto, 1999; Rodríguez, 2000; Gold *et al.*, 2004; Araméndiz *et al.*, 2007; Gómez & Toro, 2008; Murillo *et al.*, 2012; Espitia & Araméndiz, 2013; Rivera-Martin *et al.*, 2013; Espitia *et al.*, 2014; Barboza-Nogueira *et al.*, 2014), bajo igualdad de condiciones en calidad integral de la semilla (física, genética, fisiológica y sanitaria), las especies que ofrecen semillas más livianas y mayor NSKG presentan una serie de ventajas adicionales biológicas y prácticas, en cuanto a: mayor colonización (mayor producción y dispersión), mayor facilidad para el transporte, manejo, representatividad, conservación *ex situ* y almacenamiento de la variabilidad genética (volumen, peso y espacio menores), mayor economía y rendimiento en vivero (menor costo/semilla, mayor facilidad de secado; menor costo/plántula), entre otros. Estas ventajas constituyen un aporte positivo e importante para la conservación de la diversidad genética del germoplasma, ecología, viverización de la semilla, manejo silvicultural, crecimiento, rendimiento y calidad de las plantaciones y la madera, entre otros.

A pesar de lo anterior, la literatura reporta que el tamaño y peso de semillas de un mismo árbol, por lo general están asociados con una mayor germinación y desempeño de las plántulas, en razón a que semillas grandes y pesadas contienen mayores cantidades de carbohidratos en el endospermo o cotiledones, que refleja la disponibilidad de una mayor fuente de energía para estimular la germinación, emergencia, supervivencia y crecimiento de las plántulas (Bonilla, 2014; Huerta-Paniagua & Rodríguez-Trejo, 2011; Tenorio-Galindo *et al.*, 2008; Khurana & Singh, 2001; Leishman *et al.*, 2000). Sin embargo, otras investigaciones no reportan tales asociaciones (Albalanda *et al.*, 2007).

Aun cuando el valor de la semilla en la estructura de costos de la reforestación actualmente no es muy significativa, el conocimiento de sus características morfológicas, anatomía, calidad integral y manejo óptimo en vivero, la hacen el insumo más importante en la producción agrícola y forestal, dado que es el primer paso para lograr el éxito, por ser portador de propiedades intrínsecas físicas, genéticas, fisiológicas y sanitarias, lo cual le confiere productividad, competitividad y sostenibilidad a las plantaciones y producción de madera (Merve *et al.*, 2015; Murillo *et al.*, 2012).

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las semillas de cedro, tambor, abarco, caracolí y ceiba presentaron componentes morfológicos diferentes, los cuales son propios y característicos de cada especie.

Los caracteres morfológicos y gravimétricos de las semillas en cada una de las cinco especies, presentaron baja variabilidad fenotípica, con base en la estimación de su varianza. Las mayores estimaciones de varianzas fenotípicas en las cinco especies estudiadas fueron peso de 100 semillas y número de semillas por kilogramo.

Se detectaron diferencias estadísticas significativas entre las cinco especies para las características morfométricas de las semillas.

Caracolí mostró las semillas más pesadas, mientras que cedro, ceiba y abarco fueron, estadísticamente, las especies de semillas menos pesadas. A su vez, tambor presentó pesos de semillas intermedios.

El mayor peso de la semilla mostró alta tendencia a estar muy asociado con el ancho de la misma, esto se puede corroborar al comparar tales caracteres para las semillas más (caracolí) y menos pesadas (cedro, ceiba y abarco).

La magnitud del peso de las semillas de caracolí, tambor, abarco y ceiba, resultaron ser 210, 77, 7 y 3 veces más pesadas que la semilla de cedro.

Se recomienda tener en cuenta el peso, número de semillas/kg, viabilidad y porcentaje de germinación, al momento de adquirir semilla para vivero y/o siembra, en razón a que las cinco especies estudiadas difieren significativamente en estos caracteres.

En los procesos de germinación y/o viverización de las semillas, se sugiere tener en cuenta algunos tratamientos pregerminativos, en razón a que se pudieron corroborar diferencias anatómicas importantes en el peso, tamaño y cubierta seminal de las semillas en las cinco especies.

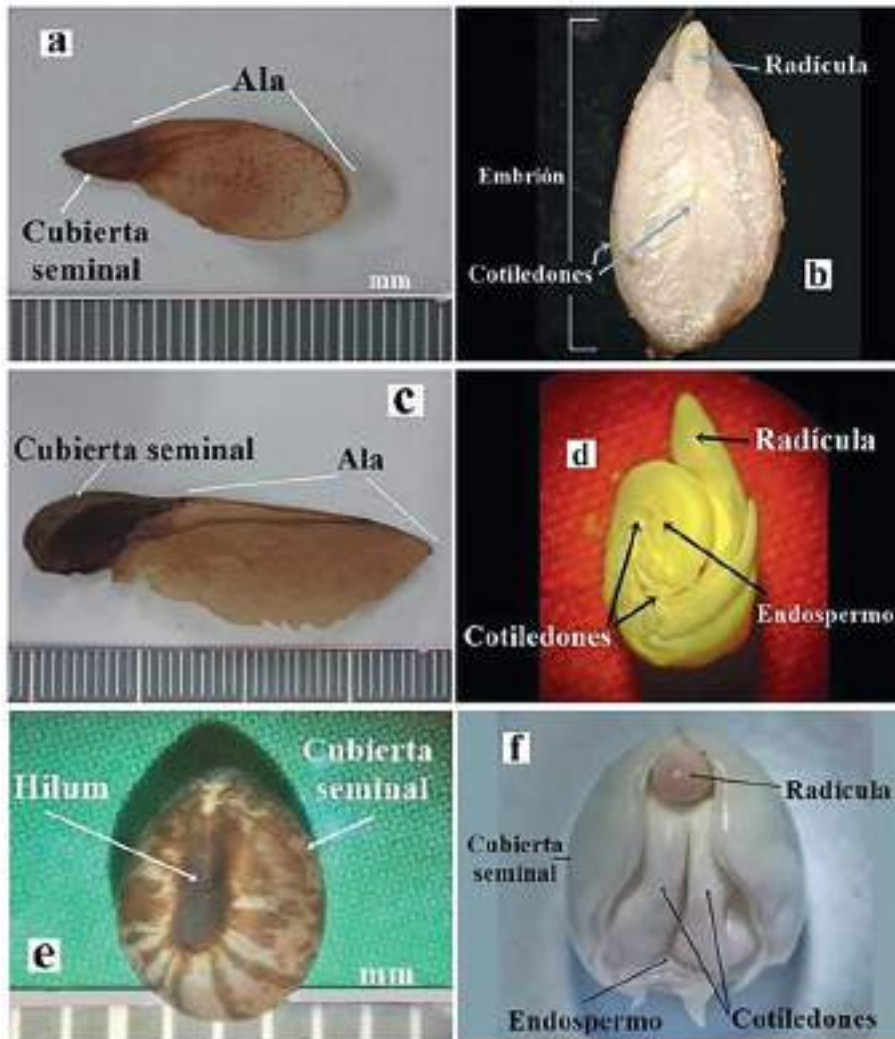


Figura 1.1. Anatomía externa e interna de las semillas de *Cedrela odorata* (a y b), *Cariniana pyriformis* (c y d) y *Bombacopsis quinata* (e y f).

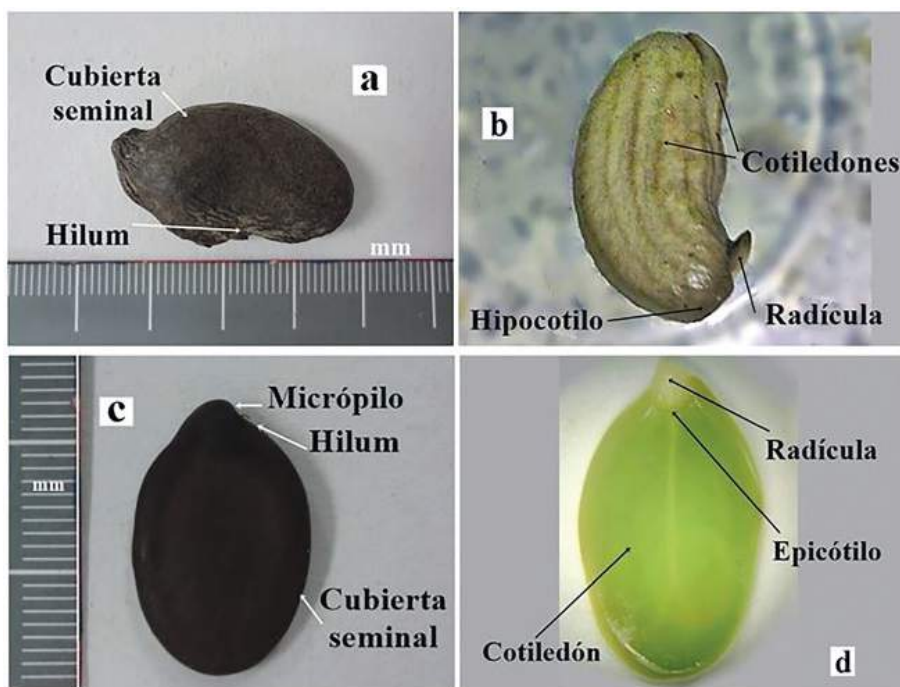


Figura 1.2. Anatomía externa e interna de las semillas de *Anacardium excelsum* (a y b), y *Schizolobium parahyba* (c y d).

5. REFERENCIAS

- Abbade, L. & Massanori, T. (2014). Teste de tetrazólio para avaliação da qualidade de sementes de *Tabebuia rosealba* (Ridl.) Sandwith-Bignoniaceae, submetidas ao Armazenamento. *Revista Árvore*, 38(2): 233-240.
- Alba-Landa, J., Ramírez-García, E. & Aparicio-Rentería, A. (2007). Correlación de semillas y plántulas de *Pinus teocote* Schl. Et Cham. de tres procedencias del Estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 9(1): 23-27.
- Araméndiz, H., Cardona, C., Jarma, A., Robles, J. & Montalván, R. (2007). Efectos del almacenamiento en la calidad fisiológica de la semilla de berenjena (*Solanum melongena* L.). *Agronomía Colombiana*, 25(1): 104-112.
- Araméndiz, H., Espitia, M. & Cardona, C. (2010). *Mejoramiento genético de plantas*. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Córdoba. Impreso universitario. 327 p.
- Azerêdo, G. A., Paula, R. C. & Valeri, S. V. (2011). Viabilidade de sementes de *Piptaderia moniliformis* Benth. Pelo teste de tetrazólio. *Revista Brasileira de Sementes*, 33(1): 061-068.
- Barboza-Nogueira, F.C. Charles Lobo-Pinheiro, Ch., Medeiros-Filho, S. & Da Silva-Matos, D.M. (2014). Seed Germination and Seedling Development of *Anadenanthera Colubrina* in Response to Weight and Temperature Conditions. *Journal of Plant Sciences*, 2(1): 37-42.
- Bhering, M.M., Dias, D.C.F.S. & Barros, D.I. (2005). Adequação da metodologia do teste de tetrazólio para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de melancia. *Revista Brasileira de Sementes*, 27(1): 176-182.
- Bittencourt, S.R.M.DE. & Vieira, R.D. (1999). Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de amendoim. In F.C. Krzyzanowski, R.D. Vieira & J.B. França Neto. *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: Abrates. Cap. 8, p.2.1-2.8.
- Bonilla, V.M. (2014). Variación del peso y viabilidad de las semillas de *Pinus tropicalis* para diferentes procedencias. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 2(1): 1-10.

- Brenha, J., De Oliveira, N., Cândido, A., Godoy, A. & Alves, C. (2012). Teste de tetrazólio em sementes de pinhão manso. *Visão Acadêmica*, 13(4): 63-79.
- Calderón, E., Galeano, G. & García, N. (Eds.) (2002). *Libro rojo de plantas fanerógamas de Colombia*. Volumen 1: Crysobalanaceae, Dichapetalaceae y Lecythidaceae. (Libros rojos de especies amenazadas de Colombia). Bogotá, Colombia: Instituto Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales-Universidad Nacional de Colombia, Ministerio del Ambiente. 237p.
- Candan, F. (2015). Comparative Morphological Investigation on Seeds of Some *Crocus* L. Taxa from Turkey. *International Journal of Plant Science and Ecology*, 1(5), 201-207. <http://www.aiscience.org/journal/ijpse> (Consultado: Nov/7/2015).
- CFC-Cadena Forestal de Córdoba (2011). Acuerdo regional de competitividad: Cadena forestal madera, muebles y productos de madera del departamento de Córdoba 2011-2030 (Texto y matriz del acuerdo). 55p.
- CFC-Cadena Forestal de Córdoba (2015). *Área y especies forestales plantadas en el departamento de Córdoba en el año 2014*. Documento impreso. 2p.
- Clemente, A., De Carvalho, M., Guimarães, R. & Zeviani, W. (2011). Preparo das sementes de Café para avaliação da viabilidade pelo teste de tetrazólio. *Revista Brasileira de Sementes*, 33(1): 038-044.
- CONIF-Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (2003). *Cadena Forestal Productiva de Córdoba*. Folleto Núcleos Forestales. http://www.conif.org.co/docs/cadena_folleto_interior.pdf. (Accedido: 16-12-2011).
- CONIF; MMA & OIMT (1998). *Guía para plantaciones forestales en Córdoba*. Serie de documentación No. 34. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal-CONIF, Ministerio del Medio Ambiente-MMA y Organización Internacional de Maderas Tropicales-OIMT. 48p.

- Corner, E.J.H. (1976) citado por Niembro, A. (2010). *Cedrela odorata* L. En J.A. Vozzo (Ed.), *Manual de semillas de árboles tropicales* (pp.375-378). USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Missouri.
- Correa, E. (2012). *Estandarización del procesamiento de semillas para conservación de germoplasma de tres especies forestales en córdoba*. (Tesis Maestría), Universidad de Córdoba, Montería. 120p.
- Correa-Álvarez, E., Espitia, M., Araméndiz, H., Murillo, O. & Pastrana, I. (2013). Variabilidad genética en semillas de árboles individuales de *Tectona grandis* L.f. en la conformación de lotes mezclados en Córdoba, Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 16(2): 379-389. ISSN 0123-4226.
- Correa-Álvarez, E., Paternina-Paternina, J., Espitia-Camacho, M., Campo-Arana, R. & Urango, N. (2012). Identificación de hongos asociados a semillas de *Acacia mangium* Willd. *Tectona grandis* L.f. y *Gmelina arborea* Roxb. *Revista Fitopatología Colombiana*, 36(1): 1-5. ISSN: 0120-0143.
- Cruz, C. (2010). Programa genes. Versão Windows (2009.7.0). Aplicativo computacional em genética e estatística. Universidade Federal de Viçosa. Disponible desde Internet em: <http://www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm> (consultado: Nov/15/2010).
- Da Silva, B., Vitti, F. (2008). Aspectos morfológicos do fruto, da semente e desenvolvimento pos-seminal de Faveira (*Clitoria fairchildiana* R. A. Howard - Fabacea). *Revista Brasileira de Sementes*, 30(3): 195-201.
- Deminicis, B.B., Do, P.R., Faria, B.P., Vieira, H.D., Pandolfi, H.D. & Freitas, G.S. (2014). Tetrazolium Test to Evaluate *Stizolobium aterrimum* Seeds Quality. *American Journal of Plant Sciences*, 5(1): 148-152.
- Escobar-Escobar, D.F. & Torres, G.A.M. (2013). Morphology, ecophysiology and germination of seeds of the Neotropical tree *Alibertia patinoides* (Rubiaceae). *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol.)*, 61(2): 547-556. ISSN-0034-7744).

- Espitia, M. & Araméndiz, H. (2013). Investigación en semillas forestales en el departamento de Córdoba. Conferencia Magistral. ISSN 2248-6674. XLIII Congreso Anual de COMALFI (Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal). Hotel Caribe, Cartagena (Bolívar) 25, 26 y 27/septiembre/2013. 133p.
- Espitia, M., Araméndiz, H. & Montiel, J. (2014). Parámetros de germinación en cámara germinativa e invernadero en cinco especies forestales nativas en Córdoba. Ponencia. ISSN 2248-6674. XLIV Congreso Anual de COMALFI (Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal). Centro de Convenciones de Córdoba, Montería (Córdoba) 24, 25 y 26/septiembre/2014. 91p.
- Falconer, D.S. & Mackay, T. (1996). *Introduction to Quantitative Genetics*. Fourth edition. Kuala Lumpur Printed in Malaysia: Prentice Hall. 464 p. ISBN 978-0-582-24302-6.
- FAO (2010). Biotecnologías Agrícolas para la Seguridad Alimentaria y el Desarrollo Sostenible: Opciones para los Países en Desarrollo y Prioridades de Acción para la Comunidad Internacional. Conferencia sobre las Biotecnologías Agrícolas en los Países en Desarrollo (ABDC-10). Guadalajara (México), 1-4 de marzo de 2010. <http://www.fao.org/biotech/abdc/backdocs/es/> (Consultado: Mayo/27/2010).
- FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2014). *Semillas*. <http://www.fao.org/seeds/es/>. (Consultado: Sep/4/2014).
- Ferreira, R.A., Oliveira, L.M. de, Tonetti, O.A.O. & Davide, A.C. (2007). Comparação da viabilidade de sementes de *Schizolobium parahyba* (vell.) blake - leguminosae caesalpinioideae, pelos testes de germinação e tetrazólio. *Rev. bras. sementes*, 29(3): 83-89.
- Flores, E. (2010). Biología de las semillas. En J.A. Vozzo (Ed.), *Manual de semillas de árboles tropicales*. Missouri: USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

- Fogaça, C.A., Zucareli, C., Malavasi, M.M., Zucareli, C. & Malavasi, U.C. (2006). Aplicação do teste de tetrazólio em sementes de *Gleditschia amorphoides* Taub. Caesalpinaceae. *Revista Brasileira de Sementes*, 28(3): 101-107.
- Gimenez, J., Ferreira, G. & Cavariani, C. (2014). Teste de tetrazólio para a avaliação da viabilidade de sementes de atemoia (*Annona cherimola* Mill. x *A. squamosa* L.). *Journal of Seed Science*, 36(3): 357-361.
- Gold, K., P. León-Lobos, P. & Way, M. (2004). Manual de recolección de semillas de plantas silvestres para conservación a largo plazo y restauración ecológica. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile. *Boletín INIA* N° 110, 62p. <http://www.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR31275.pdf>. (Consultado: Nov/15/2012).
- Gómez, M. & Toro, J. (2008). Manejo de las semillas y la propagación de diez especies forestales del bosque húmedo tropical. Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia - CORANTIOQUIA, Medellín, p.6. http://www.corantioquia.gov.co/sitios/ExtranetCorantioquia/SiteAssets/Lists/Administrar%20Contenidos/EditForm/boletin_semillas_bosque_secotropical.pdf (Consultado: Abril/13/2015).
- Hong, T.D. & Ellis, R.H. (1996). A protocol to determine seed storage behaviour. *IPGRI Technical Bulletin* N° 1 (J.M.M. Engels and J. Toll, Vol. eds.) International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 62p.
- Hössel, C., De Oliveira, J., Fabiane, Júnior, A. & Citadin, I. (2013). Conservação e teste de tetrazólio em sementes de jabuticabeira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(1): 255-261.
- Huerta-Paniagua, R. & Rodríguez-Trejo, D. (2011). Efecto del tamaño de semilla y la temperatura en la germinación de *Quercus rugosa* Née. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(2): 179-187.
- Hugo, W. (2013). Plataforma de Fortalecimiento de Capacidades en Sistemas de Semilla. Ponencia en Taller Internacional de Sistemas de Semillas: Principios Organizacionales, Tecnológicos y Biológicos en el Manejo

- Moderno de Semillas de Alta Calidad. CIAT - Palmira (Colombia), octubre 21-25/2013.
- Infomaderas (2014a). *Maderas de Colombia*. <http://infomaderas.com/2013/04/11/maderas-de-colombia-el-cedro/> (Consultado: nov/15/2014).
- Infomaderas (2014b). *Maderas de Colombia*. <http://infomaderas.com/2013/08/20/maderas-de-colombia-abarco/> (Consultado: nov/15/2014).
- Infomaderas (2014c). *Maderas de Colombia*. <http://infomaderas.com/2014/02/13/maderas-de-colombia-chingale/> (Consultado: nov/15/2014).
- Infomaderas (2014d). *Maderas de Colombia*. <http://infomaderas.com/2013/05/08/maderas-de-colombia-ceiba-tolua/> (Consultado: nov/15/2014).
- Infomaderas (2014e). *Maderas de Colombia*. <http://infomaderas.com/2014/02/06/maderas-de-colombia-caracoli/> (Consultado: nov/15/2014).
- ISTA (2005). International Rules for Seed Testing 2005. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Suiza.
- ISTA (2014). International Rules for Seed Testing 2014. The International Seed Testing Association, Bassersdorf, Suiza, 272p.
- IUCN (2011). IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2011.2. www.iucnredlist.org. Consultada: oct/10/2013.
- Khurana, E. & Singh, J. (2001). Ecology of tree seed and seedlings: Implications for tropical forest conservation and restoration. *Current Science*, 80(6): 748-757.
- Klein, R.M. (1984) citado por Niembro, A. (2010). *Cedrela odorata* L. En J.A. Vozzo (Ed.), *Manual de semillas de árboles tropicales* (pp.375-378). Missouri: USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Lazarotto, M., Piveta, G., Muniz, M. & Reiniger, L. (2011). Adequação do teste de tetrazólio para avaliação da qualidade de sementes de *Ceiba speciosa*. *Semina: Ciências Agrárias*, 32(4): 1243-1250.

- Leishman, M., Wright, I., Moles, A. & Westoby, M. (2000). The evolutionary ecology of seed size. En M. Fenner (Ed.), *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. (pp.31-57). CABI Pub. London.
- MADR-Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2005). Características y estructura del sector forestal-madera-muebles en Colombia, una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Documento de trabajo N° 95. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia. 63p.
- MADR-Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2007). *Cadena Productiva Forestal-Tableros Aglomerados y Contrachapados - Muebles y Productos de Madera*. <http://www.minagricultura.gov.co/archivos/forestal.pdf>. (Accedido: 15-03-2012).
- MADR-Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2008). *Antecedentes Convocatorias Ciencia y Tecnología*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR. <http://sigp.minagricultura.gov.co/portal/antecedentes.jsp>. (Accedido: 08-03-2012).
- MAIA, G. (2001). Ecofisiologia do *Jequitibá-Rosa* e do *Jacarandá-Dabahia*: morfogênese, germinação e crescimento inicial. (Tesis doctor en ciencias producción vegetal), Universidad Federal de Paraná, Curitiba. 137p.
- Martin, A. (1946). The comparative internal morphology of seeds. *The American Midland Naturalist*, 36: 513-660.
- MAVDT-Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - República de Colombia (2011). *Colombia firmó Tratado Internacional Ambiental - Protocolo de Nagoya*. <http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?conID=6839&catID=1180> (Consultado: febrero/4/2011).
- Merve, D.M., Seyedi, N. & Bilir, N. (2015). Seedling Quality and Morphology in Seed Sources and Seedling Type of Brutian Pine (*Pinus brutia* Ten.) *World Journal of Agricultural Research*, 3(2): 83-85.
- Montiel, J. (2014). Estandarización del secado y determinación de viabilidad de semillas para conservación de germoplasma de cinco especies

- forestales nativas en Córdoba. (Tesis de grado. Programa de Ingeniería Agronómica). Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba. 137p.
- Murillo, O., Espitia, M. & Castillo, C. (2012). *Fuentes semilleras para la producción forestal*. Universidad de Córdoba. Bogotá: Ed. Damar S.A.S.
- Mwase, W.F. & Mvula, T. (2011). Effect of seed size and pre-treatment methods of *Bauhinia thonningii* Schum. on germination and seedling growth. *African Journal of Biotechnology*, 10(13): 5143-5148.
- Nascimento, I. (2013). Determinação de metodologias para teste de germinação e vigor de sementes de quixabeira (*Bumelia obtusifolia* Roem et schult. var. excelsa (DC) Mig.). *Revista Árvore*, 37(4): 701-706.
- Niembro, A. (1982). *Cedrela odorata* L. En J.A. Vozzo (Ed.), *Manual de semillas de árboles tropicales*. (pp. 375-378). Missouri: USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Niembro, A. (1988). *Semillas de árboles y arbustos: Ontogenia y estructura*. México: Editorial Limusa.
- Niembro, A. (2010). *Cedrela odorata* L. En J.A. Vozzo (Ed.), *Manual de semillas de árboles tropicales* (pp.375-378). Missouri: USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Niembro, A. Ramírez-García, E. & Aparicio-Rentería, A. (2007). Correlación entre características de frutos de *Swietenia macrophylla* King con su contenido de semillas desarrolladas. *Foresta Veracruzana*, 9(1): 49-53.
- Nieto, V. (2004). Las Diez Especies TOP para Investigación y Desarrollo Forestal. *Revista El Mueble y la Madera*, (46): 11-17. <http://www.revista-mm.com/ediciones/rev46/especies2.pdf>. (Consultado: Octubre/18/2012).
- Palencia, G., Mercado, T. & Combatt, E. (2006). *Estudio agroclimático del departamento de Córdoba*. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba.
- Pennington, T.D. & Görts Van Rijn, A.R.A. (1984) citado por Niembro, A. (2010). *Cedrela odorata* L. En J.A. Vozzo (Ed.), *Manual de semillas de árboles tropicales* (pp.375-378). Missouri: USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

- Pennington, T.D. & Styles, B.T. (1981) citado por Niembro, A. (2010). *Cedrela odorata* L. En J.A. Vozzo (Ed.), *Manual de semillas de árboles tropicales* (pp.375-378). Missouri: USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Poorter, L. & Rose, S. (2005). Light-dependent changes in the relationship between seed mass and seedling traits: a meta-analysis for rain forest tree species. *Oecologia*, 142(1): 378-387.
- Portal Forestal (2010). *La Conferencia sobre Protección de los Bosques en EuropaserealizaráenValsaín(Segovia)*.http://www.portalforestal.com/index.php?option=com_content&view=article&id=4567&Itemid=30 (Consultado: Abril/5/2010).
- Proexport Colombia (2012). *Sector Forestal en Colombia*. Bogotá.
- Ribeiro-Reis, R., Pelacani, C., Antunes, C., Dantas, B. & De Castro, R. (2012). Physiological quality of *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. (Leguminosae-Papilionoideae) seeds subjected to different storage conditions. *Revista Árvore*, 36(2): 229-235.
- Rincón, M. (2009). El sector forestal en Córdoba: Cadena productiva forestal madera y muebles departamento de Córdoba. Informe Cadena Forestal de Córdoba, febrero de 2009 (Centro de Investigaciones Turipaná - Corpoica).
- Rivera-Martin, L.E., Peñuela-Mora, M.C., Jiménez-Rojas, E.M., Vargas-Jaramillo, M. del P. (2013). Ecología y silvicultura de especies útiles amazónicas: Abarco (*Cariniana micrantha* Ducke), Quinilla (*Manilkara bidentata* (A. DC.) A. Chev.) y violeta (*Peltogyne paniculata* Benth). Universidad Nacional de Colombia (Sede Amazonas), Instituto Amazónico de Investigaciones, IMANI.
- Rodríguez, J. & Nieto, V. (1999). *Investigación en semillas forestales nativas*. Serie técnica N° 43. Bogotá: CONIF.
- Rodríguez, J. (2000). *Protocolos de germinación para la certificación de semillas forestales*. Serie técnica N° 46.

- Rojas-Gutiérrez, A.M. (2009). Primer “Lista Roja” de Especies Maderables Amenazadas en Colombia. *Revista El Mueble y la Madera*, (60): 10-17. http://www.revista-mm.com/ediciones/rev60/especies_amenazadas.pdf. (Consultado: Octubre/18/2012).
- Ruiz, P. (2008). CFC: Sembrando Futuro en la Región de Córdoba. *Revista El Mueble y la Madera*, 62: 30-36.
- Salazar, R. (2000). *Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina*. CATIE, Turrialba.
- Silva, K.B., Alves, E.U., Matos, V.P. & Bruno, R.L. (2012). Caracterização morfológica de frutos, sementes e fases da germinação de *Pachira aquatica* Aubl. (Bombacaceae). *Rev. Ciênc. Agr.*, 33(3): 891-898.
- Silva, L. (2001). Principales especies nativas en Colombia y su potencial reforestador. En *Identificación, selección y manejo de fuentes semilleras*. Serie técnica N° 32.
- Standley, P. & Steyermark, J. (1946) citado por Niembro, A. (2010). *Cedrela odorata* L. En J.A. Vozzo (Ed.), *Manual de semillas de árboles tropicales* (pp.375-378). Missouri: USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Stoffers, A.L. (1984). *Cedrela odorata* L. En J.A. Vozzo (Ed.), *Manual de semillas de árboles tropicales* (pp.375-378). Missouri: USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Tenorio-Galindo, G., Rodríguez-Trejo, D. & López-Ríos, G. (2008). Efecto del tamaño y color de la semilla en la germinación de *Cecropia obtusifolia* Bertol (Cecropiaceae). *Agrociencia*, 42: 585-593.
- Trujillo, E. (2007). *Guía de reforestación*. 2ª edición. Los árboles. Adaptación, características, producción, usos, manual de vivero, plantación y manejo silvicultural.
- Trujillo, E. (2013). *Guía de reforestación*. 3ª edición. Bogotá, Colombia: Daybermedios Preparación Editorial.
- Urueña, H. (2001). Establecimiento y manejo de huertos y rodales de Ceiba roja (*Bombacopsis quinata*) y Melina (*Gmelina arborea*) en Colombia. En *Identificación, selección y manejo de fuentes semilleras*. Serie técnica N° 32.

- Vieira, M.G.G.C. & Von Pinho, E.V.R. (1999). Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de algodão. In F.C. Krzyzanowski, R.D. Vieira & J.B. França Neto, *Vigor de sementes: conceitos e testes* (pp.1.1-1.13). Londrina: Abrates.
- Wilson, P. (1924). *Cedrela odorata* L. En J.A. Vozzo (Ed.), *Manual de semillas de árboles tropicales* (pp.375-378). Missouri: USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- World Agroforestry (2014). *Schizolobium parahyba*. http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Schizolobium_parahyba.PDF (Consultado: nov/15/2014).
- Zobel, B. & Talbert, J. (1988). *Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales*. México D.F.: Ed. Limusa.

Capítulo 2

MODELOS DE SECADO DE SEMILLAS DE CINCO ESPECIES FORESTALES NATIVAS

1. INTRODUCCIÓN

En el departamento de Córdoba (Colombia), se tiene programado para el 2025, tener plantadas 100.000 ha con especies forestales nativas y foráneas, ya que el departamento cuenta con cerca de 900.000 ha con aptitud forestal, de las cuales 426.000 ha presentan suelos de mediana a alta fertilidad (CFC, 2011). Sin embargo, el material de siembra ligado al mejoramiento genético se ha identificado como una de las grandes brechas tecnológicas en la cadena forestal y su industria. Entre las limitantes precisadas se encuentra el avance en sistemas de reproducción sexual y asexual y el establecimiento de sistemas de certificación de calidad genética y física del material vegetal (MADR, 2008).

Las semillas de los árboles y arbustos, particularmente sí proceden de especies silvestres o muy poco domesticadas, son menos conocidas que las semillas de las especies agrícolas u hortícolas. Sin embargo, no por ello se deben considerar como menos importantes. Las semillas constituyen una de las formas más importantes de germoplasma primario, ya que a partir de ellas se lleva a cabo la conservación, regeneración natural o artificial de los bosques. Gracias a su capacidad para formar una nueva planta, las semillas de muchas especies son utilizadas para el establecimiento de plantaciones comerciales en diversas partes del mundo, las cuales suministran madera,

celulosa, forrajes, tintes, esencias, grasas, ceras, aceites, alimentos, fármacos, energía, entre otras (Niembro, 1988).

La semilla sexual en la actividad reforestadora es la alternativa más utilizada para la producción del material vegetal, sobre todo en aquellas especies donde la propagación asexual está limitada por diversos factores intrínsecos de la especie, de ahí que la conservación de la calidad de las semillas hace parte importante del proceso productivo. La mayoría de las especies forestales del trópico se propagan mediante semilla sexual y su calidad influye de manera significativa en el éxito de la producción y productividad de las plantaciones. Para el Caribe húmedo la conservación de las semillas forestales es de gran importancia, dado que las especies nativas priorizadas con potencial comercial se están deforestando indiscriminadamente aumentando el riesgo de erosión genética; además se presentan condiciones ambientales de alta humedad relativa (85 %) y temperatura ($>27^{\circ}\text{C}$), que influyen significativamente en la calidad de las semillas (Rodríguez, 2000; Trujillo, 2001; Araméndiz *et al.*, 2007).

El conocimiento físico y fisiológico de la semilla de los árboles es una condición indispensable para entender su proceso de evolución, ecología, colonización, fenología reproductiva, dispersión, regeneración natural, conservación, domesticación, mejoramiento genético y germinación de las semillas de las especies nativas promisorias de gran valor. La semilla es el medio natural de dispersión, colonización, propagación, multiplicación, sucesión, regeneración natural, cultivo y perpetuación de más de 250.000 especies. Las semillas de dicotiledóneas y en general de árboles y arbustos constituyen una de las estructuras más complejas originadas en el reino vegetal. Cada planta produce sus propias semillas, cuya ontogenia, morfología, anatomía histológica, constitución genética y composición química varía notablemente de acuerdo con la especie (Niembro, 1988; Escobar & Torres, 2013).

La germinación y el establecimiento de plántulas en los bosques neotropicales

son dos procesos limitantes en el ciclo de vida de las plantas, ya que durante estos ocurre una elevada mortalidad. Una vez las semillas llegan a un sitio definitivo deben enfrentar una serie de condiciones bióticas y abióticas, como disponibilidad de luz, agua y nutrientes, depredación y competencia que pueden restringir el éxito de la germinación y crecimiento de las plántulas (Dalling, 2002). Conocer los parámetros físicos de las semillas y fisiológicos de la germinación contribuye a conocer la cantidad y características de plántulas a obtener por determinada cantidad de semilla sembrada; además de entender la dinámica de la regeneración y establecimiento natural de las especies en los bosques naturales y/o plantados (Rivera-Martin *et al.*, 2013).

El análisis de la calidad integral de semillas de especies forestales contribuye a conservar la representatividad e identidad de la calidad genética de un lote de semillas, además sirve para determinar el máximo potencial de germinación de una muestra de semillas en el menor tiempo posible bajo condiciones micro-ambientales óptimas (Piedrahita, 2008). Los análisis de calidad integral (física, genética, fisiológica y sanitaria) de las semillas se basan en normas y metodologías nacionales e internacionales estandarizadas y aceptadas en su mercadeo y comercialización. Estas pruebas involucran principalmente el análisis de pureza genética, sanidad, peso, humedad, viabilidad, vigor y varios parámetros fisiológicos de la germinación en condiciones controladas de laboratorio (ISTA, 2014).

El manejo y conservación de las semillas de especies forestales requiere información de los aspectos morfológicos, fisiológicos y ecológicos asociados a la germinación de tal forma que permitan la propagación masiva del material vegetal en condiciones deseadas y oportunas (Piedrahita, 2008). Muchas especies forestales germinan en poco tiempo después de ser sometidas a condiciones favorables de humedad, luz y temperatura, mientras que otras requieren y exigen algún tipo de tratamiento pre-germinativo. Estos aspectos y características de las semillas son indispensables conocerlos, ya que en teoría probablemente solo las semillas que germinan con rapidez y vigor en

condiciones favorables de laboratorio, serán capaces de producir plántulas vigorosas en condiciones de vivero y/o campo (Rivera-Martin *et al.*, 2013; Piedrahita, 2008).

Para que la conservación *ex situ* en los bancos de germoplasma sea efectiva, es necesario determinar la tolerancia a la desecación y las condiciones de almacenamiento de las semillas. Los factores físicos más importantes a considerar durante el almacenamiento y conservación del germoplasma, son: humedad de equilibrio de la semilla, humedad relativa y temperatura de almacenamiento que la rodean, ya que estos son los que inciden principalmente sobre su viabilidad (Cerovich & Miranda, 2004). De acuerdo con estos factores, se han definido tres categorías para el almacenamiento de semillas, que son: *ortodoxas*, *recalcitrantes* e *intermedias* (Roberts, 1973; Ellis *et al.*, 1990a; Ellis *et al.*, 1990b). Las primeras toleran la desecación hasta un bajo contenido de humedad (3-5 %) y a bajas temperaturas (hasta -20°C) y pueden almacenarse generalmente durante períodos muy largos; las segundas son susceptibles a la desecación (<12-30%), las especies tropicales de este grupo pueden dañarse también por exposición a bajas temperaturas. Las terceras son aquellas semillas que no encajan en ninguna de las categorías anteriores; pueden desecarse (7-10 %), aunque no a tan bajos niveles como las semillas ortodoxas y con frecuencia son sensibles al frío (Chin *et al.*, 1989; Barbedo & Bilia, 1998; Thomsen, 2000; FAO *et al.*, 2007; Magnitskiy & Plaza, 2007; Pereira *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2012). Las diferencias en el comportamiento de las semillas pueden ser consideradas como un resultado del proceso de selección natural, de conformidad con las condiciones del entorno en el que las especies evolucionaron (Rodrigues *et al.*, 2005).

Para las especies forestales *Cedrela odorata* L., *Cariniana pyriformis* Miers, *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand y *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, las semillas son consideradas de comportamiento ortodoxo. Según Trujillo

(2013), las semillas de *C. odorata* pueden almacenarse hasta por dos años con un contenido de humedad (CH) entre 6 % y 8 % y de 3 a 5°C, las de *C. pyriformis* se pueden almacenar por un año con un CH menor de 9,5 % a 4°C, semillas de *B. quinata* y de *S. parahyba* se pueden almacenar hasta por 3 años con CH de 7 % a 8 % y de 5 % a 8 %, entre 4°C y 5°C, respectivamente. Por otra parte, las semillas de *Anacardium excelsum* (Bertero & Balb. ex Kunth) Skeels no suelen almacenarse porque *tienen* un corto periodo de viabilidad (60 días con una temperatura menor de 6°C) (Trujillo, 2013), lo que los clasifica como recalcitrante.

El contenido de humedad en las semillas hace referencia a la cantidad de agua libre y combinada con los compuestos químicos de las células, como los carbohidratos y las proteínas (Rao *et al.*, 2007; Villela, 1998). El secado de semillas implica la reducción del contenido de humedad a niveles recomendados, utilizando técnicas que no deterioren su viabilidad, eviten el deterioro, calentamiento e infestación durante su almacenamiento. Existen varios métodos para secar las semillas. Algunos métodos de secado para conservación de germoplasma implican altas temperaturas del aire (35°C - 45°C), que afectan negativamente la integridad y viabilidad de la semilla. Los métodos más comunes y seguros son el secado mediante la deshumidificación y el secado con gel de sílice. En semillas, el gel de sílice sirve para secar muestras pequeñas. El procedimiento consiste básicamente en colocar gel de sílice auto-indicador azul y seco en un desecador o frasco de vidrio con sello hermético. El peso del gel de sílice utilizado debe ser igual al de las semillas para lograr un secado eficiente (Rao *et al.*, 2007; Zhang & Tao, 1989).

El secado de semillas mediante el uso de la sílica gel se ha reportado en varias especies arbóreas (Masetto *et al.*, 2014; Albíter *et al.*, 2014; Pereira *et al.*, 2014; Pereira-Gomes *et al.*, 2013; Magistrali *et al.*, 2013; Correa *et al.*, 2013; Morandini *et al.*, 2013; Gomes *et al.*, 2013; Ferreira & Barbedo, 2012; Pereira *et al.*, 2012; Malagutti-Corsato *et al.*, 2012; Jaramillo *et al.*, 2012;

Fantinatti & Usberti, 2011; Hernández *et al.*, 2009; Masetto *et al.*, 2008; Delgado & Barbedo, 2007; Navarro & Lezcano, 2007; Pritchard *et al.*, 2004) y otras especies vegetales (Guru *et al.*, 2014; Barsberg *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2012; Steiner *et al.*, 2012; Rangel *et al.*, 2011; Martínez *et al.*, 2010; Calle *et al.*, 2010; Montoya *et al.*, 2009; Victoria *et al.*, 2007). En todas ellas se ha enfatizado y coincidido en la necesidad de secar la semilla y conocer su tolerancia a la desecación, como paso previo para lograr exitosamente su conservación *ex situ* a bajas temperaturas.

El objetivo de este trabajo fue la estimación de modelos de regresión como herramienta operativa para la predicción de tiempos de secado con sílica gel en semillas de *Cedrela odorata* L. (Cedro), *Cariniana pyriformis* Miers (Abarco), *Bombacopsis quinata* (Jack.) Dugand (Ceiba roja), *Anacardium excelsum* L. (Caracolí) y *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake (Tambor), como información básica para la conservación óptima del germoplasma de estas especies forestales nativas priorizadas en el Caribe colombiano. Parte de estos resultados se socializaron en el XLIV Congreso Anual de la Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal, COMALFI (Montiel *et al.*, 2014).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización

La investigación se llevó a cabo entre agosto de 2012 y julio de 2013 en las instalaciones del Laboratorio de Fitomejoramiento de la Universidad de Córdoba (Montería, Colombia), ubicada en la zona media del valle del Sinú, a 8°52' de latitud norte y 76°48' longitud oeste, respecto al meridiano de Greenwich, a una altura de 13 m.s.n.m. La zona ecológica corresponde al bosque seco tropical con temperatura promedio de 28°C, humedad relativa de 84 % y precipitación anual de 1200 mm (Palencia *et al.*, 2006).

2.2. Material genético

Se utilizó semilla sexual de las especies *C. odorata* (Cedro), *C. pyriformis*

(Abarco), *B. quinata* (Ceiba roja), *A. excelsum* (Caracolí) y *S. parahyba* (Tambor), donadas por el banco de germoplasma de la Universidad de Córdoba, las cuáles fueron colectadas por los auxiliares y profesionales del Laboratorio de Fitomejoramiento, durante el primer semestre de 2012, en los municipios de Montería, Tierralta, Planeta Rica, San Antero, Ciénaga de Oro y San Carlos del departamento de Córdoba (Ver Tabla 1.1 del Capítulo 1).

2.3. Procedimiento

Se determinó el contenido de humedad (CH) inicial de las semillas de cada una de las especies mediante el método de secado en horno a temperatura constante a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 17 ± 1 horas, recomendado por el ISTA (2005; 2014) para semillas de especies arbóreas. Para el estudio, se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con seis tratamientos y seis repeticiones. Para las especies *C. odorata*, *B. quinata* y *C. pyriformis* (especies de semillas pequeñas, cuyo número de semillas por kilogramo es mayor que 5000), cada unidad experimental estuvo constituida por 5 gramos de semilla. Para *A. excelsum* y *S. parahyba* se utilizaron 5 semillas/unidad experimental (especies de semillas grandes, cuyo número de semillas por kilogramo es menor de 5000).

Se empleó un sistema de secado en cajas de Petri selladas herméticamente con 5 a 15 g de sílica gel y semillas aisladas en bolsas de tela porosa (Figura 2.1). Los seis tratamientos evaluados, correspondieron a proporciones de sílica gel con respecto al peso de las semillas de: 1:1 (T1); 1,5:1 (T2); 2:1 (T3); 2,5:1 (T4) y 3:1 (T5) y el testigo con ausencia de sílica gel (T6), dispuestos en cámara de secado a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ (Figura 2.2).

Cada 24 horas hasta el día 10 (240 horas) se renovó la sílica gel y se determinó el contenido de humedad con base en el peso de las semillas mediante la ecuación descrita por Rao *et al.* (2007) para la predicción del tiempo de secado mediante la pérdida de peso:

$$PFS = PIS * [(100-CHI)/(100-CHO)]$$

Donde:

PFS: Peso final de las semillas

PIS: Peso inicial de las semillas

CHI: Contenido de humedad inicial

CHO: Contenido de humedad objetivo

Para la última lectura (240 horas), el CH fue determinado por ambos métodos (ecuación de PFS y método de secado en horno) y se estimó el coeficiente de correlación de Pearson para la determinación del grado de asociación de estos valores.

2.4. Análisis de datos

Los datos fueron analizados con el programa estadístico SAS versión 9.2. (SAS, 2008), mediante análisis de varianza y pruebas de comparación de medias Tukey ($P < 0,05$). De igual forma, para estimar la pérdida de humedad de las semillas, por cada tratamiento se estimaron modelos de regresión (X: tiempo versus Y: CH) y la selección del mejor modelo, se hizo atendiendo los criterios estadísticos coeficiente de determinación (R^2), cuadrado medio del error (CME) y coeficiente de variación (CV).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Contenido y pérdida de humedad de las semillas

En las especies sometidas a estudio el contenido de humedad inicial de las semillas arrojó valores diferenciales: *C. odorata* (11,08 %), *C. pyriformis* (7,15 %), *B. quinata* (9,65 %), *A. excelsum* (16,61 %) y *S. parahyba* (7,94 %), destacándose *A. excelsum* como la de mayor humedad.

El análisis de varianza arrojó diferencias altamente significativas para esta variable entre las proporciones de sílica gel en todos los tiempos de exposición

(Tablas 2.1 y 2.2). Así mismo, se observó incremento en la desecación a medida que aumentó el tiempo de contacto de la semilla con el desecante y se utilizaron mayores cantidades de sílica gel y proporciones más amplias en las cinco especies (Tablas 2.3 y 2.4). Estos resultados concuerdan con los obtenidos en semillas de especies forestales (Masetto *et al.*, 2014; Albíter *et al.*, 2014; Pereira *et al.*, 2014; Pereira-Gomes *et al.*, 2013; Magistrali *et al.*, 2013; Correa *et al.*, 2013; Pereira *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2012) y en especies no forestales (Victoria *et al.*, 2007; Ramos *et al.*, 2003), donde las mayores proporciones de sílica gel evaluadas presentaron los mayores porcentajes de desecación (Rao *et al.*, 2007).

Tabla 2.1. Medidas de ajuste, dispersión, y cuadrados medios del análisis de varianza para cada tiempo transcurrido del efecto de las proporciones de sílica gel sobre el contenido de humedad en semillas de *Cedrela odorata*, *Cariniana pyriformis* y *Bombacopsis quinata*.

Estimación	Tiempo (h)									
	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240
<i>Cedrela odorata</i>										
R ²	0,99	1,00	1,00	0,98	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98
CV	1,75	2,08	2,38	5,48	3,33	3,30	3,21	4,14	6,16	6,57
CM	19,48	29,55	34,44	37,79	39,53	41,00	41,73	42,91	38,31	38,74
Pr>F	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
<i>Cariniana pyriformis</i>										
R ²	0,98	0,98	0,94	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
CV	4,38	6,57	11,08	9,21	9,58	9,90	11,71	11,62	12,10	12,77
CM	11,39	15,45	16,70	17,12	18,97	19,36	21,16	22,11	22,41	22,25
Pr>F	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
<i>Bombacopsis quinata</i>										
R ²	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
CV	1,43	2,28	2,66	3,09	3,19	3,22	4,53	4,30	4,06	4,33
CM	9,18	15,05	16,83	18,58	21,64	22,54	23,81	25,80	26,83	27,87
Pr>F	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001

R²: coeficiente de determinación; CV: coeficiente de variación; CM: cuadrado medio; Pr>F: valor P= nivel (de significancia) más bajo en el que el valor observado de la estadística de prueba es significativo. Proporciones de sílica gel: semillas= 1:1 (T1); 1,5:1 (T2); 2:1 (T3); 2,5:1 (T4) y 3:1 (T5) y testigo (T6).

Tabla 2.2. Medidas descriptivas de ajuste, dispersión, y cuadrados medios del análisis de varianza para cada tiempo transcurrido del efecto de las proporciones de sílica gel sobre el contenido de humedad de semillas de *Anacardium excelsum* y *Schizolobium parahyba*.

Estimación	Tiempo (h)									
	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240
<i>Anacardium excelsum</i>										
R ²	0,98	0,77	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98
CV	2,12	13,91	4,84	6,18	7,07	7,77	8,56	9,21	9,63	12,83
CM	24,24	36,42	78,67	97,86	113,84	125,99	135,34	140,01	143,77	149,92
Pr>F	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
<i>Schizolobium parahyba</i>										
R ²	0,78	0,80	0,80	0,81	0,83	0,84	0,85	0,85	0,85	0,86
CV	8,40	11,16	12,64	14,10	14,81	15,72	15,93	16,59	17,21	17,41
CM	5,37	8,71	10,22	12,00	13,78	15,38	16,41	17,16	18,07	18,86
Pr > F	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001

R²: coeficiente de determinación; CV: coeficiente de variación; CM: cuadrado medio; Pr>F: valor P=nivel (de significancia) más bajo en el que el valor observado de la estadística de prueba es significativo.

Proporciones de sílica gel: semillas= 1:1 (T1); 1,5:1 (T2); 2:1 (T3); 2,5:1 (T4) y 3:1 (T5) y testigo (T6).

A las 24 horas de exposición a la sílica gel, las semillas de las cinco especies presentaron, en promedio, una disminución en su CHI que osciló en valores porcentuales relativos entre 28,8 y 45,8. La menor disminución correspondió a *S. parahyba* y la mayor, a *C. pyriformis* (Figuras 2.3 y 2.4).

Las semillas de *C. pyriformis* y *B. quinata* mostraron tendencias similares en las curvas de pérdida diaria y acumulada de agua en sus semillas y registraron los mayores porcentajes de desecación durante las primeras 48 horas; a partir de allí el porcentaje de pérdida diaria de CH fue menor de 4 % (Figura 2.3), es decir que después de dos días de secado con sílica gel, estas semillas empiezan a perder humedad a tasas más bajas o menores, tendiendo al equilibrio con la humedad del ambiente de almacenamiento. Las especies *A. excelsum*, *C. odorata* y *S. parahyba* presentaron tendencias diferenciales en las curvas de pérdida diaria y acumulada de agua en sus semillas. Las semillas

de *S. parahyba* y *A. excelsum* registraron porcentajes de pérdida media diaria de humedad por debajo del 5 % a partir de las 96 horas de exposición a la sílica gel (Figura 2.4), mostrando que son necesarios cuatro días para empezar a perder humedad a tasas bajas tendiendo al equilibrio dinámico con la atmósfera de almacenamiento. Para *C. odorata*, esta tendencia se presentó desde los tres días en adelante, con una tasa de pérdida de humedad por debajo del 3 % por día.

Resultados similares fueron reportados por Correa *et al.* (2013) en semillas de *Tectona grandis* L.F. y *Gmelina arborea* Roxb., donde ambas especies mostraron porcentajes de pérdida del CH diario promedio menor del 4 % a partir de las 120 horas. Por otra parte, Martínez *et al.* (2010) en semillas de *Solanum lycopersicum* L. y *Capsicum annum* L. reportaron mayor pérdida de agua durante los primeros 60 minutos de contacto con la sílica gel (1,4 % y 1,2 % de su CH inicial, respectivamente); igualmente, Jaramillo *et al.* (2012) en semillas de porta injertos de Citrumelo CPB 4475 (*Citrus paradisi* Macfad. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.) y *Citrus volkameriana* Ten. & Pasq., indicaron que los mayores niveles de humedad se perdieron en los primeros 70 minutos. Al respecto, Rao *et al.* (2007) señalan que al principio, la mayoría de las semillas se secarán rápidamente y la tasa de secado irá siendo más lenta a medida que el contenido de humedad residual es menor.

A los 10 días de secado, las proporciones de sílica gel evaluadas en las semillas causaron porcentajes de desecación relativos a los testigos de 57,7 %; 58,8 %; 63,5 %; 72,0 % y 79,9 %, para las especies *S. parahyba*, *B. quinata*, *C. odorata*, *C. pyriformis* y *A. excelsum*, en su orden (Figuras 2.3 y 2.4). La tendencia del secado en las semillas de las cinco especies, aún cuando con ligeras diferencias, fue muy parecida. Sin embargo, la mayor desecación presentada por semillas de *A. excelsum*, se pudo ver favorecida por el alto contenido de humedad inicial (16,6 %), mientras que la menor desecación mostrada por

las semillas de *S. parahyba* pudo deberse a las propiedades de resistencia mecánica atribuidas a su testa dura y semi-impermeable, característica reportada por Ferreira *et al.* (2007) y Salazar (2000), la cual según Smith *et al.* (2010) es propio de varias semillas de plantas leguminosas.

Las diferencias en las pérdidas de humedad diaria y acumulada en las semillas por el uso de sílica gel a través del tiempo, es muy común y han sido reportadas en diferentes especies forestales y arbustos (Masetto *et al.*, 2014; Albíter *et al.*, 2014; Pereira *et al.*, 2014; Magistrali *et al.*, 2013; Correa *et al.*, 2013; Morandini *et al.*, 2013; Gomes *et al.*, 2013; Ferreira & Barbedo, 2012; Pereira *et al.*, 2012; Fantinatti & Usberti, 2011; Hernández *et al.*, 2009; Masetto *et al.*, 2008; Delgado & Barbedo, 2007; Navarro & Lezcano, 2007; Pritchard *et al.*, 2004).

De acuerdo con varios autores (Masetto *et al.*, 2014; Albíter *et al.*, 2014; Pereira *et al.*, 2014; Magistrali *et al.*, 2013; Correa *et al.*, 2013; Morandini *et al.*, 2013; Gomes *et al.*, 2013; Ferreira-Delgado & Barbedo, 2012; Rao *et al.*, 2007; Delgado & Barbedo, 2007; Rodrigues *et al.*, 2005; Zhang & Tao, 1989; Niembro, 1988 y Niembro, 1982), las diferencias particulares en la desecación de las semillas en las diferentes especies pueden tener su explicación en factores tales como: selección natural, morfología, anatomía, histología, composición química, condiciones ambientales durante el desarrollo ontogénico de la semilla, mecanismos de protección de la semilla en el fruto, características físicas y fisiológicas de las semillas, constitución genética, nivel de domesticación y/o mejoramiento genético, prácticas de colecta, beneficio, manejo y conservación de las semillas, entre otros, los cuales varían notablemente de acuerdo con la especie.

Tabla 2.3. Contenido de humedad de semillas (%) de *Cedrela odorata*, *Cariniana pyriformis* y *Bombacopsis quinata*, secadas bajo diferentes proporciones de sílica gel, a través del tiempo.

<i>Cedrela odorata</i> ; CHI = 11,08										
Proporción*	Tiempo (h)									
	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240
1.0:1	7,15 c	6,00 c	5,40 c	5,02 c	4,85 c	4,76 c	4,65 c	4,49 c	4,40 c	4,32 c
1.5:1	6,58 ab	5,43 b	5,03 ab	4,62 c	4,45 b	4,36 b	4,33 b	4,21 c	4,10 c	4,02 c
2.0:1	6,77 b	5,52 b	5,20 bc	4,67 c	4,58 bc	4,40 b	4,28 b	4,17 c	4,07 c	3,98 c
2.5:1	6,48 a	5,58 b	4,84 a	4,72 c	4,64 bc	4,50 bc	4,31 b	4,12 c	3,90 c	3,86 c
3.0:1	6,38 a	5,58 b	4,88 a	4,84 c	4,57 bc	4,40 b	4,32 b	4,20 c	4,13 c	4,04 c
Testigo	11,04 d	11,04 d	10,92 d	10,91 d	10,90 d	10,88 d	10,83 d	10,78 d	10,29 d	10,26 d
<i>Cariniana pyriformis</i> ; CHI = 7,15										
Proporción*	Tiempo (h)									
	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240
1.0:1	4,46 c	4,04 c	3,81 c	3,50 c	3,33 c	3,11 c	3,07 c	3,01 c	2,78 c	2,76 c
1.5:1	4,14 bc	3,59 bc	3,18 c	3,16 c	3,06 c	2,85 c	2,65 c	2,49 c	2,39 c	2,38 c
2.0:1	4,09 b	3,49 b	3,13 c	3,04 c	2,98 c	2,79 c	2,70 c	2,61 c	2,50 c	2,41 c
2.5:1	3,51 a	2,82 a	3,13 c	2,99 c	2,26 b	2,07 b	1,84 b	1,64 b	1,60 b	1,52 b
3.0:1	3,19 a	2,39 a	1,96 b	1,77 b	1,59 a	1,64 b	1,28 b	1,11 b	1,00 b	0,95 b
Testigo	7,06 d	6,92 d	6,86 d	6,77 d	6,71 d	6,68 d	6,62 d	6,56 d	6,51 d	6,43 d
<i>Bombacopsis quinata</i> ; CHI = 9,65										
Proporción*	Tiempo (h)									
	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240
1.0:1	7,00 c	6,28 c	5,98 c	5,65 c	5,20 c	5,06 c	4,62 c	4,43 c	4,26 bc	4,12 c
1.5:1	6,79 b	5,83 b	5,42 b	5,23 b	4,85 b	4,74 bc	4,65 c	4,39 c	4,28 c	4,11 c
2.0:1	6,56 a	5,56 a	5,47 b	5,13 b	4,73 ab	4,62 b	4,36 c	4,21 c	4,11 bc	4,05 c
2.5:1	6,53 a	5,55 a	5,21 b	4,96 ab	4,72 ab	4,55 b	4,33 c	4,15 c	4,02 bc	3,85 c
3.0:1	6,22 a	5,38 a	5,21 b	4,80 a	4,50 a	4,45 b	4,42 c	4,06 c	3,91 b	3,76 c
Testigo	9,58 d	9,52 d	9,50 d	9,41 d	9,42 d	9,40 d	9,35 d	9,32 d	9,29 d	9,25 d

*Proporción sílica gel: semilla; CHI: contenido de humedad inicial de las semillas (%). Las letras indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 5 %.

Tabla 2.4. Contenido de humedad de semillas (%) de *Anacardium excelsum* y *Schizolobium parahyba* secadas bajo diferentes proporciones de sílica gel, a través del tiempo.

<i>Anacardium excelsum</i> ; CHI = 16,61										
Proporción*	Tiempo (h)									
	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240
1.0:1	11,85 c	9,28 c	7,64 c	6,40 c	5,51 c	4,87 c	4,39 c	3,96 c	3,76 c	3,45 c
1.5:1	11,21 b	8,67 c	6,91 c	5,94 c	5,11 c	4,47 c	4,01 c	3,73 c	3,43 c	3,24 c
2.0:1	11,16 b	8,70 c	7,20 c	6,11 c	5,30 c	4,74 c	4,30 c	3,99 c	3,82 c	3,55 c
2.5:1	11,04 b	8,57 c	7,01 c	5,93 c	5,15 c	4,58 c	4,14 c	3,83 c	3,53 c	3,31 c
3.0:1	10,93 b	8,62 c	7,17 c	6,12 c	5,37 c	4,77 c	4,35 c	4,02 c	3,76 c	3,18 c
Testigo	16,10 d	14,77 d	16,03 d	15,99 d	15,95 d	15,91 d	15,87 d	15,74 d	15,64 d	15,59 d
<i>Schizolobium parahyba</i> ; CHI = 7,94										
Proporción*	Tiempo (h)									
	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240
1.0:1	5,62 c	4,85 c	4,53 c	4,25 c	4,05 c	3,93 c	3,79 c	3,6 c	3,41 c	3,37 c
1.5:1	5,93 c	5,26 c	5,02 c	4,62 c	4,35 c	4,08 c	3,99 c	3,88 c	3,69 c	3,63 c
2.0:1	5,28 c	4,57 c	4,32 c	3,96 c	3,69 c	3,45 c	3,26 c	3,16 c	3,07 c	2,94 c
2.5:1	5,66 c	4,99 c	4,76 c	4,37 c	4,09 c	3,89 c	3,71 c	3,55 c	3,51 c	3,32 c
3.0:1	5,77 c	5,16 c	4,88 c	4,47 c	4,22 c	4,04 c	3,89 c	3,77 c	3,72 c	3,54 c
Testigo	7,91 d	7,86 d	7,84 d	7,75 d	7,75 d	7,76 d	7,73 d	7,69 d	7,69 d	7,66 d

*Proporción sílica gel: semilla; CHI: contenido de humedad inicial de las semillas (%). Las letras indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 5 %.

3.2. Estimación de curvas de secado de semillas

Los contenidos de humedad (CH) estimados con el método de secado en horno y con base en la ecuación de peso final de semillas (PFS) presentaron correlaciones de 0,87 ($P<0,0001$); 0,89 ($P<0,0001$); 0,94 ($P<0,0001$); 0,96 ($P<0,0001$) y 0,97 ($P<0,0001$) en semillas de *S. parahyba*, *C. odorata*, *B. quinata*, *C. pyriformis* y *A. excelsum*, respectivamente. Estas altas y significativas correlaciones indican una fuerte asociación entre el método de secado al horno y la estimación con la ecuación de peso final de semillas (PFS), por lo tanto esta puede ser utilizada como método de monitoreo del CH en semillas de las cinco especies. Al respecto, varios autores (Escobar &

Torres, 2013; Correa *et al.*, 2013; Malagutti *et al.*, 2012; Calle *et al.*, 2010; Rao *et al.*, 2007; Delgado & Barbedo, 2007; De Oliveira *et al.*, 2004; Ellis *et al.*, 1990a y 1990b) argumentan que la ecuación de PFS es un método no destructivo que permite un mejor monitoreo del CH de las semillas, debido a que se puede hacer seguimiento al efecto de tratamientos de secado sobre cierta cantidad de simientes, lo cual es de gran interés para bancos de germoplasma y programas de conservación de recursos fitogenéticos que presenten limitaciones en la cantidad de semillas.

Los modelos de mejor ajuste resultaron ser cuadráticos y para cada especie se seleccionó un modelo de regresión por proporción de sílica gel: semilla. En general, las semillas de las cinco especies presentaron coeficientes de variación (CV) entre 5,83 % (*B. quinata*) y 31,20 % (*C. pyriformis*) y coeficientes de determinación (R^2) entre 0,65 (*S. parahyba*) y 0,99 (*A. excelsum*). En las Tablas 2.5 y 2.6, se muestran los parámetros y los valores de los criterios de selección de los modelos por especie. Vertel (2004) señala que el CV es útil para evaluar la precisión de los ensayos, mientras que el R^2 indica el grado de ajuste del modelo de la regresión a los valores de la muestra, adicionalmente considera que para la experimentación agropecuaria una alta precisión está dada por $CV < 10$ %. Además, un CV entre el 10 % y 20 % representa una precisión media (Correa *et al.*, 2013). Por consiguiente, las ecuaciones de regresión obtenidas en esta investigación presentan una alta precisión para las proporciones de sílica gel: semilla de 1,0:1 en *C. odorata*, *A. excelsum* y *C. pyriformis*, y de 3,0:1 en *S. parahyba*, mientras que para *B. quinata* todas las proporciones resultaron con alta precisión en sus ecuaciones, destacándose la proporción 1,5:1 como la mejor. Los altos valores de R^2 indican una buena explicación de la variación de los datos para todas las especies. Resultados similares a los de este estudio son reportados por Goneli *et al.* (2014); Masetto *et al.* (2014); Albíter *et al.* (2014); Pereira *et al.* (2014); Magistrali *et al.* (2013); Correa *et al.* (2013); Pereira *et al.* (2012); Silva *et al.* (2012); Nakagawa *et al.* (2010) y Delgado & Barbedo (2007), entre otros.

De Oliveira *et al.* (2004), reportaron R^2 entre 0,79 y 0,90 para modelos de

secado de semillas de *Passiflora edulis* Sims, los cuales fueron inferiores a los obtenidos en esta investigación. Por otra parte, resultados similares a este trabajo han sido reportados por varios autores, como: Delgado & Barbedo (2007) en secado de semillas de seis especies de *Eugenia* ($R^2=0,69 - 0,97$); Márquez *et al.* (2009) en *Passiflora ligularis* Juss ($R^2=0,99$); Correa *et al.* (2013) para modelos de secado con sílica gel en semillas de *Gmelina arborea* y de *Tectona grandis* (R^2 de 0,97 y 0,94 respectivamente); Da Silva *et al.* (2013) en modelos de secado de semillas de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. ($R^2=1,0$); y Goneli *et al.* (2014) en modelos de secado de hojas de *Cordia verbenacea* ($R^2=0,95$).

Tabla 2.5. Modelos de regresión seleccionados para la estimación del tiempo de secado con sílica gel en semillas de *Cedrela odorata*, *Cariniana pyriformis* y *Bombacopsis quinata*.

Proporción*	CME	R ²	CV	Ecuación de regresión						
Cedrela odorata										
1.0:1	0,18	0,95	7,58	10,523881	-0,125737	X	+0,000857	X ²	-0,000002	X ³
1.5:1	0,24	0,94	9,33	10,384238	-0,137114	X	+0,000962	X ²	-0,000002	X ³
2.0:1	0,25	0,94	9,46	10,414508	-0,132811	X	+0,000915	X ²	-0,000002	X ³
2.5:1	0,30	0,93	10,46	10,336233	-0,135943	X	+0,000966	X ²	-0,000002	X ³
3.0:1	0,36	0,91	11,26	10,296487	-0,134272	X	+0,000945	X ²	-0,000002	X ³
Cariniana pyriformis										
1.0:1	0,11	0,93	8,97	6,682715	-0,072984	X	+0,000491	X ²	-0,000001	X ³
1.5:1	0,15	0,92	11,38	6,612128	-0,083381	X	+0,000579	X ²	-0,000001	X ³
2.0:1	0,14	0,92	11,03	6,631573	-0,087989	X	+0,000626	X ²	-0,000001	X ³
2.5:1	0,75	0,74	31,20	6,364741	-0,085794	X	+0,000569	X ²	-0,000001	X ³
3.0:1	0,23	0,92	21,92	6,473425	-0,113589	X	+0,000802	X ²	-0,000002	X ³
Bombacopsis quinata										
1.0:1	0,13	0,95	6,36	9,200784	-0,074972	X	+0,000452	X ²	-0,000001	X ³
1.5:1	0,10	0,96	5,83	9,235175	-0,091657	X	+0,000609	X ²	-0,000001	X ³
2.0:1	0,18	0,93	7,92	9,124555	-0,091006	X	+0,000594	X ²	-0,000001	X ³
2.5:1	0,16	0,94	7,60	9,163105	-0,096518	X	+0,000650	X ²	-0,000001	X ³
3.0:1	0,19	0,93	8,48	9,085200	-0,100485	X	+0,000695	X ²	-0,000002	X ³

*Proporción sílica gel: semilla; CME: cuadrado medio del error; R²: coeficiente de determinación; CV: coeficiente de variación.

Las ecuaciones o modelos de secado obtenidos son útiles en la predicción del tiempo requerido para la obtención de una humedad determinada, a partir de un contenido inicial, de acuerdo con el procedimiento indicado por Rao *et al.* (2007). Estos modelos, según las proporciones de sílica gel: semilla, pueden ser utilizados de acuerdo a la cantidad de sílica disponible, así como con las necesidades de tiempo de secado de las semillas (Correa *et al.*, 2013; Malagutti *et al.*, 2012; Calle *et al.*, 2010; Rao *et al.*, 2007; Delgado & Barbedo 2007; De Oliveira *et al.*, 2004; Ellis *et al.*, 1990a y 1990b). De igual forma, otros autores (Correa *et al.*, 2013; Malagutti *et al.*, 2012; De Oliveira *et al.*, 2004; Ellis *et al.*, 1990a y 1990b) señalan que el secado de semillas con sílica gel es conveniente para bancos que manejen pocas cantidades de semillas y que posean dificultades logísticas como poco espacio físico y limitados recursos tecnológicos y financieros.

Tabla 2.6. Modelos de regresión seleccionados para la estimación del tiempo de secado con sílica gel en semillas de *Anacardium excelsum* y *Schizolobium parahyba*.

Proporción*	CME	R²	CV	Ecuación de regresión						
Anacardium excelsum										
1.0:1	0,21	0,99	6,44	16,217560	-0,181994	X	+0,000982	X²	-0,000002	X³
1.5:1	0,37	0,98	9,10	16,081256	-0,198119	X	+0,001133	X²	-0,000002	X³
2.0:1	0,33	0,98	8,35	16,038365	-0,194867	X	+0,001124	X²	-0,000002	X³
2.5:1	0,41	0,97	9,55	16,020590	-0,198979	X	+0,001159	X²	-0,000002	X³
3.0:1	0,59	0,96	11,27	15,984121	-0,198625	X	+0,001190	X²	-0,000002	X³
Schizolobium parahyba										
1.0:1	0,88	0,65	20,88	7,596159	-0,073559	X	+0,000481	X²	-0,000001	X³
1.5:1	0,27	0,85	10,89	7,641205	-0,061657	X	+0,000368	X²	-0,000001	X³
2.0:1	0,45	0,81	16,15	7,500838	-0,077067	X	+0,000488	X²	-0,000001	X³
2.5:1	0,74	0,69	19,03	7,581055	-0,067588	X	+0,000417	X²	-0,000001	X³
3.0:1	0,14	0,92	8,07	9,085200	-0,100485	X	+0,000695	X²	-0,000002	X³

*Proporción sílica gel: semilla; CME: cuadrado medio del error; R²: coeficiente de determinación; CV: coeficiente de variación.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los mayores porcentajes de desecación por efecto de la sílica gel se alcanzaron durante las primeras 48 horas en semillas de *C. pyriformis* y *B. quinata*; a las 72 horas en *C. odorata* y a las 96 horas en *S. parahyba* y *A. excelsum*.

A las 240 horas de secado (10 días), las proporciones de sílica gel evaluadas promovieron porcentajes de desecación de 57,7 %; 58,8 %; 63,5 %, 72,0 % y 79,9 % en semillas de *S. parahyba*, *B. quinata*, *C. odorata*, *C. pyriformis* y *A. excelsum*, respectivamente, con respecto al contenido de humedad inicial.

Las proporciones de sílica gel: semilla cuyos efectos permitieron estimar los modelos de mejor ajuste fueron 1,0:1 para *C. odorata*, *C. pyriformis* y *A. excelsum*; 1,5:1 para *B. quinata* y 3,0:1 para *S. parahyba*.

Los modelos de regresión estimados constituyen una herramienta operativa para la estimación de tiempos de secado de las semillas de *S. parahyba*, *B. quinata*, *C. odorata*, *C. pyriformis* y *A. excelsum*, con fines de almacenamiento.

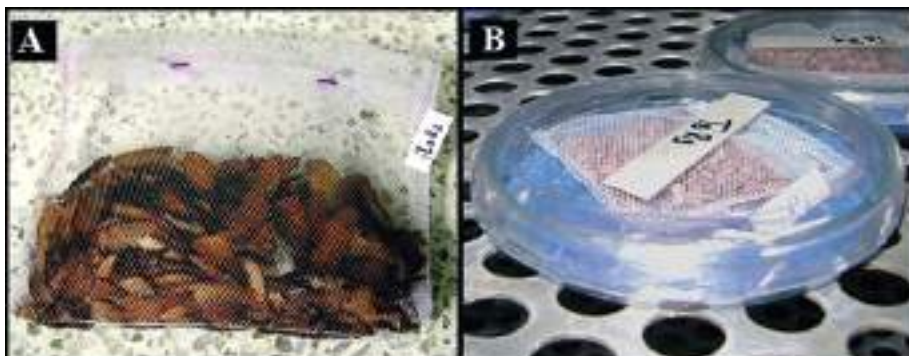


Figura 2.1. Secado con sílica gel. (A) Semillas aisladas en bolsa de tela porosa, y (B) Sistema hermético en caja de Petri.

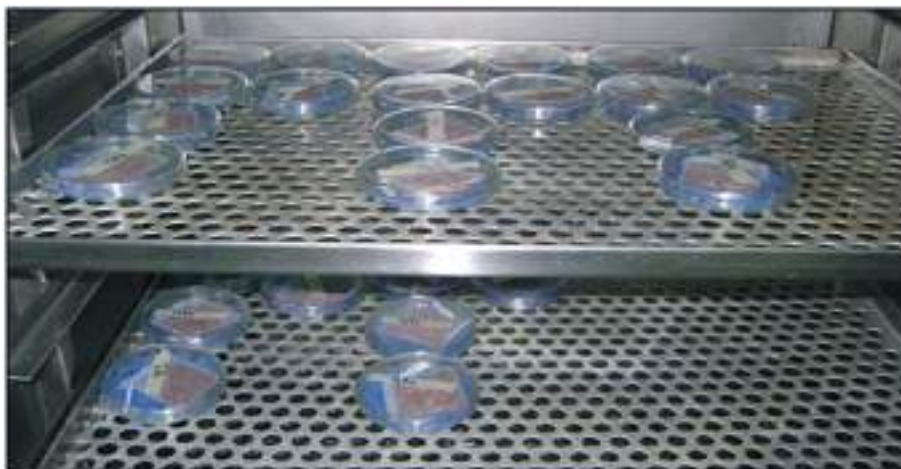


Figura 2.2. Montaje de pruebas de secado con sílica gel en cámara de secado.

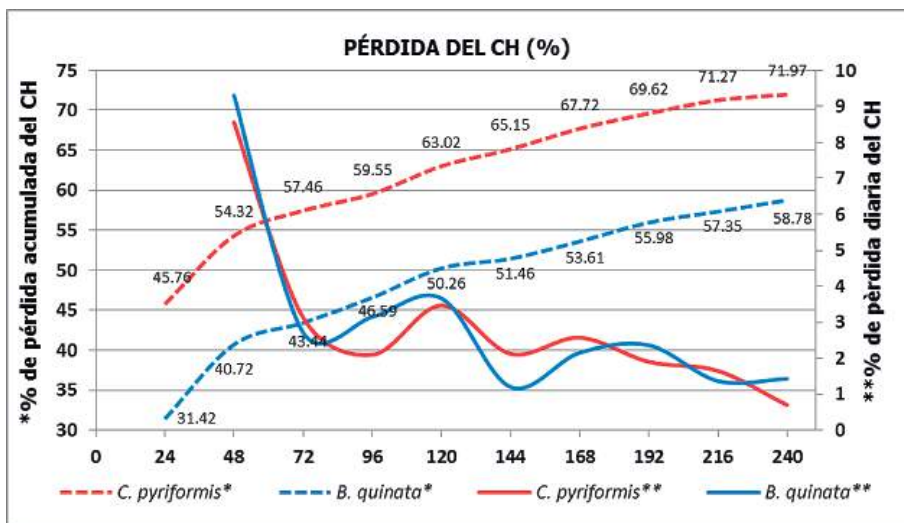


Figura 2.3. Porcentaje de pérdida promedio diaria y acumulada en relación al contenido de humedad inicial, en semillas de *C. pyriformis* y *B. quinata* secadas con sílica gel.

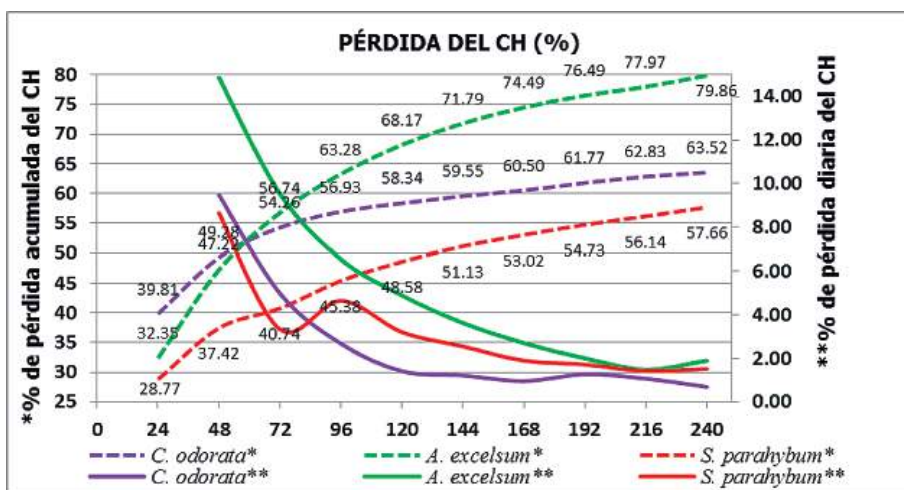


Figura 2.4. Porcentaje de pérdida promedio diaria y acumulada en relación al contenido de humedad inicial, en semillas de *C. odorata*, *A. excelsum* y *S. parahyba* secadas con sílica gel.

5. REFERENCIAS

- Albíter, C., García, G., Carballo, A., Calderón, G., Albíter, F. & Cuevas, J. (2014). Tolerancia a la desecación en semillas de nanche (*Byrsonima crassifolia* L.) Kunth. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5): 819-831.
- Araméndiz, H., Cardona, C., Jarma, A., Robles J. & Montalván, R. (2007). Efectos del almacenamiento en la calidad fisiológica de la semilla de berenjena (*Solanum melongena* L.). *Agronomía Colombiana*, 25(1): 104-112.
- Barbedo, C.J. & Bilia; D.A.C. (1998). Evolution of research on recalcitrant seeds. *Scientia Agricola*, 55: 121-125.
- Barsberg, S., Rasmussen, H. & Kodahl, N. (2013). Composition of *Cypripedium calceolus* (Orchidaceae) seeds analyzed by attenuated total reflectance ir spectroscopy: in search of understanding longevity in the ground. *American Journal of Botany*, 100(10): 2066-2073.
- Calle, M., Aguirre, G., Ugarte, M. & Gabriel, J. (2010). Efecto del método de secado y nivel de humedad en la germinación y vigor de semillas de quinua. *Revista de Agricultura*, 62(49): 10-14.
- Cerovich, M. & Miranda, F. (2004). Almacenamiento de semillas: estrategia básica para la seguridad alimentaria. *Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela CENIAP HOY*, N° 4 (enero-abril). http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/ceniaphoy/articulos/n4/texto/mcerovich.htm (Consultado: 2 /08/ 2014).
- CFC (Cadena Forestal de Córdoba) (2011). Acuerdo regional de competitividad: Cadena forestal madera, muebles y productos de madera del departamento de Córdoba 2011-2030 (Texto y matriz del acuerdo). 55p.
- Chin, H., Krishnapillay, B. & Stanwood, P. (1989). Seed Moisture: Recalcitrant vs. Orthodox Seeds. *Crop Science Society of America, Special Publication*, (14): 15-22.

- Correa, E., Álvarez, E., Espitia, M. & Cardona, C. (2013). Modelos de secado y tolerancia a la desecación de semillas de *Tectona grandis* L.f. y *Gmelina arborea* Roxb. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 30(2): 20-33.
- Da Silva, S., Devilla, I., Ferreira, D. & Teixeira, I. (2013). Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão-caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Revista Ciência. Agronômica*, 44(3): 455-463.
- Dalling, J. (2002). Ecología de semillas. En M.R. Guariguata & G.H. Kattán (Eds.), *Ecología y conservación de bosques neotropicales* (691p.). Costa Rica: Ediciones LUR, Libro Universitario Regional.
- De Oliveira, V., Amorim, P., Ferreira, R. & Detmann, E. (2004). Avaliação de modelos de secagem em camada fina de sementes de maracujá amarelo. *Revista Brasileira de Sementes*, 29(2): 28-37.
- Delgado, L. & Barbedo, C. (2007). Tolerância à dessecação de sementes de espécies de *Eugenia*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(2), 265-272.
- Ellis, H., Hong, D. & Roberts, H. (1990a). An intermediate category of seed storage behaviour? I. Coffee. *Journal Experimental Botany*, 41(230): 1167-1174.
- Ellis, H., Hong, D. & Roberts, H. (1990b). An intermediate category of seed storage behaviour? II. Effects of provenance, immaturity, and imbibition on desiccation tolerance in coffee. *Journal Experimental Botany*, 42(238): 653-657.
- Escobar, D.F. & Torres, G.A.M. (2013). Morphology, ecophysiology and germination of seeds of the Neotropical tree *Alibertia patinói* (Rubiaceae). *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol.)*, 61(2): 547-556. ISSN-0034-7744.
- Fantinatti, J.B. & Usberti, R. (2011). Comparisons between two economically valuable forest species (*Eucalyptus grandis* and *Pinus taeda*) in relation to seed behaviour under controlled deterioration. *Revista Árvore, Viçosa-MG*, 35(1): 77-84.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (2007). FLD, Bioversity International. Conservación

- y manejo de recursos genéticos forestales. Vol. 3: en plantaciones y bancos de germoplasma (*ex situ*). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia. 98p.
- Ferreira, L. & Barbedo, C.J. (2012). Water Potential and Viability of Seeds of *Eugenia* (Myrtaceae), a Tropical Tree Species, Based upon Different Levels of Drying. *Braz. Arch. Biol. Technol*, 55(4): 583-590.
- Ferreira, R.A., Oliveira, L.M. de, Tonetti, O.A.O. & Davide, A.C. (2007). Comparação da viabilidade de sementes de *Schizolobium parahyba* (vell.) blake-leguminosae caesalpinioideae, pelos testes de germinação e tetrazólio. *Rev. bras. sementes*, 29(3): 83-89.
- Gomes, J.P., De Oliveira, J.M., Saldanha, A.P., Manfredi, S. & Ferreira, P.I. (2013). Secagem e classificação de Sementes de *Acca sellowiana* (O. Berg) Burret - Myrtaceae quanto à tolerância à dessecação e ao armazenamento. *Floresta e Ambiente*, 20(2): 207-215.
- Goneli, A., Nasu, A., Gancedo, R., Araújo, W. & Sarath, K. (2014). Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordia verbenacea* DC.). *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 16(2): 434-443.
- Guru, R., Nair, M. & Sarabhai, N. (2014). Seed dry dressing with botanicals to enhance physiological performance of new and matured seeds of blackgram (*Vigna mungo* L.). *Adv. J. Seed. Sci. Technol*, 30(10): 13-21.
- Hernández, M., Lobo, M., Medina, C., Cartagena, J. & Delgado, O. (2009). Comportamiento de la germinación y categorización de la latencia en semillas de mortiño (*Vaccinium meridionale* Swartz). *Agronomía colombiana*, 27(1): 15-23.
- ISTA-International Seed Testing Association (2005). International Rules for Seed Testing 2005. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Suiza. 202p.
- ISTA-International Seed Testing Association (2014). International Rules for Seed Testing 2014. Bassersdorf, Suiza, 272p.
- Jaramillo, A., Martínez, M., Cardozo, C. & Burgos, J. (2012). Determinación de condiciones controladas de almacenamiento seguro para semillas de portainjertos de lima ácida 'Tahiti'. *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(2): 151-158.

- MADR (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural) (2008). Antecedentes convocatorias Ciencia y Tecnología. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR. <http://sigp.minagricultura.gov.co/portal/antecedentes.jsp>. (Consultado: 8/5/2009).
- Magistrali, P.R., Cleiton-José, A., Rocha-Faria, J.M. & Gasparin, E. (2013). Physiological behavior of *Genipa americana* L. seeds regarding the capacity for desiccation and storage tolerance¹. *Journal of Seed Science*, 35(4): 495-500.
- Magnitskiy, S. & Plaza, G. (2007). Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. *Agronomía Colombiana*, 25(1): 96-103.
- Malagutti-Corsato, J., Ferreira, G. & Barbedo, C.J. (2012). Desiccation tolerance in seeds of *Annona emarginata* (Schldtl.) H. Rainer and action of plant growth regulators on germination. *Braz. J. Plant Physiol.*, 24(4): 253-260.
- Márquez, C., Peláes, M. & Cortes, M. (2009). Deshidratación de granadilla (*Passiflora ligularis juss*) por convección forzada para elaboración de bebidas aromáticas. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 4(2): 100-117.
- Martínez, M., Cardozo, C. & Sánchez, M. (2010). Respuesta fisiológica de semillas de tomate *Solanum lycopersicum* L. var. Unapal - Maravilla y pimentón *Capsicum annuum* L.) var Unapal-Serrano en crioconservación. *Acta Agronómica*, 59(4): 401-409.
- Masetto, T., Faria, J. & Fraiz, A. (2014). Re-induction of desiccation tolerance after germination of *Cedrela fissilis* Vell. seeds. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86(3): 1273-1285.
- Masetto, T.E., Rocha-Faria, J.M., Davide, A.C. & Amaral-Da Silva, E.A. (2008). Desiccation tolerance and DNA integrity in *Eugenia pleurantha* O. Berg. (Myrtaceae) seeds. *Revista Brasileira de Sementes*, 30(2): 051-056.
- Montiel, J., Espitia, M. & Araméndiz, H. (2014). Secado y tolerancia a la desecación de semillas de cinco especies forestales nativas en Córdoba. Ponencia. ISSN 2248-6674. XLIV Congreso Anual de COMALFI (Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal).

- Centro de Convenciones de Córdoba - Montería (Córdoba) 24, 25 y 26/ Septiembre/2014. 91p.
- Montoya, D., Bonilla, C., Sánchez, M., Cardozo, C. & Escobar, R. (2009). Respuesta fisiológica de semillas de *Cratylia argentea* (Desvaux) O. Kuntze a condiciones de almacenamiento y crioconservación. *Acta Agronómica*, 58(3): 167-173.
- Morandini, M.N., Giamminola, E.M. & De Viana, M.L. (2013). Tolerancia a la desecación de semillas de *Prosopis ferox* y *Pterogyne nitens* (Fabaceae). *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol.)*, 61(1): 335-342. ISSN-0034-7744.
- Nakagawa, J., Mori, E., Pinto, C., Fernandes, K., Seki, M. & Meneghetti, R. (2010). Maturação e secagem de sementes de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taubert (Canafístula). *Revista Árvore*, 34(1): 49-56.
- Navarro, M. & Lezcano, J. (2007). Efecto del método de secado en la longevidad y la calidad de las semillas de *Bauhinia purpurea*. I. Almacenamiento en condiciones ambientales. *Pastos y Forrajes*, 30(4): 437-447.
- Niembro, A. (1982). *Cedrela odorata* L. En J.A. Vozzo (Ed.), *Manual de semillas de árboles tropicales* (pp.375-378). Missouri: USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Niembro, A. (1988). *Semillas de árboles y arbustos: Ontogenia y estructura*. México: Editorial Limusa.
- Niembro, A. Ramírez-García, E. & Aparicio-Rentería, A. (2007). Correlación entre características de frutos de *Swietenia macrophylla* King con su contenido de semillas desarrolladas. *Foresta Veracruzana*, 9(1), 49-53.
- Palencia G., Mercado, T. & Combatt, E. (2006). *Estudio agroclimático del departamento de Córdoba*. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba.
- Pereira, W., Faria, J., Tonetti, O. & Silva, E. (2012). Desiccation tolerance of *Tapirira obtusa* seeds collected from different environments. *Revista Brasileira de Sementes*, 34(3): 388-396.
- Pereira, W.V.S.; Faria, J.M.R.; Tonetti, O.A.O. & Silva, E.A.A. (2014). Loss of desiccation tolerance in *Copaifera langsdorffii* Desf. seeds during germination. *Brazilian Journal of Biology*, 74(2): 501-508.

- Pereira-Gomes, J., De Oliveira, L.M., Saldanha, A.P., Manfredi, S. & Iaschitzki-Ferreira, P. (2013). Secagem e Classificação de Sementes de *Acca sellowiana* (O. Berg) Burret - Myrtaceae quanto à Tolerância à Dessecação e ao Armazenamento. *Floresta e Ambiente*, 20(2): 207-215.
- Piedrahita, E. (2008). *Semillas y viveros forestales*. Impreso Universitario. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Pritchard, H., Daws, M., Fletcher, B., Gaméné, C., Msanga, H. & Omondi, W. (2004). Ecological correlates of seed desiccation tolerance in tropical african dryland trees. *American Journal of Botany*, 91(6): 863-870.
- Ramos, C., Molina, J. & García, G. (2003). Tolerancia a desecación y deterioro fisiológico en semillas de calabaza (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Lam.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(3): 161-166.
- Rangel, F.M.A., Cordova, T.L., López, A. A.P., Delgado, A.A., Zavaleta, M.H.A & Villegas, M.A. (2011). Tolerancia a la desecación en semillas de tres orígenes genéticos de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Rev. Fitotec. Mex.*, 34(3): 175-182.
- Rao, N., Hanson, J., Dulloo, M., Ghosh, K., Novell, D. & Larinde, M. (2007). Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. *Manuales para Bancos de Germoplasma*, No. 8. Roma, Italia: Bioversity International.
- Rivera-Martin, L.E., Peñuela-Mora, M.C., Jiménez-Rojas, E.M. & Vargas-Jaramillo, M.DEL.P. (2013). Ecología y silvicultura de especies útiles amazónicas: Abarco (*Cariniana micrantha* Ducke), Quinilla (*Manilkara bidentata* (A. DC.) A. Chev.) y Violeta (*Peltogyne paniculata* Benth). Universidad Nacional de Colombia (Sede Amazonas) - Instituto Amazónico de Investigaciones, IMANI. 180 p.
- Roberts, H. (1973). Predicting the storage life of seeds. *Seed Science and Technology*, 1(4): 499-514.
- Rodrigues, R., Davide, A., Amaral Da Silva, E. & Rocha, J. (2005). Efeito das secagens lenta e rápida em sementes de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.). *CERNE*, 11(4): 329-335.

- Rodríguez, J. (2000). *Protocolos de germinación para la certificación de semillas forestales*. CONIF. Serie técnica No. 46. 54p.
- Salazar, R. (2000). *Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina*. CATIE, Turrialba.
- SAS (2008). Statistical Analysis System, Institute Inc. SAS/STAT® 9.2 User's Guide. Cary, NC. 7880 p.
- Silva, K., Alves, E., Bruno, R. & Cardoso, E. (2012). Tolerância à dessecação em sementes de *Bunchosia armenica* (Cav.) DC. *Semina: Ciências Agrárias*, 33(4): 1403-1410.
- Smith, M., Wang, B. & Msanga, H. (2010). Dormancia y germinación. En J.A. Vozzo (Ed.), *Manual de semillas de árboles tropicales* (p.168). Missouri: USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Steiner, B., Armbruster, G., Scheepens, J. & Stöcklin, J. (2012). Distribution of bulbil and seed-producing plants of *Poa alpina* (Poaceae) and their growth and reproduction in common gardens suggest adaptation to different elevations. *American Journal of Botany*, 99(12): 2035-2044.
- Thomsen, K. (2000). Handling of desiccation and temperature sensitive tree seeds. Technical. Notes Series 56. Danida Forest Seed Centre, Humlebæk, Denmark. 235p.
- Trujillo, E. (2001). Almacenamiento de semillas forestales: principios y procedimiento. En *Recolección y procesamiento de semillas forestales* (pp.21-32). Serie técnica N° 34.
- Trujillo, E. (2013). *Guía de reforestación*. Bogotá: Otros Editores.
- Vertel, M. (2004). *Diseño y análisis de experimentos en ciencias agroindustriales*. Monografía, Universidad de Sucre, Colombia.
- Victoria, J., Bonilla, C. & Sánchez, M. (2007). Morfología y efecto del secado en la germinación de caléndula y eneldo. *Acta Agronómica*, 56(2): 61-68.
- Villela, F. (1998). Water relations in seed biology. *Scientia Agricola*, 55, número especial, 98-101.
- Zhang, X-Y. & Tao, K-L. (1989). Silica gel seed drying for germoplasm conservation-practical guidelines. *Plant Genetic Resources News*, 75/76: 1-5.

Capítulo 3

TOLERANCIA A LA DESECACIÓN DE SEMILLAS DE CINCO ESPECIES FORESTALES NATIVAS

1. INTRODUCCIÓN

Es común que en los artículos científicos publicados sobre tolerancia a la desecación de las semillas de una especie, los resultados se presenten junto con el modelo de secado. Sin embargo, en este capítulo, la tolerancia a la desecación se ha abordado por separado para facilitar la presentación, análisis, discusión y comprensión de los resultados, ya que la investigación se realizó en cinco especies forestales diferentes.

Entre las especies nativas de importancia y priorizadas en el departamento de Córdoba (Colombia) se encuentran el cedro (*Cedrela odorata* L.), ceiba roja (*Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand), tambor (*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake), abarco (*Cariniana pyriformis* Miers (Abarco)) y caracolí (*Anacardium excelsum* (Bertero & Balb. ex Kunth) Skeels). Sin embargo, en el departamento y el país en general es limitada su plantación y aprovechamiento comercial, debido a las escasas investigaciones realizadas sobre mejoramiento genético, fuentes de semillas, calendarios fenológicos, biología floral y sobre la recolección y beneficio (limpieza, secado, contenido de humedad (CH) y almacenamiento) de semillas. Igualmente, tampoco existe un sistema de clasificación de semillas, con normas respaldadas por resultados de experimentación, lo cual ha permitido la aparición de una oferta que no

garantiza la identificación de las especies ni la calidad genética, fisiológica, sanitaria y física de las semillas ofrecidas (Pinto & Sierra, 1995; CONIF *et al.*, 1998; CONIF, 2003; Murillo *et al.*, 2012; Espitia, 2013).

La semilla sexual en la actividad reforestadora es la alternativa más utilizada para la producción del material vegetal, de allí que la conservación del germoplasma y la calidad de las semillas hace parte importante del proceso productivo. La mayoría de las especies forestales del trópico, se propagan mediante la semilla sexual y su calidad influye de manera significativa en el éxito de la producción y productividad de las plantaciones (Correa *et al.*, 2013). Para el Caribe húmedo la conservación de las semillas forestales es de gran importancia, dado que las especies nativas priorizadas con potencial comercial se están deforestando indiscriminadamente aumentando su riesgo de extinción; además, en esta región se presentan condiciones ambientales de alta humedad relativa y temperatura, que influyen significativamente en la calidad de las semillas (Rodríguez, 2000; Trujillo, 2001; Araméndiz *et al.*, 2007; Espitia, 2013).

Para que la conservación *ex situ* de la semilla en los bancos de germoplasma sea efectiva, es necesario determinar no solo los modelos de secado, sino también su tolerancia a la desecación y condiciones de almacenamiento (Morandini *et al.*, 2013). Roberts (1973) propuso un sistema de clasificación de las semillas que no respondía solo a la longevidad, sino también a la supervivencia que experimentaban luego de ser almacenadas a diferentes contenidos de humedad (CH) y temperatura. Según estos patrones, propuso los términos de semillas “ortodoxas” y “recalcitrantes”. Las semillas ortodoxas pueden ser almacenadas a bajos CH (3-5 %) y temperatura (-20°C). Las semillas recalcitrantes son aquellas que no toleran deshidrataciones por debajo de un CH relativamente alto (12-31 %) y por lo tanto, no pueden ser conservadas en bancos de germoplasma a largo plazo. Una tercera categoría (“intermedia”), corresponde a semillas que toleran la desecación

hasta 7-10 % de CH. Sin embargo, los CH que pueden contener las semillas de esta categoría pueden variar considerablemente (Hong *et al.*, 1998; Pritchard, 2004; Walters, 2004; Carvalho *et al.*, 2006; Morandini *et al.*, 2013). Las diferencias en el comportamiento de las semillas en su tolerancia a la pérdida de agua pueden ser consideradas como un resultado del proceso de selección natural, de conformidad con las condiciones del entorno en el que las especies evolucionaron (Rodrigues *et al.*, 2005).

Para las especies *C. odorata* (cedro), *B. quinata* (ceiba roja), *S. parahyba* (tambor) y *C. pyriformis* (abarco), las semillas son consideradas de comportamiento ortodoxo, mientras que para las de *A. excelsum* (caracolí) se conoce que no suelen almacenarse porque tienen un corto periodo de viabilidad (60 días con una temperatura menor de 6°C), clasificándose como recalcitrante (Trujillo, 2013). Las semillas de *C. odorata* pueden almacenarse hasta por dos años con un contenido de humedad (CH) entre 6 % y 8 % y entre 3 a 5°C, las de *C. pyriformis* se pueden almacenar por un año con un CH menor de 9,5 % a 4°C, semillas de *B. quinata* y de *S. parahyba* se pueden almacenar hasta por 3 años con CH de 7 % a 8 % y de 5 % a 8 %, respectivamente y entre 4°C y 5°C (Trujillo, 2013).

El contenido de humedad en las semillas hace referencia a la cantidad de agua libre y combinada con los compuestos químicos de las células, como los carbohidratos y las proteínas (Rao *et al.*, 2007). El secado de semillas implica la reducción del contenido de humedad a niveles recomendados, utilizando técnicas que no deterioren su viabilidad, eviten el deterioro, calentamiento e infestación durante su almacenamiento (Rao *et al.*, 2007; Zhang & Tao, 1989).

Franco (2008) y De Viana *et al.* (2011) señalan que a pesar de los avances realizados, todavía es notoria la escasez de información sobre el contenido de humedad, la tolerancia a la desecación y temperaturas de almacenamiento de las semillas de especies nativas especialmente en el trópico americano,

donde la mayoría de los bancos de germoplasma conservan semillas de especies cultivadas como cereales, legumbres, frutales y forrajeras.

Dado que el beneficio relativo para la longevidad al reducir el contenido de humedad aumenta cuanto más bajo sea este; con frecuencia es más eficaz en relación con el costo, reducir el contenido de humedad de la semilla que disminuir la temperatura de almacenamiento. Este método es de particular importancia para centros de almacenamiento de semillas donde no se puede proporcionar refrigeración a temperaturas de cero y bajo cero grados centígrados (Hong & Ellis, 2010).

Las semillas pueden deteriorarse al ser sometidas a una alta desecación; destacándose entre los factores que determinan este comportamiento el origen de la semilla, la especie y la temperatura (Vertucci & Roos, 1990). Someter las semillas a pruebas de tolerancia a la desecación es un prerrequisito para seleccionar el régimen de secado apropiado, si no se conoce aún cómo se comportan frente a la desecación. Esta se puede valorar midiendo el porcentaje de germinación a diferentes intervalos de secado (Rao *et al.*, 2007). La tolerancia a la desecación es una de las más importantes propiedades de la semilla; es una estrategia de adaptación que permite su sobrevivencia durante el almacenamiento, condiciones estresantes del ambiente y asegura la diseminación de la especie (Medeiros & Da Eira, 2006).

La tolerancia a la desecación de semillas ha sido valorada en diversas especies arbóreas, a saber: *Cedrela fissilis* Vell. (Masetto *et al.*, 2014); *Copaifera langsdorffii* Desf. (Pereira *et al.*, 2014); *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth (Albíter *et al.*, 2014); *Tectona grandis* L.F. y *Gmelina arborea* Roxb. (Correa *et al.*, 2013); *Prosopis ferox* Griseb. y *Pterogyne nitens* Tul. (Nahuel *et al.*, 2013); *Acca sellowiana* (O. Berg) Burret (Gomes *et al.*, 2013); *Eugenia* sp. (Delgado & Barbedo, 2012); *Tapirira obtusa* (Benth.) J.D. Mitch. (Pereira *et al.*, 2012); *Theobroma cacao* L. (Rangel *et al.*, 2011); *Peltophorum dubium* (Spreng.)

Taub. (Nakagawa *et al.*, 2010); *Magnolia ovata* (A. St.-Hil.) Spreng. (Anderson *et al.*, 2009); siete especies forestales (Mireku, 2009); *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze (Abreu, 2009); *Juçara sp.* (Martins *et al.*, 2009); *Nectandra sp.* y *Ocotea sp.* (Carvalho *et al.*, 2008); *Eugenia pleurantha* O. Berg (Masetto *et al.*, 2008) y otras especies (Magnitskiy & Plaza, 2007; Delgado & Barbedo, 2007; Daws *et al.*, 2006; Goodman *et al.*, 2005; Pritchard *et al.*, 2004; Magistrali *et al.*, 2013; Pereira *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2012; Corsato *et al.*, 2012 y Ramos *et al.*, 2003). En todas estas especies se ha enfatizado y coincidido en la necesidad de secar la semilla y conocer su tolerancia a la desecación, como paso previo para lograr exitosamente su conservación *ex situ* a bajas temperaturas, ya que es muy normal que ellas presenten tolerancias diferenciales a la pérdida de humedad en las semillas que las caracterizan.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la tolerancia a la desecación de semillas de *Cedrela odorata* L. (Cedro), *Cariniana pyriformis* Miers (Abarco), *Bombacopsis quinata* (Jack.) Dugand (Ceiba roja), *Anacardium excelsum* L. (Caracolí) y *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake (Tambor), como información básica para la conservación óptima del germoplasma de estas especies forestales nativas priorizadas en el Caribe colombiano. Parte de estos resultados se socializaron en el XLIV Congreso Anual de la Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal, COMALFI (Montiel *et al.*, 2014).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización

La investigación se llevó a cabo en el primer semestre de 2014 en las instalaciones del Laboratorio de Fitomejoramiento de la Universidad de Córdoba (Montería, Colombia), ubicada en la zona media del valle del Sinú, a 8°52' de latitud norte y 76°48' longitud oeste respecto al meridiano de Greenwich, a una altura de 13 m.s.n.m. La zona ecológica corresponde al bosque seco tropical con temperatura promedio de 28°C, humedad relativa de 84 % y precipitación anual de 1200 mm (Palencia *et al.*, 2006).

2.2. Material genético

Se utilizó semilla sexual de las especies *C. odorata* (Cedro), *C. pyriformis* (Abarco), *B. quinata* (Ceiba roja), *A. excelsum* (Caracolí) y *S. parahyba* (Tambor), donadas por el banco de germoplasma de la Universidad de Córdoba, las cuales fueron colectadas por los auxiliares y profesionales encargados de su Laboratorio de Fitomejoramiento de la Universidad de Córdoba, durante el primer semestre de 2012, en los municipios de Montería, Tierralta, Planeta Rica, San Antero, Ciénaga de Oro y San Carlos del departamento de Córdoba (Ver Tabla 1.1 del Capítulo 1).

2.3. Procedimiento

Se determinó el contenido de humedad inicial de las semillas de cada una de las cinco especies mediante el método de secado en horno a temperatura baja constante, a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 17 ± 1 horas, recomendado por el ISTA (2005; 2014). Posteriormente, con el uso del mejor modelo de regresión (cúbico) seleccionado por especie, se estimaron los tiempos necesarios para la exposición de las semillas a sílica gel y de esta forma alcanzar los niveles de contenido de humedad a probar junto con el testigo, tal como se muestra en la Tabla 3.1. Para lograr este objetivo, se utilizó un diseño completamente aleatorizado (DCA) con tres tratamientos y cuatro repeticiones de 25 semillas por unidad experimental.

La prueba de germinación se estableció en bandeja de aluminio con papel toalla en una cámara climática (Dies®), a una temperatura de 28°C , humedad relativa de 80 %, con periodo de luz de 10 horas/d y riego uniforme diario. Se consideró como germinación normal, cuando en la semilla se presentaba la aparición de la radícula y la plúmula a partir del embrión, y el desarrollo de la plántula (Ceballos & López, 2007). La evaluación de la germinación se realizó diariamente hasta los 35 días. Los parámetros fisiológicos de la germinación evaluados, fueron: a) Porcentaje de germinación (PG): porcentaje acumulado

de semillas germinadas al final del ensayo; b) Índice de velocidad de germinación (IVG): calculada mediante la fórmula recomendada por Maguire (1962) y los descritos por Czabator (1962), tales como: c) Germinación diaria media (GDM): porcentaje acumulado de semillas germinadas al final del ensayo dividido por el número de días que transcurren desde la siembra hasta el término del ensayo; d) Valor pico (VP): es la GDM máxima que se alcanza en cualquier momento del periodo del ensayo; e) Valor de germinación (VG): corresponde al producto de la GDM por el VP.

El IVG fue calculado mediante la fórmula recomendada por Maguire (1962):

$$IVG = \frac{P_1}{T_1} + \frac{P_2}{T_2} + \frac{P_3}{T_3} + \dots + \frac{P_n}{T_n}$$

Donde: $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ = número de plántulas normales, germinadas y completas en el primer, segundo, tercer y último conteo de la evaluación.

$T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ = tiempo en días para cada germinación.

Tabla 3.1. Descripción de tratamientos para determinación de la tolerancia a la desecación en cinco especies forestales nativas.

Especie y modelo de regresión utilizado	Tratamientos		
	CH0 (%)	CH1 (%)	CH2 (%)
<i>Cedrela odorata</i> (Cedro) $10,523881 - 0,12573706 X + 0,0008567 X^2 - 0,00000186 X^3$	12,4	7,5	5,0
<i>Cariniana pyriformis</i> (Abarco) $6,6827153 - 0,07298388 X + 0,000491 X^2 - 0,000001078 X^3$	7,6	5,0	4,0
<i>Bombacopsis quinata</i> (Ceiba roja) $9,2351754 - 0,0916566 X + 0,000609 X^2 - 0,000001332 X^3$	9,8	7,0	6,0
<i>Anacardium excelsum</i> (Caracolí) $16,217560 - 0,18199433 X + 0,0009821 X^2 - 0,00000187 X^3$	14,7	8,0	7,0
<i>Schizolobium parahyba</i> (Tambor) $9,0851997 - 0,10048549 X + 0,000695 X^2 - 0,000001558 X^3$	7,8	6,0	4,0

CH0= Contenido de humedad original= testigo; CH₁= Contenido de humedad definido para el tratamiento uno; CH₂= Contenido de humedad definido para el tratamiento dos.

2.4. Análisis estadístico

En cada especie, los parámetros de germinación fueron sometidos a análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Duncan ($Pr < 0,05$), mediante el uso del programa computacional GENES versión Windows (2004.2.1), desarrollado por Cruz (2004). La estimación de la tolerancia a la desecación se realizó comparando el nivel de significancia estadística entre los parámetros de la germinación de los tres tratamientos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados señalan que en las semillas de *C. pyriformis*, *B. quinata* y *A. excelsum*, los parámetros de germinación no fueron afectados significativamente por los tratamientos de secado, mientras que en *C. odorata* se presentaron diferencias estadísticas ($p < 0,01$) en los parámetros índice de velocidad de germinación (IVG), valor pico (VP) y valor de germinación (VG), y, para *S. parahyba* en porcentaje de germinación (PG), IVG y germinación diaria media (GDM) (Tablas 3.2 y 3.3). Estos resultados permiten inferir que en las tres especies forestales donde los parámetros de germinación no mostraron efectos estadísticos significativos, sus semillas posiblemente no han alcanzado el punto crítico mínimo de humedad, lo cual podría obedecer a la misma condición reportada por De Viana *et al.* (2014) en semillas de las especies arbóreas *Bulnesia sarmientoi* Lorentz ex Griseb., *Cercidium praecox* (Ruiz & Pav. ex Hook.) Harms, *Chloroleucon tenuiflorum* (Benth.) Barneby & J.W. Grimes y *Prosopis alba* Griseb., las cuales toleraron la desecación a niveles entre el 3 % y 5 % del CH con una viabilidad superior al 93 %. De igual forma, los resultados guardan relación con los reportados por Correa *et al.* (2013) en semillas de *Tectona grandis* y *Gmelina arborea*, en las cuales los parámetros de germinación presentaron una respuesta y/o tendencia positiva a la desecación. Al respecto, Angelovici *et al.* (2010) argumentan que la adquisición de la tolerancia a la desecación por las semillas implica procesos celulares como la acumulación de disacáridos y oligosacáridos, biosíntesis de proteínas, la activación de defensas antioxidantes, cambios en la estructura física de la célula y un incremento gradual en la densidad.

Tabla 3.2. Análisis de varianza y nivel de significancia estadística para los parámetros de la germinación en cinco especies forestales nativas.

Especie	Fuente	GL	PG (%)	IVG (Nº)	GDM (%)	VP (%)	VG (%)
<i>Cedrela odorata</i> (Cedro)	Tratamientos	2	41,3ns	0,98**	0,03ns	6,3**	34,9**
	Error	9	13,8	0,01	0,011	0,4	3,2
	Total	11	18,8	0,19	0,015	1,5	8,9
	$\bar{X}$		75,7	2,30	2,20	7,8	16,8
	CV (%)		4,9	4,50	4,90	8,4	10,6
<i>Cariniana pyriformis</i> (Abarco)	Tratamientos	2	4,0	0,004ns	0,003ns	0,06ns	0,52ns
	Error	9	60,0	0,022	0,049	0,21	2,21
	Total	11	49,8	0,019	0,041	0,18	1,90
	$\bar{X}$		71,0	0,94	2,03	2,54	5,22
	CV (%)		10,9	15,71	10,90	18,2	28,5
<i>Bombacopsis quinata</i> (Ceiba roja)	Tratamientos	2	137,3ns	0,47ns	0,11ns	0,07ns	0,04ns
	Error	9	67,1	1,66	0,05	0,21	1,95
	Total	11	79,8	1,44	0,07	0,19	1,60
	$\bar{X}$		88,3	5,90	2,5	2,50	6,40
	CV (%)		9,3	21,90	9,3	18,20	21,80
<i>Anacardium excelsum</i> (Caracolí)	Tratamientos	2	41,3ns	0,16ns	0,03ns	2,64ns	1,95 ns
	Error	9	43,6	0,08	0,03	1,41	8,29
	Total	11	43,2	0,09	0,03	1,63	7,13
	$\bar{X}$		68,7	3,70	30,00	10,00	19,6
	CV (%)		9,6	7,80	29,00	11,90	14,70
<i>Schizolobium parahyba</i> (Tambor)	Tratamientos	2	137,3*	4,59**	0,11*	0,06ns	1,29ns
	Error	9	17,3	0,07	0,01	0,21	0,36
	Total	11	39,2	0,89	0,03	0,19	0,53
	$\bar{X}$		50,3	2,00	1,4	2,50	3,70
	CV (%)		8,3	13,00	8,3	18,20	16,50

$\bar{X}$ = Media; CV= Coeficiente de variación; **Diferencias altamente significativas; *Diferencias significativas; ns= No significativo; PG= Porcentaje de germinación; IVG= Índice de velocidad de germinación; GDM= Germinación diaria media; VP= Valor pico; VG= Valor de germinación.

En *C. odorata* la reducción de la humedad de la semilla del 12,4 % a 5,0 %, favoreció el IVG, VP y VG, aumentando estos parámetros de 2,04 a 2,91 %, de 6,83 a 9,20 % y de 15,24 a 20,25 %, respectivamente. Comoquiera que la longevidad se entiende como el tiempo que tardan las semillas en perder su viabilidad y depende, entre otros factores del contenido de humedad, estos resultados guardan relación con lo que reportan Hong & Ellis (2010) sobre el comportamiento de semillas ortodoxas en almacenamiento, afirman que la longevidad de estas semillas aumenta con la disminución del contenido de humedad, y reportan que basado en los parámetros estimados de viabilidad para las semillas de *Ulmus carpinifolia* Gled., el efecto de una reducción del 7 % al 5 % en el contenido de humedad, proporciona un aumento aproximado de 2,7 veces en longevidad, mientras que una reducción de 5 % a 3 % en el contenido de humedad de la semilla, aumenta la longevidad de la semilla cerca de 4,5 veces.

En general, los coeficientes de variación (CV) fueron menores de 28,5 %, oscilando entre 4,5 % (IVG) y 28,5 % (VG) para las cinco variables en estudio. Estos valores se consideran aceptables y buenos para este tipo de ensayos, a pesar que se incluyeron cinco especies con dimensiones y pesos de semillas muy diferentes, como se puede observar en la Tabla 1.2 del Capítulo 1. En *C. odorata* se presentaron los CV más bajos (IVG: 4,5 % y VG: 10,6 %), mientras que los más altos ocurrieron en *C. pyriformis* (PG: 10,9 % y VG: 28,5 %), siendo dos veces superior a *C. odorata*. Estas diferencias pueden tener su explicación como lo señalan varios autores (Niembro, 1982; Niembro, 1988; Niembro *et al.*, 2007; Rao *et al.*, 2007; Angelovici *et al.*, 2010), en algunas características físicas y fisiológicas de la semilla, relacionadas con su morfología, tamaño, humedad inicial, anatomía, histología, composición química, acumulación de disacáridos y oligosacáridos, biosíntesis de proteínas, activación de defensas antioxidantes, condiciones ambientales durante el desarrollo ontogénico de la semilla, mecanismos de protección de la semilla en el fruto, procesos de colecta, beneficio, manejo y conservación de las semillas, entre otros,

los cuales varían notablemente de acuerdo con la especie y se expresan en un rango variable de tolerancia al secamiento de sus semillas. A pesar de lo anterior, los valores de los CV obtenidos indican que la técnica experimental utilizada fue excelente y que los resultados son muy confiables para este tipo de estudios.

Tabla 3.3. Efecto del contenido de humedad sobre parámetros de germinación de semillas de cinco especies forestales nativas.

Especie	Tratamientos CH (%)	Parámetros de germinación				
		PG (%)	IVG (Nº)	GDM (%)	VP (%)	VG (%)
<i>C. odorata</i> (Cedro)	12,4 (CHo)	78,0 a	2,04 b	2,23 a	6,83 b	15,24 b
	7,5*	72,0 a	2,07 b	2,06 a	7,30 b	15,02 b
	5,0*	77,0 a	2,91 a	2,22 a	9,20 a	20,25 a
<i>C. pyriformis</i> (Abarco)	7,6 (CHo)	72,0 a	0,96 a	2,06 a	2,65 a	5,51 a
	5,0*	71,0 a	0,96 a	2,03 a	2,58 a	5,33 a
	4,0*	70,0 a	0,91 a	2,00 a	2,40 a	4,82 a
<i>B. quinata</i> (Ceiba roja)	9,8 (CHo)	84,0 a	5,73 a	2,40 a	2,65 a	6,34 a
	7,0*	86,0 a	5,67 a	2,46 a	2,58 a	6,40 a
	6,0*	95,0 a	6,29 a	2,72 a	2,40 a	6,52 a
<i>A. excelsum</i> (Caracolí)	14,7 (CHo)	65,0 a	3,80 a	1,86 a	10,83 a	19,98 a
	8,0*	71,0 a	3,48 a	2,03 a	9,20 a	18,78 a
	7,0*	70,0 a	3,85 a	2,00 a	10,00 a	20,00 a
<i>S. parahyba</i> (Tambor)	7,8 (CHo)	57,0 a	3,20 a	1,63 a	2,65 a	4,28 a
	6,0*	48,0 b	1,14 c	1,37 b	2,58 a	3,50 ab
	4,0*	46,0 b	1,69 b	1,32 b	2,40 a	3,17 b

Las letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Duncan al 5 %.

*contenidos de humedad obtenidos mediante secado con sílica gel; CHo: contenido de humedad original en semillas; PG: porcentaje de germinación; IVG: índice de velocidad de germinación; GDM: germinación diaria media; VP: valor pico; VG: valor de germinación.

Según los criterios de Hong y Ellis (1996) para estimar el comportamiento de las semillas en almacenamiento, los resultados confirman la condición ortodoxa de las semillas de *C. odorata*, *C. pyriformis*, y *B. quinata*, las cuales han sido reportadas bajo esta categoría (Trujillo, 2013). Al respecto, Rao *et al.* (2007) señalan que la sensibilidad a la desecación se puede valorar

midiendo el porcentaje de germinación a diferentes intervalos de secado, y son consideradas semillas que toleran la desecación, aquellas que alcancen un CH del 5 % o menos, sin mostrar pérdida de viabilidad, indicando que probablemente se comporten en almacenamiento como semillas ortodoxas. Por otra parte, los mismos autores argumentan que ningún criterio por sí mismo puede proporcionar una estimación satisfactoria del comportamiento probable de semillas en almacenamiento, pero puede valer la pena combinar la información para por lo menos cuatro de los siguientes seis factores: ecología de la planta, clasificación taxonómica, características de la planta (fruto o semilla), tamaño de la semilla, contenido de humedad de la semilla al momento de su desprendimiento y forma de la semilla.

En *S. parahyba* la reducción de la humedad de la semilla del 7,8 % a 4,0 %, afectó negativamente el PG, IVG, GDM y VG, disminuyendo estos parámetros en 11 % (57 % al 46 %), 2 % (3,2 % al 1,14 %), 0,31 % (1,63 % a 1,32 %) y 1,11 % (4,28 % a 3,17 %), respectivamente. A partir de estos resultados se puede inferir que estas semillas disminuyen su viabilidad con una reducción del contenido de humedad inicial cercana al 25 % y 50 %, lo cual también podría estar relacionado con la característica de testa dura que le proporciona dormancia física (Smith *et al.*, 2010), que puede verse favorecida con la deshidratación (Morandini *et al.*, 2013), pudiendo afectar negativamente los parámetros de la germinación. Sin embargo, estos resultados difieren de otras investigaciones con semillas de la familia Fabaceae; De Viana *et al.* (2009) y Giamminola *et al.* (2012) reportaron mayores porcentajes de germinación en semillas desecadas (3-5 % CH) con respecto a las semillas frescas. No obstante, a pesar de las leves disminuciones en los parámetros de germinación, estos resultados permiten confirmar el comportamiento ortodoxo que ha sido reportado para estas semillas por Trujillo (2013).

Las semillas de *A. excelsum* mostraron tolerancia a la desecación con CH de 7 % y 8 %, presentando ausencia de significancia estadística en todos los

parámetros de la germinación (Tabla 3.3), con PG comprendidos entre 65 % y 71 %, por lo cual se deduce que las semillas no alcanzaron el punto crítico de humedad para iniciar su deterioro. Este resultado es interesante a la luz de la literatura, la cual reporta que tienen una baja viabilidad, que puede extenderse hasta 60 días, almacenándolas en bolsas plásticas a 6°C, lo cual los clasifica como recalcitrantes (Trujillo, 2013). Sin embargo, el resultado encontrado puede compararse con el de Müller (1995) en *Vochysia ferruginea* Mart., quien encontró que aunque sus semillas mantienen la viabilidad por un tiempo máximo de tres meses, al secarlas a un 7 % de CH, al mes de almacenamiento todavía mantienen un porcentaje de germinación alto (70 a 80 %).

Por otra parte, estos resultados no se ajustan claramente al comportamiento de las semillas de *A. excelsum* a los criterios descritos por Roberts (1973) y Ellis *et al.* (1990) para la identificación de semillas recalcitrantes e intermedias. Al respecto, se ha comprobado que los contenidos de humedad críticos para la pérdida de viabilidad en la deshidratación varían fuertemente entre las especies recalcitrantes, entre cultivos y lotes de semillas (Chin, 1988; King & Roberts, 1979), y dependen de la etapa de madurez de la semilla al momento de su recolección (Finch-Savage & Blake, 1994; Hong & Ellis, 1990). El contenido de humedad crítico también puede variar con el método de secado de la semilla (Farrant *et al.*, 1985; Pritchard, 1991; Pritchard & Prendergast, 1986). Algo parecido ocurre en las semillas intermedias, donde en general, las semillas extraídas de frutos al momento de madurez toleran la deshidratación a contenidos de humedad en equilibrio con aproximadamente 40 a 50 % de humedad relativa, esto es, un contenido de humedad de aproximadamente 10 % para café (*Coffea arabica* L.) (Ellis *et al.*, 1991; Hong & Ellis, 1992) y un contenido de humedad de 7 % para *Citrus* sp (Hong & Ellis, 1995; Hong & Ellis, 2010).

En general, para las cinco especies estudiadas los parámetros de germinación

se expresaron de manera diferencial en relación a la sensibilidad a la desecación. Esto puede deberse a que el contenido de humedad a la cual la semilla muere, varía entre especies y dentro de la misma especie y a los factores externos e internos que determinan la viabilidad y longevidad de las semillas. En semillas ortodoxas ese contenido fluctúa entre el 3 y 7 % (Hong & Ellis, 2010). En semillas de cacao *Theobroma cacao* L. se ha determinado que la sensibilidad a la desecación puede variar entre genotipos (Rangel *et al.*, 2011), mientras que semillas de *Caesalpinia echinata* Lam. son tolerantes a la desecación, pero la sensibilidad al secado puede ser influenciada por la calidad inicial de las semillas (Barbedo *et al.*, 2002). Medeiros y Da Eira (2006) argumentan que las diferencias del comportamiento fisiológico dentro de una misma especie, aún no han sido ampliamente estudiadas; entre tanto, se considera que esas variaciones pueden responder a diferencias en la maduración de las semillas, a las condiciones de secado, a la genética o al ambiente en que fueron obtenidas. Otros factores como el nivel de domesticación o el mejoramiento genético pueden estar también relacionados con estos comportamientos, especialmente en especies nativas como las que son objeto de este estudio. Al respecto, Franco (2008) y De Viana *et al.* (2011) señalan que es notoria la escasez de información sobre el CH y la tolerancia a la desecación y a las temperaturas de almacenamiento de las semillas de especies nativas especialmente del trópico.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La desecación con sílica gel no afectó los parámetros de germinación al disminuir el contenido de humedad a 5 % en *C. odorata*, 4 % en *C. pyriformis*, 6 % en *B. quinata* y permite confirmar su condición ortodoxa. En *C. odorata*, la desecación favoreció los parámetros índice de velocidad de germinación (IVG), valor pico (VP) y valor de germinación (VG).

En *S. parahyba*, el porcentaje de germinación (PG), el índice de velocidad de germinación (IVG) y germinación diaria media (GDM) disminuyeron

significativamente cuando el contenido de humedad de la semilla se redujo entre 25 % y 50 % de su contenido inicial (al pasar de 7,8 % a 6,0 %).

En *A. excelsum*, la respuesta positiva de los parámetros de germinación, luego de la desecación de las semillas (al pasar de 14,7 % a 7,0 %), es un indicio de su posible condición intermedia.

En la desecación de la semilla con sílica gel, para la conservación *ex situ* de germoplasma, se sugiere tener en cuenta como límites para disminuir el contenido de humedad el 5 % en *C. odorata*, 4 % en *C. pyriformis*, 6 % en *B. quinata*, 7 % en *S. parahyba* y *A. excelsum*.

5. REFERENCIAS

- Abreu, D. (2009). Bases fisiológicas para a conservação a longo prazo de sementes *Cariniana legalis* (Mart.) O. Kuntze. Tese (doutorado), Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. 92 p.
- Albíter, C., García, G., Carballo, A., Calderón, G., Albíter, F. & Cuevas, J. (2014). Tolerancia a la desecación en semillas de nanche (*Byrsonima crassifolia* L.) Kunth. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5): 819-831.
- Anderson, C.J., Ligterink, W., Davide, A.C., Amaral, D.S.E.A. & Hilhorst, H.W.M. (2009). Changes in gene expression during drying and imbibition of desiccation sensitive *Magnolia ovata* (A. St.-Hil.) spreng. seeds. *Rev. bras. sementes*, 31(1): 270-280.
- Angelovici, R., Galili, G., Fernie, A., Fait, A. (2010). Seed desiccation: a bridge between maturation and germination. *Trends in Plant Science*, 15: 211-218.
- Araméndiz, H., Cardona, C., Jarma, A., Robles J. & Montalván, R. (2007). Efectos del almacenamiento en la calidad fisiológica de la semilla de berenjena *Solanum melongena* L. *Agronomía Colombiana*, 25(1): 104-112.

- Barbedo, C., Bilia, D. & Figueiredo-Ribeiro, R. (2002). Tolerância à dessecação e armazenamento de sementes de *Caesalpinia echinata* Lam. (paubrasil), espécie da Mata Atlântica. *Brazilian Journal of Botany*, 25(4): 431-439.
- Carvalho, L., Davide, A., Da Silva, E. & De Carvalho, M. (2008). Classificação de sementes de espécies florestais dos gêneros *Nectandra* e *Ocotea* (Lauraceae) quanto ao comportamento no armazenamento. *Revista Brasileira de Sementes*, 30(1): 1-9.
- Carvalho, R., Da Silva, E. & Davide, A. (2006). Storage behaviour of forest seeds. *Revista Brasileira de Sementes*, 28: 15-25.
- Ceballos, A. & López, J. (2007). Conservación de la calidad de semillas forestales nativas en almacenamiento. *Cenicafé*, 58(4): 265-292.
- Chin, H. (1988). Recalcitrant seeds a status report. Semillas ortodoxas y recalcitrantes. En J.A. Vozzo (Ed.), *Manual de semillas de árboles tropicales* (pp.143-155). Missouri: USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- CONIF - Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (2003). Cadena Forestal Productiva de Córdoba. Folleto Núcleos Forestales. http://www.conif.org.co/docs/cadena_folleto_interior.pdf. (Consultado: 16/12/2011).
- CONIF, MMA, OIMT (1998). *Guía para plantaciones forestales en Córdoba*. Serie de documentación No. 34. Corporación Nacional de Investigación y Fomento forestal-CONIF. Ministerio del Medio Ambiente-MMA y Organización Internacional de Maderas Tropicales-OIMT. 48p.
- Correa, E., Álvarez, E., Espitia, M. & Cardona, C. (2013). Modelos de secado y tolerancia a la desecación de semillas de *Tectona grandis* L.f. y *Gmelina arborea* Roxb. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 30(2): 20-33.
- Corsato, J.M., Ferreira, G., Barbedo, C.J. (2012). Desiccation tolerance in seeds of *Annona emarginata* (Schldtl.) H. Rainer and action of plant growth regulators on germination. *Braz. J. Plant Physiology*, 24(4): 253-260.
- Cruz, C. (2004). Programa genes. Versão Windows. Aplicativo computacional em genética e estatística. Universidade Federal de Viçosa. Disponible desde Internet em: <http://www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm> (Consultado: 05/07/2007).

- Czabator, F. (1962). "Germination value: An Index Combining Speed and Completeness of Pine Seed Germination". *Forest Science*, 8(4): 386-396.
- Daws, M., Garwood, N. & Pritchard, W. (2006). Prediction of Desiccation Sensitivity in Seeds of Woody Species: A Probabilistic Model Based on Two Seed Traits and 104 Species. *Annals of Botany*, 97: 667-674.
- De Viana, M., Morandini, M., Giamminola, E. & Díaz, R. (2011). Conservación ex situ: un banco de germoplasma de especies nativas. *Lhawet Nuestro entorno*, 1: 35-41.
- De Viana, M., Morandini, M., Urtasun, M. & Giamminola, E. (2014). Caracterización de frutos y semillas de cuatro especies arbóreas nativas del Noroeste Argentino para su conservación ex situ. *Instituto de Ecología y Ambiente Humano*, 3(3): 41-48.
- De Viana, M., Mosciaro, M. & Morandini, M. (2009). Tolerancia a la desecación de semillas de dos especies arbóreas del Chaco Salteño (Argentina): *Erythina falcata* Benth. y *Tecoma garrocha* Hieron. *UDO Agrícola*, 9: 590-594.
- Delgado, L. & Barbedo, C. (2007). Tolerância à dessecação de sementes de espécies de *Eugenia*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(2): 265-272.
- Delgado, L.F. & Barbedo, C.J. (2012). Water potential and viability of seeds of *Eugenia* (Myrtaceae), a tropical tree species, based upon different levels of drying. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 55(4): 583-590.
- Ellis, R., Hong, T. & Roberts, E. (1990). An intermediate category of seed storage behaviour? I. Coffee. *Journal of Experimental Botany*, 41: 1167-1174.
- Ellis, R., Hong, T. & Roberts, E. (1991). An intermediate category of seed storage behaviour? II. Effects of provenance, immaturity, and imbibition on desiccation tolerance in coffee. *Journal of Experimental Botany*, 42: 653-657.
- Espitia, M. (2013). Investigación en semillas forestales en el departamento de Córdoba. Memorias XLIII Congreso anual COMALFI. Sociedad

- Colombiana del Control de Malezas y Fisiología Vegetal, Cartagena, septiembre de 2013, pp.96-99.
- Farrant, J., Berjak, P. & Pammenter, N. (1985). The effect of drying rate on viability retention of recalcitrant propagules of *Avicennia marina*. *South African Journal of Botany*, 51: 432-438.
- Finch-Savage, W. & Blake, P. (1994). Indeterminate development in desiccation-sensitive seeds of *Quercus robur* L. *Seed Science Research*, 4: 127-133.
- Franco, T. (2008). Los Bancos de germoplasma de las Américas. *Recursos Naturales y Medio Ambiente*, 53: 81-84.
- Giamminola, E.M.; Morandini, M.N. & De Viana, M.L. (2012). Respuesta a la desecación y a la temperatura de almacenamiento del germoplasma de *Prosopis nigra* (Grisebach) Hieron. y *Ziziphus mistol* Griseb. *Gestión y Ambiente*, 15: 19-25.
- Gomes, J.P., De Oliveira, J.M., Saldanha, A.P., Manfredi, S. & Ferreira, P.I. (2013). Secagem e classificação de Sementes de *Acca sellowiana* (O. Berg) Burret - Myrtaceae quanto à tolerância à dessecação e ao armazenamento. *Floresta Ambiente*, 20(2): 207-215.
- Goodman, R., Jacobs, D. & Karrfalt, R. (2005). Evaluating desiccation sensitivity of *Quercus rubra* acorns using X-ray image analysis. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(12): 2823-2831.
- Hong, T. & Ellis, R. (1990). A comparison of maturation drying, germination, and desiccation tolerance between developing seeds of *Acer pseudoplatanus* L. and *Acer platanoides* L. *New Phytologist*, 116: 598-596.
- Hong, T. & Ellis, R. (1992). Optimum air-dry seed storage environments for *Coffea arabica*. *Seed Science and Technology*, 20: 547-560.
- Hong, T. & Ellis, R. (1995). Interspecific variation in seed storage behaviour within two genera - *Coffea* and *Citrus*. *Seed Science and Technology*, 23: 165-181.
- Hong, T. & Ellis, R. (1996). *A protocol to determine seed storage behaviour*. IPGRI. Disponible en: <http://www.bioversityinternational.org/>

- fileadmin/bioversity/publications/pdfs/137_A_protocol_to_determine_seed_storage_behaviour.pdf. (Consultado: Feb/1/2012).
- Hong, T. & Ellis, R. (2010). Almacenamiento. En J.A. Vozzo (Ed.), *Manual de semillas de árboles tropicales* (pp.129-142). Missouri: USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Hong, T., Linington, S. & Ellis, R. (1998). *Compendium of Information on Seed Storage Behaviour*. Reino Unido: Botanical Royal Garden, Kew.
- ISTA-International Seed Testing Association (2005). International Rules for Seed Testing. 2005. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Suiza. 202p.
- ISTA-International Seed Testing Association (2014). International Rules for Seed Testing 2014. Bassersdorf, Suiza, 272p.
- King, M. & Roberts, E. (1979). *The storage of recalcitrant seeds: achievements and possible approaches*. Rome, Italy: International Board for Plant Genetic Resources.
- Magistrali, P.R., Jose, A.C., Faria, J.M.R. & Gasparin, E. (2013). Physiological behavior of *Genipa americana* L. seeds regarding the capacity for desiccation and storage tolerance. *Journal of Seed Science*, 35(4): 495-500.
- Magnitskiy, S. & Plaza, G. (2007). Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. *Agronomía Colombiana*, 25(1): 96-103.
- Maguire, D. (1962). Speed of germination-aid. In Selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Crop Science*, 2: 176-177.
- Martins, C., Bovi, M., Nakagawa, J. & Machado, C. (2009). Secagem e armazenamento de sementes de Juçara. *Revista Árvore*, 33(4): 635-642.
- Masetto, T.E., Faria, J.M. & Fraiz, A.C.R. (2014). Re-induction of desiccation tolerance after germination of *Cedrela fissilis* Vell. Seeds. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86(3): 1273-1286.
- Masetto, T.E., Faria, J.M.R., Davide, A.C. & Da-Silva, E.A.A. (2008). Desiccation tolerance and DNA integrity in *Eugenia pleurantha* o. berg. (Myrtaceae) seeds. *Revista Brasileira de Sementes*, 30(2): 51-56.

- Medeiros, A. & Da Eira, M. (2006). *Comportamento Fisiológico, Secagem e Armazenamento de Sementes Florestais Nativas*. Disponible en: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPFF-2009-09/41479/1/circ-tec127.pdf>> (Consultado Feb. 01/ 2012).
- Mireku, J. (2009). *Seed desiccation tolerance and germination of seven important forest tree species in Ghana*. Thesis Doctor of Physiology, Kwame Nkrumah University of Science and Technology (KNUST), Kumasi- Ghana. 212p.
- Montiel, J. (2014). Estandarización del secado y determinación de viabilidad de semillas para conservación de germoplasma de cinco especies forestales nativas en Córdoba. (Tesis de grado. Programa de Ingeniería Agronómica). Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba. 137p.
- Morandini, M., Giamminola, E. & De Viana, M. (2013). Tolerancia a la desecación de semillas de *Prosopis ferox* y *Pterogyne nitens* (Fabaceae). *Revista Biología Tropical*, 61(1): 335-342.
- Müller, E. (1995). Almacenamiento de semillas de cuatro especies forestales nativas de la Región Huetar Norte de Costa Rica. En Simposio sobre Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina (pp.303-309). Memoria, Managua, Nicaragua.
- Murillo, O., Espitia, M. & Castillo, C. (2012). *Fuentes semilleras para la producción forestal*. Universidad de Córdoba. Bogotá: Ed. Domar S.A.S.
- Nahuel, M.M., Giamminola, M.E. & De Viana, M.L. (2013). Tolerancia a la desecación de semillas de *Prosopis ferox* y *Pterogyne nitens* (Fabaceae). *Revista de Biología Tropical*, 61(1): 335-342.
- Nakagawa, J., Mori, E., Pinto, C., Fernandes, K., Seki, M. & Meneghetti, R. (2010). Maturação e secagem de sementes de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taubert (Canafístula). *Revista Árvore*, 34(1): 49-56.
- Niembro, A. (1982). *Cedrela odorata* L. En J.A. Vozzo (Ed.), Manual de semillas de árboles tropicales (pp.375-378). Missouri: USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

- Niembro, A. (1988). *Semillas de árboles y arbustos: Ontogenia y estructura*. México: Editorial Limusa.
- Niembro, A. Ramírez-García, E. & Aparicio-Rentería, A. (2007). Correlación entre características de frutos de *Swietenia macrophylla* King con su contenido de semillas desarrolladas. *Foresta Veracruzana*, 9(1): 49-53.
- Palencia, G., Mercado, T. & Combatt, E. (2006). *Estudio agroclimático del departamento de Córdoba*. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba.
- Pereira, W., Faria, J., Tonetti, O. & Silva, E. (2012). Desiccation tolerance of *Tapirira obtusa* seeds collected from different environments. *Revista Brasileira de Sementes*, 34(3): 388-396.
- Pereira, W.V.S., Faria, J.M.R., Tonetti, O.A.O. & Silva, E.A.A. (2014). Loss of desiccation tolerance in *Copaifera langsdorffii* Desf. seeds during germination. *Brazilian Journal of Biology*, 74(2): 501-508.
- Pinto, G. & Sierra, R. (1995). Estado actual de la oferta y demanda de semillas forestales en Colombia. En Corporación Nacional de Investigación y Fomento - CONIF. *Identificación, selección y manejo de fuentes semilleras*. (pp.11-20). Bogotá: CONIF (Serie Técnica No. 32).
- Pritchard, H. (1991). Water potential and embryonic axis viability in recalcitrant seeds of *Quercus rubra*. *Annals of Botany*, 67: 43-49.
- Pritchard, H. & Prendergast, F. (1986). Effects of desiccation and cryopreservation on the in vitro viability of embryos of the recalcitrant seed species *Araucaria hunsteinii*. *Journal of Experimental Botany*, 37: 1388-1397.
- Pritchard, H., Daws, M., Fletcher, B., Gaméné, C., Msanga, H. & Omondi, W. (2004). Ecological correlates of seed desiccation tolerance in tropical african dryland trees. *American Journal of Botany*, 91(6): 863-870.
- Ramos, C., Molina, J. & García, G. (2003). Tolerancia a desecación y deterioro fisiológico en semillas de calabaza (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Lam.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(3): 161-166.

- Rangel, M., Córdoba, L., López, A., Delgado, A., Zavaleta, H. & Villegas, A. (2011). Tolerancia a la desecación en semillas de tres orígenes genéticos de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(3): 175-182.
- Rao, N., Hanson, J., Dulloo, M., Ghosh, K., Novell, D. & Larinde, M. (2007). *Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. Manuales para Bancos de Germoplasma No. 8*. Roma, Italia: Bioversity International.
- Roberts, E. (1973). Predicting the storage life of seeds. *Seed Science and Technology*, 1: 499-513.
- Rodrigues, R., Davide, A., Amaral Da Silva, E. & Rocha, J. (2005). Efeito das secagens lenta e rápida em sementes de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.). *CERNE*, 11(4): 329-335.
- Rodríguez, J. (2000). *Protocolos de germinación para la certificación de semillas forestales*. CONIF. Serie técnica No. 46.
- Silva, K., Alves, E., Bruno, R. & Cardoso, E. (2012). Tolerância à dessecação em sementes de *Bunchosia armenica* (Cav.) DC. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, 33(4): 1403-1410.
- Smith, M., Wang, B. & Msanga, H. (2010). Dormancia y germinación. En J.A. Vozzo (Ed.), *Manual de semillas de árboles tropicales* (p.168). Missouri: USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Trujillo, E. (2001). Almacenamiento de semillas forestales: principios y procedimiento. En *Recolección y procesamiento de semillas forestales* (pp.21-32). Serie técnica No. 34.
- Trujillo, E. (2013). *Guía de reforestación*. Bogotá: Otros Editores.
- Vertucci, W. & Roos, E. (1990). Theoretical basis of protocols for seed storage. *Plant Physiology*, 94: 1019-1023.
- Walters, C. (2004). Principles for preserving germplasm in gene Banks. In E.O. Guerrant, K. Havens & M. Maunder (Eds.), *Ex situ plant conservation: supporting species survival in the wild*. Washington, EEUU, Island.
- Zhang, X.Y. & Tao, K.L. (1989). Silica gel seed drying for germplasm conservation-practical guidelines. *Plant Genetic Resources News*, 75/76: 1-5.

Capítulo 4

DETERMINACIÓN DE LA VIABILIDAD DE SEMILLAS CON TETRAZOLIO DE CINCO ESPECIES FORESTALES NATIVAS

1. INTRODUCCIÓN

En el departamento de Córdoba (Colombia) un grupo de especies nativas, entre las que se encuentran cedro (*Cedrela odorata* L.), abarco (*Cariniana pyriformis* Miers), ceiba roja (*Bombacopsis quinata* [Jack.] Dugand), caracolí (*Anacardium excelsum* L.) y tambor (*Schizolobium parahyba* [Vell.] Blake) se han identificado aptas para sus condiciones agroecológicas y se han priorizado a nivel comercial por su adaptación, calidad de madera y alto potencial para incrementar sus rendimientos con trabajos de biotecnología y mejoramiento genético (CFC, 2011). Sin embargo, el mayor esfuerzo de la investigación para fomentar el establecimiento de plantaciones forestales ha estado dirigido principalmente hacia la selección de especies, la silvicultura, el desarrollo y la comercialización de los productos del bosque (CFC, 2011; Rincón, 2009; Rodríguez, 2000; Rodríguez & Nieto, 1999), mientras que existen limitantes para el avance de sistemas de reproducción sexual y asexual y el establecimiento de sistemas de certificación de calidad genética, fisiológica, fitosanitaria y física del material vegetal (MADR, 2008; Nieto, 2004).

La mayoría de las especies forestales del trópico se propagan mediante semilla sexual y su calidad integral influye de manera significativa en el éxito

de la producción y productividad de las plantaciones. La poca información disponible y el uso de diferentes métodos para el procesamiento de las semillas de especies forestales tropicales, pone de manifiesto la necesidad de estandarizar estos procesos para su conservación a corto, mediano y largo plazo, como también para su control de la calidad; ya sea, para su disposición en el establecimiento de plantaciones comerciales o para la conservación de germoplasma (Correa, 2012). Además, las estrategias y métodos de manejo (recolección, procesamiento y almacenamiento) se deben aplicar para una especie determinada (Hong & Ellis, 1996).

El análisis de la calidad de semillas de especies forestales contribuye a conservar la identidad de la calidad genética de un lote de semillas, además sirve para determinar el máximo potencial de germinación de una muestra de semillas en el menor tiempo posible bajo condiciones microambientales óptimas. Las pruebas de calidad también permiten asegurar la probabilidad de incrementar la productividad de la cosecha (Piedrahita, 2008). Los análisis de calidad integral de las semillas se basan en normas y metodologías nacionales e internacionales estandarizadas y aceptadas en su mercadeo y comercialización. Estas pruebas involucran principalmente el análisis de pureza, sanidad, peso, humedad, viabilidad, vigor y varios parámetros fisiológicos de la germinación en condiciones controladas de laboratorio (ISTA, 2014).

Varios autores (Abbade & Massanori, 2014; Bonilla, 2014; Nascimento, 2013; Trujillo, 2013; Hössel *et al.*, 2013; Correa, 2012; Phino *et al.*, 2011; Azerêdo *et al.*, 2011; Lazarotto *et al.*, 2011) coinciden en señalar que la calidad integral y especialmente la germinación de las semillas, es esencial y condición necesaria e irremplazable para el establecimiento y posterior crecimiento y desarrollo de la plántula. El conocimiento de la viabilidad y los parámetros fisiológicos de la germinación es fundamental para aumentar la eficiencia y eficacia en los procesos de viverización y campo, lo que potencializaría las

probabilidades de éxitos y evitaría grandes pérdidas en la producción de madera (Niembro, 1982 y Niembro, 1986; Herrera, 2002).

La viabilidad es la medida de cuántas semillas de un lote están vivas y pueden llegar a convertirse en plantas capaces de reproducirse en condiciones de campo adecuadas; se reduce lentamente al comienzo y luego rápidamente a medida que la semilla envejece. Por lo tanto, es importante saber cuándo ocurre esta reducción para tomar acciones conducentes a regenerar la accesión. En consecuencia, la viabilidad de las accesiones se debe determinar: antes de empacar y almacenar las semillas en el banco de germoplasma; y a intervalos regulares durante el almacenamiento (Rao *et al.*, 2007). Según Rodríguez & Nieto (1999), la determinación de la viabilidad, es una actividad indispensable y la única garantía que se puede ofrecer para la reproducción de plantas sanas, resistentes, vigorosas y adecuadas para una plantación.

Existen varios métodos para determinar la viabilidad de las semillas, el más exacto y confiable es la prueba de germinación (Rao *et al.*, 2007). Sin embargo, en esta prueba la determinación del valor fisiológico de cada lote de semilla requiere de 30 o más días, tiempo demasiado largo si se tiene en cuenta que los periodos de plantación están limitados por variaciones climáticas y deben coincidir con los periodos de lluvia. Además, si el número de lotes a analizar es muy grande, el proceso se vuelve demasiado costoso. Para llenar este vacío se han desarrollado varios métodos para evaluar rápidamente la viabilidad de cualquier lote de semilla; no obstante, la norma ISTA, solo acepta tres métodos rápidos de evaluación de la viabilidad como métodos oficiales: la escisión del embrión, el ensayo topográfico de tetrazolio y, hasta hace poco, el método de rayos x (ISTA, 2005; Rodríguez & Nieto, 1999). Entre estas pruebas se destaca la prueba de tetrazolio, por su velocidad, ya que los resultados se pueden obtener en aproximadamente 24 horas, y su fiabilidad ha sido probada en la evaluación de la calidad de semillas de soya, maíz, café, maní, tomate, ricino, entre otros (Gaspar *et al.*, 2009; Gaspar *et al.*, 2010).

El control de calidad de las semillas a través de metodologías de laboratorio rápidas permite alcanzar un importante grado de confiabilidad en la toma de decisiones comerciales, en el momento de la siembra, o bien para evaluar su posibilidad de conservación o almacenamiento. En particular, la prueba de tetrazolio constituye una herramienta de gran utilidad para productores de semilla, clasificadores y comerciantes, ya que puede ayudar a la toma de decisiones oportunas, especialmente durante los meses de verano, inmediatamente a la cosecha, en razón a que muchas semillas de gramíneas forrajeras, leguminosas, arbóreas y forestales poseen un alto nivel de dormancia que causa una baja germinación que no debe confundirse con mala calidad de la semilla. La prueba de viabilidad de tetrazolio (TZ) permite conocer la calidad de cada lote o accesión, sino que también puede servir de guía para identificar otros factores que afectan la germinación de las semillas (Ruiz, 2009).

En la prueba de tetrazolio se usa una solución incolora de 2, 3, 5 trifenil cloruro de tetrazolio y trifenilformazan como un indicador de respiración celular, donde el tetrazolio queda reducido cambiando de color dentro de las células vivas. El indicador se embebe por la semilla dentro de sus tejidos, en los que interactúa con procesos de reducción de las células vivas y se produce en ellas una sustancia roja, estable y no difusible. Esto hace que sea posible distinguir las partes vivas de la semilla, de color rojo, de las muertas, incoloras (ISTA, 2005; 2014). La concentración de la solución de TZ y el tiempo de tinción, además de la adecuada evaluación de la prueba son fundamentales para que se obtengan resultados confiables en cuanto a la viabilidad y el vigor de la semilla (Pinho *et al.*, 2011).

En especies arbóreas la prueba bioquímica de tetrazolio ha sido utilizada para la determinación de la viabilidad en semillas de *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith (Abbade & Massanori, 2014); *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.)

Morong (Nogueira *et al.*, 2014); *Pinus tropicalis* Morelet (Bonilla, 2014); *Bumelia obtusifolia* Humb. ex Roem. & Schult. (Nascimento, 2013); *Plinia trunciflora* (O. Berg) Kausel (Hössel *et al.*, 2013); *Gliricidia sepium* Kunth ex Steud. (Ribeiro-Reis *et al.*, 2012); *Jatropha curcas* L. (Brenha *et al.*, 2012; Pinto *et al.*, 2009); *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. (Phino *et al.*, 2011); *Piptadenia moniliformis* Benth (Azerêdo *et al.*, 2011); *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna (Lazarotto *et al.*, 2011); *Copaifera langsdorffii* Desf. & *Schizolobium parahyba* (Fogaça *et al.*, 2011); *Melanoxylon brauna* Schott (Corte *et al.*, 2010); *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso (Kalil Filho *et al.*, 2008); *Poecilanthe parviflora* Benth. (Pinto *et al.*, 2008) y otras especies como *Coffea arabica* L. (Clemente *et al.*, 2011); *Annona cherimola* Mill. x *Annona squamosa* L. (Gimenez *et al.*, 2014); *Stizolobium aterrimum* Piper & Tracy (Deminicis *et al.*, 2014); *Ricinus communis* L. (De Oliveira *et al.*, 2014); *Crambe marítima* L. (Guimarães *et al.*, 2015). En todas las especies utilizadas los resultados han corroborado que es una prueba muy exitosa y eficiente para determinar la viabilidad de las semillas de forma muy rápida y económica, sobre todo en especies nativas con problemas de dormancia, como las arbóreas y arbustivas.

Por la importancia ecológica y económica de las especies nativas forestales en estudio y por las ventajas presentadas por la prueba de tetrazolio, este trabajo tuvo como objetivo evaluar la viabilidad de las semillas bajo diferentes concentraciones de 2, 3, 5 trifenil cloruro de tetrazolio en las especies: *Cedrela odorata* L. (Cedro), *Cariniana pyriformis* Miers (Abarco), *Bombacopsis quinata* (Jack.) Dugand (Ceiba roja), *Anacardium excelsum* L. (Caracolí) y *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake (Tambor), como información básica para la conservación y monitoreo de la viabilidad óptima del germoplasma de estas importantes especies forestales nativas en el Caribe colombiano. Parte de estos resultados se socializaron en el XLIII Congreso Nacional Anual de la Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal, COMALFI (Espitia *et al.*, 2013).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización

La investigación se llevó a cabo entre julio de 2013 y junio de 2014 en instalaciones del Laboratorio de Fitomejoramiento de la Universidad de Córdoba (Montería, Colombia), ubicada en la zona media del valle del Sinú, a 8°52' de latitud norte y 76°48' longitud oeste respecto al meridiano de Greenwich, a una altura de 13 m.s.n.m. La zona ecológica corresponde al bosque seco tropical con temperatura promedio de 28°C, humedad relativa de 84 % y precipitación anual de 1200 mm (Palencia *et al.*, 2006).

2.2. Material genético

Se utilizó semilla sexual de las especies *C. odorata* (Cedro), *C. pyriformis* (Abarco), *B. quinata* (Ceiba roja), *A. excelsum* (Caracolí) y *S. parahyba* (Tambor) donadas por el banco de germoplasma de la Universidad de Córdoba, las cuales fueron colectadas por los auxiliares y profesionales encargados de su Laboratorio de Fitomejoramiento, durante el primer semestre de 2013, en los municipios de Montería, Tierralta, Planeta Rica, San Antero, Ciénaga de Oro y San Carlos del departamento de Córdoba (Ver Tabla 1.1 del Capítulo 1).

2.3. Procedimiento

Para realizar esta investigación se llevaron a cabo cuatro procedimientos, que consistieron en: a) descripción de la morfología y anatomía de las semillas, b) determinación de los patrones topológicos, c) evaluación de diferentes concentraciones de tetrazolio para medir la viabilidad de las semillas, y d) validación de la prueba de tetrazolio mediante comparación con la prueba de germinación convencional en laboratorio.

a) Descripción de la morfología y anatomía de las semillas. Para cada una de las cinco especies se utilizó una muestra de 100 semillas. Se midieron las variables: ancho, largo, peso e índice de semilla. Así mismo, se identificaron de forma precisa las partes esenciales de las semillas a evaluar en la prueba

tales como embrión, endospermo y radícula. Para ello, se utilizaron las descripciones reportadas por Martin (1946) y Niembro (1986) para semillas de estas especies.

b) Determinación de patrones topológicos. En cada especie se realizó un pre-acondicionamiento (remojo) de las semillas recomendado por el ISTA (2005; 2014), se dejaron las semillas inmersas en agua destilada a temperatura ambiente (entre 25°C y 30°C), para las especies *C. odorata*, *C. pyriformis*, *B. quinata* y *A. excelsum* se utilizó un tiempo de remojo de 24 horas, tiempo que está dentro de los rangos aceptados por el ISTA (2005; 2014) para las especies arbóreas. En el caso de las semillas de *S. parahyba*, las cuales presentan una cubierta muy dura, se lijó la cubierta de la semillas en el extremo distal de los cotiledones tal como lo recomienda el ISTA (2005; 2014) para semillas duras de la familia Fabaceae, para luego ser sumergidas en agua destilada durante 48 horas a temperatura ambiente (entre 25°C y 30°C).

En semillas de *C. odorata* y *S. parahyba* se realizó un corte longitudinal a través del embrión, descartando la mitad de cada semilla y colocando la otra mitad completamente sumergida en la solución de 2, 3, 5 trifenil cloruro de tetrazolio al 1 %. Para las semillas de *C. pyriformis*, *B. quinata* y *A. excelsum*, no se realizaron cortes longitudinales, debido a que, por sus tipos de embriones (axial-foliado-plegado, axial-foliado-doblado, y acumbente, respectivamente), donde el corte provocaba una disgregación de los mismos, lo que dificulta la determinación de su viabilidad; sin embargo, la separación de la cubierta seminal en estas semillas, permitió una total exposición del embrión y de las partes consideradas “esenciales” y de importancia para la prueba de tetrazolio (ISTA, 2005; 2014). Este procedimiento de retiro de la cubierta seminal como parte de la preparación de la semilla antes de la tinción ha sido aplicado en pruebas de tetrazolio en semillas de *Arachis hypogaea* L. (Bittencourt & Vieira, 1999), *Gossypium* sp. (Vieira & Von pinho, 1999), *Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf. (Bhering *et al.*, 2005), y *Gleditschia amorphoides* (Griseb.) Taub. (Fogaça *et al.*, 2006), entre otras.

Posteriormente, para comprobar la viabilidad de las semillas, se realizó la tinción con 2, 3, 5 trifeníl cloruro de tetrazolio mediante inmersión de las semillas en solución al 1 %, con tiempo de tinción de 2 horas, en ausencia de luz y a una temperatura de 40°C, que es la más ajustada teniendo en cuenta los periodos de tinción evaluados (ISTA, 2005; 2014). Luego se lavaron las semillas tres veces con agua destilada para remover el exceso del colorante y se evaluó la viabilidad con la ayuda de un estereoscopio (Vista Visión®) para mejorar la visualización de las estructuras internas.

La evaluación de las semillas se realizó mediante la identificación de tres categorías recomendadas por Rao *et al.* (2007) para la interpretación de patrones de tinción:

Categoría 1. Semillas viables. Son aquellas que presentan:

- ✓ Embrión y el endospermo completamente teñido,
- ✓ Necrosis superficial en la mitad del endospermo, principalmente en las partes alejadas del embrión, y
- ✓ Áreas no teñidas (muertas) en el endospermo, en lugares opuestos a la radícula.

Categoría 2. Semillas no viables. Son aquellas que presentan:

- ✓ Embrión y el endospermo sin teñir (muertas),
- ✓ Embrión sin teñir aunque el endospermo esté teñido,
- ✓ Necrosis aguda en el embrión,
- ✓ Embrión teñido y endospermo sin teñir,
- ✓ Necrosis en la punta de la radícula, y
- ✓ Daños graves en más de la mitad de las partes esenciales de la semilla.

Categoría 3. Semillas dudosas

Semillas parcialmente teñidas producirán plántulas normales o anormales, dependiendo de la intensidad y patrón de la tinción. En esta categoría están

las semillas que presentan menos de la mitad teñida y con partes esenciales sanas.

c) Evaluación de concentraciones de 2, 3, 5 trifenil cloruro de tetrazolio y tiempos de tinción. Se estableció un experimento en un diseño completamente al azar (DCA), con seis tratamientos (Tabla 4.1) y cuatro repeticiones de 25 semillas cada una. Los seis tratamientos se originaron de la combinación de tres concentraciones de tetrazolio (0,5; 1,0 y 1,5 %) y dos tiempos de tinción (2 y 3 horas). La viabilidad fue evaluada mediante el uso de las categorías descritas en los patrones de tinción definidos para cada especie. El remojo, corte y exposición de los embriones en cada tratamiento se realizó de igual forma como fue descrito anteriormente en la determinación de los patrones topológicos. Se evaluó la eficiencia de la tinción de los embriones, basada en la intensidad y la uniformidad del color (Pinto *et al.*, 2009). Para esto se analizaron los tipos de tinciones que caracterizaron cada tratamiento en las semillas de cada especie, los cuales fueron registrados fotográficamente con cámara digital.

Tabla 4.1. Descripción de tratamientos para la evaluación de la viabilidad de semillas de cinco especies forestales nativas mediante el test de tetrazolio.

Tiempos de tinción (Horas)	Concentraciones de 2, 3, 5 Cloruro de tetrazolio (%)		
	0,5%	1,0%	1,5%
2 h	*T1: 0,5% -2h	T3: 1,0% -2h	T5: 1,5% -2h
3 h	T2: 0,5% -3h	T4: 1,0% -3h	T6: 1,5% -3h

*Tratamientos: combinaciones de tiempos y concentraciones.

Los datos obtenidos fueron transformados mediante $(x/100)^{1/2}$ y luego se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Duncan al 5% de probabilidad estadística, mediante el uso del programa computacional GENES versión Windows (2004.2.1), desarrollado por Cruz (2004).

d) Validación del test de tetrazolio. Para medir la confiabilidad del test de tetrazolio, se realizó una prueba de germinación convencional en condiciones de laboratorio. Se utilizaron 100 semillas por especie, con cuatro repeticiones de 25 semillas cada una, en bandeja de aluminio con papel toalla establecidas en cámara de germinación (Dies®) a una temperatura de 28°C, humedad relativa de 80 %, con periodo de luz de 10 h/d, y regadas diariamente de forma uniforme, durante un tiempo de 45 días. Se evaluó la viabilidad de las semillas registrando el número de plántulas sanas emergidas durante el ensayo. Para considerar el porcentaje de semillas viables en la prueba de tetrazolio, se tomó el total de semillas de la categoría “viables”, más la mitad de las semillas de la categoría “dudosas” (Rodríguez & Nieto, 1999). Se comparó el resultado de la prueba de germinación con los seis tratamientos de la prueba de tetrazolio mediante un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Duncan al 5%. La validación de la prueba de tetrazolio para evaluar la calidad de las semillas de las cinco especies forestales se hizo midiendo el nivel de significancia estadística al comparar ambas pruebas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Morfología y anatomía externa e interna de las semillas

Los resultados relacionados con este ítem por su mayor pertinencia, se presentaron en el punto 3.1 (Características morfométricas, anatomía externa e interna de las semillas) de Resultados y Discusión del Capítulo 1 (Características morfométricas, peso y anatomía de las semillas de las cinco especies), por lo tanto no se repetirán aquí.

3.2. Determinación de patrones topológicos

Los patrones de tinción identificados en las semillas están descritos y enumerados por especie y se muestran gráficamente desde la Figura 4.1 hasta la 4.5.

Los patrones de tinción determinados en este estudio guardan relación con los reportados por Rodríguez & Nieto (1999) en investigaciones hechas con las semillas de las especies forestales nativas *Alnus jorullensis* Kunth, (Humbolt, Bonplord & Kunth) *C. piryformis*, *C. odorata*, *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Cham. y *Tabebuia rosea* (Bertol.) D.C. De la misma forma son parecidos a los reportados en otras especies arbóreas, como: *Tabebuia roseoalba* (Abbade & Massanori, 2014); *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Nogueira et al., 2014); *Bumelia obtusifolia* Roem. & Schult. (Nascimento, 2013); *Plinia trunciflora* (Hössel et al., 2013); *Anadenanthera peregrina* (Pinho et al., 2011); *Piptadenia moniliformis* (Azerêdo et al., 2011); *Ceiba speciosa* (Lazarotto, 2011); *Copaifera langsdorffii* & *Schizolobium parahyba* (Fogaça et al., 2011); y *Melanoxylon brauna* (Corte et al., 2010).

Las semillas pueden presentar variaciones en la intensidad de la tinción, debido a que la sustancia roja que se produce en los tejidos es consecuencia de los procesos de reducción que suceden en las células vivas por su interacción con la solución incolora de 2, 3, 5 trifenil cloruro de tetrazolio (TZ) (ISTA, 2005; 2014). El reactivo acepta electrones de la actividad respiratoria de la célula y una deshidrogenasa cataliza la formación de trifenilformazan. Por otra parte, Craviotto et al. (2008) asegura que esto se presenta por la actividad respiratoria de las mitocondrias, lo que indica que el tejido está vivo y como resultado muestra que hay viabilidad celular. Por lo tanto, el color rojo en los embriones, es un indicador positivo de la viabilidad de las semillas.

Las semillas débilmente coloreadas o de coloración rosada en algunas partes del embrión, indican que las células presentan una disminuida actividad respiratoria y, por consiguiente, menor actividad de enzimas deshidrogenasas (Rodríguez et al., 2008; Rao et al., 2007). Así mismo, Rodríguez & Vargas (2012) encontraron que en semillas de *Solanum melongena* L., este tipo de tinción puede dar como resultado plantas anormales.

Finalmente, las partes que no presentan coloración se pueden clasificar como tejidos sin vida (inviabiles) con ausencia de la actividad metabólica en la semilla. De acuerdo con Rodríguez *et al.* (2008), el color blanco identifica tejidos muertos que no presentan la actividad enzimática necesaria para la producción de trifenílformazan (color rojo). Esto ha sido también reportado en los estudios de varias especies arbustivas (Abbade & Massanori, 2014; Nogueira *et al.*, 2014; Bonilla, 2014; Nascimento, 2013; Hössel *et al.*, 2013; Ribeiro-Reis *et al.*, 2012; Brenha *et al.*, 2012; Pinto *et al.*, 2009; Pinho *et al.*, 2011; Azerêdo *et al.*, 2011; Lazarotto, 2011; Fogaça *et al.*, 2011; Corte *et al.*, 2010).

3.3. Evaluación de diferentes concentraciones de tetrazolio y tiempos de tinción para medir la viabilidad de las semillas

La Tabla 4.2 muestra los resultados del análisis de varianza de cada especie en los patrones topológicos viables, inviabiles y dudosas, tomadas como categorías y la Tabla 4.3 presenta los resultados de las pruebas de comparación de medias. En la semilla de *C. pyriformis* los tratamientos no presentaron diferencias significativas en ninguna de las categorías estimadas, evidenciando con esto que las concentraciones de tetrazolio evaluadas y los tiempos de absorción surtieron el mismo efecto en términos de tinción de los tejidos esenciales de la semilla. No obstante, al examinar la calidad de la tinción por tratamiento (Figura 4.6), se puede apreciar una tendencia al aumento de la intensidad del color rojo a medida que aumentan las concentraciones y los tiempos de exposición, sin embargo, estas diferencias cualitativas no son muy marcadas y todas las combinaciones permiten una observación clara y confiable de la tinción en los tejidos esenciales de la semilla, de acuerdo con lo recomendado por Moore (1985), Rodríguez & Nieto (1999) y el ISTA (2005; 2014).

Estos resultados permiten inferir que, usando cualquiera de estos tratamientos, el test de tetrazolio es eficiente y confiable para determinar la viabilidad de las semillas de esta especie, lo cual además, se ratificó con los resultados obtenidos en la prueba de germinación, cuyo porcentaje de

semillas germinadas (85 % - 95 %), no presentó diferencias significativas con los porcentajes de semillas viables estimados mediante los diferentes tratamientos de la prueba bioquímica (Tabla 4.4). No obstante, es posible la utilización de la menor concentración del reactivo (0,5 %) y el menor tiempo (2 horas), lo cual reduciría la cantidad necesaria de la sal de tetrazolio, el tiempo y a su vez los costos de la prueba. Resultados similares con ligeras diferencias han sido reportados en otras especies arbóreas, como: *Ceiba speciosa* (Lazarotto *et al.*, 2011); *Copaifera langsdorffii* & *Schizolobium parahyba* (Fogaça *et al.*, 2011); *Melanoxylon brauna* (Corte *et al.*, 2010); *Ocotea porosa* (Kalil Filho *et al.*, 2008); *Poecilanthe parviflora* (Pinto *et al.*, 2008) y otras especies entre las que se encuentran: *Panicum maximum* Jacq. (Leme & Alves, 2008); *Coffea arabica* (Clemente *et al.*, 2011); *Annona cherimola* Mill. x *A. squamosa* (Gimenez *et al.*, 2014); *Stizolobium aterrimum* (Deminicis *et al.* 2014); *Castor canadensis* L. (De Oliveira *et al.*, 2014); *Crambe marítima* (Guimarães *et al.*, 2015); donde no encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con concentraciones de TZ y tiempos de tinción diferentes.

En las especies *C. odorata*, *B. quinata*, *A. excelsum* y *S. parahyba*, los tratamientos mostraron diferencias significativas y/o altamente significativas en al menos una de las tres categorías evaluadas, lo que indica que los tejidos esenciales de las semillas de estas especies son afectados por las concentraciones de tetrazolio combinadas con los tiempos de tinción. Estos resultados son concordantes con los reportados por Abbade & Massanori (2014) en *Tabebuia roseoalba*; Nogueira *et al.* (2014) en *Enterolobium contortisiliquum*; Bonilla (2014) en *Pinus tropicalis*; Hössel *et al.* (2013) en *Plinia trunciflora*; Ribeiro-Reis *et al.* (2012) en *Gliricidia sepium*; Brenha *et al.* (2012) y Pinto *et al.* (2009) en *Jatropha curcas*; Pinho *et al.* (2011) en *Anadenanthera peregrina*; Azerêdo *et al.* (2011) en *Piptadenia moniliformis*; Victoria *et al.* (2006) en semillas de caléndula (*Calendula officinalis* L.) y eneldo (*Anethum graveolens* L.) y con los de Rodríguez & Vargas (2012) en semillas de berenjena (*Solanum melongena*) al evaluar diferentes concentraciones y tiempos de tinción.

Tabla 4.2. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística para las categorías: viables, inviables y dudosas en semillas de *C. odorata*, *B. quinata*, *A. excelsum*, *S. parahyba* y *C. pyriformis*.

Especie	Fuente	GL	Viables	Inviales	Dudosas
<i>Cariniana pyriformis</i>	Tratamientos	5	56,0ns	73,1ns	34,7ns
	Error	18	54,2	34,7	20,0
	Total	23	54,6	43,0	23,2
	$\bar{X}$		89,0	5,7	5,3
	CV (%)		8,3	103,9	83,9
<i>Cedrela odorata</i>	Tratamientos	5	390,0*	197,5**	193,1ns
	Error	18	118,0	47,3	116,9
	Total	23	177,1	80,0	133,4
	$\bar{X}$		76,5	7,8	15,7
	CV (%)		14,2	87,8	69,0
<i>Bombacopsis quinata</i>	Tratamientos	5	131,9*	165,9**	220,4**
	Error	18	37,1	24,4	45,1
	Total	23	57,7	55,2	83,2
	$\bar{X}$		81,2	5,3	13,5
	CV (%)		7,5	92,7	49,8
Especie	Fuente	GL	Viables	Inviales	Dudosas
<i>Anacardium excelsum</i>	Tratamientos	5	2424,7**	2299,9**	156,8ns
	Error	18	114,9	122,0	75,6
	Total	23	617,0	595,4	93,2
	$\bar{X}$		38,8	31,2	30,0
	CV (%)		27,6	35,4	29,0
<i>Schizolobium parahyba</i>	Tratamientos	5	292,3ns	418,7*	93,9ns
	Error	18	217,3	149,8	69,8
	Total	23	233,6	208,2	75,0
	$\bar{X}$		72,3	13,3	14,3
	CV (%)		20,4	91,8	58,3

$\bar{X}$ = Media; CV = Coeficiente de variación; **Diferencias altamente significativas; *Diferencias significativas; ns = No significativo.

Tabla 4.3. Valores medios de tres categorías asociadas a la calidad de semillas en diferentes concentraciones de tetrazolio y tiempos de tinción en *C. odorata*, *B. quinata*, *A. excelsum*, *C. pyriformis* y *S. parahyba*.

Especie	Tratamientos	Viabiles	Inviabiles	Dudosas
<i>C. pyriformis</i>	[0,5]*+ 2 horas	90,0 a	2,0 a	8,0 a
	[0,5]*+ 3 horas	89,0 a	5,0 a	6,0 a
	[1,0]*+ 2 horas	93,0 a	7,0 a	0,0 b
	[1,0]*+ 3 horas	82,0 a	13,0 a	5,0 a
	[1,5]*+ 2 horas	89,0 a	6,0 a	5,0 a
	[1,5]*+ 3 horas	91,0 a	1,0 a	8,0 a
<i>C. odorata</i>	[0,5]*+ 2 horas	80,0 ab	1,0 b	19,0 a
	[0,5]*+ 3 horas	90,0 a	2,0 b	8,0 a
	[1,0]*+ 2 horas	83,0 ab	11,0 ab	6,0 a
	[1,0]*+ 3 horas	62,0 c	20,0 a	18,0 a
	[1,5]*+ 2 horas	72,0 bc	8,0 b	20,0 a
	[1,5]*+ 3 horas	72,0 bc	5,0 b	23,0 a
<i>B. quinata</i>	[0,5]*+ 2 horas	81,0 b	4,0 b	15,0 abc
	[0,5]*+ 3 horas	91,0 a	2,0 b	7,0 c
	[1,0]*+ 2 horas	75,0 b	0,0 b	25,0 a
	[1,0]*+ 3 horas	77,0 b	18,0 a	5,0 c
	[1,5]*+ 2 horas	79,0 b	3,0 b	18,0 ab
	[1,5]*+ 3 horas	84,0 ab	5,0 b	11,0 bc
<i>A. excelsum</i>	[0,5]*+ 2 horas	1,0 c	72,0 a	27,0 ab
	[0,5]*+ 3 horas	56,0 a	9,0 c	35,0 a
	[1,0]*+ 2 horas	57,0 a	12,0 c	31,0 ab
	[1,0]*+ 3 horas	64,0 a	17,0 c	19,0 b
	[1,5]*+ 2 horas	34,0 b	34,0 b	32,0 ab
	[1,5]*+ 3 horas	21,0 b	43,0 b	36,0 a
<i>S. parahyba</i>	[0,5]*+ 2 horas	72,0 ab	14,0 b	14,0 a
	[0,5]*+ 3 horas	78,0 ab	12,0 b	10,0 a
	[1,0]*+ 2 horas	71,0 ab	6,0 b	23,0 a
	[1,0]*+ 3 horas	74,0 ab	10,0 b	16,0 a
	[1,5]*+ 2 horas	82,0 a	5,0 b	13,0 a
	[1,5]*+ 3 horas	57,0 b	33,0 a	10,0 a

*Concentración de 2, 3, 5 cloruro de tetrazolio (%); Las letras indican diferencias significativas según la prueba de Duncan al 5%.

Los resultados de las pruebas de comparación de medias (Tabla 4.3) y las intensidades de tinción de los embriones (Figuras 4.7 a 4.10) muestran que en la especie *C. odorata*, a partir del tratamiento con concentración de 1 % y tiempo de tinción de 2 horas, se puede evaluar con mayor eficiencia la calidad de sus semillas (Figura 4.7), mientras que en las especies *B. quinata* y *A. excelsum*, la concentración de 1 % con un tiempo de tinción de 3 horas es más eficaz para llevar a cabo la prueba (Figuras 4.8 y 4.9).

Estos tratamientos registran el menor porcentaje de semillas en la categoría dudosas, lo que permite distinguir o separar las semillas viables y no viables, reconociendo claramente tejidos esenciales teñidos e incoloros, respectivamente, lo cual es el propósito fundamental de la prueba de TZ (ISTA, 2014). Se puede apreciar que las tinciones correspondientes a estos tratamientos para cada especie, presentan una coloración óptima, cuya uniformidad e intensidad, están de acuerdo a las recomendaciones de Moore (1985) y Rodríguez & Nieto (1999); además, permiten valorar eficientemente la viabilidad de las semillas a través de esta prueba. Hernández *et al.* (2009), en semillas de mortiño (*Vaccinium meridionale* Sw.) también reportaron que con la concentración de TZ al 1 % se logra una tinción adecuada del embrión. Además, el ISTA (2014) afirma que esta concentración es la más recomendada para realizar la prueba de TZ.

De acuerdo con lo anterior, se puede notar que en las especies *C. odorata* (Figura 4.7), *B. quinata* (Figura 4.8) y *A. excelsum* (Figura 4.9), en la medida que aumenta la concentración del TZ, los embriones se ven afectados con mayor intensidad de color, mostrando una baja tonalidad en los tratamientos con de 0,5 % de tetrazolio, y una coloración muy intensa en los tratamientos con concentración de 1,5 %. Así mismo, en la medida en que aumenta el tiempo de tinción bajo una misma concentración, los colores se tornan más oscuros, lo cual indica que el tiempo de exposición de los tejidos a la sal de TZ influye en la imbibición y en las reacciones de óxido-reducción (Gris *et al.*,

2007). Resultados similares fueron reportados por Rodríguez & Vargas (2012) en semillas de *Solanum melongena*; De Oliveira *et al.* (2014) en semillas de *Ricinus communis* L.; Bonilla (2014) en *Pinus tropicalis*; Nogueira *et al.* (2014) en *Enterolobium contortisiliquum*; Hössel *et al.* (2013) en *Plinia trunciflora*; Pinho *et al.* (2011) en *Anadenanthera peregrina*; Azerêdo *et al.* (2011) en *Piptadenia moniliformis* y Ferreira *et al.* (2004) en *Senna macranthera*, entre otros.

La confiabilidad de usar una concentración de TZ al 1 % durante 2 horas para estimar la viabilidad de las semillas de *C. odorata*, y el uso de esta misma concentración durante 3 horas para las semillas de *B. quinata* y *A. excelsum*, se ratificó mediante las pruebas de germinación, en las cuales los porcentajes estimados no presentaron diferencias significativas con los valorados a través de los tratamientos de la prueba bioquímica (Tabla 4.4).

En las semillas de *S. parahyba*, los resultados del análisis de varianza (Tabla 4.2) solo muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) para la categoría inviables, lo que permite determinar con claridad el efecto de las concentraciones y los tiempos de tinción sobre la evaluación de la calidad de los tejidos esenciales de estas semillas. Sin embargo, al evaluar las tinciones en cada tratamiento (Figura 4.10), se puede ver claramente que la uniformidad e intensidad de las coloraciones cambian notoriamente de un tratamiento a otro, mostrando una tinción óptima cuando se utiliza una concentración de 0,5 % de TZ durante dos horas. Luego, es evidente que a medida que aumentan las concentraciones y los tiempos de tinción, se reducen proporcionalmente la calidad y la intensidad de las coloraciones, haciendo cada vez más difícil la interpretación de la prueba. Al respecto, Bhering *et al.* (2005) y Barros *et al.* (2005) indican que algunos tejidos vigorosos cuando son sometidos a altas concentraciones, en vez de registrar un color rojo intenso acusan una coloración rojo tenue o claro. Por otra parte, Pinto *et al.* (2009) en *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.), y Oliveira *et al.* (2009) en ricino (*Ricinus communis* L.) también encontraron

que la concentración de 0,5 % lleva a una mayor uniformidad en la tinción de los tejidos de las semillas de estas especies.

Mediante la comparación de este tratamiento con la prueba de germinación (Tabla 4.4), se puede inferir con certeza que para medir la viabilidad de estas semillas de forma rápida y confiable, es suficiente utilizar una concentración de 0,5 % de cloruro de tetrazolio durante un tiempo de tinción de 2 horas. Otras investigaciones con semillas de la familia Fabaceae indican que en concentraciones más bajas de la sal, los resultados de la evaluación de la viabilidad parecen tener mayores correlaciones con la prueba de germinación, tal como se observa para las semillas de *Pterodon pubescens* (Benth.) Benth. (Ferreira *et al.*, 2001), *Senna multijuga* (Rich.) H.S. Irwin & Barneby y *Senna macranthera* (DC. ex Collad.) H.S. Irwin & Barneby (Ferreira *et al.*, 2004).

Tabla 4.4. Valores medios de germinación y de viabilidad con diferentes concentraciones de tetrazolio en cinco especies forestales nativas.

TRAT	Viabilidad (%)				
	<i>Cariniana pyriformis</i>	<i>Cedrela odorata</i>	<i>Bombacopsis quinata</i>	<i>Anacardium excelsum</i>	<i>Schizolobium parahyba</i>
PG	89 a	82 b	74 b	81 a	76 a
[0,5%]- 2h	94 a	90 a	88 a	15 c	79 a
[0,5%]- 3h	92 a	94 a	94 a	74 a	83 a
[1,0%]- 2h	93 a	86 b	87 a	73 a	82 a
[1,0%]- 3h	85 a	71 c	79 b	74 a	82 a
[1,5%]- 2h	92 a	82 b	88 a	50 b	88 a
[1,5%]- 3h	95 a	84 b	89 a	39 bc	62 b
Pr>F	ns	*	*	*	ns
CV (%)	10,7	8,3	11,8	14,6	11,7

TRAT: Tratamientos; PG= Prueba de germinación; CV: coeficiente de variación; ns: no significativo; Medias identificadas con la misma letra no difieren estadísticamente, según la prueba de Tukey al 5%. Pr>F: P= nivel (de significancia) más bajo en el que el valor observado de la estadística de prueba es significativo; *: significativo al 5%.

Finalmente, la similitud en los resultados de la prueba de viabilidad con tetrazolio y la de germinación detectada en este estudio en las cinco especies

estudiadas, indica que la primera permite estimar la viabilidad de las semillas de forma segura, rápida y económica, ya que las diferencias en los resultados de ambas pruebas, estadísticamente se deben al azar y están dentro del rango admitido y reportado para otras especies forestales, arbóreas y agrícolas (Guimarães *et al.*, 2015; Abbade & Massanori, 2014; Gimenez *et al.*, 2014; Deminicis *et al.*, 2014; De Oliveira *et al.*, 2014; Nogueira *et al.*, 2014; Bonilla, 2014; Nascimento, 2013; Hössel *et al.*, 2013; Ribeiro-Reis *et al.*, 2012; Brenha *et al.*, 2012; Clemente *et al.*, 2011; Pinho *et al.*, 2011; Azerêdo *et al.*, 2011; Lazarotto *et al.*, 2011; Fogaça *et al.*, 2011; Corte *et al.*, 2010; Ruiz, 2009; Pinto *et al.*, 2009; Kalil Filho *et al.*, 2008; Pinto *et al.*, 2008).

Estos resultados constituyen un aporte importante al proceso de certificación de las semillas de las cinco especies estudiadas. Igualmente, su uso contribuye a agilizar decisiones de compra, venta, beneficio, conservación, almacenamiento o descarte de semillas en tales especies. Adicionalmente, es de resaltar, como lo han propuesto varios autores (Guimarães *et al.*, 2015; Gimenez *et al.*, 2014; Deminicis *et al.*, 2014; De Oliveira *et al.*, 2014; Bonilla, 2014; Pinho *et al.*, 2011; Gaspar *et al.*, 2010; Ruiz, 2009; Ferreira *et al.*, 2004; Moore, 1985), que esta prueba puede utilizarse también para estimar el vigor de las semillas, dada la relación directa entre el vigor y la intensidad y distribución de la tinción en sus estructuras vitales. No obstante, la selección de la concentración de tetrazolio y el tiempo de tinción de las semillas en esta prueba debe realizarse siempre en concordancia con la facilidad y seguridad para diferenciar las semillas viables de las inviables (Pinho *et al.*, 2011; Ruiz, 2009).

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los patrones de tinción identificados en el test de tetrazolio permiten evaluar eficientemente la viabilidad de las semillas en las cinco especies forestales nativas estudiadas, con algunas ligeras diferencias en la concentración de tetrazolio y tiempo de tinción.

Para estimar la viabilidad de las semillas de *C. pyriformis* es suficiente utilizar una concentración de 0,5 % de TZ en un tiempo de 2 horas; para *B. quinata* y *A. excelsum*, una concentración del 1,0 %, durante un tiempo de tinción de 3 horas, y para *C. odorata*, una concentración de 1,0 %, durante un tiempo de tinción de 2 horas.

Para evaluar la viabilidad de las semillas de *S. parahyba* a través de la prueba de tetrazolio es necesario escarificar la cubierta seminal de las semillas en el extremo distal de los cotiledones, luego dejar en remojo durante 48 horas y retirar toda la cubierta de la semilla, y usar una concentración de 0,5 % de la sal durante un tiempo de tinción de 2 horas.

Las pruebas de tetrazolio y de germinación convencional no presentaron diferencias significativas en las cinco especies y garantiza la confiabilidad de la prueba bioquímica para medir la calidad fisiológica de las semillas estudiadas.

El test de tetrazolio se puede recomendar como alternativa de la prueba de germinación convencional para evaluar la viabilidad de las semillas de las cinco especies estudiadas, lo que permite obtener resultados de forma rápida, minimizar el número de semillas necesarias para el análisis y tomar decisiones oportunas en bancos de germoplasma.

Clase	Viabilidad	Descripción	Fotografía	Esquema
1	Viabiles	Semillas con tinción total y uniforme		
2	Viabiles	Semillas con tinción en más del 80 % de la radícula y el embrión		
3	Dudosas	Semillas teñidas en más del 50 % de los cotiledones y tinción rosada en el 50 % de la radícula		
4	Inviabiles	Semillas sin tinción, debido a tejidos muertos		

Figura 4.1. Patrones topológicos interpretados en el test de tetrazolio en semillas de *Cedrela odorata*.

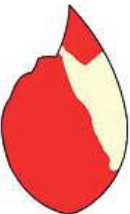
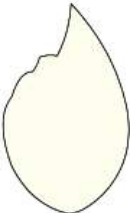
Clase	Viabilidad	Descripción	Fotografía	Esquema
1	Viabiles	Semillas con tinción total y uniforme		
2	Viabiles	Semillas con tinción en más del 50 % de la radícula y con cotiledones totalmente teñidos		
3	Dudosas	Semillas con más del 50 % de la radícula teñida y cotiledones parcialmente teñidos		
4	Inviabiles	Semillas sin tinción, debido a tejido muerto		

Figura 4.2. Patrones topológicos interpretados en el test de tetrazolio en semillas de *Cariniana pyriformis*.

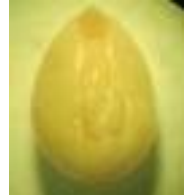
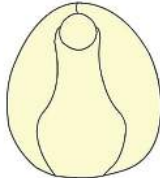
Clase	Viabilidad	Descripción	Fotografía	Esquema
1	Viables	Semillas con tinción total y uniforme		
2	Dudosas	Semillas con tinción en menos del 50% de la radícula y con tinción parcial de los cotiledones		
3	Inviabiles	Semillas sin tinción		

Figura 4.3. Patrones topológicos interpretados en el test de tetrazolio en semillas de *Bombacopsis quinata*.

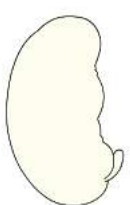
Clase	Viabilidad	Descripción	Fotografía	Esquema
1	Viables	Semillas con tinción total y uniforme		
2	Dudosas	Semillas con tinción en más del 50 % de la radícula y con tinción parcial de los cotiledones		
3	Inviabiles	Semillas sin tinción		

Figura 4.4. Patrones topológicos interpretados en el test de tetrazolio en semillas de *Anacardium excelsum*.

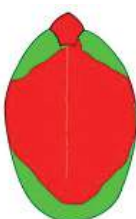
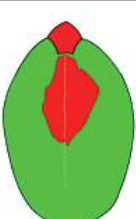
Clase	Viabilidad	Descripción	Fotografía	Esquema
1	Viables	Semillas con tinción total y uniforme		
2	Viables	Semillas con radícula teñida totalmente y cotiledones teñidos en más del 50 %		
3	Dudosas	Semillas con tinción total o mayor del 50 % de la radícula y con cotiledones teñidos en menos del 50 %		
4	Inviabiles	Semillas sin tinción		

Figura 4.5. Patrones topológicos interpretados en el test de tetrazolio en semillas de *Schizolobium parahyba*.

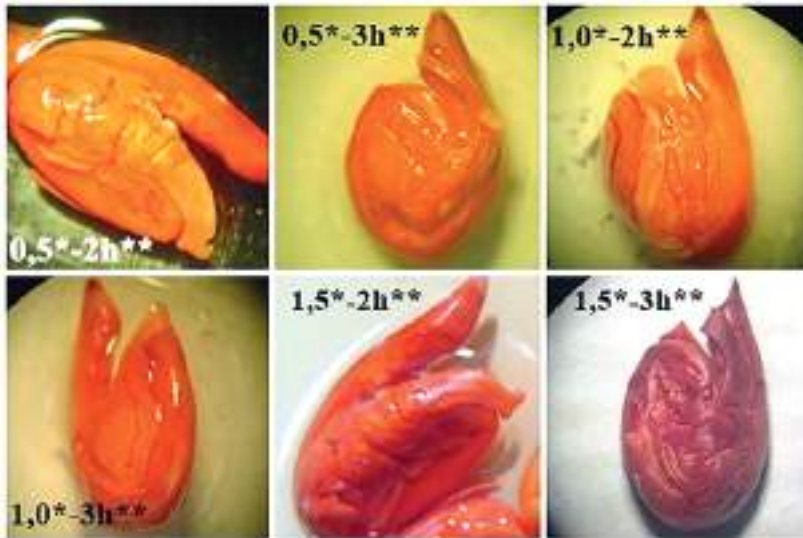


Figura 4.6. Semillas de *C. pyriformis* sometidas a la prueba de tetrazolio; *concentración de tetrazolio en %; **tiempo de tinción en horas.

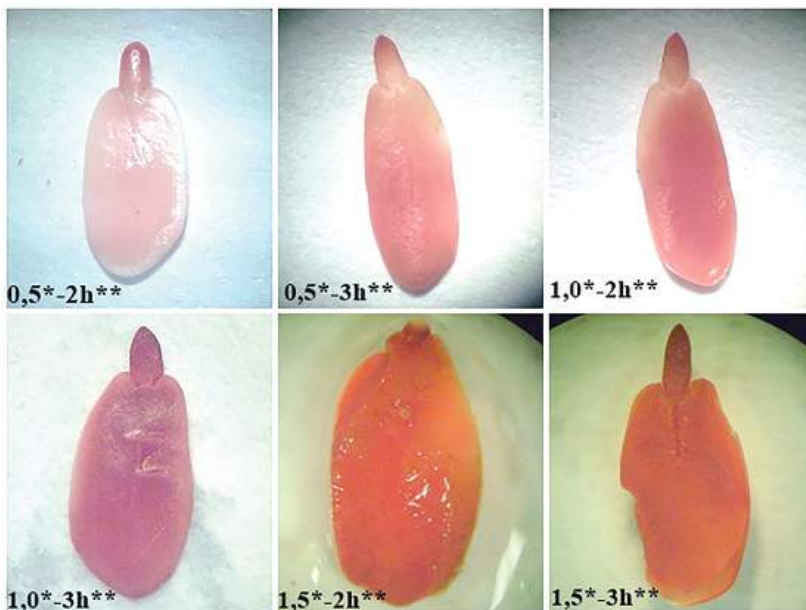


Figura 4.7. Semillas de *C. odorata* sometidos a la prueba de tetrazolio; *concentración de tetrazolio en %; **tiempo de tinción en horas.

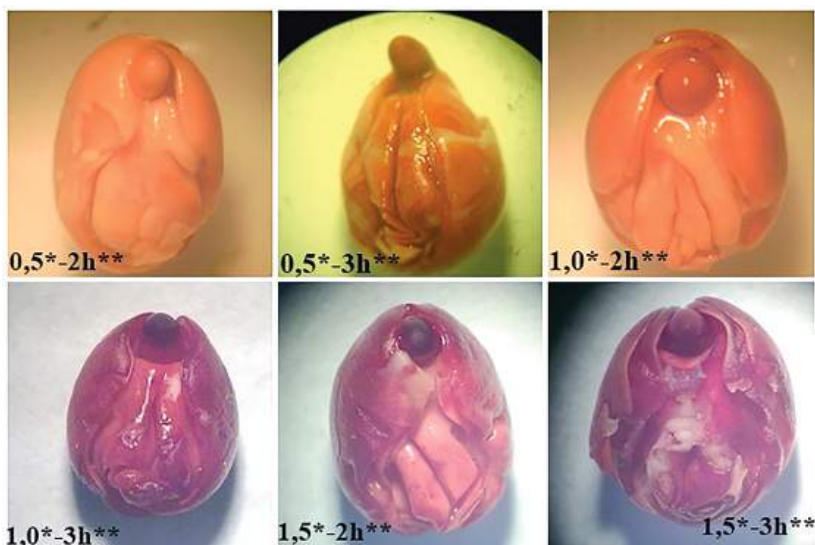


Figura 4.8. Semillas de *B. quinata* sometidas a la prueba de tetrazolio; *concentración de tetrazolio en %; **tiempo de tinción en horas.



Figura 4.9. Semillas de *A. excelsum* sometidas a la prueba de tetrazolio; *concentración de tetrazolio en %; **tiempo de tinción en horas.

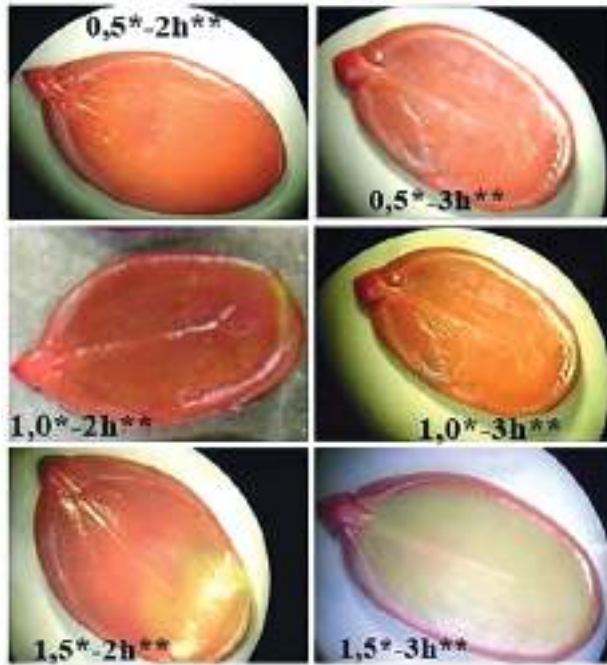


Figura 4.10. Semillas de *S. parahyba* sometidas a la prueba de tetrazolio; *concentración de tetrazolio en %; **tiempo de tinción en horas.

5. REFERENCIAS

- Abbade, L. & Massanori, T. (2014). Teste de tetrazólio para avaliação da qualidade de sementes de *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith-Bignoniaceae, submetidas ao Armazenamento. *Revista Árvore*, 38(2): 233-240.
- Araméndiz, H., Cardona, C., Jarma, A., Robles J. & Montalván, R. (2007). Efectos del almacenamiento en la calidad fisiológica de la semilla de berenjena (*Solanum melongena* L.). *Agronomía Colombiana*, 25(1): 104-112.
- Azerêdo, G.A., Paula, R.C. & Valeri, S.V. (2011). Viabilidade de sementes de *Piptaderia moniliformis* Benth. pelo teste de tetrazólio. *Revista Brasileira de Sementes*, 33(1): 061-068.
- Barros, D., Dias, D., Bhering, M., Dias, L. & Arajo, E. (2005). Uso do teste de tetrazolium pára avaliação da qualidade fisiológica de sementes de abobrina (*Cucurbita pepo* L.). *Revista Brasileira de Sementes*, 27(2): 165-172.
- Bhering, M.M., Dias, D.C.F.S. & Barros, D.I. (2005). Adequação da metodologia do teste de tetrazólio para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de melancia. *Revista Brasileira de Sementes*, 27(1): 176-182.
- Bittencourt, S.R.M. de & Vieira, R.D. (1999). Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de amendoim. In F.C. Krzyzanowski, R.D. Vieira & J.B. França Neto, *Vigor de sementes: conceitos e testes* (pp. 2.1-2.8). Londrina: Abrates. Cap. 8.
- Bonilla, V.M. (2014). Variación del peso y viabilidad de las semillas de *Pinus tropicalis* para diferentes procedencias. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 2(1): 1-10.
- Brenha, J., De Oliveira, N., Cândido, A., Godoy, A. & Alves, C. (2012). Teste de tetrazólio em sementes de pinhão manso. *Visão Acadêmica*, 13(4): 63-79.
- CFC-Cadena Forestal de Córdoba (2011). Acuerdo regional de competitividad: Cadena forestal madera, muebles y productos de madera del departamento de Córdoba 2011-2030 (Texto y matriz del acuerdo).

- Clemente, A., De Carvalho, M., Guimarães, R. & Zeviani, W. (2011). Preparo das sementes de Café para avaliação da viabilidade pelo teste de tetrazólio. *Revista Brasileira de Sementes*, 33(1): 038-044.
- Correa, E. (2012). *Estandarización del procesamiento de semillas para conservación de germoplasma de tres especies forestales en Córdoba*. (Tesis Maestría), Universidad de Córdoba, Montería.
- Corte, V.B., Borges, E.E.L. & Pereira, B.L.C. (2010). Adequação da metodologia do teste de tetrazólio para avaliação da viabilidade de sementes de *Melanoxylon brauna* Schot. *Cerne, Lavras*, 16(3): 415-421.
- Craviotto, M., Arango, M. & Gallo, C. (2008). *Topographic tetrazolium test for soybean*. <http://pablesky.zeus.urltemporal.com/descargaltem.php?item=postcosecha/data/pdfs/downloads/topographicTetrazoliumTestForSoybean.pdf> (Consultado: May/8/2011). Argentina.
- Cruz, C. (2004). *Programa genes. Versão Windows. Aplicativo computacional em genética e estatística*. Universidade Federal de Viçosa. Disponible desde Internet em: <http://www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm> (consultado: Jul. 05/2007).
- De Oliveira, L.M., Caldeira, C.M., De Souza, A., Moreira, M.L. & Da Silva, C.D. (2014). An alternative procedure for evaluating the quality of castor seeds by the tetrazolium test. *African Journal of Agricultural Research*, 9(35): 2664-2668.
- Deminicis, B.B., Rodrigues, P.D.R., Faria, B.P., Vieira, H.D., Pandolfi-Filho, H.D. & Freitas, G.S. (2014). Tetrazolium Test to Evaluate *Stizolobium aterrimum* Seeds Quality. *American Journal of Plant Sciences*, 5(1): 148-152.
- Espitia, M., Castillo, C. & Montiel, J. (2013). Viabilidad de semillas con tetrazolio en seis especies forestales nativas en Córdoba (Colombia). Ponencia. ISSN 2248-6674. XLIII Congreso Anual de COMALFI (Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal). Hotel Caribe - Cartagena (Bolívar) 25, 26 y 27/Septiembre/2013. 133p.
- Ferreira, R. A., Vieira, M.G.G.C., Von Pinho, E.V.R. & Tonetti, O.A.O. (2001). Morfologia da semente e de plântulas e avaliação da viabilidade da semente de sucupira-branca (*Pterodon pubescens* Benth. - Fabaceae) pelo teste de tetrazólio. *Revista Brasileira de Sementes*, 23(1): 108-115.

- Ferreira, R.A., Davide, A.C. & Motta, M.S. (2004). Vigor e viabilidade de sementes de *Senna multijuga* (Rich.) Irwin et Barn. e *Senna macranthera* (Collad.) Irwin et Barn., num banco de sementes em solo de viveiro. *Revista Brasileira de Sementes*, 26(1): 24-31.
- Fogaça, C.A., Krohn, N.G., Souza, M.A. & Paula, R.C. (2011). Teste de tetrazólio em sementes de *Copaifera langsdorffii* e *Schizolobium parahyba*. *Floresta, Curitiba*, 41(4): 895-904.
- Fogaça, C.A., Zucareli, C., Malavasi, M.M., Zucareli, C. & Malavasi, U.C. (2006). Aplicação do teste de tetrazólio em sementes de *Gleditschia amorphoides* Taub. Caesalpinaceae. *Revista Brasileira de Sementes*, 28(3): 101-107.
- Gaspar, C., Martins, C. & Nakagawa, J. (2009). Método de preparo das sementes de mamoneira (*Ricinus communis* L.) para o teste de tetrazólio. *Revista Brasileira de Sementes*, 31(1): 160-167.
- Gaspar, C., Martins, C. & Nakagawa, J. (2010). Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de mamoneira (*Ricinus communis* L.) pelo teste de tetrazólio. *Revista Brasileira de Sementes*, 32(1): 186-196.
- Gimenez, J., Ferreira, G. & Cavariani, C. (2014). Teste de tetrazólio para a avaliação da viabilidade de sementes de atemoia (*Annona cherimola* Mill. x *A. squamosa* L.). *Journal of Seed Science*, 36(3): 357-361.
- Gris, C.F., Carvalho, M.L.M. de & Oliveira, A. Dos S. (2007). Adequação do teste de tetrazólio para avaliação da qualidade fisiológica em sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). <http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso>. (Consultado: Dic. 14/2013).
- Guimarães, R.R., Leão, L., Nery, M.C., De Souza, A.R., Cruz, S.M. & De Resende, P.C.A. (2015). Tetrazolium test in crambe seeds. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(4): 2539-2544.
- Hernández, M., Lobo, M., Medina, C., Cartagena, R. & Delgado, O. (2009). Comportamiento de la germinación y categorización de la latencia en semillas de mortiño (*Vaccinium meridionale* Swartz). *Revista Agronomía Colombiana*, 27(1): 15-23.
- Herrera, CH.G. (2002). Semillas de Calidad: El éxito en la Reforestación. *Revista El Mueble y la Madera*, (36): 7-12. <http://www.revista-mm.com/ediciones/rev36/semillas.htm>. (Consultado: Octubre/18/2012).

- Hong, T.D. & Ellis, R.H. (1996). A protocol to determine seed storage behaviour. *IPGRI Technical Bulletin* No. 1. (J.M.M. Engels and J. Toll, Vol. eds.) International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- Hössel, C., De Oliveira, J., Fabiane, Júnior, A. & Citadin, I. (2013). Conservação e teste de tetrazólio em sementes de jabuticabeira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(1): 255-261.
- ISTA-International Seed Testing Association (2005). International Rules for Seed Testing. 2005. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Suíza.
- ISTA-International Seed Testing Association (2014). International Rules for Seed Testing 2014. The International Seed Testing Association, Bassersdorf, Suíza.
- Kalil Filho, A.N., Lopes, A.J., Rêgo, G.M. & Tomachitz, A. (2008). Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de imbuia pelo teste do tetrazólio. *Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo*, v. único, 57(1): 69-72.
- Lazarotto, M., Piveta, G., Muniz, M. & Reiniger, L. (2011). Adequação do teste de tetrazólio para avaliação da qualidade de sementes de *Ceiba speciosa*. *Semina: Ciências Agrárias*, 32(4): 1243-1250.
- Leme, M. & Alves, S. (2008). Avaliação da viabilidades de sementes de *Panicum maximum* Jacq pelo teste de tetrazólio. *Revista Brasileira de Sementes*, 30(3): 152-158.
- MADR-Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2008). Antecedentes convocatorias Ciencia y Tecnología. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR. <http://sigp.minagricultura.gov.co/portal/antecedentes.jsp> (Consultado: May/8/2009).
- Martin, A. (1946). The comparative internal morphology of seeds. *The American Midland Naturalist*, 36: 513-660.
- Moore, R.P. (1985). *Handbook on tetrazolium testing*. Zürich: ISTA.
- Nascimento, I. (2013). Determinação de metodologias para teste de germinação e vigor de sementes de quixabeira (*Bumelia obtusifolia* Roem et schult. var. excelsa (DC) Mig.). *Revista Árvore*, 37(4): 701-706.

- Niembro, A. (1982). *Cedrela odorata* L. En J.A. Vozzo (Ed), *Manual de semillas de árboles tropicales* (pp.375-378). Missouri: USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Niembro, A. (1986). *Semillas de árboles y arbustos, ontogenia y estructura*. Chapingo: Limusa.
- Nieto, V. (2004). Las Diez Especies TOP para Investigación y Desarrollo Forestal. *Revista El Mueble y la Madera*, (46): 11-17. <http://www.revista-mm.com/ediciones/rev46/especies2.pdf>. (Consultado: Octubre/18/2012).
- Nogueira, N.W., Barros, S.T. & Oliveira, R.M. (2014). Tetrazolium test in timbaúba seeds. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(6): 2967-2976.
- Oliveira, C.M., Martins, C.C. & Nakagawa, J. (2009). Método de preparo das sementes de mamoneira (*Ricinus communis* L.) para o teste de tetrazólio. *Revista Brasileira de Sementes*, 31(1): 160-167.
- Palencia G., Mercado T. & Combatt, E. (2006). *Estudio agroclimático del departamento de Córdoba*. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba.
- Piedrahita, E. (2008). *Semillas y viveros forestales*. Impreso Universitario. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Pinho, D.S., De Lima, E.E., Vilela, A.P. & Borges, V.C. (2011). Adequação da metodologia do teste de tetrazólio para avaliação da viabilidade de sementes de angico. *Pesq. Flor. Bras.*, 31(67): 269-272.
- Pinto, T.L.F., Brancalion, P.H.S., Novembre, A.D.L.C.N., Cicero, S.M. (2008). Avaliação da viabilidade de sementes de coração-de-negro (*Poecilanthe parviflora* Benth. - Fabaceae-Faboideae) pelo teste de tetrazólio. *Revista Brasileira de Sementes, Londrina*, 30(1): 208-214.
- Pinto, T.L.F., Filho, J.M., Forti, V.A., De Carvalho, C., & Gomes, F.G. (2009). Avaliação da viabilidade de sementes de pinhão manso pelos testes de tetrazólio e de raios X. *Revista Brasileira de Sementes*, 31(2): 195-201.
- Rao, N.K., Hanson, J., Dulloo, M.E., Ghosh, K., Novell, D. & Larinde, M. (2007). *Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. Manuales para Bancos de Germoplasma No. 8*. Roma, Italia: Bioversity International.

- Ribeiro-Reis, R., Pelacani, C., Antunes, C., Dantas, B. & De Castro, R. (2012). Physiological quality of *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. (Leguminosae - Papilionoideae) seeds subjected to different storage conditions. *Revista Árvore*, 36(2): 229-235.
- Rincón, M. (2009). *El sector forestal en Córdoba: Cadena productiva forestal madera y muebles departamento de Córdoba*. Informe Cadena Forestal de Córdoba, febrero de 2009, C.I. Turipaná, CORPOICA, Cereté, Córdoba.
- Rodríguez, J. (2000). *Protocolos de germinación para la certificación de semillas forestales*. CONIF. Serie técnica No. 46.
- Rodríguez, H. & Vargas, Y. (2012). *Evaluación de diferentes concentraciones de 2, 3, 5 cloruro de tetrazolio para medir viabilidad de semillas en Berenjena (Solanum melongena L.)*. (Tesis Ingeniero Agrónomo), Universidad de Córdoba, Montería.
- Rodríguez, I., Adam, G. & Durán, S. (2008). Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor en semillas. *Agricultura: Revista agropecuaria*, 912: 836-842.
- Rodríguez, J. & Nieto, V. (1999). *Investigación en semillas forestales nativas*. Bogotá: CONIF.
- Ruiz, M.D.L.A. (2009). *El análisis de tetrazolio en el control de calidad de semillas. Caso de estudio: cebadilla chaqueña*. Argentina: Talleres gráficos de la E.E.A. INTA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas".
- Trujillo, E. (2013). *Guía de reforestación*. Tercera edición. Bogotá, Colombia: DAYBERMEDIOS Preparación Editorial.
- Victoria, J., Bonilla, C. & Sánchez, M. (2006). Viabilidad en tetrazolio de semillas de caléndula y eneldo. *Acta Agronómica*, 55(1): 31-41.
- Vieira, M.G.G.C. & Von Pinho, E.V.R. (1999). Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de algodão. In F.C. Krzyzanowski, R.D. Vieira & J.B. França Neto, *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: Abrates.

Capítulo 5

PARÁMETROS DE GERMINACIÓN DE SEMILLAS EN LABORATORIO Y CASA MALLA DE CINCO ESPECIES FORESTALES NATIVAS

1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de las especies forestales del trópico se propaga mediante semilla sexual, su calidad fisiológica y genética influye de manera significativa en el éxito de la producción y productividad de las plantaciones. La poca información disponible además del uso de diferentes métodos para el procesamiento de las semillas de especies forestales tropicales, pone de manifiesto la necesidad de estandarizar estos procesos para su uso y conservación sostenible; ya sea, para su disposición en el establecimiento de plantaciones comerciales, reforestaciones (cuencas y bosques naturales) o para la conservación *ex situ* a corto, mediano y largo plazo en bancos de germoplasma (Correa *et al.*, 2013; Correa, 2012; Murillo *et al.*, 2012).

Las empresas reforestadoras, viveristas y bancos de germoplasma requieren información segura, confiable y de calidad sobre manejo en vivero y conservación de las semillas de especies forestales, especialmente en aspectos morfológicos, fisiológicos y ecológicos asociados a la germinación, de tal forma que permitan la propagación masiva del material vegetal en condiciones deseadas y oportunas (Piedrahita, 2008). Muchas especies forestales germinan en poco tiempo después de ser sometidas a condiciones

favorables de humedad, luz y temperatura, mientras que otras requieren y exigen algún tipo de tratamiento pre-germinativo, sobre todo las especies nativas menos domesticadas. Es imprescindible el conocimiento de tales aspectos relacionados con las semillas, ya que en teoría probablemente solo las semillas que germinan con rapidez y vigor en condiciones favorables de laboratorio, casa malla y/o invernadero, serán capaces de producir plántulas vigorosas en condiciones de vivero y/o campo (Rivera-Martin *et al.*, 2013; Piedrahita, 2008).

El estudio de la morfología y germinación de las semillas y las plántulas de especies agrícolas y forestales ha sido de gran importancia para definir su calidad, multiplicación, establecimiento y regeneración natural. El conocimiento e interpretación de los diferentes parámetros biométricos de la semilla, la germinación y las plántulas, es clave para la comprensión de la autoecología, colecta, conservación, manejo, uso sostenible y el desarrollo de prácticas silviculturales de las especies (Poorter & Rose, 2005).

Sin embargo, la literatura reportada a nivel de semillas forestales nativas en Córdoba y Colombia no es muy prolífica en estos aspectos. Por lo anterior, el conocimiento de los caracteres morfológicos y los parámetros de la germinación de semillas, sobre todo de las especies forestales nativas de interés, las cuales han sido poco investigadas, es de fundamental importancia, para el logro eficaz y eficiente de los objetivos en los programas de mejoramiento genético de las especies promisorias (Espitia *et al.*, 2014; Espitia & Araméndiz, 2013).

En la producción de semillas forestales, los factores biológicos y ambientales interfieren en la definición de las características morfométricas, obtención, calidad genética y fisiológica deseable de las semillas. El conocimiento de las dimensiones y la calidad fisiológica de las semillas en laboratorio, invernadero o casa malla a través de las pruebas de germinación, es indispensable para

los trabajos exitosos en viveros, silvicultura, mejoramiento y conservación genética (Hoppe *et al.*, 2004). La calidad fisiológica en lotes de semillas generalmente es determinada por la germinación; al respecto, Copeland & McDonald (2001) argumentan que la sola estimación del porcentaje de germinación resulta deficiente para discriminar lotes de semilla en relación con la rapidez y uniformidad de la germinación, por ello autores como Czabator (1962), Maguire (1962), Matthews (1981) y Perry (1984) anotan que además del porcentaje de germinación otros parámetros como el índice de velocidad de germinación (IVG), germinación diaria media (GDM), valor pico de la germinación (VP), valor de germinación (VG), vigor y la energía germinativa, entre otros, son importantes para la cuantificación de la calidad fisiológica de las semillas.

Varias investigaciones han reportado diferencias significativas en parámetros morfológicos y de calidad fisiológica en diferentes especies, lotes familiares de una misma especie o procedencias de semillas en especies forestales, como: *Argania spinosa* (L.) Skeels (Zohra *et al.*, 2014); *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (Barboza-Nogueira *et al.*, 2014); *Poa* sp. (Armaki, 2014); *Bromus* sp. (Armaki *et al.*, 2013); *Tectona grandis* L.F. (Correa *et al.*, 2013; Rocha *et al.*, 2011; Costa *et al.*, 2009; Vieira *et al.*, 2009; Indira *et al.*, 2000); *Punica granatum* L. (Gokturk *et al.*, 2012); *Pachira aquatica* Aubl. (Silva *et al.*, 2012); *Acacia mangium* Willd., *Tectona grandis* y *Gmelina arborea* Roxb. (Correa, 2012); *Triplaris surinamensis* Cham. (Ferreira *et al.*, 2012); *Bauhinia thonningii* Schumach. (Mwase & Mvula, 2011); *Quercus rugosa* Née (Huerta-Paniagua & Rodríguez-Trejo, 2011); cinco especies maderables del Tibet (Wang *et al.*, 2010); *Cotinus coggygia* Scop. (Olmez *et al.*, 2009); *Cecropia obtusifolia* Bertol. (Tenorio-Galindo *et al.*, 2008); *Pinus teocote* Schltdl. & Cham. (Alba-Landa *et al.*, 2007); *Swietenia macrophylla* King (Niembro *et al.*, 2007; Niembro & Ramírez-Gracia, 2006; De la Cruz & Mendizábal-Hernández, 2004); *Albizia lebbbeck* (L.) Benth. (Rego *et al.*, 2005); *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg. (Costa *et al.*, 2005); *Zizyphus mistol* Griseb. (Aráoz *et*

al., 2004); *Cedrela odorata* L. (Rodríguez-Rivas *et al.*, 2001); *Cedrela odorata*, *Tabebuia rosea* (Bertol.) D.C., *Alnus acuminata* H.B.K. y *Cupressus lusitanica* Mill. (Álvarez, 1999). Estas características presentan variaciones entre y dentro de las fuentes parentales, las cuales están determinadas tanto por su componente genético y vigor, como por las condiciones climáticas y edáficas de los sitios de crecimiento, así como por la presencia de plagas y enfermedades (Snook *et al.*, 2005; Willan, 1991).

En este sentido, otros autores (Kani *et al.*, 2010; Alba-Landa *et al.*, 2007; Padua, 2004) señalan que el conocimiento de las características y calidad integral de las semillas y plántulas es uno de los principales factores para lograr el éxito en los procesos de silvicultura modernos en ambientes diferentes y/o como conocimiento básico para tomar decisiones en programas de mejoramiento genético forestal.

En Córdoba (Colombia) se desconoce la respuesta y diferencia entre los parámetros fisiológicos de la germinación de las semillas de especies forestales nativas, cuando las pruebas de germinación se realizan en laboratorio (cámara germinativa) comparadas con las mismas en casa malla.

El presente estudio tuvo como objetivo principal estimar y comparar cinco parámetros fisiológicos de la germinación de las semillas: porcentaje de germinación acumulado (PG), índice de velocidad de germinación (IVG), germinación diaria media (GDM), valor pico de la germinación (VP) y valor de germinación (VG) en condiciones de laboratorio (cámaras germinativas) y casa malla, para cinco especies forestales nativas de Córdoba (Colombia): *Cedrela odorata* L. (Cedro), *Cariniana pyriformis* Miers (Abarco), *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand (Ceiba roja), *Anacardium excelsum* (Bertero & Balb. ex Kunth) Skeels (Caracolí) y *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (Tambor), como información básica para ser usada en el manejo de viveros, en programas de

mejoramiento genético y en los procesos de conservación *ex situ* óptima del germoplasma de estas especies forestales nativas priorizadas en el Caribe colombiano. Parte de estos resultados se socializaron en el XLIV Congreso Anual de la Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal, COMALFI (Espitia *et al.*, 2014).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización

El estudio se adelantó entre abril/2013 y julio/2014 en la casa malla y el laboratorio (cámara germinativa) de Fitomejoramiento de la Universidad de Córdoba (Montería, Colombia), ubicada en la zona media del valle del Sinú, a 8°52' de latitud norte y 76°48' longitud oeste respecto al meridiano de Greenwich, a una altura de 13 msnm. La zona ecológica corresponde al bosque seco tropical con temperatura promedio de 28°C, humedad relativa de 84 % y precipitación anual de 1.200 mm (Palencia *et al.*, 2006).

2.2. Material genético

Se evaluó un compuesto balanceado de 500 semillas/familia de 15 lotes familiares de semilla sexual de libre polinización de sendos árboles seleccionados en diferentes plantaciones del departamento de Córdoba (Colombia), en cada una de las cinco especies: *C. odorata* (Cedro), *C. pyriformis* (Abarco), *B. quinata* (Ceiba roja), *A. excelsum* (Caracolí) y *S. parahyba* (Tambor). Debido a que las especies en estudio son consideradas alógamas o prevalentemente alógamas (Niembro, 1988; Trujillo, 2013), cada compuesto balanceado de semilla en cada especie se asumió como una mezcla de familias de medios hermanos. Las semillas fueron suministradas por la Universidad de Córdoba, las cuales fueron colectadas por los auxiliares y profesionales encargados del banco de germoplasma del Laboratorio de Fitomejoramiento de tal Universidad, durante el primer semestre de 2013, en los municipios de Montería, Tierralta, Planeta Rica, San Antero, Ciénaga de Oro y San Carlos del departamento de Córdoba (Tabla 1.1 del Capítulo 1).

2.3. Procedimiento

Para el estudio se estimaron cinco variables relacionadas con los parámetros fisiológicos de la germinación de las semillas en sendas pruebas de germinación en laboratorio (cámara germinativa) y casa malla, para cada una de las cinco especies forestales en estudio. Los parámetros de la germinación estimados fueron: porcentaje de germinación acumulado (PG), índice de velocidad de germinación (IVG), germinación diaria media (GDM), valor pico (VP) y valor de germinación (VG). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos (especies) y cuatro repeticiones de 50 semillas/repeticición, tanto en laboratorio como en casa malla.

En cada especie se realizó un pre-acondicionamiento (remojo) de las semillas recomendado por el ISTA (2014), se dejaron las semillas inmersas en agua destilada a temperatura ambiente (entre 25°C y 30°C). Para las especies *C. odorata*, *C. pyriformis*, *B. quinata* y *A. excelsum* se utilizó un tiempo de remojo de 24 horas, tiempo que está dentro de los rangos aceptados por el ISTA (2014) para las especies arbóreas. En el caso de las semillas de *S. parahyba*, las cuales presentan una cubierta muy dura, fueron sumergidas en agua destilada durante 48 horas a temperatura ambiente (entre 25°C y 30°C).

Las pruebas de germinación en condiciones de laboratorio (cámara germinativa) fueron realizadas en bandejas de aluminio, utilizando como sustrato cuatro capas de papel toalla blanco húmedo, encima del cual se colocaron las semillas y luego se cubrieron con otra cantidad igual de papel toalla húmedo. Las bandejas con las semillas fueron colocadas posteriormente dentro de una cámara de germinación marca Dies®, a una temperatura de 28°C, humedad relativa de 80 %, con periodo de luz de 10 horas/día, y regadas diariamente de forma uniforme. Las pruebas de germinación en condiciones de casa malla fueron implementadas en una casa malla de color negro, con temperatura media de 29°C, humedad relativa del 70 %, brillo solar de 6,5

horas luz/día y control de luz del 30 %. Las semillas fueron sembradas a una distancia de 5 cm entre hileras y 3 cm entre semillas, en bandejas de aluminio con un sustrato uniforme, conformado de 50 % de arena cuarcítica y 50 % de arcilla, ambos desinfectados con agua caliente. La profundidad de siembra fue de 2/3 del tamaño de la semilla, con la parte apical por donde emerge la radícula hacia abajo. Se realizaron dos riegos diarios a las 10:00 am y a las 4:00 pm. La germinación fue valorada diariamente durante 55 días. Se consideró la germinación cuando los cotiledones fueron levantados del nivel del sustrato.

El PG fue considerado como el porcentaje acumulado de semillas germinadas al final del ensayo; el IVG fue calculado mediante la fórmula recomendada por Maguire (1962):

$$IVG = \frac{P_1}{T_1} + \frac{P_2}{T_2} + \frac{P_3}{T_3} + \dots + \frac{P_n}{T_n}$$

Donde: $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ = número de plántulas normales, germinadas y completas en el primer, segundo, tercer y último conteo de la evaluación.

$T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ = tiempo en días para cada germinación.

La GDM se consideró como la relación entre el porcentaje acumulado de semillas germinadas al final del ensayo y el número de días desde la siembra al término del ensayo, el VP como la GDM máxima alcanzada en el ensayo y, el VG correspondió al producto de la GDM por el VP (Czabator, 1962).

2.4. Análisis estadísticos

Con los datos obtenidos en las cinco variables en laboratorio y casa malla se realizaron sendos análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Duncan, asumiendo un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones de 50 semillas/repeticion en cada

especie. Los análisis estadísticos se usaron para definir las diferencias entre especies y entre condiciones de germinación (laboratorio versus casa malla) a nivel de los cinco parámetros fisiológicos de germinación de las semillas, buscando sustentar mejores prácticas en el análisis de calidad fisiológica de la semilla, manejo de las semillas en vivero y conservación de semillas en cuarto frío. Los análisis de varianza y pruebas de comparación de medias se realizaron mediante el uso del programa computacional GENES versión Windows (2009.7.0), desarrollado por Cruz (2014).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A excepción del porcentaje de germinación acumulado (PG), los parámetros fisiológicos de la germinación de las semillas evaluados presentaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0,01$) entre especies (genotipos), tanto en las pruebas de germinación realizadas bajo las condiciones de laboratorio (L) como en casa malla (C) (Tabla 5.1), lo que indica que al menos una de las especies en estudio presentó promedio estadísticamente diferente para las variables: IVG, GDM, VP y VG. Resultados similares han sido reportados en lotes familiares o procedencias de semillas en especies forestales como: *Argania spinosa* (Zohra et al., 2014); *Anadenanthera colubrina* (Barboza-Nogueira et al., 2014); *Poa* sp. (Armaki, 2014); *Bromus* sp. (Armaki et al., 2013); *Tectona grandis* (Correa et al., 2013; Costa et al., 2009; Indira et al., 2000); *Punica granatum* (Gokturk et al., 2012); *Pachira aquatica* (Silva et al., 2012); *Acacia mangium*, *Tectona grandis* y *Gmelina arborea* (Correa, 2012); *Triplaris surinamensis* (Ferreira et al. 2012); *Bauhinia thonningii* (Mwase & Mvula, 2011); *Quercus rugosa* (Huerta-Paniagua & Rodríguez-Trejo, 2011); cinco especies maderables del Tibet (Wang et al., 2010); *Cotinus coggygria* (Olmez et al., 2009); *Cecropia obtusifolia* (Tenorio-Galindo et al., 2008); *Pinus teocote* (Alba-Landa et al., 2007); *Swietenia macrophylla* (Niembro et al., 2007; Niembro & Ramírez-Gracia, 2006; De la Cruz & Mendizábal-Hernández, 2004); *Albizia lebbbeck* (Rego et al., 2005); *Hevea brasiliensis* (Costa et al., 2005); *Zizyphus mistol* (Aráoz et al., 2004); *Cedrela odorata* (Rodríguez-Rivas et al., 2001); *Cedrela odorata*, *Tabebuia rosea*, *Alnus acuminata* y *Cupressus*

lusitanica (Álvarez, 1999). Ello demuestra las diferencias genéticas existentes en las especies consideradas en el estudio para los cuatro parámetros fisiológicos de la germinación de las semillas significativos tanto en cámara germinativa (condiciones de laboratorio) como en casa malla.

Es de resaltar que los parámetros fisiológicos de la germinación de las semillas en promedio mostraron mayor expresión en las pruebas realizadas en laboratorio que en casa malla, destacando el PG y VG, con diferencias aproximadas de 6 y 38 puntos porcentuales, respectivamente (Tabla 5.1). Esto se explica por el mayor control y uniformidad en las condiciones óptimas para la germinación de las semillas que se ofrece en laboratorio, comparado con la casa malla, en donde las condiciones son muy heterogéneas y cambiantes, ya que dependen de las variaciones de clima reinantes durante el periodo de realización de las pruebas de germinación, como lo señalan varios autores (Willan, 1991; Samaniego, 1995; Olmez *et al.*, 2009; Correa, 2012; Gokturk *et al.*, 2012; Correa *et al.*, 2013; Armaki *et al.*, 2013; Armaki, 2014). Ello se puede corroborar observando la mayor magnitud de los coeficientes de variación presentados en casa malla (11,61 % a 40,70 %), comparados con los obtenidos en laboratorio (10,72 % a 27,39 %) (Tabla 5.1).

El análisis de varianza para cada ambiente muestra que no hubo diferencias significativas entre las cinco especies para el porcentaje de germinación acumulado (PG), con medias de 76,8 % y 71,0 %, para las pruebas de germinación en laboratorio y casa malla, respectivamente, lo cual se corrobora con la prueba de medias (Tabla 5.2). Esto sugiere que las semillas de las cinco especies germinaron de manera similar en cada ambiente, pero en cámara germinativa (laboratorio) germinó un mayor número de semillas, evidenciado en cuatro de las cinco especies estudiadas (cedro, tambor, abarco y caracolí), con incrementos que oscilaron entre 1,4 % (abarco) y 22,7 % (caracolí) y una diferencia media para las cinco especies de 5,8 puntos (8,2 %), debido a las mejores condiciones relacionadas con la influencia de los factores esenciales para la germinación, principalmente temperatura y humedad.

Tabla 5.1. Cuadrados medios (CM) y nivel de significancia para cinco parámetros fisiológicos de la germinación de las semillas en laboratorio (L) y casa malla (C), para cinco especies (Genotipos) forestales nativas en Córdoba (Colombia).

FV	GL	CM (Laboratorio)				
		PG (%)	IVG (plantas/día)	GDM (%)	VP (%)	VG (#)
Genotipos	4	86,80ns	18,21**	32,81**	163,31**	14722,27**
Error	15	67,73	0,39	0,33	3,22	350,79
Total	19					
Media		76,80	3,83	5,23	10,33	68,37
CV (%)		10,72	16,42	10,95	17,38	27,39
FV	GL	CM (Casa Malla)				
		PG (%)	IVG (plantas/día)	GDM (%)	VP (%)	VG (#)
Genotipos	4	40ns	16,54**	22,90**	116,58**	8998,68**
Error	15	68	0,10	0,20	1,06	154,05
Total	19					
Media		71,00	2,17	3,53	5,78	30,50
CV(%)		11,61	14,20	12,73	17,82	40,70

ns: no significativos; ** significativos al 1% de probabilidad, respectivamente.

Para el índice de velocidad de la germinación (IVG) se detectaron diferencias estadísticas entre las especies, en los dos ambientes de evaluación: laboratorio y casa malla (Tabla 5.2). Las especies que en cámara germinativa en laboratorio (L) mostraron estadísticamente los mayores IVG fueron cedro, ceiba roja y caracolí, con valores promedios de 5,72, 5,65 y 4,71 plántulas/día, respectivamente; mientras que los menores promedios los presentaron abarco y tambor, con 1,38 y 1,69 plántulas/día, en su orden. En casa malla (C) el mayor IVG se presentó en ceiba roja con valor promedio de 5,77 plántulas/día y los menores IVG los mostraron abarco, caracolí y tambor con 0,87, 1,13 y 1,46 plántulas/día, respectivamente. Adicionalmente, los datos muestran que la ceiba fue también la especie menos afectada por las condiciones de germinación, dado que su IVG mostró promedios similares en laboratorio (5,65) y casa malla (5,77), lo cual no representa diferencias importantes en los dos ambientes (-2,2 %); caso contrario se observó en caracolí y cedro,

en donde las dos condiciones de germinación representaron diferencias en el IVG del 318 % y 251 %, respectivamente, a favor de los resultados en laboratorio. En promedio se observó mayor expresión del IVG en condiciones de laboratorio (3,83) comparado con casa malla (2,17), diferencia equivalente a 76,3 %.

Tabla 5.2. Promedios de porcentaje acumulado de germinación (PG) e índice de velocidad de la germinación (IVG) de las semillas en laboratorio (L) y casa malla (C), para cinco especies forestales nativas en Córdoba (Colombia).

Especie	PG (%)		Diferencia (puntos)	Incremento (%)	IVG (plantas/día)		Diferencia (puntos)	Incremento (%)
	L	C			L	C		
Cedro	82 a	73 a	9	12,3	5,72 a	1,63 b	4,09	250,8
Tambor	76 a	72 a	4	5,60	1,69 b	1,46 bc	0,22	15,2
Abarco	71 a	70 a	1	1,40	1,38 b	0,87 c	0,52	59,4
Caracolí	81 a	66 a	15	22,70	4,71 a	1,13 bc	3,58	318,2
Ceiba	74 a	74 a	-	-	5,65 a	5,77 a	-	-
Media	76,8	71,0	5,8	8,20	3,83	2,17	1,66	76,3

Promedios con la misma letra no difieren significativamente, según la prueba de Duncan, para laboratorio y casa malla, respectivamente.

En la germinación diaria media (GDM) se detectaron diferencias estadísticas entre las especies, en los dos ambientes de evaluación: laboratorio y casa malla (Tabla 5.3). La especie que en cámara germinativa en condiciones de laboratorio (L) mostró estadísticamente la mayor GDM, fue cedro con el 9,11 % de las semillas germinadas en promedio/día, mientras que el menor porcentaje correspondió a abarco y tambor, con 2,29 % y 2,62 %, respectivamente. En casa malla (C) la mayor GDM se presentó en ceiba roja con el 7,40 % de las semillas germinadas en promedio/día y los menores porcentajes en caracolí, tambor y abarco, con 1,74 %, 1,95 % y 2,26 %, respectivamente. Adicionalmente, los datos señalan que abarco fue la especie más consistente y menos afectada por las condiciones de germinación, dado que su GDM exhibió promedios similares en laboratorio (2,29 %) y casa malla (2,26 %), lo cual no representa diferencias importantes en los dos ambientes

(1,3 %). Situación opuesta se detectó en caracolí y cedro, en donde las dos condiciones de germinación representaron diferencias en el GDM del 210,8 % y 112,2 %, respectivamente, a favor de las respuestas en laboratorio. En promedio, las cinco especies presentaron también mayor expresión de la GDM en condiciones de laboratorio (5,23 %) comparado con casa malla (3,53 %), con una diferencia del 48,3 %.

Los promedios obtenidos para el valor pico de la germinación (VP) corroboran las diferencias estadísticas del análisis de varianza entre las especies, en los dos ambientes de evaluación: laboratorio y casa malla (Tabla 5.3). Las especies que en cámara germinativa bajo condiciones de laboratorio (L) mostraron estadísticamente los mayores VP, fueron cedro, ceiba roja y caracolí, con un máximo de semillas germinadas/día de 16,10 %, 15,33 % y 13,40 %, respectivamente; mientras que los menores promedios los presentaron tambor y abarco, con 3,41 % y 3,43 %, en su orden. En casa malla (C) el máximo porcentaje de semillas germinadas en un día se presentó en ceiba roja con valor promedio de 15,33 % y los menores valores picos de germinación (VP) los mostraron abarco, tambor, caracolí y cedro, con promedios de 2,50 %, 3,19 %, 3,22 % y 4,66 %, respectivamente. Los datos indican además que la ceiba fue también la especie más estable y menos afectada en este parámetro por las condiciones de germinación, dado que su VP fue igual en laboratorio y casa malla, con 15,33 % máximo de semillas germinadas en un día durante la prueba, caso contrario se observó en caracolí y cedro, en donde las dos condiciones de germinación representaron diferencias en el VP del 316,1 % y 245,9 %, respectivamente, a favor de los resultados en laboratorio. En promedio, se observó mayor expresión del VP en condiciones de laboratorio (10,33 %) comparado con casa malla (5,78 %), con una diferencia que representó el 78,8 %.

Tabla 5.3. Promedios de germinación diaria media (GDM) y valor pico de la germinación (VP) de las semillas de cinco especies forestales nativas en Córdoba (Colombia), en laboratorio (L) y casa malla (C).

Especie	GDM (%)		Diferencia (puntos)	Incremento (%)	VP (%)		Diferencia (puntos)	Incremento (%)
	L	C			L	C		
Cedro	9,11 a	4,29 b	4,82	112,20	16,10 a	4,66 b	11,45	245,90
Tambor	2,62 d	1,95 c	0,67	34,60	3,41 b	3,19 b	0,22	7,00
Abarco	2,29 d	2,26 c	0,03	1,30	3,43 b	2,50 b	0,93	37,30
Caracolí	5,40 c	1,74 c	3,66	210,80	13,40 a	3,22 b	10,18	316,10
Ceiba	6,73 b	7,40 a	-0,67	-9,10	15,33 a	15,33 a	0,00	0,00
Media	5,23	3,53	1,70	48,30	10,334	5,78	4,56	78,80

Promedios con la misma letra no difieren significativamente, según la prueba de Duncan al 5%, para laboratorio y casa malla, respectivamente.

Las pruebas de comparación medias para el valor germinativo (VG) señalan también diferencias estadísticas entre las especies, en los dos ambientes de evaluación: laboratorio y casa malla (Tabla 5.4). La especie que en condiciones de laboratorio (L) mostró estadísticamente el mayor VG fue cedro, con un valor medio de 147,11, mientras que el menor promedio lo presentaron abarco y tambor, con 7,91 y 9,04, respectivamente. Bajo las condiciones de casa malla (C) el mayor promedio del valor germinativo (VG) se presentó en ceiba roja con 114,63 unidades y los menores valores promedios lo mostraron abarco, caracolí, tambor y cedro, con 5,68, 5,78, 6,30 y 20,11 unidades, respectivamente. Adicionalmente, los datos señalan que ceiba roja fue la especie más consistente y menos afectada por las condiciones de germinación, dado que su VG exhibió promedios similares en laboratorio (104,78) y casa malla (114,63), lo cual no representa diferencias importantes en los dos ambientes (-8,6 %). Situación opuesta se detectó en caracolí y cedro, en donde las dos condiciones de germinación representaron diferencias en el VG del 1.164,3 % y 631,6 %, respectivamente, a favor de los resultados obtenidos en laboratorio. En promedio se observó una vez más, mayor expresión del VG en condiciones de laboratorio (68,37) comparado con casa malla (30,50), lo cual representó un incremento promedio del 124,2 %.

Las diferencias entre los resultados obtenidos en las cinco especies en relación con los parámetros fisiológicos de la germinación, tanto en cámara germinativa (laboratorio) como en casa malla, probablemente se deban a: la constitución genética propia de cada especie (control genético de los parámetros germinativos, interacciones genéticas a nivel del núcleo y/o del citoplasma, entre otros), nivel de domesticación y/o mejoramiento genético, tipo de reproducción (sexual, apomixis, asexual), nivel de alogamia (autógama, alógama o intermedia), morfología, anatomía, histología, composición química, condiciones ambientales durante el desarrollo ontogénico de la semilla, nivel de dormancia de la semilla, mecanismos de protección de la semilla en el fruto, colecta, beneficio, manejo y conservación de las semillas, condiciones bajo las cuales se realizan las pruebas de germinación, entre otros, que varían notablemente de acuerdo con la especie (Niembro, 1988; Niembro *et al.*, 2007; Gokturk *et al.*, 2012; Armaki *et al.*, 2013; Armaki, 2014, Zohra *et al.*, 2014).

Tabla 5.4. Promedios de valor germinativo (VG) de las semillas en laboratorio (L) y casa malla (C), para cinco especies forestales nativas en Córdoba (Colombia).

Especie	VG (#)		Diferencia (puntos)	Incremento (%)
	L	C		
Cedro	147,11 a	20,11 b	127,00	631,60
Tambor	9,04 c	6,30 b	2,75	43,60
Abarco	7,91 c	5,68 b	2,23	39,30
Caracolí	73,01 b	5,78 b	67,24	1164,30
Ceiba	104,78 b	114,63 a	-9,85	-8,60
Media	68,37	30,50	37,88	124,20

Promedios con la misma letra no difieren significativamente, según la prueba de Duncan al 5%, para laboratorio y casa malla, respectivamente.

La mayor expresión promedio de los parámetros fisiológicos de la germinación de las semillas de las cinco especies en las pruebas realizadas en laboratorio, se explica en función del mayor control y uniformidad en las condiciones óptimas (sustrato, humedad, oxígeno y temperatura, luz, etc.)

para la germinación de las semillas que se ofrece en laboratorio. En casa malla, las condiciones son muy heterogéneas y cambiantes, ya que dependen de las variaciones de clima reinantes durante el periodo de realización de las pruebas de germinación, como lo señalan varios autores (Willan, 1991; Samaniego, 1995; Olmez *et al.*, 2009; Correa, 2012; Gokturk *et al.*, 2012; Correa *et al.*, 2013; Armaki *et al.*, 2013; Armaki, 2014), esto se evidencia en la mayor magnitud de los coeficientes de variación (Tabla 5.1) presentados en casa malla comparados con los obtenidos en laboratorio.

La ceiba roja (*B. quinata*) fue la especie más consistente y menos afectada por las dos condiciones de germinación, dado que sus parámetros germinativos (PG, IVG, GDM, VP y VG) presentaron promedios muy similares en laboratorio y casa malla, hecho que puede explicarse por tener una semilla con testa porosa, permeable y ligera de peso (0,027g), lo cual le confiere a su vez, rápida absorción de humedad, menos días a inicio de la germinación (2,0 dds), durante la germinación (5,0 dds), para completar su germinación (7,0 dds) y el mayor índice de velocidad de germinación (IVG). Esto permite clasificar a la ceiba roja como una de las especies con mayor energía germinativa, dado que el IVG estima la energía para germinar de las semillas (Maguire, 1962). Situación contraria se detectó en caracolí (*A. excelsum*), la cual fue la especie más afectada por las dos condiciones de germinación, en razón a que mostró las mayores diferencias en sus parámetros germinativos. Este fenómeno se puede explicar por sus características opuestas a las de ceiba roja, a saber: semillas más pesadas (2,74 g), testa dura y semi-impermeable, lo cual conlleva a mayor resistencia mecánica a la absorción de humedad, mayores días a inicio de la germinación (8,0 dds), más días durante la germinación (13,0 dds), mayores días para completar su germinación (21,0 dds) y uno de los menores índices de velocidad de germinación (IVG).

En ceiba roja el proceso de germinación es muy rápido, la semilla presenta alta energía germinativa y se ve favorecida en el laboratorio por el mayor control

y uniformidad en las condiciones óptimas (sustrato, humedad, oxígeno y temperatura, luz, etc.), comparado con la casa malla, en donde las condiciones de menor control, muy heterogéneas y cambiantes, afectan negativamente en mayor grado la evaluación de los parámetros de la germinación en especies con las características de caracolí, como lo han encontrado varios autores (Salazar, 2000; Smith *et al.*, 2010; Gokturk *et al.*, 2012). Otro factor a tener en cuenta a nivel de especie o condiciones de evaluación, sobre todo en invernadero o casa malla, es que los estrés por sequía, temperaturas extremas, radiación solar, salinidad o acidez del sustrato, costras de tierra que cubren la semilla, así como los agentes patógenos y herbívoros, afectan negativamente los parámetros de germinación y crecimiento de las plántulas; igualmente, las semillas que emergen tarde tienen menor capacidad competitiva que las semillas que emergen temprano (Armaki, 2014). Además, a mayor nivel y variación en la temperatura en el proceso de germinación se pueden ver más afectadas las reacciones químicas que controlan la velocidad de la germinación, a pesar de que haya una gran cantidad de variación en la capacidad de germinación de las semillas, entre e incluso dentro de la misma especie (Zohra *et al.*, 2014).

Las especies o lotes de semillas que presentan los mayores PG, IVG, VP, GDM y VG en condiciones deseables de germinación son más deseables y de mejor calidad, ya que permiten obtener el mayor número de plántulas, más vigorosas y en el menor tiempo posible, por su mayor energía y vigor germinativo. Lo anterior es más valioso si se tiene en cuenta que en teoría, probablemente solo las semillas que germinan con rapidez y vigor en condiciones favorables de laboratorio, casa malla y/o invernadero, serán capaces de producir plántulas vigorosas en condiciones de vivero y/o campo, lo cual se traducirá en mayores probabilidades de éxito en la producción y productividad de las plantaciones (Rivera-Martin *et al.*, 2013; Correa, 2012; Gokturk *et al.*, 2012; Piedrahita, 2008).

En la realización de las pruebas de laboratorio es posible manipular los factores que limitan la germinación de las semillas, hasta encontrar las condiciones óptimas para cada especie, maximizando su capacidad de germinación. La utilización de condiciones ideales estandarizadas en el laboratorio, garantiza que: a) las diferencias entre los resultados se puedan atribuir a diferencias reales entre muestras de semillas y no a diferentes métodos de análisis, b) los resultados obtenidos para un determinado lote de semillas en un laboratorio sean idénticos a los obtenidos en cualquier otro; esto es, que los resultados deben ser reproducibles (Samaniego, 1995; Correa, 2012; Correa *et al.*, 2013).

El conocimiento de la energía y vigor germinativo de la semilla es muy importante porque una vez las semillas llegan a un sitio definitivo, deben enfrentar una serie de condiciones bióticas y abióticas, como poca disponibilidad de luz, agua y nutrientes, depredación y competencia que pueden restringir el éxito de la germinación y crecimiento de las plántulas (Dalling, 2002). El conocimiento de los parámetros fisiológicos de la germinación contribuye a conocer la cantidad y características de plántulas a obtener por determinada cantidad de semilla sembrada; además de entender la dinámica de la regeneración y establecimiento natural de las especies en los bosques naturales y/o plantados (Rivera-Martin *et al.*, 2013).

Los resultados obtenidos en este estudio son también importantes porque como lo señalan varios autores (Rivera-Martin *et al.*, 2013; Correa, 2012; Piedrahita, 2008), intensificar el conocimiento, caracterizar, identificar y valorar las especies forestales nativas promisorias, dará pautas para la conservación y uso sostenible de las especies. Los resultados de viabilidad a través de una prueba de tetrazolio, acompañados con una posterior prueba de germinación en cámara germinativa, permitirán conocer el potencial teórico real de la calidad fisiológica de las semillas, los cuales sin duda alguna son necesarios, irremplazables, indispensables, confiables y de gran valor en los procesos de conservación, almacenamiento, monitoreo, regeneración,

certificación, comercialización de las semillas para los trabajos exitosos en viveros, silvicultura, mejoramiento genético y conservación representativa del germoplasma (Guimarães *et al.*, 2015; Abbade & Massanori, 2014; Deminici *et al.*, 2014; Armaki, 2014; Nascimento, 2013; Armaki *et al.*, 2013; Lazarotto *et al.*, 2013; Hoppe *et al.*, 2004). De igual forma, un mejor y más profundo conocimiento de la biología de las especies permitirá abordar aspectos como el diseño de programas para el manejo integral de los recursos, la formulación de planes de manejo y aprovechamiento sostenible, el monitoreo y restauración de las poblaciones en su hábitat natural, y ayudará a evaluar las dinámicas ecológicas a largo plazo de las especies nativas forestales de Córdoba.

Hay que tener presente que los resultados que se obtienen bajo condiciones ideales controladas en el laboratorio no son directamente aplicables en el vivero, donde solo se puede ejercer un control limitado sobre las condiciones ambientales; pero en la mayoría de casos las dos cifras están estrechamente relacionadas (Gokturk *et al.*, 2012; Armaki *et al.*, 2013; Armaki, 2014). En esta forma el viverista gradualmente estará en capacidad de pronosticar el desempeño en vivero basado en la germinación de laboratorio; además, cada productor debe aplicar su propio factor de corrección, derivado de la experiencia, para convertir el porcentaje germinativo de un lote tal como viene determinado por los ensayos en laboratorio, en la germinación efectiva que obtendrá en el vivero (Willan, 1991).

De acuerdo con Armaki (2014), los resultados de las pruebas de germinación en cámara germinativa e invernadero presentaron correlación alta y además concluyó que los resultados obtenidos en germinador fueron superiores por sus condiciones deseables, por ello esta técnica es más eficiente y favorece la selección cuando se tienen en cuenta los parámetros fisiológicos de la germinación.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

No hubo diferencias estadísticas significativas para el PG entre las cinco especies, pero sí en los parámetros de la germinación IVG, GDM, VP y VG, tanto en cámara germinativa en laboratorio como en casa malla.

En las cinco especies las estimaciones de los parámetros fisiológicos de la germinación de las semillas fueron mayores bajo las condiciones de luz, temperatura y humedad en la cámara germinativa, que bajo las condiciones propias de la casa malla, con incrementos entre el 8,2 % (PG) y 124,2 % (VG).

Caracolí (*A. excelsum*) y cedro (*C. odorata*) mostraron las mayores diferencias en todas las estimaciones de los parámetros de germinación en cámara germinativa de laboratorio versus casa malla, mientras que ceiba (*B. quinata*) y abarco (*C. pyriformis*) presentaron las menores diferencias.

Cuando la infraestructura lo permita, se recomienda mejor estimar los parámetros fisiológicos de la germinación de las semillas forestales, en cámaras germinativas en laboratorio, por las mejores estimaciones y seguridad que ofrece en el proceso de evaluación de las variables.

5. REFERENCIAS

- Abbade, L. & Massanori, T. (2014). Teste de tetrazólio para avaliação da qualidade de sementes de *Tabebuia roseoalba* (Ridl). Sandwith-Bignoniaceae, submetidas ao Armazenamento. *Revista Árvore*, 38(2): 233-240.
- Alba-Landa, J., Ramírez-García, E. & Aparicio-Rentería, A. (2007). Correlación de semillas y plántulas de *Pinus teocote* Schl, et Cham, de tres procedencias del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 9(1): 23-27.
- Álvarez, M. (1999). Caracterización de frutos y semillas de *Cedrela odorata*, *Tabebuia rosea*, *Alnus acuminata* y *Cupressus lusitanica*. II Simposio sobre Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina, Santo Domingo, República Dominicana.

- Aráoz, S., Longo, O. & Karlin, O. (2004). Germinación de semillas de *Zizyphus mistol* Grisebach III, Correlaciones paramétricas del tamaño y peso de drupas, endocarpos y semillas con la germinación y el vigor. *Multequina*, 13: 51-56.
- Armaki, M.A. (2014). The Effects of Metabolism in Response to Water Stress of Three Poa Species under Germinator and Greenhouse Conditions. *International Journal of Agriculture, Forestry and Fisheries*, 2(2), 22-28.
- Armaki, M.A., Hashemi, M. & Azarnivand, H. (2013). Physiological and morphological responses of three *Bromus* species to drought stress at seedling stage and grown under germinator and greenhouse conditions. *African Journal of Plant Science*, 7(5): 155-161.
- Barboza-Nogueira, F.C., Lobo-Pinheiro, CH., Medeiros-Filho, S. & Da Silva Matos, D.M. (2014). Seed germination and seedling development of *Anadenanthera colubrina* in response to weight and temperature conditions. *Journal of Plant Sciences*, 2(1): 37-42.
- Copeland, L. & McDonald, M. (2001). *Principles of seed science and technology*. 4ª ed. EUA: Kluwer Academic Publishers.
- Correa, E. (2012). *Estandarización del procesamiento de semillas para conservación de germoplasma de tres especies forestales en Córdoba*. (Tesis de Maestría en Ciencias Agronómicas, área de formación en Fitomejoramiento), Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia.
- Correa, E., Espitia, M., Araméndiz, H., Murillo, O. & Pastrana, I. (2013). Variabilidad genética en semillas de árboles individuales de *Tectona grandis* L.f, en la conformación de lotes mezclados en Córdoba, Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 16(2): 379-389.
- Costa, R., Chichorro, J., Resende, M., Roa, R., Cotta, T. & Cezana, D. (2009). Variabilidade genética para o carácter germinação em matrizes de teca, no Município de Alegre, ES. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 59(1): 57-61.
- Costa, R., Gonçalves, P., Oliveira, L., Arruda, E. Roa, R. & Martins, W. (2005). Variabilidade genética e estimativas de herdabilidade para o carácter germinação em matrizes de *Hevea brasiliensis*. *Revista Floresta e Ambiente*, 12(1): 74-76.

- Cruz, C. (2014). Programa genes. Versão Windows. Aplicativo computacional em genética e estatística. Versión 2009.7.0. Universidade Federal de Viçosa. Disponible desde Internet em: <http://www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm> (Consultado: abril/5/2014).
- Czabator, F. (1962). Germination value: An Index Combining Speed and Completeness of Pine Seed Germination. *Forest Science*, 8(4), 386-396.
- Dalling, J. (2002). Ecología de semillas. En M.R. Guariguata & G.H. Kattán (Eds.), *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Costa Rica: Ediciones LUR. Libro Universitario Regional.
- De La Cruz, L. & Mendizábal-Hernández, L. (2004). Variación en frutos de *Swietenia macrophylla* King y determinación de su potencial y eficiencia de producción de semillas en el estado de Campeche. *Foresta Veracruzana*, 6(1): 1-4.
- Deminicis, B.B., Rodrigues, P.D.R., Faria, B.P., Vieira, H.D., Pandolfi-Filho, H.D. & Freitas, G.S. (2014). Tetrazolium Test to Evaluate *Stizolobium aterrimum* Seeds Quality. *American Journal of Plant Sciences*, 5(1): 148-152.
- Espitia, M. & Araméndiz, H. (2013). Investigación en semillas forestales en el departamento de Córdoba. Conferencia Magistral. ISSN 2248-6674. XLIII Congreso Anual de COMALFI (Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal). Hotel Caribe, Cartagena (Bolívar): 25, 26 y 27/Septiembre/2013. 133p.
- Espitia, M., Araméndiz, H. & Montiel, J. (2014). Parámetros de germinación en cámara germinativa e invernadero en cinco especies forestales nativas en Córdoba. Ponencia. ISSN 2248-6674. XLIV Congreso Anual de COMALFI (Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal) Centro de Convenciones de Córdoba, Montería (Córdoba): 24, 25 y 26/Septiembre/2014. 91p.
- Ferreira, C.D., Souto, P.C., Lúcio, A.F., Souto, J.S. & Souza, B.V. (2012). Avaliações biométricas e germinação de sementes de Coaçu (*Triplaris surinamensis* Cham). *Rev. Bras. Tecn. Apli. Ciên., Agrá.*, 5: 147-162.

- Gokturk, A., Olmez, Z., Karasah, B. & Surat, H. (2012). Effects of cold stratification and sulphuric acid pre-treatments on germination of pomegranate (*Punica granatum* L.) seeds in greenhouse and laboratory conditions. *Scientific Research and Essays*, 7(25): 2225-2229.
- Guimarães, R.R., Leão, L., Nery, M.C., De Souza, A.R., Cruz, S.M. & De Resende, P.C.A. (2015). Tetrazolium test in crambe seeds. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(4): 2539-2544.
- Hoppe, J., Genro, C., Vargas, C., Floriano, E., Reis, E., Fortes, F., Müller, I., Farias, J., Calegari, L. & Da Costa, L. (2004). Produção de sementes e mudas florestais. *Caderno Didático* nº 1, 2ª. Santa Maria: UFSM-PPGEP. Santa Maria.
- Huerta-Paniagua, R. & Rodríguez-Trejo, D. (2011). Efecto del tamaño de semilla y la temperatura en la germinación de *Quercus rugosa* Née., *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(2): 179-187.
- Indira, E., Basha, S. & Chacko, K. (2000). Effect of seed size grading on the germination and growth of teak (*Tectona grandis*) seedlings. *J. Trop. For. Sci.*, 12(1): 21-27.
- ISTA-International Seed Testing Association (2014). International Rules for Seed Testing 2014. The International Seed Testing Association. Bassersdorf, Suiza.
- Kani, I., Jochen, K. & Wilfried, S. (2010). Age-Age Correlations and Early Selection for Height in a Clonal Genetic Test of Norway Spruce. *Forest Science*, 56(2): 212-221.
- Lazarotto, M., Brião, M.F.M., Beltrame, R., Dos Santos, A.F., Mezzomo, R., Piveta, G. & Blume, E. (2013). Qualidade fisiológica e tratamentos de sementes de *Cedrela fissilis* procedentes do sul do Brasil. *Revista Árvore - Viçosa-MG*, 37(2): 201-210.
- Maguire, D. (1962). Speed of germination-aid. In: Selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Crop Sci.*, 2: 176-177.
- Matthews, S. (1981). Evaluation of techniques for germination and vigour studies. *Seed Sci. and Technol.*, 9(2): 543-551.

- Murillo, O., Espitia, M. & Castillo, C. (2012). *Fuentes semilleras para la producción forestal*, Universidad de Córdoba. Bogotá: Ed. Domar S.A.S.
- Mwase, W.F. & Mvula, T. (2011). Effect of seed size and pre-treatment methods of *Bauhinia thonningii* Schum., on germination and seedling growth. *African Journal of Biotechnology*, 10(13): 5143-5148.
- Nascimento, I. (2013). Determinação de metodologias para teste de germinação e vigor de sementes de quixabeira (*Bumelia obtusifolia* Roem et schult. var. excelsa (DC) Mig.). *Revista Árvore*, 37(4): 701-706.
- Niembro, A. (1988). *Semillas de árboles y arbustos: Ontogenia y estructura*. México: Editorial Limusa.
- Niembro, A. & Ramírez-García, E. (2006). Evaluación de la cantidad y calidad biológica de semillas de caoba (*Swietenia macrophylla* King- Meliaceae) procedentes de una plantación en el estado de Campeche-México. *Foresta Veracruzana*, 8(1): 23-30.
- Niembro, A., Ramírez-García, E. & Aparicio-Rentería, A. (2007). Correlación entre características de frutos de *Swietenia macrophylla* King con su contenido de semillas desarrolladas. *Foresta Veracruzana*, 9(1): 49-53.
- Olmez, Z., Gokturk, A., Karasah, B. & Yilmaz, H. (2009). Effects of cold stratification, and sulphuric acid pretreatments on germination of three provenances of smoke-tree (*Cotinus coggygria* Scop,) seeds in greenhouse and laboratory conditions. *Afr. J. Biotechnol*, 8(19): 4964-4968.
- Padua, F.M. (2004). Juvenile selection of *Gmelina arborea* clones in the Philippines. *New Forest.*, 28(1): 195-200.
- Palencia, G., Mercado, T. & Combatt, E. (2006). *Estudio agroclimático del departamento de Córdoba*. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba.
- Perry, D. (1984). *Manual de métodos de ensayo de vigor*. Madrid: Instituto nacional de semillas y plantas de vivero.
- Piedrahita, E. (2008). *Semillas y viveros forestales*. Impreso Universitario. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

- Poorter, L. & Rose, S. (2005). Light-dependent changes in the relationship between seed mass and seedling traits: a meta-analysis for rain forest tree species. *Oecologia*, 142(1): 378-387.
- Rego, F., Costa, R., Contini, A., Moreno, R., Rondelli, K. & Kumimoto, H. (2005). Variabilidade genética e estimativas de herdabilidade para o caráter germinação em matrizes de *Albizia lebbbeck*. *Ciência Rural. Santa Maria*, 35(5): 1209-1212.
- Rivera-Martin, L.E., Peñuela-Mora, M.C., Jiménez-Rojas, E.M. & Vargas-Jaramillo, M. (2013). Ecología y silvicultura de especies útiles amazónicas: Abarco (*Cariniana micrantha* Ducke), Quinilla (*Manilkara bidentata* (A, DC,) A, Chev,) y Violeta (*Peltogyne paniculata* Benth) Universidad Nacional de Colombia (Sede Amazonas) - Instituto Amazónico de Investigaciones. IMANI.
- Rocha, R., Vieira, A., Spinelli, V. & Vieira, J. (2011). Caracterização de fatores que afetam a germinação de teca (*Tectona grandis*): temperatura e escarificação. *Rev. Árvore. Viçosa-MG.*, 35(2): 205-212.
- Rodríguez-Rivas, G., Márquez, J. & Rebolledo-Camacho, G. (2001). Determinación del potencial y eficiencia de producción de semillas de *Cedrela odorata* L, y su relación con caracteres morfométricos de frutos. *Foresta Veracruzana*, 3(1): 23-26.
- Salazar, R. (2000). *Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina*. Turrialba: CATIE.
- Samaniego, J. (1995). *Estandarización de técnicas para el manejo de semillas de Swietenia macrophylla y Cordia allidora*. (Tesis Magister Scientiae). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Silva, K.B., Alves, E.U., Matos, V.P. & Bruno, R.L. (2012). Caracterização morfológica de frutos, sementes e fases da germinação de *Pachira aquatica* Aubl, (Bombacaceae). *Rev. Ciênc. Agr.*, 33(3): 891-898.
- Smith, M., Wang, B. & Msanga, H. (2010). Dormancia y germinación. En J.A. Vozzo (Ed.), *Manual de semillas de árboles tropicales* (p.168). Missouri: USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

- Snook, K., Cámaras-Cabrales, L. & Matthew, K. (2005). Six year of fruit production by mahogany trees (*Swietenia macrophylla* King): patterns of variation and implications for sustainability. *Forest Ecology and Management*, 206(1-3): 221-235.
- Tenorio-Galindo, G., Rodríguez-Trejo, D. & López-Ríos, G. (2008). Efecto del tamaño y color de la semilla en la germinación de *Cecropia obtusifolia* Bertol (Cecropiaceae). *Agrociencia*, 42(1): 585-593.
- Trujillo, E. (2013). *Guía de reforestación*. Tercera edición. Bogotá, Colombia: DAYBERMEDIOS Preparación Editorial.
- Vieira, A., Rocha, R. & Rebelo, A. (2009). Avaliação de métodos para a superação de dormência de diásporos de teca (*Tectona grandis* L.f.). *Floresta. Curitiba. PR.*, 39(2): 273-278.
- Wang, J.H., Baskin, C.C., Chen, W. & Du, G.Z. (2010). Variation in seed germination between populations of five sub-alpine woody species from Eastern Qinghai-Tibet Plateau following dry storage at low temperatures. *Ecol. Res.*, 25(1): 195-203.
- Willan, R.L. (1991). *Guía para la manipulación de semillas forestales*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Zohra, B., Ali, M. & Moulay, B. (2014). Germination tests of seeds of argan tree (*Argania spinosa* (L.) Skeels) of two sources (Tindouf and Mostaganem) in the semi-arid western Algerian. *African Journal of Plant Science*, 8(6): 260-270.

Capítulo 6

CORRELACIONES ENTRE DIMENSIONES, PESO Y PARÁMETROS DE GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE CINCO ESPECIES FORESTALES NATIVAS

1. INTRODUCCIÓN

En los programas de mejoramiento genético moderno es importante el conocimiento de la magnitud, sentido y naturaleza de las correlaciones entre los caracteres de interés biológico, agronómico y silvicultural, para facilitar los trabajos de mejoramiento y aumentar la eficacia de la selección, en razón a que generalmente el fitomejorador está interesado en obtener nuevos cultivares con varios caracteres deseables simultáneamente. En el mejoramiento genético forestal son especialmente importantes, los caracteres cuantitativos morfológicos y fisiológicos, tanto de especies forestales exóticas como nativas, para obtener genotipos mejorados con características deseables en cuanto a adaptación, crecimiento vegetativo, fenología, arquitectura de planta, resistencia a factores adversos bióticos y abióticos, rendimiento y calidad del fruto y semillas, con el objeto de satisfacer la demanda de reforestadores, intermediarios, transformadores y consumidores, de acuerdo a sus condiciones, necesidades y limitaciones (Vallejo *et al.* 2010; Araméndiz *et al.*, 2010; Espitia *et al.*, 2008; Espitia, 2013).

Sin embargo, el trabajo del fitomejorador para identificar los individuos o árboles que reúnan simultáneamente todas las características deseables, no

es fácil, dado que muchas de estas características tienen control genético diferente y se encuentran asociadas positiva o negativamente. La herramienta estadística que le permite al fitomejorador estimar el grado, sentido y la naturaleza de tales asociaciones entre dos o más características de interés agronómico, es el coeficiente de correlación (Vallejo *et al.*, 2010; Espitia *et al.*, 2008).

Como punto de partida, el manejo y conservación de las semillas de especies forestales, requiere información de los aspectos morfológicos, fisiológicos y ecológicos asociados a la germinación de semillas, de tal forma que permitan la propagación masiva del material vegetal en condiciones deseadas y oportunas (Piedrahita, 2008). Muchas especies forestales germinan en poco tiempo después de ser sometidas a condiciones favorables de humedad, luz y temperatura, mientras que otras requieren y exigen algún tipo de tratamiento pre-germinativo, sobre todo las especies nativas menos domesticadas. Estos aspectos y características de las semillas son indispensables conocerlos, ya que en teoría probablemente solo las semillas que germinan con rapidez y vigor en condiciones favorables de laboratorio y/o invernadero, serán capaces de producir plántulas vigorosas en condiciones de vivero y/o campo (Rivera-Martin *et al.*, 2013; Piedrahita, 2008).

El estudio de la morfología y germinación de las semillas y las plántulas de especies agrícolas y forestales ha sido reconocido de gran importancia para definir su multiplicación, establecimiento y regeneración natural. El conocimiento e interpretación de los diferentes parámetros biométricos de la semilla, su germinación, características de las plántulas, y la magnitud y sentido de su interrelación, es clave y base para la comprensión de la autoecología, colecta, conservación, manejo sostenible y el desarrollo de prácticas silviculturales de las especies (Poorter & Rose, 2005).

Las correlaciones existentes entre los caracteres de interés, en el mejoramiento

genético de plantas y forestales, son en general evaluadas por medio de las correlaciones fenotípicas, genéticas y ambientales. La correlación fenotípica es estimada directamente de los valores medios fenotípicos de campo, siendo resultante, por tanto, de causas genéticas y ambientales. La correlación genotípica, en cambio, corresponde a la porción genética de la correlación fenotípica. Esta es empleada para orientar programas de mejoramiento, por ser la única de naturaleza heredable (Vallejo *et al.*, 2010; Araméndiz *et al.*, 2010; Espitia *et al.*, 2008; Ceballos, 2003; Cruz, 2006; Cruz & Regazzi, 1997; Falconer & Makay, 1996; Vencovsky & Barriga, 1992; Hallauer & Miranda, 1981).

Las correlaciones entre caracteres, cuando existen, son importantes, aunque las asociaciones positivas o negativas no siempre son útiles al mejorador. La selección para un carácter puede aumentar o disminuir la expresión de otro, dependiendo de la correlación genética entre ellos. Si dos caracteres presentan una correlación genética alta, es posible seleccionar uno de ellos a través de la selección sobre el carácter asociado. Esto es ventajoso cuando un carácter es de alto valor económico, agronómico o silvicultural, pero tiene una baja heredabilidad comparada con la heredabilidad del carácter asociado. En ese caso, el carácter de alto valor y baja heredabilidad debe ser seleccionado a través del carácter de alta heredabilidad y bajo valor. También puede suceder que estando asociados dos caracteres, uno de ellos sea más fácil de evaluar, por lo tanto la selección debe hacerse sobre dicho carácter (Cruz, 2006; Ceballos, 2003; Miranda & Cruz, 1988).

Varios autores (Falconer, 1972; Hallauer & Miranda, 1981; Mariotti, 1986; Vencovsky & Barriga, 1992; Falconer & Makay, 1996; Cruz & Regazzi, 1997; Cruz, 2006; Ceballos, 2003; Vallejo *et al.*, 2010) coinciden en afirmar que las correlaciones se han utilizado a través del tiempo, en el campo del fitomejoramiento, para los siguientes objetivos: a) Realizar selección indirecta para una característica X, a través de otra Y, mucho más fácil de

medir, identificar o de mayor heredabilidad, para lograr un mayor progreso genético; b) Estimar el cambio y predecir el nivel de respuesta correlacionada a la selección, cuando se realiza selección en una característica X, sobre otra Y, asociada genéticamente a ella; c) Desarrollar índices de selección simultánea para varios caracteres; d) Obtener información básica muy importante, para realizar otros análisis, como el análisis de sendero o ruta (*Path analysis*) y e) Realizar análisis de correlación no paramétrica, en estudios de interacción genotipo x ambiente, para selección de genotipos de buen comportamiento agronómico, estabilidad y adaptabilidad, simultáneamente.

La asociación o correlación entre dos caracteres es la resultante de efectos genéticos y ambientales. Cuando se miden dos o más caracteres en individuos o progenies, resulta inevitable que el ambiente donde los mismos crecen afecte simultáneamente a todas las características estudiadas. En algunos casos esta situación creará correlaciones positivas o negativas pero de origen puramente ambiental (Ceballos, 2003; Vallejo *et al.*, 2010). En otras palabras, el estudio de correlaciones fenotípicas es riesgoso, pues en ellas se incluye la asociación entre caracteres tanto de naturaleza genética como ambiental. Obviamente, el fitomejorador está interesado en las correlaciones de naturaleza genética únicamente. A su vez pueden existir dos tipos de correlaciones genéticas, basadas en: a) efectos pleiotrópicos de los genes o; b) la falta de equilibrio de ligamiento. En este último caso, la asociación es temporal y ocurrirá mientras los alelos que controlan los caracteres estén ligados entre sí (Falconer, 1972).

Vallejo *et al.* (2010), Cruz & Regazzi (1997) y Vencovsky & Barriga (1992) señalan que los coeficientes de correlación, a pesar de ser de gran utilidad en la cuantificación de la magnitud y dirección de las influencias de factores en la determinación de caracteres complejos, no dan una exacta importancia relativa de los efectos directos e indirectos de esos factores. Para solucionar ese problema se desarrolló el análisis de sendero (o *Path analysis*).

El análisis de sendero consiste en desdoblar el coeficiente de correlación (fenotípico, genético o ambiental), en los efectos directos e indirectos de varios caracteres sobre una variable básica, cuyas estimaciones son obtenidas por medio de ecuaciones de regresión, en donde las variables son previamente normalizadas. A pesar que una correlación es una característica intrínseca a dos caracteres en una condición experimental dada, su descomposición es dependiente del conjunto de caracteres estudiados, los cuales normalmente son evaluados por el conocimiento previo del investigador, con base en su importancia y las posibles interrelaciones expresas en el diagrama de sendero (Vallejo *et al.*, 2010; Cruz, 2006; Cruz & Regazzi, 1997; Vencovsky & Barriga, 1992).

El análisis de correlación y el análisis de sendero han sido utilizados en todo el mundo con mucho éxito a través del tiempo, como herramientas de gran ayuda en el proceso de selección de plantas y animales. Sin embargo, la literatura reportada a nivel de semillas forestales no es muy prolífica en estos aspectos. Por lo anterior, el conocimiento de la naturaleza y magnitud de las correlaciones entre los caracteres morfológicos y los parámetros de la germinación de semillas, sobre todo de las especies forestales nativas de interés, las cuales han sido poco investigadas, es de fundamental importancia para el logro eficaz y eficiente de los objetivos en los programas de mejoramiento genético de las especies promisorias.

En la producción de semillas forestales, los factores biológicos y ambientales interfieren en la definición de las características morfométricas, obtención, calidad genética y fisiológica deseable de las semillas. El conocimiento de las dimensiones, la calidad fisiológica de las semillas y su nivel de correlación es indispensable para los trabajos de silvicultura, mejoramiento y conservación genética (Hoppe *et al.*, 2004). La calidad fisiológica en lotes de semillas generalmente es determinada por la germinación. Al respecto, Copeland & McDonald (2001) argumentan que la sola estimación del porcentaje de

germinación resulta deficiente para discriminar lotes de semilla en relación con la rapidez y uniformidad de la germinación, por ello autores como Czabator (1962), Maguire (1962), Matthews (1981) y Perry (1984) anotan que además del porcentaje de germinación otros parámetros como el vigor, el valor de germinación y la energía germinativa son importantes para la cuantificación de la calidad fisiológica de las semillas.

La calidad fisiológica de las semillas ha sido correlacionada con otras características de las semillas y del fruto, como coloración, tamaño, peso, contenido de humedad, etc. (Indira *et al.*, 2000; Rodríguez-Rivas *et al.*, 2001; Aráoz *et al.*, 2004; Rego *et al.*, 2005; Costa *et al.*, 2005; Alba-Landa *et al.*, 2007; Niembro *et al.*, 2007; Tenorio-Galindo *et al.*, 2008; Costa *et al.*, 2009; Rodrigues & Vieira, 2009; Binotto *et al.*, 2010; Mwase & Mvula, 2011; Huerta-Paniagua & Rodríguez-Trejo, 2011; Ferreira *et al.*, 2012; Correa, 2012; Silva *et al.*, 2012; Frattaroli *et al.*, 2013; Correa *et al.*, 2013; Barboza-Nogueira *et al.*, 2014; Cardona-Medina & Muriel, 2015). En este sentido, otros autores (Kani *et al.* 2010; Alba-Landa *et al.* 2007; Padua, 2004) señalan que el conocimiento de las correlaciones genéticas permiten la posibilidad de poder elegir, desde las características de las semillas y plántulas, cuáles serán las de mejor calidad para procesos de silvicultura en ambientes diferentes y/o como conocimiento básico para realizar selecciones tempranas en programas de mejoramiento genético forestal.

El análisis general de la literatura reportada sobre correlaciones entre dimensiones y parámetros fisiológicos de la germinación de la semilla en especies forestales, permite concluir lo siguiente:

- a) Los trabajos realizados en las especies forestales nativas estudiadas son muy escasos o han sido poco publicados, en comparación con las forestales comerciales. Ello posiblemente se deba a la mayor importancia mundial de las especies comerciales desde el punto de vista industrial.

- b) Al examinar cada uno de los caracteres de interés estudiados relacionados con las dimensiones, peso y parámetros fisiológicos de la germinación de la semilla, se puede observar que existen correlaciones diferenciales entre ellos, en cuanto a su sentido (directo e inverso) y magnitud. Lo cual se puede explicar por las diferencias e interacciones entre especies, ambientes (factores bióticos y abióticos) y genotipos utilizados en los estudios, sobre todo en las correlaciones fenotípicas y genéticas.
- c) Las correlaciones genéticas generalmente son mayores que las correspondientes correlaciones fenotípicas, para muchas de las combinaciones de caracteres, indicando ello el papel predominante de los factores heredables, la existencia de un alto efecto de los factores ambientales y/o de los factores genéticos no aditivos, que afectan el nivel de asociación real de los caracteres en estudio.
- d) A pesar de lo anterior, existe buena coincidencia en cuanto a que los parámetros fisiológicos de la germinación tuvieron una correlación genética entre sí muy fuerte en la mayoría de las especies, con coeficientes de correlación genotípicos altos ($r \geq 0,80^{**}$), similar situación ocurre aunque menos frecuente, entre algunas dimensiones (ancho, largo y relación ancho/largo) y el peso de las semillas, con coeficientes de correlación genética entre $0,50^*$ y $0,80^{**}$ en varias especies, en tanto que para otras el nivel de asociación no es muy importante ($r < 0,40$).
- e) Los caracteres alométricos de la semilla, en general, no presentan asociación importante con los parámetros fisiológicos de la germinación, siendo los coeficientes de correlación genotípica débiles y moderados ($0,34 \geq r \leq 0,49$) con el porcentaje de germinación acumulado.
- f) Sobre la base de lo anterior, la mayoría de los autores sugiere en los programas de mejoramiento genético forestal, considerar la magnitud y nivel de correlaciones de cada especie por separado, cuando se necesite el nivel de asociación de estos caracteres en el proceso de definición del número de semillas/kg o en la selección temprana de semillas, plántulas

o árboles para obtener genotipos de alto rendimiento. No obstante, es necesario tener en cuenta igualmente los efectos indirectos que tienen otras variables a través de estas, las cuales pueden generar cambios inesperados en la ganancia genética correlacionada por selección.

El presente estudio tuvo como objetivo principal estimar las correlaciones genéticas entre 14 caracteres relacionados con las dimensiones, peso y parámetros fisiológicos de la germinación de semillas de cinco especies forestales nativas en Córdoba (Colombia): *Cedrela odorata* L. (Cedro), *Cariniana pyriformis* Miers (Abarco), *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand (Ceiba roja), *Anacardium excelsum* (Bertero & Balb. ex Kunth) Skeels (Caracolí) y *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (Tambor), como información básica para ser usada en los programas de mejoramiento genético, conservación óptima y uso racional del germoplasma de estas especies forestales nativas priorizadas en el Caribe colombiano. Parte de estos resultados se socializaron en el XLIII Congreso Anual de la Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal, COMALFI (Espitia & Araméndiz, 2013).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización

El estudio se adelantó entre abril de 2013 y mayo de 2014 en la casa malla y el Laboratorio de Fitomejoramiento de la Universidad de Córdoba (Montería, Colombia), ubicada en la zona media del valle del Sinú, a 8°52' de latitud norte y 76°48' longitud oeste respecto al meridiano de Greenwich, a una altura de 13 msnm. La zona ecológica corresponde al bosque seco tropical con temperatura promedio de 28°C, humedad relativa de 84 % y precipitación anual de 1200 mm (Palencia *et al.*, 2006).

2.2. Material genético

Se evaluaron 15 lotes familiares de semilla sexual de libre polinización de

sendos árboles seleccionados en diferentes plantaciones del departamento de Córdoba (Colombia), en cada una de las cinco especies: *C. odorata* (Cedro), *C. pyriformis* (Abarco), *B. quinata* (Ceiba roja), *A. excelsum* (Caracolí) y *S. parahyba* (Tambor). Debido a que las especies en estudio son consideradas alógamas o prevalentemente alógamas (Niembro, 1988; Trujillo, 2013), cada lote de semilla de cada árbol en cada especie, se asumió como una familia de medios hermanos. Las semillas fueron suministradas por la Universidad de Córdoba, las cuales fueron colectadas por los auxiliares y profesionales encargados del banco de germoplasma del Laboratorio de Fitomejoramiento de esta Universidad, durante el primer semestre de 2013, en los municipios de Montería, Tierralta, Planeta Rica, San Antero, Ciénaga de Oro y San Carlos del departamento de Córdoba (Tabla 1.1, Capítulo 1).

2.3. Procedimiento

Para el estudio se estimaron 14 variables relacionadas con las dimensiones, peso y los parámetros fisiológicos de la germinación de las semillas a través de pruebas de germinación en cada una de las cinco especies forestales consideradas. En laboratorio se determinaron las variables relacionadas con las dimensiones y peso de semilla: ancho máximo (AS), largo máximo (LS), relación ancho/largo (RALA), peso fresco de una semilla (PES), peso fresco de 100 semillas (P100S), número de semillas por kilogramo (NSKG). Se utilizó el diseño experimental completamente al azar con 15 tratamientos (lotes familiares o árboles) y cuatro repeticiones de 25 semillas/repetición.

Los parámetros fisiológicos de la germinación de la semilla: días a inicio de la germinación (DIG), días durante la germinación (DDG), días a final de la germinación (DFG), porcentaje de germinación (PG), índice de velocidad de germinación (IVG), germinación diaria media (GDM), valor pico (VP) y valor de germinación (VG) se evaluaron en pruebas de germinación en casa de malla utilizando un diseño experimental completamente al azar con 15

tratamientos (lotes familiares o árboles) y cuatro repeticiones de 25 semillas/repetición.

Para cada especie se realizó un pre-acondicionamiento (remojo) de las semillas recomendado por el ISTA (2014), se dejaron las semillas inmersas en agua destilada a temperatura ambiente (entre 25°C y 30°C), para las especies *C. odorata*, *C. pyriformis*, *B. quinata* y *A. excelsum* se utilizó un tiempo de remojo de 24 horas, tiempo que está dentro de los rangos aceptados por el ISTA (2014) para las especies arbóreas. En el caso de las semillas de *S. parahyba*, las cuales presentan una cubierta muy dura, fueron sumergidas en agua destilada durante 48 horas a temperatura ambiente (entre 25°C y 30°C).

Las pruebas de germinación fueron realizadas en casa malla de color negro, con temperatura media de 29 °C, humedad relativa del 70 %, brillo solar de 6,5 horas luz/día y control de luz del 30 %. Las semillas fueron sembradas a una distancia de 5 cm entre hileras y 3 cm entre semillas, en bandejas de aluminio con un sustrato uniforme, conformado de 50 % de arena cuarcítica y 50 % de arcilla, ambos desinfectados con agua caliente. La profundidad de siembra fue de 2/3 del tamaño de la semilla, con la parte apical por donde emerge la radícula hacia abajo. Se realizaron dos riegos diarios a las 10:00 am y a las 4:00 pm. La germinación fue valorada durante 55 días. Se consideró la germinación cuando los cotiledones fueron levantados del nivel del sustrato. El PG correspondió al porcentaje acumulado de semillas germinadas al final del ensayo; el IVG fue calculado mediante la fórmula recomendada por Maguire (1962):

$$IVG = \frac{P_1}{T_1} + \frac{P_2}{T_2} + \frac{P_3}{T_3} + \dots + \frac{P_n}{T_n}$$

Donde: P_1 , P_2 , P_3 , ..., P_n = número de plántulas normales, germinadas y completas en el primer, segundo, tercer y último conteo de la evaluación.

$T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ = tiempo en días para cada germinación.

La GDM se consideró como la relación entre el porcentaje acumulado de semillas germinadas al final del ensayo y el número de días desde la siembra al término del ensayo, el VP como la GDM máxima alcanzada en el ensayo y, el VG correspondió al producto de la GDM por el VP (Czabator, 1962).

2.4. Análisis estadísticos

Con los datos obtenidos en las 14 variables estimadas se realizaron análisis de varianza y covarianza, para poder obtener las estimaciones de las correlaciones genéticas entre los caracteres estudiados, asumiendo un diseño experimental completamente al azar con 15 tratamientos y cuatro repeticiones de 25 semillas/repeticion en cada especie. Como las correlaciones fenotípicas tienen poco valor práctico, son riesgosas y pueden conllevar a errores, pues en ellas se incluye la asociación entre caracteres tanto de naturaleza genética como ambiental, por ello en este estudio solo se consideraron y se hizo mayor énfasis en la presentación y discusión de las correlaciones genéticas. Los análisis de correlaciones entre todos los caracteres evaluados se usaron para identificar relaciones entre parámetros fisiológicos de germinación y características físicas de semillas, buscando sustentar mejores prácticas de manejo silvicultural en vivero y conservación de semillas en cuarto frío.

Los análisis de varianza, covarianza y las correlaciones se realizaron mediante el uso del programa computacional GENES versión Windows (2009.7.0), desarrollado por Cruz (2014). Para estimar las correlaciones con los datos fenotípicos de las variables de respuesta, el programa aplica las fórmulas clásicas de correlación:

- a) Correlación fenotípica ($r_{F(XY)}$); $r_{F(XY)} = \text{COV}_{F(XY)} / S_{F(X)} \cdot S_{F(Y)}$
- b) Correlación genética ($r_{G(XY)}$); $r_{G(XY)} = \text{COV}_{G(XY)} / S_{G(X)} \cdot S_{G(Y)}$
- c) Correlación ambiental ($r_{E(XY)}$); $r_{E(XY)} = \text{COV}_{E(XY)} / S_{E(X)} \cdot S_{E(Y)}$

Dónde: $r_{(xy)}$, $COV_{(xy)}$, $S(x)$ y $S(y)$ son las correlaciones, covarianzas y las desviaciones estándar fenotípicas, genéticas y ambientales entre los caracteres X e Y, respectivamente.

Una vez estimados los coeficientes de correlación se confirmó la significancia estadística para cada coeficiente de correlación, planteando la hipótesis nula: $H_0: \rho = 0$, versus la hipótesis alterna: $H_a: \rho \neq 0$, mediante una prueba de T, dada por la siguiente fórmula (Steel & Torrie, 1980):

$$T_c = \frac{r\sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-r^2)}}$$

La T calculada (T_c): se comparó con una T tabular (T_t), al nivel de significancia seleccionado: 0,05 y 0,01 y con $(n-2)$ grados de libertad. La regla de decisión fue: si $T_c \geq T_t$, entonces el valor de ρ es estadísticamente diferente de cero.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El grupo de las 14 características relacionadas con dimensiones, peso y los parámetros fisiológicos de la germinación de las semillas presentó diferencias estadísticas ($Pr < 0,01$ y $Pr < 0,05$) entre los 15 lotes de semillas en cada una de las cinco especies estudiadas, indicando que al menos uno de los promedios es estadísticamente diferente para las 14 variables: AS, LS, RALA, PES, P100S, NSKG, DIG, DDG, DFG, PG, IVG, VG, GDM y VP. Dado el objetivo del estudio y para facilitar la presentación de los resultados, en este capítulo se tomó la decisión de no presentar la tabla que indica los análisis de varianza por especie, en razón a que no muestra un gran aporte al objetivo de este estudio y al gran tamaño de dicha tabla, ya que la misma estaría compuesta de cinco filas o fuentes de variación (lotes, error, total, media y CV), 15 columnas, una para los grados de libertad y 14 para las variables en estudio, además

esta información habría que repetirla para presentar los resultados del análisis de varianza para cada una de las cinco especies. Resultados similares a los encontrados en este estudio, han sido reportados en varias especies forestales por Vieira *et al.* (2009), Costa *et al.* (2009), Dias *et al.* (2009), Rocha *et al.* (2011), Ferreira *et al.* (2012), Silva *et al.* (2012), Correa (2012), Correa *et al.* (2013) y Barboza-Nogueira *et al.* (2014).

Los coeficientes de correlación genotípica entre todos los caracteres estudiados para las cinco especies consideradas, se presentan en las Tablas 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 y 6.5.

Para abarco (Tabla 6.1), se observó que entre los caracteres morfométricos de la semilla, el ancho de la semilla (AS) presentó correlaciones significativas, altas y directas con la relación ancho/largo de la semilla (RALA), peso de semilla (PES) y peso de 100 semillas (P100S), con coeficiente de correlación genético mayor de 0,62*, mientras que con el número de semillas/kilogramo (NSKG), también presentó asociación alta, significativa y de sentido inverso ($r = -0,65^*$). Situación similar, pero con niveles de correlación genética ligeramente más altos, se observó entre la longitud de la semilla (LS) con RALA, PES, P100S y NSKG ($r \geq 0,82^{**}$). La variable RALA no presentó correlación significativa para con ninguno de los otros 13 caracteres. El PS estuvo perfectamente asociado en forma directa con el P100S ($r = 1,00^{**}$) y de manera inversa con el NSKG ($r = -0,97^{**}$), nivel de correlación igual se observó entre el P100S y el NSKG ($r = -0,97^{**}$). Este nivel de asociación en magnitud y sentido entre PES, P100S y NSKG, era de esperarse, ya que el P100S y NSKG son variables derivadas del PES, esto es, el P100S se obtuvo a partir del PES $\times 100$ y a partir del P100S se obtuvo el NSKG. La relación inversa se explica en razón a que a medida que las semillas son más pesadas el NSKG será menor y viceversa.

Tabla 6.1. Correlaciones genéticas entre 14 caracteres morfométricos y parámetros fisiológicos de la germinación en las semillas de abarco (*C. pyriformis*).

Variables	LS	RALA	PES	P100S	NSKG	DIG	DFG	DDG	PG	IVG	GDM	VP	VG
AS	0,52	0,74**	0,62*	0,62*	-0,65*	0,04	0,15	0,12	0,18	-0,11	0,00	0,01	0,01
LS		-0,17	0,84**	0,84**	-0,82**	0,21	0,50	0,31	-0,40	-0,56	-0,63*	-0,69*	-0,66*
RALA			0,09	0,11	-0,14	-0,10	-0,16	-0,07	0,43	0,24	0,39	0,42	0,41
PES				1,00**	-0,97**	-0,06	0,29	0,38	-0,51	-0,35	-0,46	-0,46	-0,45
P100S					-0,97**	-0,06	0,29	0,38	-0,51	-0,35	-0,46	-0,46	-0,45
NSKG						-0,09	-0,43	-0,36	0,35	0,35	0,46	0,43	0,42
DIG							0,56	-0,47	0,34	-0,75**	-0,28	-0,55	-0,42
DFG								0,47	-0,09	-0,76**	-0,84**	-0,89**	-0,86**
DDG									-0,46	-0,02	-0,59*	-0,36	-0,47
PG										0,25	0,61*	0,46	0,53
IVG											0,77**	0,94**	0,88**
GDM												0,96**	0,98**
VP													0,99**

*, ** Correlaciones significativas al 5 % y 1 % de probabilidad, respectivamente.

Tabla 6.2. Correlaciones genéticas entre 14 caracteres morfométricos y parámetros fisiológicos de la germinación en las semillas de caracolí (*A. excelsum*).

Variables	LS	RALA	PES	P100S	NSKG	DIG	DFG	DDG	PG	IVG	GDM	VP	VG
AS	-0,14	0,72**	-0,29	-0,29	0,26	-0,19	0,31	0,39	-0,09	-0,13	-0,62	-0,54	-0,13
LS		-0,80**	0,94**	0,94**	-0,92**	-0,18	-0,18	-0,15	0,09	-0,18	0,57	-0,74**	-0,06
RALA			-0,85**	-0,85**	0,82**	0,00	0,27	0,30	0,05	0,07	-0,68*	0,26	-0,05
PES				1,00**	-0,99**	-0,22	0,18	0,26	-0,11	-0,45	-0,23	-1,30	-0,14
P100S					-0,99**	-0,22	0,18	0,26	-0,11	-0,45	-0,23	-1,30	-0,13
NSKG						0,26	-0,12	-0,21	0,12	0,47	0,16	1,42	0,15
DIG							0,51	0,30	-0,43	-0,97**	-0,96**	-0,93**	-0,46
DFG								0,97**	-0,30	-0,09	-0,97**	0,44	-0,70**
DDG									-0,20	0,23	-0,95**	0,81**	-0,63*
PG										0,93**	0,60*	0,78**	0,75**
IVG											-0,31	0,82**	0,84**
GDM												-0,98**	0,88**
VP													0,83**

*, ** Correlaciones significativas al 5 % y 1 % de probabilidad, respectivamente.

En general, los caracteres relacionados con las dimensiones y peso de la semilla (AS, LS, RALA, PES, P100S y NSKG) no presentaron correlación significativa con los parámetros de calidad fisiológica de la semilla (DIG, DDG, DFG, PG, IVG, VG, GDM y VP), excepto LS, la cual mostró asociación significativa e inversa ($r \geq -0,3^*$) con la germinación diaria media (GDM), valor pico (VP) y valor germinativo (VG) de las semillas.

En el grupo de parámetros fisiológicos de la germinación de las semillas, el número de días a inicio de la germinación (DIG), número de días durante la germinación de las semillas (DDG) y el número de días para finalizar la germinación de las semillas (DFG), no mostraron correlación genética significativa entre ellas, pero sí con otras variables. El DIG solo presentó correlación genética significativa e inversa ($r = -0,75^{**}$) con el índice de velocidad de germinación (IVG), lo que indica que a menor número de días para iniciar la germinación, mayor velocidad de germinación y viceversa. Situación similar, pero con una magnitud de correlación ligeramente menor ($r = -0,59^*$), se observó entre el DDG y la GDM. Por su parte el DFG presentó correlación significativa alta e inversa ($r = -0,76^{**}$ a $-0,89^{**}$) con el IVG, GDM, VP y VG. El porcentaje de germinación acumulado (PG) solo mostró asociación genética significativa y positiva con la GDM, lo que era de esperarse ya que la GDM se obtiene dividiendo el PG entre el DFG. A su vez, el IVG estuvo estrechamente interrelacionado con GDM, VP y VG, ya que su coeficiente de correlación genético fue significativo, alto y directo con valores de $0,77^{**}$, $0,94^{**}$ y $0,88^{**}$, respectivamente. La GDM fue el parámetro que más estuvo correlacionado con otros caracteres de la germinación presentando además correlación genética significativa, alta y directa con VP y VG ($r \geq 0,96^{**}$). Finalmente, el VP presentó correlación casi perfecta y directa con el VG, ya que su coeficiente de correlación fue de $0,99^{**}$. La asociación entre VG con el GDM y el VP era de esperarse, ya que el VG se origina del producto del GDM x VP.

De acuerdo con varios autores (Falconer, 1972; Hallauer & Miranda, 1981; Mariotti, 1986; Vencovsky & Barriga, 1992; Falconer & Makay, 1996; Cruz & Regazzi, 1997; Cruz, 2006; Ceballos, 2003; Vallejo *et al.*, 2010), la correlación significativa y positiva entre dos variables (AS con RALA y PES; PG con GDM; VG con GDM y VP), significa que a medida que la una aumenta o disminuye la otra también lo hace en el mismo sentido, mientras que la correlación significativa e inversa entre dos variables (AS, LS y PES con NSKG; DIG con IVG; DFG con IVG, GDM, VP y VG), significa que a medida que la una aumenta o disminuye la otra lo hace en el sentido inverso. La presencia de esta correlación genética sugiere que el control genético de las variables asociadas está dado por un mismo gen con efectos pleiotrópicos o por varios genes que están muy ligados en el mismo cromosoma. A su vez la ausencia de asociación genética entre dos caracteres (RALA con PES, DIG, DDG, DFG, PG y IVG; PG con PES, NSKG, VP y VG, etc.), indica que el control genético de tales variables está dado por genes diferentes, que no están ligados entre ellos y sin efectos pleiotrópicos para esos caracteres.

Las correlaciones genéticas obtenidas para el mismo grupo de variables en caracolí (Tabla 6.2), cedro (Tabla 6.3), ceiba roja (Tabla 6.4) y tambor (Tabla 6.5) resultaron muy similares en magnitud y sentido a las presentadas en abarco (Tabla 6.1), con ligeras diferencias en niveles y significancias estadísticas entre algunos pares de variables, lo cual se puede constatar al comparar los resultados presentados en las cinco tablas antes mencionadas. Esto confirma la asociación de los caracteres dimensiones y peso de la semilla entre sí (AS, LS, RALA, PES, P100S y NSKG), al igual que el nivel de correlación entre sí de los parámetros fisiológicos de la germinación de las semillas (DIG, DDG, DFG, PG, IVG, VG, GDM y VP) y la ausencia o bajo nivel de correlación genético entre las variables de los dos grupos mencionados para las cinco especies, excepto en la especie tambor, donde se detectan mayores niveles de interrelación y grado de significancia estadística entre las variables, sobresaliendo la LS y PES con DDG, DFG, PG, IVG, VG, GDM y VP, con coeficientes de correlación genética entre -0,60* y 0,98**.

Tabla 6.3. Correlaciones genéticas entre 14 caracteres morfométricos y parámetros fisiológicos de la germinación en las semillas de cedro (*C. odorata*).

Variables	LS	RALA	PES	P100S	NSKG	DIG	DFG	DDG	PG	IVG	GDM	VP	VG
AS	-0,26	0,68*	0,22	0,24	-0,46	-0,44	-0,64*	-1,00**	-0,47	0,02	-0,02	-0,02	0,04
LS		-0,89**	0,61*	0,64*	-0,32	0,22	-0,07	-0,66*	-0,28	-0,30	-0,23	-0,27	-0,26
RALA			-0,67*	-0,55	0,19	-0,40	-0,20	0,21	0,09	0,31	0,24	0,27	0,28
PES				0,96**	-0,90**	-0,13	-0,41	-0,97**	-0,70**	-0,38	-0,41	-0,34	-0,36
P100S					-0,96**	-0,14	-0,44	-1,00**	-0,74**	-0,40	-0,44	-0,36	-0,38
NSKG						0,22	0,39	0,73**	0,78**	0,39	0,49	0,37	0,40
DIG							1,00**	0,98**	-0,07	-0,74**	-0,71**	-0,76**	-0,78**
DFG								0,99**	0,10	-0,54	-0,51	-0,58*	-0,56
DDG									0,43	-0,14	-0,10	-0,20	-0,12
PG										0,71**	0,79**	0,71**	0,71**
IVG											0,98**	1,00**	1,00**
GDM												0,99**	0,99**
VP													1,00**

*, ** Correlaciones significativas al 5 % y 1 % de probabilidad, respectivamente.

Tabla 6.4. Correlaciones genéticas entre 14 caracteres morfométricos y parámetros fisiológicos de la germinación en las semillas de ceiba roja (*B. quinata*).

Variables	LS	RALA	PES	P100S	NSKG	DIG	DFG	DDG	PG	IVG	GDM	VP	VG
AS	1,00**	1,00**	0,71*	0,70*	-0,58*	0,41	-0,20	-0,30	-0,19	-0,27	0,01	0,03	0,02
LS		1,00**	0,73*	0,72*	-0,61*	0,39	-0,13	-0,23	-0,15	-0,26	0,05	0,06	0,07
RALA			0,36	0,61*	-0,48	0,55	-0,24	-0,38	-0,29	-0,39	-0,15	-0,15	-0,19
PES				1,00**	-1,00**	0,14	0,05	0,01	0,04	0,01	0,00	0,15	0,07
P100S					-1,00**	0,14	0,05	0,01	0,03	0,01	0,00	0,15	0,07
NSKG						-0,09	-0,14	-0,09	-0,05	-0,04	0,01	-0,14	-0,05
DIG							-0,26	-0,54	0,08	-0,14	0,20	0,19	0,16
DFG								0,95**	-0,89**	-0,83**	-1,00**	-1,00**	-1,00**
DDG									-0,80**	-0,69*	-1,00**	-1,00**	-1,00**
PG										1,00**	0,85**	0,92**	0,85**
IVG											0,85**	0,92**	0,87**
GDM												1,00**	1,00**
VP													0,99**

*, ** Correlaciones significativas al 5 % y 1 % de probabilidad, respectivamente.

La variable que presentó el mayor grado de asociación con las otras 13 características en las cinco especies fue la germinación diaria media (GDM) con un total de 36 correlaciones genéticas significativas, un rango de 5 (cedro) a 11 (tambor) y una media de 7,2, mientras que el carácter que menos estuvo asociado con las otras variables fue los días a inicio de la germinación (DIG) con un total de 10, un rango de 0 (ceiba y tambor) a 6 (cedro) y una media de 2,0 correlaciones genéticas significativas. A su vez la especie en donde las 14 variables estuvieron más interrelacionadas fue tambor con un total de 68 de 91 correlaciones posibles (74,7 %) y una media de 5,2 correlaciones genéticas significativas, mientras que abarco fue la especie en donde las variables en estudio mostraron su menor asociación, con un total de 26 de 91 correlaciones posibles (28,6 %) y una media de 2,0 correlaciones genéticas significativas. Esto señala la diferencia existente entre las 14 variables relacionadas con las dimensiones, peso y parámetros fisiológicos de la germinación de las semillas en las cinco especies estudiadas.

Desde el punto de vista práctico es de resaltar la ausencia de correlación genética entre el PG con las dimensiones y peso de las semillas en abarco (Tabla 6.1), caracolí (Tabla 6.2) y ceiba roja (Tabla 6.4), es decir, el porcentaje de germinación acumulado (PG) no estuvo genéticamente asociado con AS, LS, PES, P100S y NSKG en estas tres especies. Fenómeno opuesto se detectó en las especies cedro (Tabla 6.3) y tambor (Tabla 6.5), con niveles de correlación significativos e inversos entre PG con PES y P100S en cedro ($r \geq -0,70^*$) y correlación genética alta, directa y significativa ($p < 0,01$) de PG con AS, LS, PES y P100S ($r \geq 0,71^*$) en tambor.

La magnitud, sentido y significancia de estas correlaciones genéticas entre el PG y las dimensiones y peso de las semillas en cedro y tambor son de gran importancia en los procesos de selección, manejo y conservación de las semillas de tales especies forestales, en razón a que es posible realizar selección de árboles o semillas de forma indirecta por alto PG, a través del

peso de sus semillas, la cual es una característica mucho más fácil, rápida y económica (en tiempo, costo y recursos humanos) de estimar comparada con el PG, que es un carácter más difícil, demorado y más costoso de estimar en forestales, sobre todo en especies nativas, en donde generalmente se presentan bajos porcentajes de germinación y problemas de dormancia, que requieren tratamientos pre-germinativos para poder lograr una germinación alta.

Resultados similares a los obtenidos en este estudio son reportados por Mwase & Mvula (2011), Ferreira *et al.* (2012), Silva *et al.* (2012), Correa (2012), Correa *et al.* (2013), Barboza-Nogueira *et al.* (2014).

Tabla 6.5. Correlaciones genéticas entre 14 caracteres morfométricos y parámetros fisiológicos de la germinación en las semillas de tambor (*S. parahyba*).

Variables	LS	RALA	PES	P100S	NSKG	DIG	DFG	DDG	PG	IVG	GDM	VP	VG
AS	0,99**	-1,00**	0,95**	0,94**	-0,95**	-0,50	-0,68*	-0,47	0,71*	0,67*	0,78**	0,78**	0,67*
LS		-0,92**	1,00**	1,00**	-0,95**	0,17	-0,86**	-0,60*	0,90**	0,89**	0,88**	0,89**	0,81**
RALA			-0,87**	-0,87**	0,33	-0,46	0,73*	0,86**	-0,58*	-0,40	-0,60*	-0,55	-0,58*
PES				1,00**	-0,57	-0,06	-0,72*	-0,72*	0,90**	0,90**	0,98**	0,97**	0,94**
P100S					-0,56	-0,06	-0,72*	-0,72*	0,90**	0,90**	0,98**	0,97**	0,94**
NSKG						0,45	0,75*	0,53	-0,57*	-0,58*	-0,50	-0,51	-0,47
DIG							0,36	-0,20	-0,26	-0,42	-0,39	-0,26	-0,27
DFG								0,84**	-0,78**	-0,90**	-0,86**	-0,96**	-0,94**
DDG									-0,67*	-0,69*	-0,68*	-0,86**	-0,83**
PG										0,95**	0,99**	0,96**	0,91**
IVG											0,98**	0,98**	0,99**
GDM												1,00**	0,98**
VP													1,00**

*, ** Correlaciones significativas al 5 % y 1 % de probabilidad, respectivamente.

La literatura reporta que el tamaño y peso de semillas de un mismo árbol, por lo general están asociados con un mayor porcentaje de germinación y desempeño de las plántulas, en razón a que semillas grandes y pesadas

contienen mayores cantidades de carbohidratos en el endospermo o cotiledones, que refleja la disponibilidad de una mayor fuente de energía para estimular la germinación, emergencia, supervivencia y crecimiento de las plántulas (Khurana & Singh, 2001). Estas correlaciones han sido observadas en varios trabajos (Leishman *et al.*, 2000; Tenorio-Galindo *et al.*, 2008; Huerta-Paniagua & Rodríguez-Trejo, 2011). Sin embargo, otras investigaciones no reportan tales asociaciones (Alba-Landa *et al.*, 2007; Rodrigues & Vieira, 2009; Binotto *et al.*, 2010).

Parece ser que la variación en el tamaño promedio de semillas entre árboles latifoliados está explicada por el fenómeno de la doble fertilización, donde hay una mayor participación materna en el endospermo ($2n_{\text{♀}} + 1n_{\text{♂}}$), por lo que su tasa de germinación promedio no guarda relación con el tamaño promedio de su semilla (Murillo *et al.*, 2012). En teca otros autores reportan resultados en donde los mayores IVG se asocian a los lotes de semilla con mayor PG (Indira *et al.*, 2000; Vieira *et al.*, 2009; Dias *et al.*, 2009). En *Hevea brasiliensis* se reportan correlaciones fenotípicas altas, significativas y directas entre PG con el IVG (Moreno *et al.*, 2006).

Las diferencias entre los resultados obtenidos en las cinco especies y los reportados por otros autores, pueden tener su explicación en otros factores, no considerados en este estudio, como: constitución genética propia de cada especie (control genético, interacciones genéticas a nivel del núcleo y/o del citoplasma, etc.), nivel de domesticación y/o mejoramiento genético, tipo de reproducción (sexual, apomixis, asexual), nivel de alogamia (autógama, alógama o intermedia), morfología, anatomía, histología, composición química, condiciones ambientales durante el desarrollo ontogénico de la semilla, mecanismos de protección de la semilla en el fruto, colecta, beneficio, manejo y conservación de las semillas, entre otros, los cuales varían notablemente de acuerdo con la especie (Niembro, 1988; Niembro *et al.*, 2007). Falconer & Mackay (1996) señalan que la diferencia entre las

correlaciones genéticas para un mismo grupo de variables, aun en una misma especie, es común y se explican por una influencia moderada de los factores ambientales y/o factores genéticos no aditivos (interacciones genéticas), los cuales subestiman o sobreestiman la verdadera expresión del nivel de correlación entre las variables estudiadas, ya que esos factores ambientales pueden afectar a las variables en estudio a través de un mismo o diferentes mecanismos fisiológicos.

Con base en lo anterior, la mayoría de los autores (Aráoz *et al.*, 2004; Rego *et al.*, 2005; Costa *et al.*, 2005; Alba-Landa *et al.*, 2007; Niembro *et al.*, 2007; Tenorio-Galindo *et al.*, 2008; Costa *et al.*, 2009; Binotto *et al.*, 2010; Mwase & Mvula, 2011; Rocha *et al.*, 2011; Huerta-Paniagua & Rodríguez-Trejo, 2011; Ferreira *et al.*, 2012; Correa, 2012; Silva *et al.*, 2012; Correa-Álvarez *et al.*, 2013; Barboza-Nogueira *et al.*, 2014) sugieren en los programas de mejoramiento genético forestal, considerar la magnitud y sentido de correlaciones de cada especie por separado, cuando se necesite el nivel de asociación de estos caracteres en el proceso de definición del número de semillas/kg o en la selección temprana de semillas, plántulas o árboles para obtener genotipos de alto rendimiento. No obstante, es necesario tener en cuenta igualmente los efectos indirectos que tienen otras variables a través de estas, las cuales pueden generar cambios inesperados en la ganancia genética correlacionada por selección.

La magnitud, sentido y significancia de las correlaciones genéticas entre el PG y las dimensiones y peso de la semillas en cedro y tambor son de gran importancia y pueden ser consideradas y utilizadas en los procesos de selección, manejo y conservación de las semillas forestales, en razón a que es posible realizar selección de árboles o semillas de forma indirecta por alto PG, a través del peso de sus semillas, la cual es una característica mucho más fácil, rápida y económica (en tiempo, costo y recursos humanos) de estimar comparada con el PG.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En general las correlaciones genéticas entre dimensiones, peso y parámetros de germinación de las semillas de abarco, caracolí, cedro, ceiba roja y tambor, resultaron muy similares en magnitud, sentido (directo e inverso) y significancia estadística, con ligeras diferencias entre algunos pares de variables.

Entre los caracteres morfométricos y el peso de la semilla (AS, LS, RALA, PES, P100S y NSKG) se estimaron correlaciones genéticas significativas ($r \geq 0,61^*$), al igual que en el grado de asociación entre sí de los parámetros fisiológicos de la germinación de las semillas: DIG, DDG, DFG, PG, IVG, VG, GDM y VP ($r \geq -0,59^*$).

Los parámetros fisiológicos de germinación de las semillas, y los caracteres morfométricos y peso de semilla, no presentaron correlación genética significativa, excepto en tambor donde se detectaron mayores grados de correlación genética y significancia estadística entre las variables de los dos grupos mencionados, sobresaliendo la LS y PES con DDG, DFG, PG, IVG, VG, GDM y VP, con valores de coeficientes de correlación genética entre $-0,60^*$ y $0,98^{**}$.

El porcentaje de germinación acumulado (PG) estuvo genéticamente asociado con AS, LS, PES, P100S y NSKG en cedro y tambor, en donde se observaron niveles de correlación significativos e inversos entre PG con PES y P100S en cedro ($r \geq -0,70^*$) y correlación genética alta, directa y significativa ($p < 0,01$) de PG con AS, LS, PES y P100S ($r \geq 0,71^*$) en tambor.

La germinación diaria media (GDM) presentó el mayor grado de asociación con las otras 13 características en las cinco especies, con un total de 36 correlaciones genéticas significativas, un rango de 5 (cedro) a 11 (tambor) y una media de 7,2; mientras que el carácter que menos estuvo asociado

con las otras variables fue los días a inicio de la germinación (DIG) con un total de 10, un rango de 0 (ceiba y tambor) a 6 (cedro) y una media de 2,0 correlaciones genéticas significativas.

La especie en donde las 14 variables estuvieron más correlacionadas genéticamente fue tambor con un total de 68 de 91 correlaciones posibles (74,7 %) y una media de 5,2 correlaciones genéticas significativas, mientras que abarco fue la especie en donde las variables en estudio mostraron su menor asociación, con un total de 26 de 91 correlaciones posibles (28,6 %) y una media de 2,0 correlaciones genéticas significativas.

Las correlaciones genéticas entre el PG y las dimensiones y peso de la semillas (PES) en cedro y tambor pueden ser consideradas y utilizadas en los procesos de selección, manejo y conservación de las semillas forestales, en razón a que es posible realizar selección de árboles o semillas de forma indirecta por alto PG, a través del PES, la cual es una característica mucho más fácil, rápida y económica (en tiempo, costo y recursos humanos) de estimar comparada con el PG.

5. REFERENCIAS

- Alba-Landa, J., Ramírez-García, E. & Aparicio-Rentería, A. (2007). Correlación de semillas y plántulas de *Pinus teocote* (Schl. Et Cham), de tres procedencias del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 9(1): 23-27.
- Araméndiz, H., Espitia, M. & Cardona, C. (2010). Análisis de sendero en berenjena (*Solanum melongena* L.). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 13(1): 115-123.
- Aráoz, S., Longo, O. & Karlin, O. (2004). Germinación de semillas de *Zizyphus mistol* Grisebach III. Correlaciones paramétricas del tamaño y peso de drupas, endocarpos y semillas con la germinación y el vigor. *Multequina*, 13: 51-56.

- Barboza-Nogueira, F.C., Lobo-Pinheiro, CH., Medeiros-Filho, S. & Da Silva Matos, D.M. (2014). Seed germination and seedling development of *Anadenanthera colubrina* in response to weight and temperature conditions. *Journal of Plant Sciences*, 2(1): 37-42.
- Binotto, A.F., Col-Lúcio, A.D. & Lopes, S.J. (2010). Correlations between growth variables and the dickson quality index in forest seedlings. *Cerne*, 16(4): 457-464.
- Cardona-Medina, E. & Muriel, S.B. (2015). Seed germination and plant development in *Escobedia grandiflora* (Orobanchae): Evidence of obligate hemiparasitism?. *Acta biol. Colomb*, 20(3): 133-140.
- Ceballos, H. (2003). *Genética Cuantitativa y Fitomejoramiento*. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Impreso Universitario para Posgrado.
- Copeland, L. & Mcdonald, M. (2001). *Principles of seed science and technology*. 4ª ed. EUA: Kluwer Academic Publishers.
- Correa, E. (2012). *Estandarización del procesamiento de semillas para conservación de germoplasma de tres especies forestales en Córdoba*. Tesis de Maestría en Ciencias Agronómicas, área de formación en Fitomejoramiento. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Córdoba, Montería, Colombia.
- Correa, E.A., Espitia, M., Araméndiz, H., Murillo, O. & Pastrana, I. (2013). Variabilidad genética en semillas de árboles individuales de *Tectona grandis* L.f. en la conformación de lotes mezclados en Córdoba, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2): 379-389.
- Costa, R., Chichorro, J., Resende, M., Roa, R., Cotta, T. & Cezana, D. (2009). Variabilidade genética para o carácter germinação em matrizes de teca, no Município de Alegre, ES. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 59: 57-61.
- Costa, R., Gonçalves, P., Oliveira, L., Arruda, E., Roa, R. & Martins, W. (2005). Variabilidade genética e estimativas de herdabilidade para o carácter germinação em matrizes de *Hevea brasiliensis*. *Revista Floresta e Ambiente*, 12(1): 74-76.

- Cruz, C. D. (2006). *Programa Genes: Biometria*. Viçosa (MG): Editora UFV.
- Cruz, C. (2014). Programa genes. Versão Windows. Aplicativo computacional em genética e estatística. Versión 2009.7.0. Universidade Federal de Viçosa. Disponible desde Internet em: <http://www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm>(con acceso el 05/04/2014).
- Cruz, C.D. & Regazzi, A.J. (1997). *Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético*. 2ª edición. Brasil: Editora UFV.
- Czabator, F. (1962). Germination value: An Index Combining Speed and Completeness of Pine Seed Germination". *Forest Science*, 8(4): 386-396.
- Dias, J., Caproni, A., Wadt, P., Silva, L., Tavella, L. & Oliveira, J. (2009). Quebra de dormência em diásporos de teca (*Tectona grandis* L.f.). *Acta Amazônica*, 39(3): 549-554.
- Espitia, M. (2013). Importancia de la adaptabilidad y estabilidad fenotípica en la liberación comercial de nuevas variedades de frijol caupí. Conferencia en Primera Jornada Tecnológica Internacional sobre Frijol Caupí. Memorias en CD. Montería, Universidad de Córdoba, noviembre/28-29/2013.
- Espitia, M. & Araméndiz, H. (2013). Investigación en semillas forestales en el departamento de Córdoba. Conferencia Magistral. ISSN 2248-6674. XLIII Congreso Anual de COMALFI (Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal). Hotel Caribe, Cartagena (Bolívar) 25, 26 y 27/Septiembre/2013. 133p.
- Espitia, M., Araméndiz, H., Cardona, C. (2008). Correlaciones para algunas propiedades físicas y químicas del fruto de maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.). *Revista Agronomía Colombiana*, 26(2): 292-299.
- Falconer, D. S. (1972). *Introducción a la Genética Cuantitativa*. Traducción: Fidel Márquez Sánchez. Tercera impresión. Edinburgh and London: Oliver and Boyd, Ltd.
- Falconer, D.S. & Mackay, T. (1996). *Introduction to Quantitative Genetics*. Fourth edition. Kuala Lumpur (Malaysia): Prentice-Hall.

- Ferreira, C.D., Souto, P.C., Lúcio, A.F., Souto, J.S. & Souza, B.V. (2012). Avaliações biométricas e germinação de sementes de Coaçu (*Triplaris surinamensis* Cham). *Revista Brasileira Tecn. Apli. Ciên. Agrá*, 5(1): 147-162.
- Frattaroli, A.R., Di Martino, L., Di Cecco, V., Catoni, R., Varone, L., Di Santo, M. & Gratani, L. (2013). Seed germination capability of four endemic species in the Central Apennines (Italy): relationships with seed size. *Lazaroa*, 34(1): 43-53.
- Hallauer, A.R. & Miranda, J.B. (1981). *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Iowa State University Press, Ames (10).
- Hoppe, J., Genro, C., Vargas, C., Floriano, E., Reis, E., Fortes, F., Müller, I., Farias, J., Calegari, L. & Da Costa, L. (2004). *Produção de sementes e mudas florestais, Cuaderno Didático nº 1, 2ª*. Santa Maria: UFSM-PPGEP.
- Huerta-Paniagua, R. & Rodríguez-Trejo, D. (2011). Efecto del tamaño de semilla y la temperatura en la germinación de *Quercus rugosa* Née. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(2): 179-187.
- Indira, E., Basha, S. & Chacko, K. (2000). Effect of seed size grading on the germination and growth of teak (*Tectona grandis*) seedlings. *Journal of Tropical Forest Science*, 12: 21-27.
- ISTA-International Seed Testing Association (2014). International Rules for Seed Testing 2014. The International Seed Testing Association, Bassersdorf, Suiza. 272p.
- Kani, I., Jochen, K. & Wilfried, S. (2010). Age-Age Correlations and Early Selection for Height in a Clonal Genetic Test of Norway Spruce. *Forest Science*, 56(2): 212-221.
- Khurana, E. & Singh, J. (2001). Ecology of tree seed and seedlings: Implications for tropical forest conservation and restoration. *Current Science*, 80(6): 748-757.
- Leishman, M., Wright, I., Moles, A. & Westoby, M. (2000). The evolutionary ecology of seed size. In M. Fenner (Ed.), *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities* (pp.31-57). London: CABI Pub.

- Maguire, D. (1962). Speed of germination-aid. In: Selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Crop Science*, 2: 176-177.
- Mariotti, J.A. (1986). *Fundamentos de Genética Biométrica. Aplicaciones al Mejoramiento Genético Vegetal*. Washington D.C.: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos.
- Matthews, S. (1981). Evaluation of techniques for germination and vigour studies. *Seed Science and Technology*, 9(2): 543-551.
- Miranda, J.E. & Cruz, C.D. (1988). Análise dialélica em pimentão. 1. Capacidade combinatoria. *Revista Brasileira de Genética*, 11(2): 431-440.
- Moreno, F., Plaza, G. & Magnitskiy, S. (2006). Efecto de la testa sobre la germinación de semillas de caucho (*Hevea brasiliensis* Muell.). *Agronomía Colombiana*, 24(2): 290-295.
- Murillo, O., Espitia, M. & Castillo, C. (2012). *Fuentes semilleras para la producción forestal*. Universidad de Córdoba. Bogotá: Ed. Domar S.A.S.
- Mwase, W.F. & Mvula, T. (2011). Effect of seed size and pre-treatment methods of *Bauhinia thonningii* Schum. on germination and seedling growth. *African Journal of Biotechnology*, 10(13): 5143-5148.
- Niembro, A. (1988). *Semillas de árboles y arbustos: Ontogenia y estructura*. México: Editorial Limusa.
- Niembro, A. Ramírez-García, E. & Aparicio-Rentería, A. (2007). Correlación entre características de frutos de *Swietenia macrophylla* King con su contenido de semillas desarrolladas. *Foresta Veracruzana*, 9(1): 49-53.
- Padua, F. M. (2004). Juvenile selection of *Gmelina arborea* clones in the Philippines. *New Forest*, 28: 195-200.
- Palencia, G., Mercado, T. & Combatt, E. (2006). *Estudio agroclimático del departamento de Córdoba*. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba.
- Perry, D. (1984). *Manual de métodos de ensayo de vigor*. Madrid: Instituto Nacional de Semillas y Plantas de Vivero.
- Piedrahita, E. (2008). *Semillas y viveros forestales*. Impreso Universitario. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

- Poorter, L. & Rose, S. (2005). Light-dependent changes in the relationship between seed mass and seedling traits: a meta-analysis for rain forest tree species. *Oecologia*, 142(1): 378-387.
- Rego, F., Costa, R., Contini, A., Moreno, R., Rondelli, K. & Kumimoto, H. (2005). Variabilidade genética e estimativas de herdabilidade para o caráter germinação em matrizes de *Albizia lebbbeck*. *Ciência Rural*, 35(5): 1209-1212.
- Rivera-Martin, L.E., Peñuela-Mora, M.C., Jiménez-Rojas, E.M. & Vargas-Jaramillo, M. del. P. (2013). Ecología y silvicultura de especies útiles amazónicas: Abarco (*Cariniana micrantha* Ducke), Quinilla (*Manilkara bidentata* (A. DC.) A. Chev.) y Violeta (*Peltogyne paniculata* Benth). Universidad Nacional de Colombia (Sede Amazonas) - Instituto Amazónico de Investigaciones, IMANI. 180p.
- Rocha, R., Vieira, A., Spinelli, V. & Vieira, J. (2011). Caracterização de fatores que afetam a germinação de teca (*Tectona grandis*): temperatura e escarificação. *Revista Árvore*, 35(2): 205-212.
- Rodrigues, M.S.B. & Vieira, C.A.R. (2009). Correlação entre testes para avaliação da qualidade de sementes de girassol e emergência das plântulas em campo. *Ciência Rural, Santa Maria*, 39(7): 2004-2009.
- Rodríguez-Rivas, G., Márquez, J. & Rebolledo-Camacho, (2001). Determinación del potencial y eficiencia de producción de semillas de *Cedrela odorata* L. y su relación con caracteres morfométricos de frutos. *Foresta Veracruzana*, 3(1): 23-26.
- Silva, K.B., Alves, E.U., Matos, V.P. & Bruno, R.L. (2012). Caracterização morfológica de frutos, sementes e fases da germinação de *Pachira aquatica* Aubl. (Bombacaceae). *Rev. Ciênc. Agr.*, 33(3): 891-898.
- Steel, R. & Torrie, J. (1980). *Principles and procedures of statistics*. New York, United States: McGraw-Hill.
- Tenorio-Galindo, G., Rodríguez-Trejo, D. & López-Ríos, G. (2008). Efecto del tamaño y color de la semilla en la germinación de *Cecropia obtusifolia* Bertol (Cecropiaceae). *Agrociencia*, 42: 585-593.

- Trujillo, E. (2013). *Guía de reforestación*. 3ª edición. Bogotá, Colombia: DAYBERMEDIOS Preparación Editorial.
- Vallejo, F., Espitia, M., Estrada, E. & Ramírez, H. (2010). *Genética Vegetal*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- Vencovsky, R. & Barriga, P. (1992). *Genética Biométrica no Fitomelhoramento*. Sociedade Brasileira de Genética.
- Vieira, A., Rocha, R. & Rebelo, A. (2009). Avaliação de métodos para a superação de dormência de diásporos de teca (*Tectona grandis* L.f.). *Floresta*, 39(2): 273-278.

Capítulo 7

INFLUENCIA DE LA CONFORMACIÓN DE MEZCLAS DE SEMILLAS, SOBRE LA VARIABILIDAD GENÉTICA EN FUTURAS PLANTACIONES DE CINCO ESPECIES FORESTALES NATIVAS

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia el sector forestal se ha venido consolidando debido a las ventajas que exhibe el país para su producción en términos de i) *suelos* con 17 millones de hectáreas aptas para reforestación, ii) *oferta ambiental* por la posición geográfica que le permite fotosíntesis durante todo el año, lo que se traduce en alta producción de biomasa, rendimiento y ciclos más cortos, iii) *desarrollo tecnológico* de modelos productivos, herramientas biotecnológicas y genéticas, iv) *beneficios tributarios* e incentivos y v) *demandas de productos forestales* como madera, carbón vegetal, manufacturas de maderas, etc. que se presentan como oportunidades para incursionar en proyectos forestales en el país, para el aprovechamiento del mercado nacional e internacional, a través de los tratados de libre comercio (Proexport, 2012; FAO, 2002).

Las plantaciones forestales se caracterizan por ser proyectos de alta inversión por demandar importantes cantidades de terrenos (cultivos extensivos) y presentar retornos económicos a largo plazo (uso de especies generalmente de ciclo perenne). Por ello, desde el punto de vista económico cada árbol representa un activo de alto valor; y ello demanda concebir desde la

planeación de las plantaciones, medidas que garanticen el aprovechamiento de todas las unidades productivas; sobre todo considerando que durante el ciclo productivo de las plantaciones (> 15 años para especies nativas), los árboles están expuestos a la alta variabilidad de los suelos (condiciones de salinidad, acidez, alcalinidad, sodicidad, etc.), fluctuaciones poblacionales de artrópodos plagas y enfermedades y a los fenómenos climáticos adversos y extremos (sequía, inundación, altas y bajas temperaturas y radiación solar, etc.). En este sentido, las poblaciones superan estas condiciones a través de variantes genéticas presentes en los individuos, confiriéndole así, resiliencia poblacional; de allí radica la importancia de conservar la variabilidad genética en las plantaciones forestales como recurso esencial para la mitigación de los efectos adversos de los factores ambientales descritos anteriormente.

El potencial de las plantaciones se puede representar entonces, mediante la ecuación clásica de fenotipo = genotipo + ambiente, en donde el manejo del componente ambiental está encaminado hacia la selección de ambientes favorables y a la aplicación de paquetes tecnológicos (manejo de nutrición, plagas, enfermedades, prácticas silviculturales, etc.) principalmente, y el componente genético hacia la mejora genética del material de siembra (White *et al.*, 2007). En relación a este último componente, generalmente la variabilidad genética presente en las poblaciones naturales, tiende a ser reducida en los Programas de Mejoramiento Genético (PMG), debido a los procesos de selección dirigidos principalmente hacia la obtención de poblaciones uniformes en características productivas de interés (FAO *et al.*, 2004; Vallejo & Estrada, 2002; El-Kassaby, 1995; El-Kassaby & Namkoong, 1995).

La uniformidad genética da lugar a pérdidas de producción debido principalmente a que las plagas y enfermedades se encuentran en constante mutación, rebasando las defensas de las plantas y provocando enormes pérdidas que a veces han llegado a ser catastróficas (Granados *et al.*, 2009);

así mismo, los efectos adversos de la variabilidad climática sobre las plantas, representados en condiciones desfavorables para el crecimiento, desarrollo y productividad, son considerados como importantes factores de estrés en la producción forestal (Alarcón & Pabón, 2013; Jarma *et al.*, 2012; Yepes & Silveira, 2011; Guariguata, 2009). Es por ello que, en programas de semillas forestales mejoradas (huertos y rodales semilleros) deben establecerse con varios individuos con genes distintos para evitar los efectos de depresión por endogamia, la transmisión de insuficiencias o tendencias de crecimiento no deseables de unos pocos árboles, lo cual podría ocasionar, que semillas de estos árboles con susceptibilidad a algún factor de tipo biótico o abiótico transmitan sus genes a las futuras plantaciones, originando un fracaso económico y ambiental (Murillo *et al.*, 2012; Trujillo, 2005).

A pesar que el problema de mezclas de semillas de diferentes árboles o fuentes semilleras en la conformación de lotes mezclados es muy común en Córdoba y en Colombia, son escasos los estudios sobre los efectos que genera este problema a nivel de siembra comercial, conservación de germoplasma y producción de plantas en vivero. No obstante, en diferentes partes del mundo, varios estudios se han realizado sobre variabilidad genética, parámetros genéticos y el efecto de lotes mezclados de semillas en diferentes especies (Davidson *et al.*, 1996; Murillo, 1998; Leishmann *et al.*, 2000; Cordazzo, 2002; Hoppe *et al.*, 2004; Costa *et al.*, 2005; Rego *et al.*, 2005; Varghese *et al.*, 2006; Resende & Duarte, 2007; Tenorio-Galindo *et al.*, 2008; Costa *et al.*, 2009; Fofana *et al.*, 2009; Rocha *et al.*, 2011; Huerta-Paniagua & Rodríguez-Trejo, 2011; Ferreira *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2012; Correa, 2012; Silveira *et al.*, 2012; Correa *et al.*, 2013; Souza & Fagundes, 2014). En general, los resultados han sido particulares y diferentes para cada especie, por ello se recomienda muy puntualmente analizar cada situación o caso por separado, con el objeto de tomar la mejor decisión de acuerdo con los objetivos puntuales que se busquen.

La variabilidad genética será reducida en los escenarios donde las plantaciones forestales sean establecidas con pocos clones vegetativamente propagados o por un efecto fundador basado en un número pequeño de árboles seleccionados (Kjaer *et al.*, 1999). Por lo tanto, dentro de las actividades de planeación de plantaciones se debe garantizar una variabilidad genética mínima en campo (Murillo *et al.*, 2012). Una práctica común en programas semilleros y viveros de producción de plántulas es la utilización de lotes de semillas mezclados como punto de partida para la producción del material de siembra. Sin embargo, en casi todos los casos se desconoce por completo la representatividad que tiene cada lote de semilla sobre el lote mezclado (Correa *et al.*, 2013). Otra práctica usual es la eliminación o descarte de semillas pequeñas y/o de poco peso; esto debido, a la tesis de que semillas grandes y pesadas contienen mayores cantidades de carbohidratos en el endospermo o cotiledones que se reflejan en la disponibilidad de una mayor fuente de energía para estimular la germinación, emergencia, supervivencia y crecimiento de las plántulas (Khurana & Singh, 2001). Por ello, se pensaría en primera instancia que el tamaño y peso de las semillas estuviesen asociados con la germinación, el vigor y el desempeño de las plántulas en campo. Tales asociaciones han sido observadas en varios trabajos (Davidson *et al.*, 1996; Moegenburg, 1996; Leishmann *et al.*, 2000; Tenorio-Galindo *et al.*, 2008; Huerta-Paniagua & Rodríguez-Trejo, 2011), mientras que otras investigaciones no han evidenciado dichas asociaciones (Alba-Landa *et al.*, 2007), por lo que resultados en este sentido son muchas veces contradictorios.

Estos interrogantes relacionados con las prácticas convencionales del manejo de los lotes de semilla, sin conocer su viabilidad y porcentaje de germinación, tienen especial importancia para programas de mejoramiento y de conservación de la variabilidad genética, ya que después de un costoso y laborioso esfuerzo de trabajo de campo, donde se ha colectado semilla de un número representativo de árboles, la composición de la población de plántulas que se obtendría al final de la fase de vivero para llevar a plantación, podría

representar tan solo un número muy inferior de los individuos a los que se les colectó la semilla, generándose un desequilibrio en la representatividad genética (Correa *et al.*, 2013; Murillo, 1998; Müller, 1997; Davidson *et al.*, 1996; El-Kassaby *et al.*, 1992; El-Kassaby, 1995).

Dada la importancia ecológica y económica de las especies forestales nativas y la utilización de lotes mezclados de semillas, el objetivo fue determinar el efecto de lotes mezclados de semillas sobre la variabilidad genética de futuras plantaciones de cinco especies forestales nativas, para la conservación de los recursos genéticos forestales y la variabilidad genética de las plantaciones de estas especies priorizadas para el Caribe colombiano.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización

El estudio se adelantó entre abril de 2013 y mayo de 2014 en la casa malla y el Laboratorio de Fitomejoramiento de la Universidad de Córdoba, ubicada en la zona media del valle del Sinú (Montería, Córdoba, Colombia), a 8°52' de latitud norte y 76°48' longitud oeste respecto al meridiano de Greenwich, a una altura de 13 msnm. La zona ecológica corresponde al bosque seco tropical con temperatura promedio de 28°C, humedad relativa de 84 % y precipitación anual de 1.200 mm (Palencia *et al.*, 2006).

2.2. Material genético

Se evaluaron 15 lotes familiares de semilla sexual de libre polinización de árboles seleccionados en diferentes plantaciones del departamento de Córdoba (Colombia), en cinco especies: *C. odorata* L. (Cedro), *C. pyriformis* Miers (Abarco), *B. quinata* (Jacq.) Dugand (Ceiba roja), *A. excelsum* (Bertero & Balb. ex Kunth) Skeels (Caracolí) y *S. parahyba* (Vell.) Blake (Tambor). Debido a que las especies en estudio son alógamas o prevalentemente alógamas (Niembro, 1988; Trujillo, 2013). Para cada especie, cada lote de semilla de cada árbol, se asumió como una familia de medios hermanos. Las semillas

fueron colectadas durante el primer semestre de 2013, en los municipios de Montería, Tierralta, Planeta Rica, San Antero, Ciénaga de Oro y San Carlos del departamento de Córdoba (Ver Tabla 1.1 del Capítulo 1).

2.3. Procedimiento

Para el estudio se estimaron 11 variables relacionadas con las dimensiones, peso y parámetros fisiológicos de germinación de las semillas. En laboratorio se determinaron las variables relacionadas con las dimensiones y peso de semilla: ancho máximo (AS), largo máximo (LS), relación ancho/largo (RALA), peso fresco de 100 semillas (P100S), número de semillas por kilogramo (NSKG). Se utilizó el diseño experimental completamente al azar con 15 tratamientos (lotes familiares o árboles)/especie y cuatro repeticiones de 25 semillas cada una.

Los parámetros fisiológicos de la germinación de la semilla: días a inicio de la germinación (DIG), porcentaje de germinación (PG), índice de velocidad de germinación (IVG), germinación diaria media (GDM), valor pico (VP) y valor de germinación (VG) se evaluaron en pruebas de germinación en casa malla negra utilizando también un diseño experimental completamente al azar con 15 tratamientos (lotes familiares o árboles)/especie y cuatro repeticiones de 25 semillas cada una.

Para cada especie, se realizó un pre-acondicionamiento (remojo) de las semillas recomendado por el ISTA (2014), que consistió en dejarlas inmersas en agua destilada a temperatura ambiente (entre 25°C y 30°C). Para las especies *C. odorata*, *C. pyriformis*, *B. quinata* y *A. excelsum* se utilizó un tiempo de remojo de 24 horas, que está dentro de los rangos aceptados por el ISTA (2014) para las especies arbóreas. Para el caso de las semillas de *S. parahyba*, las cuales presentan una cubierta muy dura, el tiempo de inmersión en agua destilada fue por 48 horas.

Las pruebas de germinación fueron realizadas en casa malla negra, con temperatura media de 29°C, humedad relativa del 70 %, brillo solar de 6,5

horas luz/día y control de luz del 30 %. Las semillas fueron sembradas a una distancia de 5 cm entre hileras y 3 cm entre semillas, en bandejas de aluminio con un sustrato uniforme, conformado de 50 % de arena cuarcítica y 50 % de arcilla, desinfectado con agua caliente. La profundidad de siembra fue de aproximadamente 2/3 del tamaño de la semilla, con la parte apical por donde emerge la radícula hacia abajo. Se realizaron dos riegos diarios en horarios de 10:00 am y 4:00 pm. La germinación fue valorada durante 55 días. Se consideró como semilla germinada, cuando los cotiledones fueron levantados del nivel del sustrato. El PG fue considerado como el porcentaje acumulado de semillas germinadas al final del ensayo; el IVG fue calculado mediante la fórmula recomendada por Maguire (1962):

$$IVG = \frac{P_1}{T_1} + \frac{P_2}{T_2} + \frac{P_3}{T_3} + \dots + \frac{P_n}{T_n}$$

Donde: $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ = número de plántulas normales, germinadas y completas en el primer, segundo, tercer y último conteo de la evaluación.

$T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ = tiempo en días para cada germinación.

La GDM se consideró como la relación entre el porcentaje acumulado de semillas germinadas al final del ensayo y el número de días desde la siembra al término del ensayo, el VP como la GDM máxima alcanzada en el ensayo y, el VG correspondió al producto de la GDM por el VP (Czabator, 1962).

Los resultados obtenidos en las diferentes variables fueron ordenados en las categorías alto, medio y bajo. Para el PG las categorías fueron definidas de acuerdo a los rangos planteados por Murillo (1998), que comprenden los siguientes valores: Alto: > 66,6 %, Medio: entre 33,3 % y 66,6 % y Bajo: < 33,3 %. Para la obtención de los rangos de las categorías en las demás variables, se consideró al valor máximo obtenido en cada variable como el 100 %, a partir del cual se establecieron entonces las tres categorías descritas anteriormente.

2.4. Análisis estadísticos

Los datos de las variables consideradas en el estudio fueron analizados mediante estadística descriptiva y estimación de parámetros genéticos (h^2_{fam} : heredabilidad media familiar; Ac_{prog} : exactitud de la selección de progenie; $CV_{gi}\%$: coeficiente de variación genética aditiva individual; CV_r : coeficiente de variación relativa (CV_g/CV_e). La estadística descriptiva consideró la estimación de la media general, valor máximo y mínimo y coeficiente de variación para cada variable. El análisis genético de los datos se realizó utilizando el modelo 1 (bloques al azar, progenies de medios hermanos, varias plantas por parcela) para las variables relacionadas con las dimensiones y peso de las semillas y el modelo 19 (bloques al azar, evaluación de familias de medios hermanos) para los parámetros de calidad fisiológica, con el uso del software SELEGEN (Resende, 2006):

Modelo 1: $Y = Xr + Za + Wp + e$

Modelo 19: $Y = Xr + Za + e$

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 y “e” es el vector de errores residuales. Las letras mayúsculas (Z, W y X) representan las matrices de incidencia para los efectos referidos. El cálculo de cada uno de los efectos los hace SELEGEN internamente de acuerdo al modelo y los cuadrados medios esperados (Resende, 2006).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Tablas 7.1 a 7.5 muestran los parámetros físicos y fisiológicos de 15 lotes de semillas provenientes de plantaciones comerciales de cinco especies forestales nativas en el departamento de Córdoba. Los resultados muestran que los parámetros físicos AS, LS, RALA, P100S y NSKG presentaron poca dispersión con coeficientes de variación (CV) entre 1,0 % y 10,46 % en las especies cedro, ceiba y tambor. En las especies abarco y caracolí las variables

AS, LS y RALA presentaron similar comportamiento ($CV = 2,67 \% - 4,44 \%$) y solamente P100S y NSKG tuvieron una dispersión moderada ($CV = 14,9 \% - 25,8 \%$). En contraste, los parámetros fisiológicos DIG, PG, IVG, GDM VP y VG en las especies cedro, ceiba y tambor mostraron amplio ámbito de dispersión con CV entre $19,47 \%$ y $54,78 \%$; en las especies abarco y caracolí, el ámbito de dispersión en los parámetros fisiológicos fue moderado ($CV = 11,4 \% - 24,33 \%$), con excepción del PG que presentó $CV < 9 \%$.

El ordenamiento de los lotes de semillas en categorías, señala que tanto para los parámetros físicos como fisiológicos, variables con $CV \leq 11 \%$ se agruparon solamente en la categoría alta (CA) en todas las especies; así mismo, variables con CV entre $11,4 \% - 30,95 \%$ presentaron distribución de lotes de semillas en las categorías media (CM) y alta (CA), exceptuando a la especie tambor. Las variables que presentaron lotes de semillas distribuidos en las tres categorías fueron VG en las especies cedro, ceiba y tambor y PG, IVG, GDM y VP en la especie tambor con valores de CV entre el $28,98 \%$ y $54,78 \%$.

Las especies abarco y cedro presentaron los mayores PG con medias generales de $81,67 \%$ y $71,73 \%$, respectivamente; mientras que las especies caracolí, ceiba y tambor mostraron PG menores del 61% (de $48,27 \%$ a $60,20 \%$). El amplio ámbito de dispersión del PG mostrado en las especies cedro, ceiba y tambor podría reflejar una variación importante en el estado de madurez de la semilla recolectada entre los distintos árboles. Al respecto Murillo (1998), considera que esta es una situación típica de programas comerciales de semillas, donde usualmente no se cuentan con los recursos para realizar sucesivas colectas en poblaciones naturales, con el fin de lograr obtener semilla madura de cada árbol. Además, es de gran importancia el conocimiento del origen de las semillas, ya que para cada población existe una variación individual, presentando árboles con diferentes características fenotípicas; esas variaciones pueden presentarse entre y dentro de una misma procedencia (Hoppe *et al.*, 2004). En varias especies arbóreas se han reportado variaciones en el estado de madurez de semillas a nivel

de un mismo árbol e incluso a nivel de un mismo fruto (Edwards, 1980). Adicionalmente, algunas características intrínsecas de las semillas (sustancias hormonales y sustancias inhibidoras no hormonales) también pueden influir en su respuesta germinativa (Souza & Fagundes, 2014; Aguiar *et al.*, 1993; Venable & Pake, 1999).

Tabla 7.1. Parámetros físicos y fisiológicos de 15 lotes de semillas de *C. pyriformis* Miers (Abarco) colectados en plantaciones del departamento de Córdoba.

ÁRBOL	AS	LS	RALA	P100S	NSKG	DIG	PG	IVG	GDM	VP	VG
	Caracteres físicos					Caracteres fisiológicos					
1	0,69	3,95	0,18	9,17	13944,98	13,25	84,00	1,01	2,73	2,90	8,15
2	0,71	3,77	0,19	5,49	23311,43	12,00	84,00	1,27	3,82	3,95	15,37
3	0,71	4,01	0,18	9,66	13825,93	11,50	75,00	1,14	3,27	3,45	11,31
4	0,70	3,76	0,19	5,83	21292,15	16,00	92,00	1,11	3,42	3,60	12,33
5	0,71	3,98	0,18	6,00	23150,54	12,50	95,00	1,27	3,62	3,83	13,90
6	0,74	4,03	0,19	10,16	12501,30	12,00	71,00	0,98	2,60	2,88	7,52
7	0,73	4,06	0,19	9,74	14077,38	13,50	79,00	1,06	3,10	3,23	10,11
8	0,65	3,69	0,18	4,91	26810,21	12,75	78,00	0,99	3,15	3,18	10,07
9	0,70	4,00	0,18	6,18	20495,22	12,75	76,00	0,99	2,96	3,00	8,89
10	0,70	3,76	0,19	6,02	19343,97	10,00	85,00	1,54	4,03	4,53	18,41
ÁRBOL	AS	LS	RALA	P100S	NSKG	DIG	PG	IVG	GDM	VP	VG
	Caracteres físicos					Caracteres fisiológicos					
12	0,68	3,80	0,19	5,65	22145,39	10,50	85,00	1,34	2,93	3,50	10,33
13	0,68	3,97	0,18	6,21	20163,97	11,00	72,00	1,10	2,63	3,10	8,34
14	0,66	3,92	0,17	6,09	20293,29	19,25	79,00	0,83	2,72	2,73	7,63
15	0,71	4,04	0,18	6,57	17243,14	16,50	89,00	1,03	3,30	3,33	11,07
MG	0,69	3,91	0,18	6,91	19497,82	12,88	81,67	1,14	3,19	3,41	11,16
Min	0,62	3,69	0,16	4,91	12501,30	9,75	71,00	0,83	2,60	2,73	7,52
Max	0,74	4,06	0,19	10,16	26810,21	19,25	95,00	1,54	4,03	4,53	18,41
CV (%)	4,42	3,14	4,44	25,80	22,07	20,20	8,55	16,70	13,83	14,41	28,11
CB (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CM (%)	0	0	0	80	40	66,7	0	40	13,3	26,7	66,7
CA (%)	100	100	100	20	60	33,3	100	60	86,7	73,3	33,3

AS (cm); LS (cm); RALA (adimensional); P100S (g); NSKG (semillas/kg); DIG (días); PG (%); IVG (plántulas/día); GDM, VP y VG (adimensional); MG: media general; Min: valor mínimo; Max: valor máximo; CV: coeficiente de variación; CB: categoría baja; CM: categoría media; CA: categoría alta.

Tabla 7.2. Parámetros físicos y fisiológicos de 15 árboles de semillas de *Anacardium excelsum* (Bertero & Balb. ex Kunth) Skeels (Caracolí) colectados en plantaciones del departamento de Córdoba.

ÁRBOL	AS	LS	RALA	P100S	NSKG	DIG	PG	IVG	GDM	VP	VG
	Caracteres físicos					Caracteres fisiológicos					
1	1,76	3,37	0,52	272,79	381,14	9,75	55,00	0,85	2,85	3,30	9,92
2	1,75	3,19	0,55	259,05	408,91	7,25	58,75	1,04	2,59	3,83	10,67
3	1,75	3,17	0,56	213,83	511,76	8,00	62,50	1,15	3,40	4,45	15,35
4	1,75	3,24	0,54	250,29	437,99	9,00	46,25	0,73	1,45	2,80	4,19
5	1,82	3,15	0,58	168,62	604,04	8,75	60,00	1,05	2,92	4,20	12,66
6	1,78	3,12	0,57	195,64	534,61	8,50	50,00	0,81	2,95	3,25	10,10
7	1,69	3,32	0,51	271,28	384,44	7,50	56,25	1,01	3,11	3,78	12,14
8	1,84	3,37	0,55	276,84	374,01	6,75	58,75	0,99	3,25	3,30	11,88
9	1,69	3,33	0,51	276,96	372,08	8,75	57,50	0,86	3,56	3,23	11,66
10	1,81	3,25	0,56	241,94	440,91	7,50	51,25	0,90	3,54	3,45	13,60
11	1,76	3,12	0,56	198,42	526,68	7,75	57,50	0,98	3,10	3,53	11,21
12	1,80	3,13	0,58	201,38	504,49	7,75	58,75	0,98	2,86	3,20	9,52
13	1,72	3,32	0,52	223,09	487,44	7,75	55,00	0,97	3,44	3,50	12,08
14	1,71	3,21	0,54	235,25	460,96	7,00	65,00	1,20	3,60	4,28	16,59
15	1,81	3,39	0,54	274,83	378,05	6,50	57,50	1,04	3,06	3,58	11,32
MG	1,76	3,25	0,55	237,35	453,83	7,90	56,67	0,97	3,05	3,58	11,53
Min	1,69	3,12	0,51	168,62	372,08	6,50	46,25	0,73	1,45	2,80	4,19
Max	1,84	3,39	0,58	276,96	604,04	9,75	65,00	1,20	3,60	4,45	16,59
CV (%)	2,67	3,02	3,98	14,95	15,89	11,40	8,41	12,91	17,57	12,71	24,33
CB (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,7
CM (%)	0	0	0	6,7	33,3	6,7	100	6,7	6,7	6,7	26,6
CA (%)	100	100	100	93,3	66,7	93,3	0	93,3	93,3	93,3	66,7

AS (cm); LS (cm); RALA (adimensional); P100S (g); NSKG (semillas/kg); DIG (días); PG (%); IVG (plántulas/día); GDM, VP y VG (adimensional); MG: media general; Min: valor mínimo; Max: valor máximo; CV: coeficiente de variación; CB: categoría baja; CM; categoría media; CA: categoría alta.

Tabla 7.3. Parámetros físicos y fisiológicos de 15 árboles de semillas de *Cedrela odorata* L. (Cedro) colectados en plantaciones del departamento de Córdoba.

ÁRBOL	AS	LS	RALA	P100S	NSKG	DIG	PG	IVG	GDM	VP	VG
	Caracteres físicos					Caracteres fisiológicos					
1	0,89	2,24	0,40	1,00	104775,69	9,25	82,00	1,67	4,56	5,40	25,25
2	0,89	2,25	0,40	1,14	94986,74	7,75	81,00	1,89	6,50	6,55	42,86
3	0,89	2,62	0,34	1,21	91208,75	8,00	61,00	1,46	4,76	4,95	25,10
4	0,91	2,26	0,40	1,06	99191,67	6,25	81,00	2,35	6,75	7,40	50,51
5	0,88	2,20	0,40	1,02	102858,81	6,00	80,00	2,34	7,21	7,80	57,23
6	0,88	2,25	0,39	1,06	97854,38	7,25	83,00	1,96	5,95	6,33	38,62
7	0,91	2,26	0,40	1,07	96114,15	7,50	86,00	2,13	6,53	7,10	46,44
8	0,91	2,24	0,41	1,08	94755,67	8,75	52,00	1,08	3,14	3,35	10,62
9	0,91	2,25	0,41	1,09	93350,69	8,50	78,00	1,69	4,97	5,25	26,33
10	0,91	2,26	0,40	1,12	91668,34	5,75	60,00	1,89	5,45	6,23	36,92
11	0,92	2,26	0,41	1,15	88957,72	5,25	80,00	2,67	8,02	8,73	70,52
12	0,93	2,24	0,43	1,01	104568,08	5,25	79,00	2,61	7,42	8,18	60,67
13	0,90	2,24	0,40	1,12	91926,09	5,00	81,00	2,87	6,85	9,08	62,36
14	0,92	2,28	0,41	1,20	84122,07	6,00	47,00	1,45	4,10	5,00	20,61
15	0,92	2,26	0,41	1,17	88132,09	7,00	45,00	1,21	3,93	3,98	15,84
MG	0,90	2,27	0,40	1,10	94964,73	6,90	71,73	1,95	5,74	6,35	39,33
Min	0,88	2,20	0,34	1,00	84122,07	5,00	45,00	1,08	3,14	3,35	10,62
Max	0,93	2,62	0,43	1,21	104775,69	9,25	86,00	2,87	8,02	9,08	70,52
CV (%)	1,71	4,30	4,52	5,96	6,39	19,88	20,03	27,74	25,24	26,86	46,94
CB (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
CM (%)	0	0	0	0	0	40	33,3	53,3	40	40	53,4
CA (%)	100	100	100	100	100	60	66,7	46,7	60	60	26,6

AS (cm); LS (cm); RALA (adimensional); P100S (g); NSKG (semillas/kg); DIG (días); PG (%); IVG (plántulas/día); GDM, VP y VG (adimensional); MG: media general; Min: valor mínimo; Max: valor máximo; CV: coeficiente de variación; CB: categoría baja; CM: categoría media; CA: categoría alta.

Tabla 7.4. Parámetros físicos y fisiológicos de 15 árboles de semillas de *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand (Ceiba roja), colectados en plantaciones del departamento de Córdoba.

ÁRBOL	AS	LS	RALA	P100S	NSKG	DIG	PG	IVG	GDM	VP	VG
	Caracteres físicos					Caracteres fisiológicos					
1	0,38	0,48	0,81	3,19	33040,11	1,75	59,00	3,82	9,18	11,90	109,20
2	0,37	0,47	0,79	3,09	34389,52	1,25	54,00	3,75	11,09	12,00	134,56
3	0,36	0,46	0,78	3,08	34438,80	1,25	49,00	3,32	7,39	8,68	66,99
4	0,38	0,48	0,80	3,16	34313,25	1,50	73,00	4,56	11,11	13,70	151,64
5	0,38	0,48	0,79	3,09	34487,14	1,50	41,00	2,69	4,59	7,23	33,21
6	0,39	0,49	0,80	3,20	32999,28	2,25	53,00	3,46	13,25	13,25	177,75
7	0,39	0,49	0,80	3,24	32728,09	1,50	44,00	2,89	7,04	8,38	61,07
8	0,36	0,46	0,79	3,09	34616,43	1,25	42,00	2,99	5,98	7,93	53,96
9	0,39	0,49	0,80	3,34	31320,69	2,25	45,00	2,76	6,71	9,30	64,71
10	0,37	0,47	0,79	3,06	34597,35	2,00	47,00	2,91	6,61	8,45	57,30
11	0,40	0,50	0,81	3,28	31679,13	1,75	50,00	3,07	6,81	9,45	62,31
12	0,37	0,47	0,80	3,09	34118,00	2,25	52,00	2,94	7,35	8,88	68,28
13	0,40	0,49	0,81	3,30	31726,44	1,50	39,00	2,60	6,46	8,08	53,93
14	0,40	0,50	0,81	3,20	33259,47	1,75	34,00	2,14	5,24	6,00	33,41
15	0,37	0,47	0,80	2,77	40428,85	2,00	42,00	2,59	7,20	7,95	59,84
MG	0,38	0,48	0,80	3,15	33876,17	1,72	48,27	3,10	7,73	9,41	79,21
Min	0,36	0,46	0,78	2,77	31320,69	1,25	34,00	2,14	4,59	6,00	33,21
Max	0,40	0,50	0,81	3,34	40428,85	2,25	73,00	4,56	13,25	13,70	177,75
CV (%)	3,63	2,80	1,19	4,34	6,33	21,22	19,58	19,47	30,95	24,00	54,78
CB (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33,3
CM (%)	0	0	0	0	0	46,6	93,3	60	73,3	60	46,7
CA (%)	100	100	100	100	100	53,4	6,7	40	26,7	40	20

AS (cm); LS (cm); RALA (adimensional); P100S (g); NSKG (semillas/kg); DIG (días); PG (%); IVG (plántulas/día); GDM, VP y VG (adimensional); MG: media general; Min: valor mínimo; Max: valor máximo; CV: coeficiente de variación; CB: categoría baja; CM; categoría media; CA: categoría alta.

Tabla 7.5. Parámetros físicos y fisiológicos de 15 árboles de semillas de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (Tambor), colectados en plantaciones del departamento de Córdoba.

ÁRBOL	AS	LS	RALA	P100S	NSKG	DIG	PG	IVG	GDM	VP	VG
	Caracteres físicos					Caracteres fisiológicos					
1	1,33	2,10	0,64	83,51	1241,97	3,75	60,00	1,08	2,24	2,40	5,46
2	1,32	2,09	0,63	82,28	1290,98	7,75	62,00	0,92	2,02	2,43	4,97
3	1,31	2,08	0,63	81,87	1264,57	7,75	65,00	1,02	2,17	2,60	6,24
4	1,32	2,09	0,63	84,66	1203,89	7,00	75,00	1,52	3,00	3,63	11,05
5	1,33	2,09	0,64	83,78	1215,24	4,75	64,00	1,14	2,37	2,63	6,24
6	1,32	2,11	0,63	83,82	1282,29	9,75	81,00	1,13	2,78	3,13	8,73
7	1,31	2,09	0,63	82,05	1250,92	7,50	73,00	1,08	2,20	2,30	5,02
8	1,34	2,12	0,63	87,73	1154,47	9,75	61,00	0,82	1,65	2,03	4,00
9	1,32	2,09	0,63	83,45	1236,16	7,75	58,00	0,90	1,92	2,23	4,62
10	1,33	2,14	0,62	87,38	1161,80	5,50	82,00	1,41	2,84	3,23	9,27
11	1,33	2,12	0,63	85,96	1194,74	7,75	68,00	1,17	2,60	3,13	9,06
12	1,32	2,12	0,63	84,91	1656,82	7,75	64,00	0,94	2,27	2,65	6,85
13	1,30	2,04	0,64	70,51	1424,43	11,00	29,00	0,35	0,91	0,98	0,93
14	1,29	2,01	0,69	69,80	1441,49	5,00	38,00	0,69	1,13	1,38	1,69
15	1,31	2,04	0,64	70,50	1424,37	7,50	23,00	0,40	0,71	1,00	0,77
MG	1,32	2,09	0,64	81,48	1296,28	7,35	60,20	0,97	2,05	2,38	5,66
Min	1,29	2,01	0,62	69,80	1154,47	3,75	23,00	0,35	0,71	0,98	0,77
Max	1,34	2,14	0,69	87,73	1656,82	11,00	82,00	1,52	3,00	3,63	11,05
CV (%)	1,00	1,60	2,55	7,43	10,46	26,84	28,98	33,03	33,73	32,94	54,24
CB (%)	0	0	0	0	0	0	13,3	13,3	13,3	13,3	20
CM (%)	0	0	0	0	0	33,3	53,4	33,3	20	33,3	53,3
CA (%)	100	100	100	100	100	66,7	33,3	53,4	66,7	53,4	26,7

AS (cm); LS (cm); RALA (adimensional); P100S (g); NSKG (semillas/kg); DIG (días); PG (%); IVG (plántulas/día); GDM, VP y VG (adimensional); MG: media general; Min: valor mínimo; Max: valor máximo; CV: coeficiente de variación; CB: categoría baja; CM; categoría media; CA: categoría alta.

El tamaño de la semilla es considerado como rasgo evolutivo importante que afecta el resultado reproductivo de muchas especies de plantas (Cordazzo, 2002). Algunos autores señalan que influye directamente en el tiempo de germinación (Murali, 1997), el porcentaje de germinación (Mölken *et al.*, 2005) y vigor de las plántulas (Yanlong *et al.*, 2007), lo que puede determinar

indirectamente la distribución de las plantas y la abundancia a través de diferentes hábitat (Silveira *et al.*, 2012). Para este estudio, las correlaciones estimadas entre el tamaño de las semillas (AS y LS) y los caracteres fisiológicos de la germinación (DIG, PG e IVG), no fueron significativas, demostrando que dicha influencia no es observada en lotes de semillas de las especies abarco, caracolí, cedro y ceiba. Solo la especie tambor mostró este tipo de asociación entre dimensiones y peso de semilla con el tiempo de germinación (DIG), porcentaje de germinación (PG) y vigor (IVG). Así mismo, Baskin & Baskin (1998) plantean que semillas más pequeñas generalmente germinan más rápido y ello proporciona una mayor ventaja competitiva sobre todo en etapas de sucesión temprana. Esto puede explicar los valores negativos encontrados en las correlaciones entre las dimensiones de la semilla (AS, LS, PS100) y los caracteres fisiológicos de germinación (IVG y PG). Estos resultados (Tabla 7.6) concuerdan con los obtenidos por Souza & Fagundes (2014) en semillas de *Copaifera langsdorffii* Desf.

En la Tabla 7.7 se presentan los parámetros genéticos estimados para los caracteres físicos y fisiológicos considerados en las cinco especies de semillas forestales nativas del estudio. En general, los parámetros físicos presentaron altos valores de heredabilidad media familiar ($h^2_{fam} = 0,57$ a $0,97$) en las especies del estudio, con excepción a las variables AS, RALA y NSKG en la especie tambor. Así mismo, los parámetros fisiológicos mostraron altas heredabilidades ($h^2_{fam} = 0,66$ a $1,00$), principalmente en las especies abarco, cedro, ceiba y tambor. En caracolí las heredabilidades fueron $\leq 0,29$ en todas las variables con excepción del carácter DIG ($h^2_{fam} = 0,61$). Altos valores de heredabilidad indican bajos efectos ambientales en la expresión de los caracteres, control genético por genes mayores y eficiencia en procesos de selección (Vallejo & Estrada, 2002). Las altas heredabilidades encontradas para los caracteres de germinación y de dimensiones de semillas son afines a los reportados en semillas de especies como *Tectona grandis* L.F. (Correa *et al.*, 2013; Costa *et al.*, 2009); *Acacia mangium* Willd. (Correa, 2012) y *Albizia lebbbeck* (L.) Benth. (Rego *et al.*, 2005). De igual forma, para los caracteres considerados en todas las especies, la exactitud de la selección de progenie

(Acprog) fue alta ($\geq 0,75$), con excepción de las variables PG, IVG, GDM, VP y VG en semillas de caracolí. Al respecto, diversos autores (Resende *et al.* 1995; Costa *et al.* 2000; Costa *et al.*, 2005; Resende & Duarte, 2007) sugieren que los ensayos de evaluación de genotipos sean abordados desde el punto de vista genético y estadístico y no solamente desde la perspectiva estadística, además de eso proponen el uso del estadístico Acprog, debido a su propiedad de informar sobre la eficacia de la inferencia acerca del valor genotípico del cultivar (lote de semilla); este estadístico depende de la proporción entre las variaciones de naturaleza genética y residual asociadas al carácter en evaluación. De allí, la importancia de la exactitud (Acprog) como parámetro para identificar el grado de confiabilidad de los datos obtenidos en la evaluación genética.

Tabla 7.6. Correlaciones genéticas entre caracteres fisiológicos de la germinación de semillas y dimensiones y peso de semillas de cinco especies forestales nativas colectadas en Córdoba, Colombia.

Variable y Especie		AS	LS	P100S
DIG	Abarco	0,04	0,21	-0,10
	Caracolí	-0,19	-0,18	-0,22
	Cedro	-0,44	0,22	-0,13
	Ceiba	0,41	0,39	0,14
	Tambor	0,50	0,17	-0,06
PG	Abarco	0,18	-0,40	-0,51
	Caracolí	-0,09	0,09	-0,11
	Cedro	-0,47	-0,28	-0,74**
	Ceiba	-0,19	-0,15	0,03
	Tambor	0,71**	0,90**	0,90**
Variable y Especie		AS	LS	P100S
IVG	Abarco	-0,11	-0,56	-0,35
	Caracolí	-0,13	-0,18	-0,45
	Cedro	0,02	-0,30	-0,38
	Ceiba	-0,27	-0,26	0,01
	Tambor	-0,67*	0,89**	0,90**

*, ** Correlaciones significativas al 5 % y 1 % de probabilidad, respectivamente.

Tabla 7.7. Parámetros genéticos estimados para caracteres físicos y fisiológicos en lotes de semillas de cinco especies forestales nativas colectadas en plantaciones del departamento de Córdoba.

Parámetros genéticos	AS	LS	RALA	P100S	NSKG	DIG	PG	IVG	GDM	VP	VG
	Caracteres físicos					Caracteres fisiológicos					
	Cariniana pyriformis Miers (Abarco)										
h²fam	0,73	0,74	0,81	0,68	0,71	0,92	0,66	0,86	0,80	0,77	0,81
Acprog	0,86	0,86	0,90	0,82	0,84	0,96	0,82	0,93	0,89	0,87	0,89
Cvgi%	7,57	5,41	7,97	42,48	37,02	38,93	13,86	31,07	24,76	25,28	50,53
Cvr	0,83	0,85	1,02	0,72	0,78	1,80	0,69	1,24	1,00	0,91	1,02
Parámetros genéticos	AS	LS	RALA	P100S	NSKG	DIG	PG	IVG	GDM	VP	VG
	Caracteres físicos					Caracteres fisiológicos					
	Anacardium excelsum (Bertero & Balb. ex Kunth) Skeels (Caracolí)										
h²fam	0,84	0,88	0,86	0,88	0,87	0,61	0,01	0,29	0,11	0,12	0,01
Acprog	0,92	0,94	0,93	0,94	0,94	0,78	0,09	0,54	0,33	0,34	0,09
Cvgi%	4,9	5,67	7,4	28,03	29,72	17,80	1,64	13,89	11,72	8,76	4,76
Cvr	1,14	1,35	1,25	1,34	1,32	0,63	0,04	0,32	0,18	0,18	0,04
	Cedrela odorata L. (Cedro)										
h²fam	0,67	0,97	0,87	0,80	0,73	0,94	0,92	0,95	0,83	0,93	0,88
Acprog	0,82	0,99	0,83	0,89	0,86	0,97	0,96	0,97	0,91	0,96	0,94
Cvgi%	2,79	8,48	8,46	10,67	10,94	38,53	38,43	54,01	46,12	51,75	87,93
Cvr	0,71	2,95	1,31	1,01	0,82	1,96	1,70	2,15	1,12	1,80	1,34
	Bombacopsis quinata (Jacq.) Dugand (Ceiba roja)										
h²fam	0,96	0,92	0,57	0,78	0,87	0,01	0,83	0,78	0,88	0,90	1,00
Acprog	0,98	0,96	0,75	0,88	0,93	0,11	0,91	0,88	0,94	0,95	1,00
Cvgi%	7,13	5,39	1,79	7,64	11,81	2,87	31,99	53,91	47,63	112,87	105,95
Cvr	2,52	1,75	0,57	0,93	1,29	0,08	1,55	1,34	1,89	2,14	1259,03
	Schizolobium parahyba (Vell.) Blake (Tambor)										
h²fam	0,28	0,77	0,11	0,94	0,11	0,84	0,92	0,87	0,86	0,83	1,00
Acprog	0,52	0,88	0,33	0,97	0,33	0,92	0,93	0,93	0,93	0,91	1,00
Cvgi%	1,05	2,81	1,70	14,38	6,99	24,93	62,52	57,69	54,42	82,92	105,95
Cvr	0,31	0,91	0,18	1,94	0,18	1,67	2,53	1,90	1,73	1,60	1859,55

h²fam: heredabilidad media familiar (σ^2_A/σ^2_F); Acprog: exactitud de la selección de progenie;
Cvgi%: coeficiente de variación genética aditiva individual [$(S_A/Y)*100$];
Cvr: coeficiente de variación relativa (Cvg/CVe).

Los coeficientes de variación genética aditiva individual (CVgi%) presentaron valores de medios a bajos ($\leq 42,48$) para los parámetros físicos en todas las especies y, de medios a altos para los parámetros fisiológicos (CVgi% = 13,86 a 105,95) en las especies abarco, cedro, ceiba y tambor. En la especie caracolí estos CVgi% no alcanzaron el 18 %. De acuerdo con Costa *et al.* (2009), estos coeficientes expresan la cantidad de variación genética individual existente. Por tanto, valores altos del CVgi denotan que, en futuras evaluaciones, podría haber mayor expresión de variación genética en otros caracteres asociados, con buenas perspectivas de variabilidad, para ser aprovechada a lo largo de un programa de mejoramiento genético.

El coeficiente de variación relativa (CVr) es empleado como estadístico para inferir en la precisión de las evaluaciones genéticas (Resende & Duarte, 2007). Para las especies en estudio los caracteres físicos presentaron principalmente CVr entre altos ($0,9 < CVr \leq 1,0$) y muy altos ($1,0 < CVr \geq 1,2$) en las especies caracolí, cedro y ceiba, y entre bajos ($CVr \leq 0,8$) y medios ($0,8 < CVr \leq 0,9$) en las especies tambor y abarco, respectivamente. Para los caracteres fisiológicos los valores del CVr fueron principalmente muy altos para las especies abarco, cedro, ceiba y tambor, y bajos en la especie caracolí (Tabla 7.7). Los altos valores de CVr presentados en la mayoría de los caracteres evaluados en las especies del estudio, concuerdan con los obtenidos en la evaluación de lotes de semilla de *Acacia mangium* (Correa, 2012) y *Tectona grandis* (Correa *et al.*, 2013).

Lotes mezclados de semillas: Habitualmente, una mezcla balanceada de semilla (MBS), se realiza mediante el aporte de cada lote (semilla de un mismo árbol) con igual cantidad de semillas (en número o peso) al lote compuesto o mezclado. Sin embargo, bajo este criterio y sin considerar la calidad fisiológica de cada lote de semillas, esta práctica conduce a que lotes con alta germinación, por su valor adaptativo, estarían realmente aportando varias veces más plántulas efectivas que aquellos que presentan

baja germinación. Por tanto, el aporte teórico de igual número de árboles provenientes de diferentes lotes de semillas seleccionados, como estrategia para el mantenimiento de la variabilidad genética en el establecimiento de las plantaciones, realmente no se estaría cumpliendo. Es por ello, que probablemente después de un costoso y laborioso esfuerzo en el trabajo de campo, donde se ha colectado semilla de un número importante y representativo de árboles, la composición o la variabilidad de la población de plántulas que se obtendría al final de la fase de vivero para llevar a plantación, podría representar realmente un número muy inferior de individuos a los que se les colectó la semilla (Davidson *et al.*, 1996; Murillo, 1998; Rocha *et al.*, 2011; Ferreira *et al.*, 2012 y Silva *et al.*, 2012). En especies forestales como teca (*Tectona grandis*) la drástica reducción de la variabilidad genética en las plantaciones se debe, entre otros aspectos, a la propagación vegetativa, basada en los árboles existentes en las plantaciones o con semillas mezcladas de pocos árboles provenientes de estas fuentes (Fofana *et al.*, 2009). Así mismo, es muy común que se presenten en las plantaciones individuos con mayor producción de semilla que otros. Por ello, autores como Varghese *et al.* (2006) proponen poner límites a la cantidad de semillas que pueden ser recogidas por árbol (genotipo), lo cual podría ser útil en el control de la sobrerrepresentación de los clones altamente reproductivos, aumentando, con esto, la variabilidad genética del lote mezclado.

Para las especies abarco y caracolí, los resultados muestran que todos los lotes de semillas se agruparon en una sola categoría de germinación. Por tanto, la primicia teórica de aproximadamente igual aporte de plántulas provenientes de los diferentes lotes de semillas que conforman el lote compuesto (MBS) para la futura plantación, se estaría cumpliendo bajo estas condiciones. Sin embargo, para el cedro, ceiba y tambor el resultado no es el mismo. Para cedro y ceiba, los lotes de semilla pertenecientes a la categoría de germinación alta (CA), estarían aportando en promedio un 50 % más de plántulas que los lotes de semilla pertenecientes a la categoría de

Tabla 7.8. Distribución de lotes de semilla de acuerdo con su porcentaje de germinación y su contribución esperada a un lote mezclado para una producción conjunta aproximada de 1.111 plántulas requeridas para el establecimiento de una hectárea sembrada a 3 m x 3 m.

Categorías de germinación	Lotes por categoría de germinación			MBS ordinaria					MBS ajustada				
				Semillas requeridas	*Contribución de plántulas/categoría de germinación			Contribución media de plántulas/lote	Semillas requeridas	**Contribución de plántulas/categoría de germinación			Contribución de plántulas/lote
	No.	%	Acumulado	No.	No.	%	No.	%	No.	No.	%	No.	%
<i>Cariniana pyriformis</i> Miers (Abarco)													
Baja: <33,3%	0	0	0 (0,00%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Media: 33,33%-66,6%	0	0	0 (0,00%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alta: >66,6%	15	100	15 (100%)	1365	1115	100	74	6,7	1368	1110	100	74	6,7
Total	15	100		1365	1115	100			1368	1110	100		
<i>Anacardium excelsum</i> (Bertero & Balb. ex Kunth) Skeels (Caracolí)													
Baja: <33,3%	0	0	0 (0%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Media: 33,33% - 66,6%	15	0	15 (100%)	1965	1114	100	74	6,7	1973	1110	100	74	6,7
Alta: >66,6%	0	100	15 (100%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	15	100		1965	1114	100			1973	1110	100		
<i>Cedrela odorata</i> L. (Cedro)													
Baja: <33,3%	0	0	0 (0,00%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Media: 33,33% - 66,6%	5	33,3	5 (33,3%)	520	276	25	55	4,9	709	370	33	74	6,7
Alta: >66,6%	10	66,7	15 (100%)	1040	843	75	84	7,5	913	740	67	74	6,7
Total	15	100		1560	1119	100			1622	1110	100		
<i>Bombacopsis quinata</i> (Jacq.) Dugand (Ceiba roja)													
Baja: <33,3%	0	0	0 (0,0%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Media: 33,33% - 66,6%	14	93,3	14 (93,3%)	2156	1003	89,9	72	6,4	2274	1036	93,3	74	6,7
Alta: >66,6%	1	6,7	15 (100%)	154	112	10,1	112	10,1	101	74	6,7	74	6,7
Total	15	100		2310	1115	100			2375	1110	100		
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake (Tambor)													
Baja: <33,3%	2	13,3	2 (13,3%)	246	64	5,8	32	2,9	577	148	13,4	74	6,7
Media: 33,33% - 66,6%	8	53,4	10 (66,7%)	984	581	52,2	73	6,5	1031	592	53,3	74	6,7
Alta: >66,6%	5	33,3	15 (100%)	615	446	42	93	8,4	491	370	33,3	74	6,7
Total	15	100		1845	1111	100			2099	1110	100		

MBS ordinaria: Mezcla balanceada de semillas basada en la contribución de igual número de semillas por lote; MBS ajustada: Mezcla balanceada de semillas basada en la contribución de un número de semillas por lote de acuerdo a su porcentaje de germinación; * para una producción conjunta esperada aproximada de 1111 plántulas con base en 91, 131, 104, 154 y 123 semillas por lote en abarco, caracolí, cedro, ceiba y tambor respectivamente; ** para una producción conjunta esperada aproximada de 1111 plántulas con base en la obtención de 74 plántulas por lote en las cinco especies forestales nativas consideradas en el estudio.

germinación media (CM), y, en la especie tambor, el aporte es entre 290 % y 230 % más de plántulas de categoría de germinación alta (CA) y media (CM), respectivamente sobre lotes pertenecientes a la categoría de germinación baja (CB) (Tabla 7.8). De acuerdo con Murillo (1998), los resultados obtenidos en las especies cedro, ceiba y tambor evidencian una clara participación desigual de cada una de las familias de semilla individuales (lote de semilla) en un hipotético lote mezclado. Además, considera que no se podría garantizar la participación de plántulas provenientes de todos los árboles del huerto semillero, de donde se obtuvo el lote mezclado. Así también en programas de conservación genética, no se podría garantizar que de todos los individuos colectados se vayan a obtenerse plántulas, a pesar de los esfuerzos realizados en el trabajo de campo. Resultados similares han sido evidenciados en la evaluación de lotes de semillas de especies forestales como *Alnus acuminata* H.B.K. (Murillo, 1998), *Acacia mangium* (Correa, 2012) y *Tectona grandis* (Correa *et al.*, 2013).

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los caracteres físicos de los lotes de semillas de las especies consideradas en el estudio presentan una alta uniformidad en términos de dimensiones (tamaño) y peso, indicando que bajo estas condiciones, es mínimo el riesgo de pérdida de variabilidad genética por descarte de lotes de semillas pequeñas y de bajo peso.

La eliminación o descarte de lotes de semillas pequeñas o de poco peso en un lote mezclado, podría generar un efecto negativo sobre la variabilidad genética y la representatividad de los individuos de interés a nivel de vivero y futura plantación.

La creación de lotes mezclados con base en la capacidad germinativa de cada uno de lotes de semillas que lo componen (árboles o clones), contribuye a la conservación de los recursos genéticos forestales y de la variabilidad genética de las plantaciones comerciales.

Las asociaciones teóricas preconcebidas entre dimensiones y peso de semillas con las capacidad de germinación, no pueden considerarse como regla general para semillas de todas las especies, ya que mecanismos físicos, bioquímicos y hormonales de las semillas interactúan entre sí, dando como resultado una respuesta diferencial a nivel de las especies.

En los programas de mejoramiento genético o conservación de germoplasma en cada una de las cinco especies estudiadas, al momento de conformar lotes de semilla mezclados de diferentes árboles plus seleccionados, se sugiere previamente conocer su porcentaje de germinación y viabilidad, para que cada árbol aporte similar número de plántulas y tenga representatividad genética en la siguiente generación.

5. REFERENCIAS

- Aguiar, I., Piña-Rodrigues, F. & Figliolia, M. (1993). *Sementes Florestais Tropicais*. Abrates, Brasília, Distrito Federal.
- Alarcón, J. & Pabón, J. (2013). El cambio climático y la distribución espacial de las formaciones vegetales en Colombia. *Revista Colombia Forestal*, 16(2): 171-185.
- Alba-Landa, J., Ramírez-García, E. & Aparicio-Rentería, A. (2007). Correlación de semillas y plántulas de *Pinus teocote* Schl. Et Cham. de tres procedencias del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 9(1): 23-27.
- Baskin, C. & Baskin, J.M. (1998). *Seeds. Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. San Diego: Academic Press.
- Cordazzo, C.V. (2002). Effect of Seed Mass on Germination and Growth in Three Dominant Species in Southern Brazilian Coastal Dunes. *Brazilian Journal of Biology*, 62: 427-435.
- Correa, E. (2012). *Estandarización del procesamiento de semillas para conservación de germoplasma de tres especies forestales en Córdoba*. Tesis Maestría, Universidad de Córdoba.

- Correa, E., Espitia, M., Aramendiz, H., Murillo, O. & Pastrana, I. (2013). Variabilidad genética en semillas de árboles individuales de *Tectona grandis* L.f. en la conformación de lotes mezclados en Córdoba, Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient*, 16(2): 379-389.
- Costa, R., Chichorro, J., Resende, M., Roa, R., Cotta, T. & Cezana, D. (2009). Variabilidade genética para o carácter germinação em matrizes de teca, no Município de Alegre, ES. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 59: 57-61.
- Costa, R., Gonçalves, P., Oliveira, L., Arruda, E., Roa, R. & Martins, W. (2005). Variabilidade genética e estimativas de herdabilidade para o carácter germinação em matrizes de *Hevea brasiliensis*. *Revista Floresta e Ambiente*, 12(1): 74-76.
- Costa, R., Resende, M., Araujo, A., Gonçalves, P. & Silva, M. (2000). Maximization of genetic gain in rubber tree (*Hevea*) breeding with effective size restriction. *Genetics and Molecular Biology*, 23(2): 457-462.
- Czabator, F. (1962). Germination value: An Index Combining Speed and Completeness of Pine Seed Germination". *Forest Science*, 8(4): 386-396.
- Davidson, R., Edwards, D., Sziklai, O. & El-Kassaby, Y. (1996). Genetic variation in germination parameters among populations of pacific silver fir. *Silvae Genetica*, 45: 165-171.
- Edwards, D. (1980). Maturity and quality of tree seeds - a state-of-the-art review. *Seed Science and Technology*, 8: 625-657.
- El-Kassaby, Y. (1995). Evaluation of the tree -improvement delivery system: factors affecting genetic potential. *Tree Physiology*, 15: 545-550.
- El-Kassaby, Y., Edwards, D. & Taylor, D. (1992). Genetic control of germination parameters in douglas-fir and its importance for domestication. *Silvae Genetica*, 41: 48-54.
- El-Kassaby, Y. & Namkoong, G. (1995). Genetic diversity of forest tree plantations: Consequences of domestication. In *Consequences of changes in biodiversity* (pp.218-228), IUFRO. World congress 2, Tampere, Finlandia.

- FAO (2002). *Estado de la información forestal en Colombia*. Monografía de países. Volumen 5, Información para el desarrollo forestal sostenible.
- FAO, FLD, IPGRI (2004). *Forest genetic resources conservation and management*. Vol. 3. In plantations and genebanks (*ex situ*). Rome, Italy: International Plant Genetic Resources Institute.
- Ferreira, C.D., Souto, P.C., Lúcio, A.F., Souto, J.S. & Souza, B.V. (2012). Avaliações biométricas e germinação de sementes de Coaçu (*Triplaris surinamensis* Cham). *Rev. Bras. Tecn. Apli. Ciên. Agrá.*, 5(1): 147-162.
- Fofana, I., Ofori, D., Poitel, M. & Verhaegen, D. (2009). Diversity and genetic structure of teak (*Tectona grandis* L.f) in its natural range using DNA microsatellite markers. *New forests*, 37(1): 175-195.
- Granados, D., López, G. & Hernández, M. (2009). Recursos genéticos, biotecnología y propiedad intelectual. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 15(2): 127-140.
- Guariguata, M.R. (2009). El manejo forestal en el contexto de la adaptación al cambio climático. *Revista de Estudios Sociales*, 32: 98-113.
- Hoppe, J., Genro, C., Vargas, C., Floriano, E., Reis, E., Fortes, F., Müller, I., Farias, J., Calegari, L. & Da Costa, L. (2004). *Produção de sementes e mudas florestais*, Caderno Didático # 1, 2. Santa Maria: UFSM-PPGEP.
- Huerta-Paniagua, R. & Rodríguez-Trejo, D. (2011). Efecto del tamaño de semilla y la temperatura en la germinación de *Quercus rugosa* Née. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(2): 179-187.
- ISTA-International Seed Testing Association (2014). International Rules for Seed Testing 2014. The International Seed Testing Association, Bassersdorf, Suiza. 272p.
- Jarma, A., Cardona, C. & Araméndiz, H. (2012). Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: una revisión. *Revista U.D.C.A.*, 15(1): 63-76.
- Khurana, E. & Singh, J. (2001). Ecology of tree seed and seedlings: Implications for tropical forest conservation and restoration. *Current Science*, 80(6): 748-757.

- Kjaer, E., Kaosa-Ard, A. & Suangtho, V. (1999). *Domestication of teak through tree improvement. Options, possible gains and critical factors*. Chiang Mai University, Thailand: Proceedings from 'TeakNet meeting, <http://www.fao.org/docrep/005/ac773e/ac7773e00.htm> [05/Enero/2007].
- Leishman, M., Wright, I., Moles, A. & Westoby, M. (2000). The evolutionary ecology of seed size. In M. Fenner (Ed.), *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities* (pp.31-57). London: CABI Pub.
- Maguire, D. (1962). Speed of germination-aid. In: Selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Crop Science*, 2: 176-177.
- Moegenburg, S. (1996). Sabal palmetto seed size: causes of variation, choices of predators, and consequences of seedlings. *Oecologia*, 106: 539-543.
- Mölken, T., Jorritsma-Wienk, L.D., Hoek, P.H. & Kroon, W.H. (2005). Only Seed Size Matters for Germination in Different Populations of the Dimorphic *Tragopogon pratensis* subsp. *pratensis* (Asteraceae). *American Journal of Botany*, 92: 432-437.
- Müller, E. (1997). Investigaciones en frutos y semillas de árboles individuales de cinco especies forestales de la Región Huetar Norte de Costa Rica, con especial consideración en el almacenamiento. Disertación de doctorado. COSEFORMA. Documento del Proyecto No. 51. 237p.
- Murali, K.S. (1997). Patterns of Seed Size, Germination and Seed Viability of tropical Tree Species in Southern India. *Biotropica*, 29: 271-279.
- Murillo, O. (1998). Variación en parámetros de germinación de una población natural de *Alnus acuminata* de Guatemala e implicaciones para los lotes de semilla mezclada. *Boletín de Semillas y Mejoramiento Genético Forestal*. (CATIE, Costa Rica), 19: 4-8.
- Murillo, O., Espitia, M. & Castillo, C. (2012). *Fuentes semilleras para la producción forestal*. 1ª ed. Bogotá: Producción Editorial Domar S.A.S.
- Niembro, A. (1988). *Semillas de árboles y arbustos: Ontogenia y estructura*. México: Editorial Limusa.
- Palencia, G., Mercado, T. & Combatt, E. (2006). *Estudio agroclimático del departamento de Córdoba*. Montería: Editorial Gráficas el Caribe.

- Proexport (2012). Sector Forestal en Colombia. Promoción de Turismo, inversión y exportaciones - Proexport Colombia.
- Rego, F., Costa, R., Contini, A., Moreno, R., Rondelli, K. & Kumimoto, H. (2005). Variabilidade genética e estimativas de herdabilidade para o caráter germinação em matrizes de *Albizia lebbbeck*. *Ciência Rural*, 35(5): 1209-1212.
- Resende, M. (2006). O Software Selegen-Reml/Blup. Documentos EMBRAPA, Campo Grande. 305p.
- Resende, M., Araujo, A., Sampaio, P. & Wiecheteck, M. (1995). Acurácia seletiva, intervalos de confiança e variância de ganhos genéticos associados a 22 métodos de seleção em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. *Revista Floresta*, 24(1): 35-45.
- Resende, M. & Duarte, J. (2007). Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 37(3): 182-194.
- Rocha, R., Vieira, A., Spinelli, V. & Vieira, J. (2011). Caracterização de fatores que afetam a germinação de teca (*Tectona grandis*): temperatura e escarificação. *Rev. Árvore, Viçosa-MG.*, 35(2): 205-212.
- Silva, K.B., Alves, E.U., Matos, V.P. & Bruno, R.L. (2012). Caracterização morfológica de frutos, sementes e fases da germinação de *Pachira aquática* Aubl. (Bombacaceae). *Rev. Ciênc. Agr.*, 33(3): 891-898.
- Silveira, F.A.O., Negreiros, D., Araujo, L.M. & Fernandes, G.W. 2012. Does Seed Germination Contribute to Ecological Breadth and Geographic Range? A Test with Sympatric *Diplusodon* (Lythraceae) Species from Rupestrian Fields. *Plant Species Biology*, 27: 170-173.
- Souza, M. & Fagundes, M. (2014). Seed Size as Key Factor in Germination and Seedling Development of *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae). *American Journal of Plant Sciences*, 5: 2566-2573.
- Tenorio-Galindo, G., Rodríguez-Trejo, D. & López-Ríos, G. (2008). Efecto del tamaño y color de la semilla en la germinación de *Cecropia obtusifolia* Bertol (Cecropiaceae). *Agrociencia*, 42: 585-593.

- Trujillo, E. (2005). Semillas forestales mejoradas para reforestación en Colombia. *Revista El Mueble y la Madera*, 48: 21-27.
- Trujillo, E. (2013). *Guía de reforestación*. 3ª edición. Bogotá, Colombia: DAYBERMEDIOS Preparación Editorial.
- Vallejo, F. & Estrada, E. (2002). *Mejoramiento genético de plantas*. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.
- Varghese, M., Nicodemus, A., Nagarajan, B. & Lindgren, D. (2006). Impact of fertility variation on gene diversity and drift in two clonal seed orchards of teak (*Tectona grandis* Linn. f.). *New Forests*, 31(3): 497-512.
- Venable, D. & Pake, C. (1999). Population ecology of desert plants. In R.H. Robichaux (Ed.), *Ecology of Desert Plants* (pp.115-142). The University of Arizona Press.
- White, T., Adams, T. & Neale, D. (2007). *Forest genetics: Concepts, Scope, History and Importance*. Trowbridge: Cromwell Press.
- Yanlong, H., Mantang, W., Shujun, W., Yanhui, Z., Tao, M. & Guozhen, D. (2007). Seed Size Effect on Seedling Growth under Different Light Conditions in the Clonal Herb *Ligularia virgaurea* in Qinghai-Tibet Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 27: 3091-3108.
- Yepes, A. & Silveira, M. (2011). Respuestas de las plantas ante los factores ambientales del cambio climático global (revisión). *Revista Colombia Forestal*, 14(2): 213-232.

Capítulo 8

IDENTIFICACIÓN DE HONGOS EN SEMILLAS DE SEIS ESPECIES FORESTALES NATIVAS

1. INTRODUCCIÓN

En el 2014, Córdoba registró un área forestal de 32.800 ha, las cuales representaron aproximadamente el 9 % del área forestal plantada en Colombia, predominando las especies *Tectona grandis* L.F. con 31.1 %, *Tabebuia rosea* (Bertol.) D.C. con 29,0 %, *Acacia mangium* Willd. con 25,9 %, *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand con 7,0 %, *Gmelina arborea* Roxb. con 4,6 % y *Eucalyptus tereticornis* Smith con 2,4 %. Esto significa que en aproximadamente 11.800 ha (36 %) del área forestal comercial, predominan las especies forestales nativas *T. rosea* y *B. quinata*, indicando que los reforestadores del departamento prefieren las especies nativas desde el punto de vista comercial; lo que hace suponer que si continúa el apoyo gubernamental para el establecimiento de nuevas áreas forestales y la investigación tanto en especies exóticas como en las nativas, es posible que se logre la meta propuesta, de plantar 100.000 ha para el año 2025 (CFC, 2011; Espitia *et al.*, 2014; CFC, 2015).

La conservación *ex situ* de especies vegetales adquiere cada día más relevancia como una estrategia para mantener la diversidad biológica existente en el mundo, para enfrentar los desafíos que origina el cambio climático. Los bancos de semillas, las colecciones de campo y los jardines

botánicos son los métodos más comunes para tal conservación (Gold *et al.*, 2004). Las especies nativas son las más atractivas desde el punto de vista de su diversidad y futuro por sus innumerables beneficios, bien sea como fuente de protección, regulación y conservación del suelo, aire, agua, biodiversidad, clima, recreación, paisajismo, barreras rompe-vientos, ecoturismo, entre otros, como fuentes de materias primas para las industrias de alimentos, medicina, papel, implementos deportivos, musicales, tintes, artesanías, textiles, medios de transporte, construcción de viviendas, biocombustibles y forrajes para alimentación animal (FAO, 2010; Portal Forestal, 2010; MAVDT, 2011).

Entre las fortalezas del departamento de Córdoba para la producción de maderas se destaca la alta diversidad en especies forestales nativas, pertenecientes a diferentes familias botánicas, entre ellas: *Cedrela odorata* L. (Cedro): Familia (Flia): Meliaceae; *Cariniana pyriformis* Miers (Abarco): Flia: Lecythidaceae; *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don. (Chingalé): Flia: Bignoniaceae; *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand (Ceiba roja): Flia: Bombacaceae; *Anacardium excelsum* (Bertero & Balb. ex Kunth) Skeels (Caracolí): Flia: Anacardiaceae; *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (Tambor) (Tambor): Flia: Fabaceae. La ventaja de plantar especies forestales nativas es la plasticidad que tienen estas para adaptarse a las condiciones del trópico, que le permiten habitar en bosques primarios, secos y húmedos. Otras características importantes son la alta producción y calidad de sus maderas, la participación en la reducción del deterioro ambiental; además de ser fuentes generadoras de empleo e ingresos en las zonas rurales más pobres del país (FAO, 2010; Araméndiz *et al.*, 2010; Portal Forestal, 2010; MAVDT, 2011).

Entre los limitantes que se presentan en el establecimiento de cultivos maderables en el departamento de Córdoba, está la no disponibilidad de semillas certificadas. Esto conduce a que los reforestadores tengan que coleccionar semillas en campos comerciales para el establecimiento de viveros,

sin tener en cuenta los criterios fitosanitarios (Frison & Jackson, 1995; CFC, 2011; Espitia *et al.*, 2014); lo cual puede ocasionar: desarrollo progresivo de enfermedades en el vivero o en el campo con capacidad de reducir el valor comercial del cultivo; reducción de la longevidad de la semilla durante su almacenamiento; introducción de plagas y enfermedades en caso de intercambio de germoplasma (Arguedas *et al.*, 1999; Rao *et al.*, 2007; Benetti *et al.*, 2009; Lazarotto *et al.*, 2010; Padulla *et al.*, 2010; Kobayasti *et al.*, 2011; Medeiros *et al.*, 2012; Correa *et al.*, 2012; Maciel *et al.*, 2012; Rego *et al.*, 2012; Lazarotto *et al.*, 2012; Rathod & Pawar, 2013; ISTA, 2014; Syed *et al.*, 2013; Francoso & Barbedo, 2014).

La calidad de las semillas es un aspecto fundamental para garantizar el éxito de las futuras plantaciones, entendiendo como calidad los atributos físicos, fisiológicos, genéticos y sanitarios. Los patógenos y artrópodos presentes en las semillas se constituyen en el vehículo más importante en la diseminación de las plagas y enfermedades (Santos *et al.*, 2001; Benetti *et al.*, 2009; Lazarotto *et al.*, 2010; Kobayasti *et al.*, 2011; Lazarotto *et al.*, 2012; Rego *et al.*, 2012; Rathod & Pawar, 2013; Francoso & Barbedo, 2014); puesto que una semilla infectada puede afectar sustratos de germinación, limitar la germinación y vigor de las semillas, ocasionar pérdidas directas de poblaciones de plantas en campo, reducir el valor comercial de las plantaciones, contaminar cultivos sucesivos y diseminar enfermedades de una región a otra (Francoso & Barbedo, 2014; Rathod & Pawar, 2013; Lazarotto *et al.*, 2012; Rego *et al.*, 2012; Alzugaray *et al.*, 2007; Machado *et al.*, 2002; Arguedas, 1997; Arguedas & Torres, 1996).

Trabajos realizados por Engels y Visser (2007) señalan que la infección y contaminación de las semillas con agentes patógenos pueden afectar su longevidad, ser fuente de diseminación hacia semillas o plántulas sanas y destruir cultivos susceptibles. Los patógenos de la semilla son considerados limitantes potenciales de la producción, los cuales en forma inadvertida

reducen año tras año los rendimientos de las plantaciones, debido a que muchas veces los síntomas en estado de vivero son imperceptibles y una vez establecida la planta enferma en el campo definitivo, puede ser la causante de epidemias; por lo tanto, para prevenir su desarrollo se debe iniciar el cultivo con semilla certificada (Francoso & Barbedo, 2014; Rathod & Pawar, 2013; Rego *et al.*, 2012; Alzugaray *et al.*, 2007; Machado *et al.*, 2002).

Los hongos fitopatógenos de las semillas pueden estar ubicados en la superficie, en su interior o en ambas partes. Ellos se presentan en las más variadas formas de propagación, desde esporas hasta estructuras de resistencia (Campacci & Pessanha, 1970; Neergaard, 1977; Rao *et al.*, 2007; Benetti *et al.*, 2009; Lazarotto *et al.*, 2010; Kobayasti *et al.*, 2011; Medeiros *et al.*, 2012; Rego *et al.*, 2012; Rathod & Pawar, 2013; ISTA, 2014; Francoso & Barbedo, 2014); además, la localización del inóculo en la semilla es decisiva en la transmisión y severidad de la enfermedad en las plántulas; cuanto más profundo se localice el hongo en la semilla, mayor será la oportunidad de transmisión de la infección a la plántula (Arguedas *et al.*, 1999; ISTA, 1999; Dhingra, 2005; Padulla *et al.*, 2010; Maciel *et al.*, 2012; Lazarotto *et al.*, 2012; Syed *et al.*, 2013; ISTA, 2014; Francoso & Barbedo, 2014). Considerando lo antes anotado, es importante realizar pruebas de sanidad en semillas, como estrategia prioritaria antes de su uso, bien sea comercial o para la conservación *ex situ* en bancos de germoplasma.

La calidad fitosanitaria de la semilla se ha constituido en uno de los requisitos más valiosos en la agricultura; por lo tanto, el estudio de la asociación de estas con hongos y la evaluación de su potencial patogénico, es de gran interés para los productores de plantas y curadores de banco de germoplasma (Santos *et al.*, 2001; Benetti *et al.*, 2009; Lazarotto *et al.*, 2010; Lazarotto *et al.*, 2012; Rathod & Pawar, 2013; Francoso & Barbedo, 2014). Un aspecto importante para realizar un inventario de microorganismos presentes en las semillas es el anotado por Thomson (1983), quien señala la necesidad de evaluar

la presencia de patógenos, empleando varios métodos microbiológicos; ya que un solo método de análisis no es suficiente para el desarrollo de toda la flora microbiana presente en las semillas. Los tipos de organismos que se transmiten por las semillas y que afectan una amplia variedad de cultivos son hongos, bacterias, virus, nemátodos y artrópodos, siendo los hongos los de mayor transmisión. Los métodos para detectar patógenos en semillas varían según el organismo y el portador, requiriéndose de métodos específicos, sensibles y reproducibles para identificar con exactitud la mayoría de patógenos presentes (ISTA, 2014).

En razón a la importancia de las especies forestales nativas y la sanidad de sus semillas, el presente estudio tuvo como objetivo detectar la incidencia de los hongos asociados a las semillas de seis especies forestales nativas del departamento de Córdoba (Colombia): *Cedrela odorata* L. (Cedro), *Cariniana pyriformis* Miers (Abarco), *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don (Chingalé), *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand (Ceiba roja), *Anacardium excelsum* (Bertero & Balb. ex Kunth) Skeels (Caracolí) y *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (Tambor), como base fundamental en el diagnóstico y establecimiento de medidas de manejo fitosanitario para la conservación *ex situ* apropiada en bancos de germoplasma de estas importantes especies forestales en Córdoba (Colombia). Parte de estos resultados se socializaron en el XXXII Colombian Congress of Phytopathology & I International Symposium of Fusarium 2015 (Campo *et al.*, 2015).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización

La investigación se desarrolló durante el año 2014, en las instalaciones del Laboratorio de Fitopatología de la Universidad de Córdoba (Montería, Colombia), ubicada en la zona media del valle del Sinú, a 8°52' de latitud norte y 76°48' longitud oeste respecto al meridiano de Greenwich, a una altura de 13 msnm. La zona ecológica corresponde al bosque seco tropical con

temperatura promedio de 28 °C, humedad relativa de 84 % y precipitación anual de 1200 mm (Palencia *et al.*, 2006).

2.2. Material genético

Para cumplir con el objetivo del estudio, se utilizaron semillas sexuales de libre polinización, provenientes del banco de germoplasma del Laboratorio de Fitomejoramiento de la Universidad de Córdoba, las cuales fueron colectadas atendiendo los protocolos específicos propuestos por Gold *et al.* (2004), ajustados y validados por Murillo *et al.* (2012).

Estas semillas fueron colectadas en campo de árboles superiores de seis especies forestales: *C. odorata* (Cedro); *C. pyriformis* (Abarco); *J. copaia* (Chingalé); *B. quinata* (Ceiba roja); *A. excelsum* (Caracolí) y *S. parahyba* (Tambor). La recolección se realizó durante el segundo semestre de 2013, en plantaciones forestales de seis zonas productoras del departamento de Córdoba (Colombia), las cuales presentan diferencias agroclimáticas y están localizadas en los municipios de: Montería (altitud de 18 msnm, precipitación 1249 mm anuales y temperatura 28 °C), San Carlos (altitud de 25 msnm, precipitación 1460 mm anuales y 28 °C), San Antero (altitud 50 msnm, precipitación 1231 mm anuales y 28 °C), Planeta Rica (altitud 100 msnm, precipitación 1603 mm anuales y temperatura 27 °C), Tierralta (altitud 51 msnm, precipitación 1760 mm anuales y 27 °C), Ciénaga de Oro (altitud 25 msnm, precipitación 1419 mm anuales y 28 °C) (Gobernación de Córdoba, 2015; Clima, 2015).

2.3. Procedimiento

La identificación de los hongos internos y externos en las semillas, se realizó tomando una muestra de 400 semillas por especie. Los métodos empleados en la detección de los hongos fue mediante la inducción del crecimiento micelial y su esporulación, a través de la incubación de las semillas en cámara húmeda (CH) y en los medios nutritivos Papa Dextrosa Agar (PDA), Czapek-Dox-Agar (CZA) y Sabourand 4 % (SDA) (Rao *et al.*, 2007).

Para determinar los hongos localizados en el interior de las semillas, estas fueron sumergidas en una solución de hipoclorito de sodio al 1 % durante un minuto (Álvarez-Pardo *et al.*, 2006); mientras que, para determinar los hongos localizados en la superficie de las semillas, estas no recibieron ningún tratamiento. Las cámaras húmedas se realizaron en bandejas de aluminio con papel toalla esterilizado, humedecido con agua destilada esterilizada, utilizando 20 semillas por bandeja, distribuyendo la semilla de forma equidistante. El 50 % de las semillas de cada especie se desinfectó con hipoclorito de sodio al 1 %. En relación al uso de los medios de cultivos empleados PDA, CZA y SDA se vertieron en platos Petri de vidrio, donde se ubicaron cinco semillas por plato de forma equidistante. Una vez establecidas las semillas en los medios de cultivo y en las cámaras húmedas se incubaron a 27 °C, con periodos de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad. Posteriormente, se realizaron observaciones microscópicas diarias entre el quinto y décimo día identificando los hongos presentes en las semillas hasta nivel de género, con base en las características morfológicas empleando la clave taxonómica de hongos imperfectos (Barnett & Hunter, 1998). Finalmente, se evaluó la incidencia de hongos presentes en la parte externa e interna de las semillas y la diversidad de los géneros fungos.

2.4. Análisis estadístico

Las variables evaluadas fueron la incidencia de hongos presentes en las semillas de cada especie nativa, tanto en su superficie como en su interior y la diversidad de los géneros presentes. La incidencia se estimó en porcentaje, el cual fue determinado como la proporción entre el número de semillas con presencia de hongos sobre el número total de semillas evaluadas por 100. Para el cálculo de la incidencia fue considerada la semilla como una repetición, sin importar el número de colonias fungosas presentes en la semilla. La diversidad de los géneros se estimó con el promedio de los diferentes géneros fúngicos desarrollados en los tres medios de cultivo y en la

cámara húmeda, donde en una semilla infectada pueden estar presentes más de un género fungosos (Correa *et al.*, 2012). Finalmente, los datos obtenidos fueron organizados en tablas de frecuencia donde se detalló la incidencia de los hongos presentes en las semillas de las diferentes especies y la diversidad de los géneros fungosos encontrados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las seis especies de semillas evaluadas se encontró un complejo de hongos, los cuales se ubicaron indistintamente tanto en la parte externa de la semilla como en el interior de ellas (Tabla 8.1). Dependiendo de la especie forestal, se identificaron entre 6 y 10 géneros fungosos, encontrando semillas con presencia de más de un género por semilla, lo cual repercute en la calidad fitosanitaria; ya que géneros encontrados como *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Verticillium*, *Monilia* han sido reportados como causantes de pudriciones de las semillas, muerte de plántulas y reducción del crecimiento (Carvalho & Muchovej, 1991; Monroy & Lizarazo, 2010; Borges & Urdaneta, 2010; Lee, 2011; Arguedas, 2011; Correa *et al.*, 2012).

Los géneros *Aspergillus* sp., *Curvularia* sp., *Fusarium* sp., *Trichoderma* sp., *Botryodiplodia* sp. y *Cladosporium* sp., entre otros, se encuentran como los más comúnmente relacionados con semillas de especies forestales (Francoso & Barbedo, 2014; Rego *et al.*, 2012; Lazarotto *et al.*, 2012; Maciel *et al.*, 2012; Lazarotto *et al.*, 2010; Benetti *et al.*, 2009; Sutherlan *et al.*, 2002; Santos *et al.*, 2001; Netto & Faiad, 1995). Para semillas de *T. grandis* se han reportado los géneros *Syncephalastrum* sp., *Fusarium* sp., *Curvularia* sp., *Botryodiplodia* sp., *Aspergillus niger*, *Penicillium* sp., *Cunninghamella* sp., *Dreschlera* sp., *Rhizoctonia* sp. y *Mucor* sp.; en semillas de *A. mangium* el género *Penicillium* sp. y en *G. arborea* los géneros *Fusarium* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Macrophoma* sp., *Monilia* sp., *Oidiodendron* sp. y *Torula* sp. (Refocosta, 2007; Santos *et al.*, 2001; Arguedas *et al.*, 1999).

Tabla 8.1. Incidencia y diversidad de géneros fúngicos presentes en el exterior e interior de semillas de seis especies forestales nativas, colectadas en el departamento de Córdoba, Colombia.

Especie vegetal	Género fungoso	Externo (%)	Interno (%)
<i>Anacardium excelsum</i>	<i>Aspergillus</i> spp.	65,42	32,60
	<i>Penicillium</i> sp.	90,90	56,10
	<i>Rhizoctonia</i> sp.	20,80	20,90
	<i>Monillia</i> sp.	0,30	0,75
	<i>Trichoderma</i> spp.	10,18	7,67
	<i>Rhizopus</i> sp.	29,10	22,70
<i>Cariniana pyriformis</i>	<i>Aspergillus</i> spp.	65,50	38,30
	<i>Penicillium</i> sp.	77,50	43,80
	<i>Curvularia</i> sp.	16,60	17,10
	<i>Rhizopus</i> sp.	37,30	28,17
	<i>Verticillium</i> sp.	1,75	0,00
	<i>Fusarium</i> sp.	14,60	18,10
	<i>Rhizoctonia</i> sp.	39,10	30,10
<i>Bombacopsis quinata</i>	<i>Aspergillus</i> sp.	45,85	20,00
	<i>Penicillium</i> sp.	33,30	16,60
	<i>Rhizopus</i> sp.	14,60	6,00
	<i>Choanephora</i> sp.	4,60	1,75
<i>Schizolobium parahyba</i>	<i>Aspergillus</i> sp.	56,10	41,30
	<i>Penicillium</i> sp.	51,80	30,70
	<i>Curvularia</i> sp.	15,60	13,40
	<i>Rhizopus</i> sp.	33,90	19,75
	<i>Monillia</i> sp.	12,90	10,65
	<i>Cladosporium</i> sp.	29,50	24,12
	<i>Nigrospora</i> sp.	12,67	7,12
<i>Cedrela odorata</i>	<i>Aspergillus</i> spp.	55,00	19,60
	<i>Penicillium</i> sp.	55,40	30,85
	<i>Rhizoctonia</i> sp.	19,10	12,47
	<i>Rhizopus</i>	32,00	28,17
	<i>Fusarium</i> sp.	12,00	16,42
	<i>Trichoderma</i> sp.	20,40	16,10
	<i>Monillia</i> sp.	5,30	10,00
	<i>Curvularia</i> sp.	3,75	3,17
<i>Jacaranda copaia</i>	<i>Aspergillus</i> spp.	34,90	20,00
	<i>Penicillium</i> sp.	38,90	19,47
	<i>Trichoderma</i> sp.	69,70	47,00
	<i>Fusarium</i> sp.	6,00	0,00
	<i>Verticillium</i> sp.	6,80	0,12
	<i>Rhizopus</i> sp.	26,00	20,10
	<i>Rhizoctonia</i> sp.	32,67	27,52

El genero *Aspergillus* sp. ha sido reportado en semillas de diferentes especies forestales tropicales, tales como *Casuarina equisetifolia* J.R. Forst. & G. Forst., *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Cham., *Cupressus lusitánica* Mill., *Delonix regia* (Bojer ex Hook.) Raf., *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb., *Hieronyma alchorneoides* Allemão y *Schizolobium parahyba*, *Virola* spp., *Cedrela odorata*, *Cordia goeldiana* Huber, *Jacaranda copaia*, *Tabebuia* sp. y *Vochysia máxima* Ducke, entre otras; siendo el causante de la pudrición de semillas y atrofia de radículas en plántulas (Syed *et al.*, 2013; Rathod & Pawar, 2013; Medeiros *et al.*, 2012; Kobayasti *et al.*, 2011; Arguedas *et al.*, 1999; Triviño *et al.*, 1990; Carneiro, 1986).

El genero *Penicillium* sp. es reportado como causante de marchitamiento en plántulas recién emergidas y patógeno de semillas en especies forestales como *Cordia alliodora*, *Delonix regia*, *Gliricidia sepium* Kunth ex Steud., *Hieronyma alchorneoides*, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Quercus seemannii* Liebm. (Arguedas *et al.*, 1999; Arguedas, 1997), *Astronium fraxinifolium* Schott (Netto & Faiad, 1995); *Cedrela odorata*, *Cassia macranthera* DC. ex Collad. (Santos *et al.*, 2001); *Eucalyptus grandis* W. Mill ex Maiden (Pérez-Vera *et al.*, 2005), *Tabebuia serratifolia* (Vahl) G. Nicholson y *Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex DC.) Standl. (Botelho *et al.*, 2008).

El genero *Fusarium* sp. y esporádicamente *Curvularia* sp. son microorganismos que integran el complejo de hongos que originan el *Damping-off*, el cual es frecuente en semilleros y afecta la germinación de las semillas y la emergencia de las plántulas recién emergidas (Carneiro, 1987; Carvalho & Muchovej, 1991; Madia, 1994; Benetti *et al.*, 2009; Lazarotto *et al.*, 2010; Lazarotto *et al.*, 2012; Maciel *et al.*, 2012; Rego *et al.*, 2012; Francoso & Barbedo, 2014).

Los géneros *Curvularia* sp. y *Cladosporium* sp., de acuerdo con varios autores (Neegaard, 1979; Madia, 1994; Padulla *et al.*, 2010; Kobayasti *et al.*, 2011; Medeiros *et al.*, 2012; Rathod & Pawar, 2013), son considerados

como contaminantes de semillas, ejerciendo sobre estas un rol patogénico al cubrir su superficie, limitando la germinación. Sin embargo, estudios en semillas de arroz (*Oriza sativa* L.), las especies *Cladosporium cladosporioides* y *Cladosporium oxysporum* son reportadas como saprofitos, mientras que *Curvularia penniseti* y tres especies del género *Fusarium* fueron considerados patógenos (Barrios & Pérez, 2005). Los géneros *Fusarium* sp., *Curvularia* sp. y *Cladosporium* sp. han sido aislados en semillas de especies arbóreas como *Eugenia brasiliensis* Lam.; *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna; *Cedrela fissilis* Vell.; *Blepharocalyx salicifolius* (Kunth) O. Berg; *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus viminalis* Hook., *Virola sebifera* Aubl., *Didymopanax morototoni* (Aubl.) Decne. & Planch., *Schinopsis balansae* Engl., *Aspidosperma quebrachoblanco* Schltdl., *Cedrella odorata*, *Astronium urundeuva* (Allemão) Engl., *Tabebuia serratifolia* y *Tabebuia impetiginosa* (Francoso & Barbedo, 2014; Lazarotto et al., 2012; Rego et al., 2012; Lazarotto et al., 2010; Botelho et al., 2008; Alzugaray et al., 2007; Pérez-Vera et al., 2005; Santos et al., 2001; Netto & Faiad, 1995; Medeiros et al., 1992).

En las diferentes especies evaluadas se encontró alto grado de contaminación fungosa, manifestándose mayor presencia en la superficie de la semillas donde alcanzaron incidencias hasta del 90 % en la especie *A. excelsum*; mientras que la especie *B. quinata* presentó menor contaminación con incidencia del 46 % (Figura 8.1). Las seis especies presentaron alta diversidad de géneros fungosos actuando como contaminantes, encontrándose en *A. excelsum* (seis géneros), *C. pyriformis* (siete géneros), *B. quinata* (cuatro géneros), *S. parahyba* (siete géneros), *C. odorata* (ocho géneros) y *J. copaia* (siete géneros). La alta presencia de hongos en la superficie de la semilla posiblemente se debe a la forma, superficie y estructura de su semilla, o a un inadecuado almacenamiento de la misma, permitiendo su contaminación con hongos reportados como degradadores de la semilla y fitopatógeno (Santos et al., 2001; Palmero et al., 2005; Padulla et al., 2010; Kobayashi et al., 2011; Medeiros et al., 2012; Rathod & Pawar, 2013).

El tratamiento de las semillas con hipoclorito de sodio fue suficiente para inhibir la población de contaminantes en las diferentes especies, apreciándose en el interior de la semilla una menor incidencia de hongos (Figura 8.1). La diversidad de géneros fungosos infectando las semillas fue similar al número de géneros de hongos presentes en su exterior (Tabla 8.1). Los géneros que se presentaron con mayor diversidad fueron *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Trichoderma*, *Rhizoctonia*, *Curvularia*, *Fusarium* y *Cladosporium*; los tres primeros han sido reportados como causantes del deterioro de la semilla en diferentes especies vegetales y los cuatro últimos como fitopatógenos (Carvalho & Muchovej, 1991; Arguedas *et al.*, 1999; Benetti *et al.*, 2009; Monroy & Lizarazo, 2010; Borges & Urdaneta, 2010; Lazarotto *et al.*, 2010; Lee, 2011; Arguedas, 2011; Correa *et al.*, 2012; Rego *et al.*, 2012; Lazarotto *et al.*, 2012; Maciel *et al.*, 2012; Francoso & Barbedo, 2014).

La calidad de las semillas de las especies forestales, de acuerdo a los parámetros de las normas ISTA (2014), señalan que para que un lote de semillas forestal sea aceptado para su comercialización, no debe tener más del 20 % de sus semillas con infecciones fungosas. Por lo tanto, de las seis especies evaluadas ninguna cumplió con este requisito; pues, además del alto porcentaje de semillas infectadas y contaminadas, estas presentaron géneros fitopatógenos en altas incidencias, tales como *Rhizoctonia*, *Fusarium* y *Verticillium*, los cuales han sido reportados como causantes de la pudrición en semillas de forestales y de la muerte de plantas en vivero y en el huerto. Es importante, en el caso de emplearse estas semillas para el establecimiento de huertos, realizar tratamientos erradicantes de estos hongos (Arguedas *et al.*, 1999; Monroy & Lizarazo, 2010).

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En las semillas de las seis especies evaluadas se encontró un complejo de hongos, los cuales se ubicaron en mayor proporción en la parte externa de la semilla con incidencia del 46 % (*B. quinata*) hasta 90 % (*A. excelsum*), y

en menor incidencia en el interior de las semillas con valores del 23 % (*B. quinata*) hasta el 58 % (*S. parahyba*).

Las semillas colectadas en campo, de las seis especies estudiadas, presentaron entre 4 y 8 géneros fúngicos, encontrándose semillas con presencia de más de un género por semilla, de los cuales los de mayor frecuencia fueron: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Trichoderma*, *Rhizoctonia*, *Curvularia*, *Fusarium* y *Cladosporium*.

La incidencia de patógenos fungosos internos presentes en las semillas de los forestales estudiados fue superior a la tolerancia permitida para conservación como germoplasma, con incidencia superior al 5 %; lo que indica la necesidad de aplicar tratamientos erradicantes para reducir la carga fúngica presente y la necesidad de revisar los protocolos de recolección y almacenamiento de las semillas.

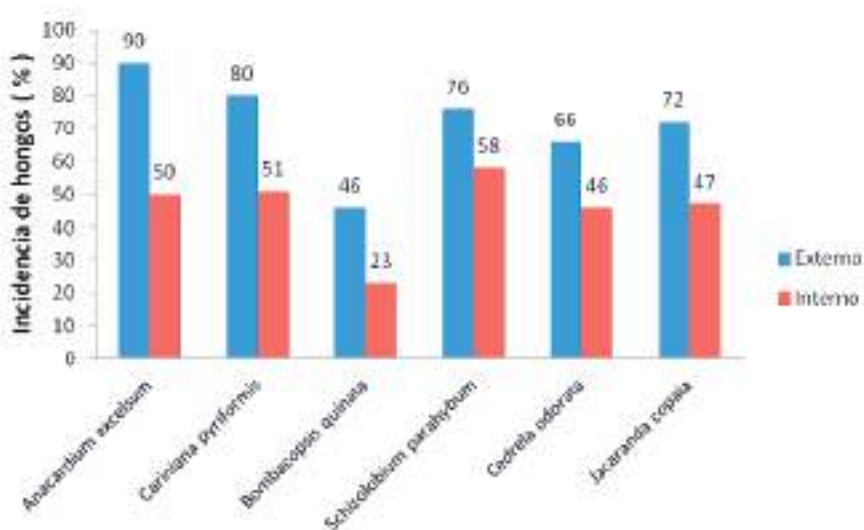


Figura 8.1. Incidencia y localización de géneros fúngicos (externos e internos) en semillas de seis especies de forestales colectadas en el departamento de Córdoba, Colombia.

5. REFERENCIAS

- Álvarez-Pardo, V.M., Ferreira, A.G. & Nunes, V.F. (2006). Seed disinfestation methods for *in vitro* cultivation of epiphyte orchids from Southern Brazil. *Horticultura Brasileira*, 24(2): 217-220.
- Alzugaray, C., Carnevale, N., Salinas, A. & Pioli, R. (2007). Factores bióticos y abióticos que afectan la calidad de las semillas de *Schinopsis balansae* Engl. y *Aspidosperma quebracho-blanco* Schltdl. *Rev. Iberoam. Micol.*, 24(1): 142-147.
- Araméndiz, H., Espitia, M. & Cardona, C. (2010). *Mejoramiento genético de plantas*. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba. Impreso universitario.
- Arguedas, M. (1997). *Plagas de semillas forestales en América Central y el Caribe*. Turrilba: CATIE.
- Arguedas, M. (2011). Problemas fitosanitarios en teca (*Tectona grandis* L. F.) en América Central In D.M. Chavarriaga (Ed.), *Protección fitosanitaria forestal* (pp.147-160). Colombia: ICA.
- Arguedas, M. & Torres, G. (1996). *Problemas fitosanitarios en semillas forestales*. N° 11. Cartago: ITCR-CIT.
- Arguedas, M., Jiménez, M. & Miller, C. (1999). Microorganismos asociados a semillas de especies forestales en Costa Rica. II Simposio sobre Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina. Santo Domingo, República Dominicana. 225-228p.
- Barnett, H. & Hunter, B. (1998). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. (4th ed.). St. Paul, MN, USA: APS Press.
- Barrios, L. & Pérez, I. (2005). Nuevos registros de hongos en semillas de *Oryza sativa* en Cuba. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* (Costa Rica), (75): 64-67.
- Benetti, S.C., Dos Santos, A.F., Medeiros, A.C. & Filho, D.D. (2009). Levantamento de Fungos em Sementes de Cedro e Avaliação da Patogenicidade de *Fusarium* sp. e *Pestalotia* sp. *Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo*, 58(1): 81-85.

- Bhering, L. (2002). Sanidade de sementes com referencia a melhoria de qualidade na produção de sementes básicas no Brasil. Resumos e palestras 7º Simpósio Brasileiro de patologia de sementes, 1ª 3 de outubro. Embrapa Milho e Sorgo/NIA Sete Lagoas, MG. pp. 146-147.
- Borges, J. & Urdaneta, J. (2010). Efecto de *Fusarium* sp. en la germinación, fenología y supervivencia de plántulas de *Leucaena leucocephala* (Lam) De Wit. *Agronomía Trop.*, 60(2): 155-160.
- Botelho, L., Moraes, M. & Menten, J. (2008). Fungos associados às sementes de ipê-amarelo (*Tabebuia serratifolia*) e ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*): incidência, efeito na germinação e transmissão para as plântulas. *Summa Phytopathol. Botucatu*, 34(4): 343-348.
- Campacci, C. & Pessanha, B. (1970). Exame fitopatológico das sementes. In: Seminário Brasileiro de Sementes (pp.113-118). Pelotas, Anais Guanabara: MA.
- Campo, R., Espitia, M. & Urango, N. (2015). Diversity of fungi in forestal seeds of the department of Cordoba, Colombia. Poster y resumen. Proceedings of XXXII Colombian Congress of Phytopathology & I International Symposium of *Fusarium* 2015. ISSN 0120-0143. *Revista Fitopatología Colombiana (Suplemento)*, 39, 71-71. Universidad Militar Nueva Granada (Cajicá, Cundinamarca), julio 15, 16 y 17 de 2015.
- Carneiro, J. (1986). Microflora associada a sementes de essências florestais. *Fitopatologia Brasileira*, 11(3): 556-566.
- Carneiro, J. (1987). Testes de sanidade de sementes de essências florestais. In J. Soave & M. Wetzel, *Patologia de sementes*. (pp.386-393). Campinas: Cargill.
- Carvalho, W. & Muchovej, J. (1991). Fungos associados a sementes de essências florestais. *Revista Árvore, Viçosa*, 15(2): 173-178.
- CFC-Cadena Forestal de Córdoba (2011). Acuerdo regional de competitividad: Cadena forestal maderera, muebles y productos de madera del departamento de Córdoba 2011-2030 (Texto y matriz del acuerdo).

- CFC-Cadena Forestal de Córdoba (2015). Área y especies forestales plantadas en el departamento de Córdoba en el año 2014. Documento impreso.
- Clima (2015). *Datos climáticos mundiales*. [consultado 10 Agosto 2015]. Disponible en <http://es.climate-data.org/location/28985/>
- Correa, A.E., Paternina, P.J., Camacho, M.E., Campo, A.R.O. & Urango, N. (2012). Identificación de hongos asociados a semillas de *Acacia mangium* Wild. *Tectona grandis* L.f y *Gmelina arborea* Roxb. *Fitopatología Colombiana*, 36(1): 1-5.
- Dhingra, O. (2005). Teoría da transmissão de patógenos fúngicos por sementes. Em *Sementes qualidade fitossanitária*. Brasil: Ed. Laercio Zambolim Universidade Federal de Viçosa.
- Engels, J. & Visser, L. (2007). *Guía para el manejo eficaz de un banco de germoplasma. Manuales para Bancos de Germoplasma*, No. 6. Roma, Italia: Bioversity International.
- Espitia, M., Araméndiz, H. & Montiel, J. (2014). Parámetros de germinación en cámara germinativa e invernadero en cinco especies forestales nativas en Córdoba. Ponencia. ISSN 2248-6674. XLIV Congreso Anual de COMALFI (Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal). Centro de Convenciones de Córdoba, Montería (Córdoba) 24, 25 y 26/Septiembre/2014. 91p.
- FAO (2010). Biotecnologías Agrícolas para la Seguridad Alimentaria y el Desarrollo Sostenible: Opciones para los Países en Desarrollo y Prioridades de Acción para la Comunidad Internacional. Conferencia sobre las Biotecnologías Agrícolas en los Países en Desarrollo (ABDC-10). Guadalajara (México), 1-4 de marzo de 2010. <http://www.fao.org/biotech/abdc/backdocs/es/> (Consultado: septiembre /8/2015)
- Franco, C.F. & Barbedo, C.J. (2014). Tratamientos osmóticos e térmicos para controle de fungos em sementes de grumixameira (*Eugenia brasiliensis* Lam.) e pitangueira (*Eugenia uniflora* L.). *Hoehnea*, 41(4): 541-552.
- Frison, E. & Jackson, G. (1995). Plant health and germplasm collectors. Pp. 329–340 En L. Guarino, R.V. Rao & R. Reid (Eds.), *Collecting Plant*

- Genetic Diversity: Technical guidelines* (pp.329-340). Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Gobernación de Córdoba (2015). *Municipios de Córdoba* [consultado 10 agosto 2015]. Disponible en <http://www.cordoba.gov.co/cordoba/municipios.html>
- Gold, K., León-Lobos, P. & Way, Y.M. (2004). Manual de recolección de semillas de plantas silvestres para conservación a largo plazo y restauración ecológica. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile. *Boletín INIA* N° 110, 62p. <http://www.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR31275.pdf>. (Consultado: sep/8/2015).
- ISTA-International Seed Testing Association (1999). *Internacional Seed Testing Association. Rules Seed Science & Technology*. Supplement. Zurich (Suiza).
- ISTA-International Seed Testing Association (2014). *International Rules for Seed Testing 2014*. The International Seed Testing Association, Bassersdorf, Suiza.
- Kobayashi, L., Adoriam, A.I., Neto, V.B., Alves, CH.Z. & Rezende, M.C. (2011). Incidência de fungos em sementes de pinhão-mansão. *Pesqui. Agropecu. Trop.*, 41(3): 385-390.
- Lazarotto, M., Muniz, M.F.B. & Santos, Á.F.D. (2010). Detection, transmission, pathogenicity and chemical treatment of fungi in *Ceiba speciosa* seeds. *Summa phytopathol*, 36(2): 134-139.
- Lazarotto, M., Muniz, M.F.B., Beltrame, R., Figueiredo, A.D.S., Maciel, C.G. & Longhi, S.J. (2012). Sanidade, transmissão via semente e patogenicidade de fungos em sementes de *Cedrela fissilis* procedentes da região sul do BRASIL. *Ciência Florestal, Santa Maria*, 22(3): 493-503.
- Lee, S.S. (2011). Diseases of acacias in South-East Asia. In D.M. Chavarriaga (Ed.), *Protección fitosanitaria forestal* (pp.69-76). Colombia: ICA.
- Machado, J., Langerak, C. & Jaccoud-Filho, D. (2002). *Seed-borne fungi: a contribution to routine seed health analysis*. Zürich: ISTA.

- Maciel, C.G., Muniz, M.F.B., Santos, Á.F. & Lazarotto, M. (2012). Detecção, transmissão e patogenicidade de fungos em sementes de angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida*). *Summa phytopathol*, 38(4): 323-328.
- Madia, M. (1994). Identificación y patogenicidad de hongos hallados en semillas de *Lotus* spp. En Argentina. *Bol. San. Veg. Plagas*, 20: 827-831.
- MAVDT-Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, República de Colombia (2011). *Colombia firmó Tratado Internacional Ambiental - Protocolo de Nagoya*. <http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?conID=6839&catID=1180> (Consultado: febrero/4/2011).
- Medeiros, A., Mendes, M., Ferreira, M. & Aragão, F. (1992). Avaliação quali-quantitativa de fungos associados a sementes de aroeira (*Astronium urundeuva* (FR. ALL.) ENGL.). *Revista Brasileira de Sementes*, 14(1): 51-55.
- Medeiros, J.G.F., Da Silva, B.B., Araújo, A.C.N. & Do Nascimento, L.C. (2012). Fungos associados com sementes de flamboyant-mirim (*Caesalpinia pulcherrima*): incidência, efeito na germinação, transmissão e controle. *Pesq. flor. bras. Colombo*, 32(71): 303-308.
- Monroy, C.L. & Lizarazo, F.L. (2010). Identificación de hongos fitopatógenos asociados al roble (*Quercus humboldtii* Bonpl.), en los municipios de Encino (Santander), Arcabuco y Tipacoque (Boyacá). *Revista Colombia Forestal*, 13(2): 347-356.
- Murillo, O., Espitia, M. & Castillo, C. (2012). *Fuentes semilleras para la producción forestal*. 1ª edición. Bogotá: Producción Editorial Domar S.A.S.
- Neergaard, P. (1977). *Seed Pathology*. Vol. I. London: MacMillan Press.
- Neergaard, P. (1979). *Seed Pathology*. Vol. I-II. London and Basinstoke: The MacMillan Press LTD.
- Netto, D. & Faiad, M. (1995). Viabilidade e sanidade de sementes de espécies florestais. *Revista Brasileira de Sementes*, 17(1): 75-80.

- Padulla, T.L., Duarte, M.H., Barbedo, C.J., Borges, I.F., Machado, J.O. & Pascholati, S.F. (2010). Detecção de fungos em sementes de pau-brasil (*Caesalpinia echinata*) coletadas durante sua formação e dispersão. *Rev. bras. sementes*, 32(2): 154-159.
- Palencia, G., Mercado, T. & Combatt, E. (2006). *Estudio agroclimático del departamento de Córdoba*. Montería: Editorial Gráficas el Caribe.
- Palmero, D., Iglesias, C. & Sinobas, J. (2005). Inventario fúngico asociado a las semillas de cultivares de cardo (*Cynara cardunculus* L.). *Bol. San. Veg. Plagas*, 31: 277-285.
- Pérez-Vera, O., Yáñez-Morales, M., Alvarado-Rosales, D., Cibrián-Tovar, D. & García-Díaz, S. (2005). Hongos asociados a eucalipto, *Eucalyptus grandis* Hill: Maid. *Agrociencia*, 39: 311-318.
- Portal Forestal (2010). *La Conferencia sobre Protección de los Bosques en Europa se realizará en Valsain (Segovia)*. http://www.portalforestal.com/index.php?option=com_content&view=article&id=4567&Itemid=30 (Consultado: Abril/5/2010).
- Rao, N., Hanson, J., Dulloo, M., Ghosh, K., Novell, D. & Larinde, M. (2007). *Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. Manuales para Bancos de Germoplasma*, No. 8. Roma, Italia: Bioversity International.
- Rathod, L.R. & Pawar, N.B. (2013). In Vitro Seed Treatment of Fungicides for the Control of Seed Borne Fungi of Soybean Variety Durga. *Gra - Global Research Analysis*, 2(10): 15-16.
- Refocosta (2007). Componente microbiológico del proyecto de certificación de semilla de teca (*Tectona grandis*). Informe final Proyecto: Desarrollo de un sistema de certificación de material forestal reproductivo de teca (*Tectona grandis* L.f.) para Colombia. 43p.
- Rego, S.S., Santos, Á.F., Nogueira, A.C. & Kuniyoshi, Y.S. (2012). Detection, transmission and pathogenicity of fungi on *Blepharocalyx salicifolius* (H.B.K.) Berg. seeds. *Rev. bras. sementes*, 34(1): 9-13.

- Santos, A., Junior, A. & Auer, C. (2001). Transmissão de fungos por sementes de espécies florestais. *Floresta*, 30(1): 119-128.
- Sutherland, J., Diekmann, M. & Berjak, P. (2002). Forest Tree Seed Health. *IPGRI Technical Bulletin*, No. 6. Rome, Italy: International Plant Genetic Resources Institute.
- Syed, D.Y.N., Shiden, T., Merhawi, W. & Mehret, S. (2013). Identification of seed borne fungi on farmer saved sorghum (*Sorghum bicolor* L.), pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) and groundnut (*Arachis hypogaea* L.) seeds. *Agricultural Science Research Journals*, 3(4): 107-114.
- Thomson, J. (1983). *Introducción a la tecnología de semillas*. Zaragoza: Acribia.
- Triviño, T., De Costa, R. & Castillo, A. (1990). *Técnicas de manejo de semillas para algunas especies forestales neotropicales en Colombia. Mejoramiento de semillas y fuentes semilleras en Colombia*. CONIF-INDERANA-CIID. Serie de documentación.

Capítulo 9

IDENTIFICACIÓN DE HONGOS ASOCIADOS A SEMILLAS DE TRES ESPECIES FORESTALES EXÓTICAS

1. INTRODUCCIÓN

La calidad de las semillas es un aspecto fundamental para garantizar el éxito de las futuras plantaciones, y es un término holístico que involucra atributos como calidad física, fisiológica, genética y sanitaria. En relación a este último atributo, las semillas representan uno de los vehículos más importantes en la transmisión de agentes causales de enfermedades (Santos *et al.*, 2001; Benetti *et al.*, 2009; Lazarotto *et al.*, 2010; Kobayasti *et al.*, 2011; Lazarotto *et al.*, 2012; Rego *et al.*, 2012; Rathod & Pawar, 2013; Francoso & Barbedo, 2014). Los daños ocasionados por la asociación de fitopatógenos con las semillas pueden infectar sustratos de germinación, limitar la germinación y vigor de las semillas, ocasionar pérdidas directas de poblaciones de plantas en campo, reducir el valor comercial de las plantaciones, contaminar cultivos sucesivos y, diseminar enfermedades de una región a otra (Francoso & Barbedo, 2014; Rathod & Pawar, 2013; Lazarotto *et al.*, 2012; Rego *et al.*, 2012; Alzugaray *et al.*, 2007; Machado *et al.*, 2002; Arguedas, 1997; Arguedas & Torres, 1996). Estos potenciales eventos pueden materializarse en pérdidas económicamente importantes así como afectar la comercialización de las semillas.

Antes de incorporar las muestras a una colección *ex situ*, es necesario

averiguar si está presente en un banco de genoplasma de semillas alguna plaga o enfermedad (Frison & Jackson, 1995; Rao *et al.*, 2007; Maciel *et al.*, 2012; Medeiros *et al.*, 2012). Al respecto, Engels & Visser (2007) señalan que la infección y contaminación de las accesiones con agentes patógenos pueden causar varios problemas como afectar la longevidad de la semilla (erosión genética), diseminación en la colección y destrucción de accesiones susceptibles, causar medidas de cuarentena que se reflejarán en el flujo del germoplasma; además, es posible que en la caracterización y la evaluación del germoplasma se reciba una influencia negativa por parte de estos agentes causales de enfermedades. Por ello, la capacidad de almacenar e intercambiar germoplasma sano es fundamental para la conservación y el uso eficaz de los recursos fitogenéticos (Rao, 2004; Ivory & Tompsett, 1994). Para el caso del banco de germoplasma forestal de la Universidad de Córdoba, esta actividad es prioritaria dado que las accesiones almacenadas corresponden a lotes familiares (semillas de un mismo árbol) de árboles plus, las cuales tienen como objetivo principal e inmediato el suministro de material para el establecimiento de ensayos genéticos y huertos semilleros (Murillo *et al.*, 2012).

Los hongos fitopatógenos pueden estar presentes en las semillas, bien sea en la superficie, en su interior o en ambas partes; se presentan en las más variadas formas de propagación, desde esporas hasta estructuras de resistencia (esclerocios), micelios, y otras específicas de los diversos grupos de hongos (Campacci & Pessanha, 1970; Neergaard, 1977; Rao *et al.*, 2007; Benetti *et al.*, 2009; Lazarotto *et al.*, 2010; Kobayashi *et al.*, 2011; Medeiros *et al.*, 2012; Rego *et al.*, 2012; Rathod & Pawar, 2013; ISTA, 2014; Francoso & Barbedo, 2014). En el estudio de patógenos en semillas, la localización del inóculo es un efecto decisivo en la transmisión y severidad de los síntomas en plántulas, por la relación entre los hongos presentes en el interior de la semilla y la infección en las plántulas, es decir, cuanto más profundo se localice el hongo en la semilla, mayor será la oportunidad de transmisión a la plántula (Arguedas *et al.*, 1999; ISTA, 1999; Dhingra, 2005; Padulla *et al.*,

2010; Maciel *et al.*, 2012; Lazarotto *et al.*, 2012; Syed *et al.*, 2013; ISTA, 2014; Francoso & Barbedo, 2014). Todos los investigadores mencionados en este párrafo han coincidido en resaltar la necesidad e importancia de las pruebas de sanidad en semillas a nivel agrícola y forestal, como estrategias de gran prioridad en el uso comercial y la conservación *ex situ* de semillas en bancos de germoplasma.

El estudio de la interacción de hongos en semillas y la evaluación de su potencial patogénico es de gran interés en la generación de modelos epidemiológicos, producción de plántulas y almacenamiento de semillas (Santos *et al.*, 2001; Benetti *et al.*, 2009; Lazarotto *et al.*, 2010; Lazarotto *et al.*, 2012; Rathod & Pawar, 2013; Francoso & Barbedo, 2014). Un aspecto importante para estudios de levantamiento de microorganismos presentes en las semillas es el anotado por Thomson (1983), quien señala que un solo método de análisis no es suficiente para permitir el desarrollo de gran parte de la micoflora portada por las semillas, por lo que es conveniente el uso de varios métodos que permitan expresar la diversidad de microorganismos presentes en ellas.

Dada la importancia que reviste el conocimiento de la interacción de hongos con las semillas de *Acacia mangium* Willd. (Acacia), *Gmelina arborea* Roxb. (Melina) y *Tectona grandis* L.f. (Teca), como base fundamental en el diagnóstico y establecimiento de medidas de manejo fitosanitario, la presente investigación tuvo como objetivo contribuir a la identificación e incidencia de hongos asociados a las semillas de estas tres especies forestales exóticas comerciales para uso sostenible y la conservación *ex situ* apropiada en bancos de germoplasma en el departamento de Córdoba (Colombia). Parte de los resultados de esta investigación fueron publicados por (Correa *et al.*, 2012).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización

La investigación se desarrolló durante el año 2011, en las instalaciones

del Laboratorio de Fitopatología de la Universidad de Córdoba (Montería, Colombia), ubicada en la zona media del valle del Sinú, a 8°52' de latitud norte y 76°48' longitud oeste respecto al meridiano de Greenwich, a una altura de 13 msnm. La zona ecológica corresponde al bosque seco tropical con temperatura promedio de 28 °C, humedad relativa de 84 % y precipitación anual de 1200 mm (Palencia *et al.*, 2006).

2.2. Material genético

Se utilizó semilla sexual de libre polinización, colectada en campo de árboles superiores de tres especies forestales comerciales exóticas, conocidas como: acacia (*A. mangium*), melina (*G. arborea*) y teca (*T. grandis*). La semilla fue suministrada por el banco de germoplasma de la Universidad de Córdoba.

La colecta de las semillas fue realizada por los auxiliares y profesionales encargados del banco de germoplasma del Laboratorio de Fitomejoramiento de la Universidad de Córdoba, atendiendo los protocolos específicos propuestos por Gold *et al.* (2004), ajustados y validados por Murillo *et al.* (2012). La recolección de las semillas se realizó durante el segundo semestre de 2010, en plantaciones forestales ubicadas en tres zonas productoras del departamento de Córdoba (Colombia), a saber: teca en San Antero (altitud 50 msnm, precipitación 1231 mm anuales y 28°C), acacia en Planeta Rica (altitud 100 msnm, precipitación 1603 mm anuales y temperatura 27°C) y melina en Tierralta (altitud 51 msnm, precipitación 1760 mm anuales y 27°C) (Gobernación de Córdoba, 2015; Clima, 2015).

2.3. Procedimiento

Los métodos empleados en la detección de los hongos fue mediante la inducción del crecimiento micelial y esporulación de los hongos, tanto en la superficie como en el interior de la semilla, a través de la incubación de las semillas en cámara húmeda (CH) y en los medios nutritivos Papa Dextrosa Agar (PDA), Czapek-Dox-Agar (CZA) y Sabourand 4 % (SDA) (Rao *et al.*, 2007).

Para determinar los hongos localizados en el interior de las semillas, estas fueron sumergidas en una solución de hipoclorito de sodio (NaOCl) al 1 % durante un minuto (Álvarez-Pardo *et al.*, 2006); mientras que para determinar los hongos localizados en la superficie de las semillas, estas no recibieron ningún tratamiento. Las cámaras húmedas se realizaron en bandejas de aluminio con papel toalla esterilizado, humedecido con agua destilada esterilizada, utilizando 20 semillas por bandeja, distribuyendo la semilla de forma equidistante. Fueron empleadas 400 semillas para las especies teca y melina, mientras que para acacia se usaron 800 semillas. El 50 % de las semillas de cada especie se desinfectó con hipoclorito de sodio al 1 %. En relación a los agares empleados PDA, CZA y SDA se vertieron en platos Petri de vidrio, donde se ubicaron cinco semillas por plato de forma equidistante. Una vez establecidas en los medios de cultivo y en las cámaras húmedas se incubaron a 27°C, con periodos de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad. Posteriormente, se realizaron observaciones microscópicas diarias entre el quinto y décimo día identificando los hongos presentes en las semillas hasta nivel de género, con base en las características morfológicas empleando la clave taxonómica de hongos imperfectos (Barnett & Hunter, 1998). Finalmente se evaluó la incidencia de hongos presentes en la parte externa e interna de las semillas.

2.4. Análisis estadístico

Por la misma naturaleza del objetivo del estudio, con los datos obtenidos, la incidencia de hongos en las semillas se estimó en porcentaje, considerándose una semilla como una repetición, sin importar el número de géneros fungosos presentes en ella. La incidencia de la diversidad de los géneros se estimó con el promedio de los diferentes géneros fúngicos desarrollados en los tres medios de cultivo y en la cámara húmeda, donde en una semilla infectada pueden estar presentes más de un género fungoso (Correa *et al.*, 2012). Los resultados fueron condensados en tablas de frecuencia determinando la incidencia y diversidad de los diferentes géneros fungosos presentes en cada

especie; así como su ubicación en la semilla y la eficiencia de los métodos empleados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las semillas de las especies *A. mangium*, *G. arborea* y *T. grandis* se encontró un complejo de hongos, los cuales se ubicaron indistintamente tanto en la parte externa como en el interior. En la Tabla 9.1 se presentan la incidencia y localización de estos géneros, en los diferentes métodos evaluados.

3.1. *Acacia mangium*

En semillas de *A. mangium* se identificaron nueve géneros, de los cuales ocho en el interior de las semillas (Tabla 9.1). Las mayores incidencias se presentaron en semillas sin desinfección, lo que representa la acción de hongos de localización externa con incidencias entre el 10 % y 19 %; mientras que, para hongos internos las incidencias oscilaron entre el 8 % y 19 % (Figura 9.1). Los géneros *Aspergillus* spp. y *Penicillium* sp. fueron los de mayor incidencia con 12,5 % y 10 % respectivamente, en el medio PDA y localizados de manera interna, seguido del género *Syncephalastrum* sp. con el 6 % de incidencia (CZA) de manera externa en las semillas; el resto de géneros fúngicos asociados no superan el 5 % de incidencia independientemente de su localización (Tabla 9.1). El medio PDA expresó el mayor potencial fúngico de las semillas de *A. mangium*, dado el mayor número de géneros aislados y la mayor incidencia; así mismo, se anota que géneros como *Trichoderma* sp., *Nigrospora* sp. y *Cladosporium* sp. no fueron aislados en CH, *Trichoderma* sp. y *Nigrospora* sp. en medio CZA y *Curvularia* sp. en SDA (Tablas 9.1 y 9.2).

3.2. *Gmelina arborea*

En semillas de *G. arborea* se identificaron en total siete géneros fúngicos, de los cuales seis se pueden localizar tanto de manera externa como interna en las semillas (Tabla 9.1). Se presentó una alta carga fúngica con incidencias entre el 10 % y 67 % en semillas con hongos de localización externa y entre el 21,5 % al 83 % para semillas con hongos de naturaleza interna (Figura 9.2). Al

igual que en semillas de *A. mangium*, los géneros *Aspergillus* spp., *Penicillium* sp. y *Syncephalastrum* sp. fueron los de mayor incidencia, con 66 % (SDA), 39 % (CH) y 31 % (CZA) respectivamente; el resto de géneros fúngicos asociados no superaron el 3 % de incidencia en las semillas independientemente de su localización (Tabla 9.1). El mayor número de géneros fúngicos fue aislado en medio PDA, sin embargo, incidencias para géneros fúngicos como *Aspergillus* spp., *Penicillium* sp. y *Syncephalastrum* fueron superiores en CH y agares CZA y SDA; además, géneros como *Nigrospora* sp. no pudieron ser obtenidos por CH, CZA y SDA, así como *Curvularia* sp. en agares PDA, CZA y SDA, *Cladosporium* sp. en CH y *Trichoderma* sp. en medio CZA (Tablas 9.1 y 9.2).

3.3. *Tectona grandis*

En semillas de *T. grandis* se identificaron 10 géneros, de los cuales nueve fueron de localización interna (Tabla 9.1). Al igual que en semillas de *G. arborea* se presentó una alta carga fúngica con incidencias entre el 15 % y 95 % en semillas con hongos externos y del 10,5 % al 23 % para semillas con hongos internos (Figura 9.3). De localización externa en las semillas, los géneros *Botryodiplodia* sp., *Aspergillus* spp., *Penicillium* sp., *Fusarium* sp. y *Cladosporium* sp., registraron alta incidencia en su orden del 95 %, 94,5 %, 27,5 %, 14 % y 11,5 % respectivamente, mientras que en el interior de las semillas, los géneros de mayor incidencia fueron *Aspergillus* spp., *Penicillium* sp., *Syncephalastrum* sp., *Gliocladium* sp., *Trichoderma* sp. y *Fusarium* sp. con 18,5 %, 15 %, 12,5 %, 11 %, 7,5 % y 7 % respectivamente (Tabla 9.1). El mayor número de géneros aislados se obtuvieron con el medio PDA y se señala que géneros como *Nigrospora* sp. no fueron obtenidos en agares PDA, CZA y SDA, *Gliocladium* sp. en CH, CZA y SDA, *Cladosporium* sp. en CH y SDA, *Botryodiplodia* sp. en CZA y SDA y *Trichoderma* sp. en medio CZA (Tablas 9.1 y 9.2). Estos resultados justifican la necesidad de emplear varios métodos para verificar la sanidad de las semillas, coincidiendo con la propuesta de Thomson (1983).

Tabla 9.1. Incidencia (%) de géneros fúngicos en los diferentes medios de incubación de acuerdo con su localización en semillas de *Acacia mangium*, *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*.

Especie Vegetal	Género	Localización de hongos en semillas							
		Externos				Internos			
		CH	PDA	CZA	SDA	CH	PDA	CZA	SDA
<i>Acacia mangium</i>	<i>Aspergillus</i> spp.	11,0	5,5	6,8	4,2	3,0	12,5	5,5	4,3
	<i>Penicillium</i> sp.	4,0	7,0	4,8	4,3	2,5	10,0	3,5	1,5
	<i>Curvularia</i> sp.			0,5		1,5	0,5		
	<i>Helminthosporium</i> sp.	0,5							
	<i>Syncephalastrum</i> sp.			6,0	2,4	1,5	2,5	1,5	1,0
	<i>Fusarium</i> sp.		0,5	0,5		2,5	1,0	0,5	0,8
	<i>Cladosporium</i> sp.			0,8	0,5		5,0		
	<i>Trichoderma</i> sp.						0,8		0,5
	<i>Nigrospora</i> sp.						1,0		0,3
<i>Gmelina arborea</i>	<i>Aspergillus</i> spp.	60,5	55,5	6,0	66,0	36,5	11,5	82,0	7,0
	<i>Penicillium</i> sp.	3,5	22,0	9,0		39,0	7,5	10,0	22,0
	<i>Curvularia</i> sp.	1,0				0,5			
	<i>Syncephalastrum</i> sp.	4,0	4,5		5,5		0,5	31,0	
	<i>Cladosporium</i> sp.			1,5			0,5		2,0
	<i>Trichoderma</i> sp.		1,5			0,5			0,5
	<i>Nigrospora</i> sp.						3,0		
<i>Tectona grandis</i>	<i>Aspergillus</i> spp.	94,5	76,0	18,0	7,0	4,5	6,5	18,5	12,5
	<i>Penicillium</i> sp.		26,0	27,5	14,0	2,0	1,5	15,0	3,0
	<i>Curvularia</i> sp.		1,5	3,0		1,0			1,5
	<i>Syncephalastrum</i> sp.		0,5					12,5	
	<i>Fusarium</i> sp.		1,5	14,0	5,0	1,0	1,5	7,0	
	<i>Cladosporium</i> sp.		0,5	11,5					
	<i>Trichoderma</i> sp.	0,5					7,5		1,0
	<i>Nigrospora</i> sp.					1,0			
	<i>Botryodiplodia</i> sp.	95,0				1,0			
	<i>Gliocladium</i> sp.						11,0		

CH: Cámara húmeda; PDA: Papa Dextrosa Agar; CZA: Czapek-Dox-Agar; y SDA: Sabourand 4%.

3.4. Identificación de géneros fúngicos

En general, se identificaron 11 géneros fúngicos, de los cuales *Aspergillus* spp., *Penicillium* sp. *Curvularia* sp., *Syncephalastrum* sp., *Cladosporium* sp., *Trichoderma* sp. y *Nigrospora* sp. fueron comunes en semillas de las tres especies, mientras que *Helminthosporium* sp. solamente fue aislado en semillas de *A. mangium*, y los géneros *Botryodiplodia* sp. y *Gliocladium* sp. en semillas de *T. grandis*.

Los géneros *Aspergillus* sp., *Curvularia* sp., *Fusarium* sp. y *Trichoderma* sp., *Botryodiplodia* sp. y *Cladosporium* sp., entre otros, se encuentran como los más comúnmente relacionados con semillas de especies forestales (Francoso & Barbedo, 2014; Rego *et al.*, 2012; Lazarotto *et al.*, 2012; Maciel *et al.*, 2012; Lazarotto *et al.*, 2010; Benetti *et al.*, 2009; Sutherlan *et al.*, 2002; Santos *et al.*, 2001; Netto & Faiad, 1995). Para semillas de *T. grandis* se han reportado los géneros *Syncephalastrum* sp., *Fusarium* sp., *Curvularia* sp., *Botryodiplodia* sp., *Aspergillus niger*, *Penicillium* sp. *Cunninghamella* sp., *Dreschlera* sp., *Rhizoctonia* sp. y *Mucor* sp.; en semillas de *A. mangium* el género *Penicillium* sp. y en *G. arborea* los géneros *Fusarium* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Macrophoma* sp., *Monilia* sp., *Oidiodendron* sp. y *Torula* sp. (Refocosta, 2007; Santos *et al.*, 2001; Arguedas *et al.*, 1999).

Los hongos *Aspergillus* sp. y *Penicillium* sp. son muy comunes en semillas y pueden ser aislados de cualquier tipo de semillas ya sean de árboles, especies cultivadas y malezas, la contaminación de las semillas por estos géneros generalmente ocurre después de la colecta y son considerados como saprofitos externos (Santos *et al.*, 2001; Palmero *et al.*, 2005; Padulla *et al.*, 2010; Kobayasti *et al.*, 2011; Medeiros *et al.*, 2012; Rathod & Pawar, 2013). Adicionalmente, *Aspergillus* sp. ha sido aislado en semillas de otras especies forestales como *Casuarina equisetifolia* L., *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Cham., *Cupressus lusitánica* Mill., *Delonix regia* (Bojer ex Hook.) Raf., *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb., *Hieronyma alchorneoides* Allemão

y *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, *Virola* spp., *Cedrela odorata* L., *Cordia goeldiana* Huber, *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don, *Tabebuia* sp., *Vochysia máxima* Ducke, entre otras; así mismo este género ha sido relacionado en la pudrición de semillas y atrofia de radículas en plántulas (Syed *et al.*, 2013; Rathod & Pawar, 2013; Medeiros *et al.*, 2012; Kobayasti *et al.*, 2011; Arguedas *et al.*, 1999; Triviño *et al.*, 1990; Carneiro, 1986).

Penicillium sp. es reportado como causante de marchitamiento en plántulas recién emergidas y como patógeno de semillas en especies forestales como *Cordia alliodora*, *Delonix regia*, *Gliricidia sepium* Kunth ex Steud., *Hieronyma alchorneoides*, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Quercus seemannii* Liebm. (Arguedas *et al.*, 1999; Arguedas, 1997), *Astronium fraxinifolium* Schott (Netto & Faiad, 1995); *Cedrela odorata*, *Cassia macranthera* DC. ex Collad. (Santos *et al.*, 2001); *Eucalyptus grandis* W. Mill ex Maiden (Pérez-Vera *et al.*, 2005), *Tabebuia serratifolia* (Vahl) G. Nicholson y *Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex DC.) Standl. (Botelho *et al.*, 2008), entre otras.

Fusarium sp. y esporádicamente *Curvularia* sp. son géneros que integran el complejo de hongos que originan el *Damping-off*, el cual es una enfermedad frecuente en semilleros que afecta la germinación de las semillas y las plántulas recién emergidas (Carneiro, 1987; Madia, 1994; Benetti *et al.*, 2009; Lazarotto *et al.*, 2010; Lazarotto *et al.*, 2012; Maciel *et al.*, 2012; Rego *et al.*, 2012; Francoso & Barbedo, 2014). El género *Fusarium* sp. es catalogado como fitopatógeno (Carvalho & Muchovej, 1991) y sus especies se caracterizan por causar pudrición de semillas, necrosis de radículas y cuello, y muerte de plántulas con desarrollo de estructuras asexuales sobre los órganos afectados (Madia, 1994).

Los géneros *Curvularia* sp. y *Cladosporium* sp., de acuerdo con varios autores (Neegaard, 1979; Madia, 1994; Padulla *et al.*, 2010; Kobayasti *et*

al., 2011; Medeiros *et al.*, 2012; Rathod & Pawar, 2013) son considerados como contaminantes de semillas, ejerciendo un rol patogénico al cubrir su superficie limitando la germinación. Sin embargo, estudios en semillas de arroz (*Oriza sativa* L.), las especies *Cladosporium cladosporioides* y *Cladosporium oxysporum* son reportadas como saprofitos, mientras que *Curvularia penniseti* y tres especies del género *Fusarium* son reportadas como patógenos (Barrios & Pérez, 2005). Así mismo, *Fusarium* sp. y *Curvularia* sp. presentaron correlación negativa con la germinación en semillas de *Schinopsis balansae* Engl., con coeficientes de correlación de $-0,73$ y $-0,85$, respectivamente (Alzugaray *et al.*, 2007). Los géneros *Fusarium* sp., *Curvularia* sp. y *Cladosporium* sp. han sido aislados en semillas de especies arbóreas de *Eugenia brasiliensis* Lam.; *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna; *Cedrela fissilis* Vell.; *Blepharocalyx salicifolius* (Kunth) O. Berg; *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus viminalis* Hook., *Virola sebifera* Aubl., *Didymopanax morototoni* (Aubl.) Decne. & Planch., *Schinopsis balansae*, *Aspidosperma quebracho-blanco* Schltdl., *Cedrella odorata*, *Astronium urundeuva* (Allemão) Engl., *Tabebuia serratifolia* y *Tabebuia impetiginosa* (Francoso & Barbedo, 2014; Lazarotto *et al.*, 2012; Rego *et al.*, 2012; Lazarotto *et al.*, 2010; Botelho *et al.*, 2008; Alzugaray *et al.*, 2007; Pérez-Vera *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2001; Netto & Faiad, 1995; Medeiros *et al.*, 1992).

3.5. Patógenos externos e internos

Las especies *G. arborea* y *T. grandis* presentaron una incidencia media de hongos externos de 3,5 y 3,8 veces respectivamente superior a la determinada en semillas de *A. mangium* y de 4,3 y 1,5 veces para hongos de localización interna (Tabla 9.2), estas diferencias podrían estar relacionadas con características estructurales de la semilla, ya que semillas de *T. grandis* poseen en su superficie fisuradas o surcos longitudinales y semillas de *G. arborea* poseen una cavidad o compresión terminal que le puede permitir albergar estructuras reproductivas de hongos en comparación con las

semillas de *A. mangium* que tienen una superficie lisa y lustrosa (Agrosoft, 2000; Niembro, 1989) (Figura 9.4). Al respecto Dhingra (2005) señala que la arquitectura de la superficie de la semilla juega un papel importante en la contaminación superficial, ya que la existencia de fisuras, ralladuras, asperezas, espinas o pelos facilitan la captura y adherencia de esporas. Otro factor que podría estar incidiendo es el tamaño de las semillas, considerando que las dimensiones de *A. mangium* es varias veces inferior a las de *G. arborea* y *T. grandis*, y por ende, es lógico considerar que a mayor superficie de la semilla, mayor será la probabilidad que los agentes patógenos se adhieran.

Los géneros *Aspergillus* spp. y *Penicillium* sp. fueron los de mayor incidencia superficial en las semillas disminuyendo en su interior, principalmente de *G. arborea* y *T. grandis*. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Medeiros *et al.* (1992) en *Astronium urundeuva*, donde semillas desinfectadas con NaOCl al 1 % presentaron disminución de la frecuencia de *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. y *Curvularia* sp., sugiriendo que esos géneros estarían siendo transmitidos más externamente que internamente por las semillas.

El género *Gliocladium* sp. en *T. grandis* al igual que *Nigrospora* sp. se comportaron como géneros de procedencia interna, al obtenerse exclusivamente en los tratamientos con desinfección de semillas. Al respecto, patógenos que atacan tejidos internos de las semillas son señalados por diversos autores como agentes influyentes en problemas de germinación y/o vigor, disminución de la longevidad de semillas y diseminación de enfermedades a otras regiones (Arguedas *et al.*, 1999; Rego, 2005; Rao *et al.*, 2007; Engels & Visser, 2007; Medeiros *et al.*, 2012; Rego *et al.*, 2012; Syed *et al.*, 2013; Rathod & Pawar, 2013; Francoso & Barbedo, 2014), además revisten mayor problema debido a que generalmente quedan protegidos contra la mayoría de los tratamientos que controlan de manera eficiente las especies fúngicas transmitidas externamente en las semillas (Santos *et al.*, 2001).

Tabla 9.2. Número de géneros e incidencia promedio (%) de hongos en semillas de *A. mangium*, *G. arborea* y *T. grandis* en los diferentes medios de incubación.

Géneros de hongos								
Especies	Externos				Internos			
	CH	PDA	CZA	SDA	CH	PDA	CZA	SDA
<i>Acacia mangium</i>								
NG	3	3	6	4	5	8	4	6
I% (X)	14,0				11,4			
<i>Gmelina arborea</i>								
NG	4	4	3	2	4	5	3	4
I% (X)	48,5				49,1			
<i>Tectona grandis</i>								
NG	3	6	5	3	6	5	5	4
I% (X)	53,8				17,5			
	CH		PDA		CZA		SDA	
NG (X)	4,17		5,17		4,33		3,83	
I% (Xmedio de cultivo)	42,67		34,75		27,75		24,33	

NG: número de géneros fúngicos; I % (X): incidencia promedio; NG (X): número de géneros promedio; I % (X medio de cultivo): incidencia promedio por medio de cultivo; CH: cámara húmeda; PDA: Papa Dextrox Agar; CZA: Czapek-Dox-Agar y SDA: Sabourand al 4 %.

Excluyendo los géneros *Aspergillus* spp. y *Penicillium* sp., la incidencia de los géneros fúngicos de localización interna estuvo entre el 0,3 % y 5 %, 0,5 % y 31 % y del 1 % al 12,5 % en semillas de *A. mangium*, *G. arborea* y *T. grandis* respectivamente. Las normas ISTA (2014) asumen como aceptables porcentajes de infección menores al 20 %, sin embargo, para conservación de semillas en bancos de germoplasma, Rao *et al.* (2007) indican que lotes con porcentajes de semillas infectadas superior al 5 % pueden considerarse inapropiados para conservación, en razón a que los niveles de tolerancia de patógenos para la producción de semillas deben estar relacionados con el género fungoso presente y con el nivel de daño que ocasiona en la semilla; por ejemplo en Brasil en semillas certificadas de frijol y maíz, Bhering (2002) propuso una tolerancia entre 50 y 60 % de los géneros de *Aspergillus* spp. y *Penicillium* spp respectivamente; mientras que para *Fusarium* spp. debería ser

del 5 %; ya que este hongo tiene la capacidad de transmitirse a las plántulas ocasionando su muerte. Con relación a estos parámetros en semillas de *G. arborea* solamente el género *Syncephalastrum* sp. (31 %) supera el 5 % de incidencia, mientras que en semillas de *T. grandis* los géneros que superaron este porcentaje fueron *Syncephalastrum* sp. (12,5 %), *Gliocladium* sp. (11 %) y *Fusarium* sp. (7,5 %).

3.6. Cámara húmeda y medios agarizados

El medio PDA expresó el mayor número de géneros fúngicos en semillas de las tres especies en estudio con un promedio de 5,17 géneros, seguido por CZA, CH y SDA con 4,33, 4,17 y 3,83 géneros respectivamente; no obstante, la mayor incidencia promedio se evidenció en CH con un 42,67 %, seguido por los medios PDA, CZA y SDA con 34,75 %, 27,75 % y 24,33 % respectivamente (Tabla 9.2). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Noelting *et al.* (2004) en semillas de amaranto (*Amaranthus* spp.), donde todos los medios agarizados (Agar Papa Glucosado al 2%, Agar Extracto de Glucosa Cloramfenicol, Agar Czapek, Agar para conteo en placa y Agar Sabouraud) fueron más efectivos para recuperar los microorganismos presentes en las semillas en comparación con el método Blotter test (papel filtro absorbente), al presentar un mayor número de géneros fúngicos aislados. De igual forma, la mayor incidencia fúngica en CH se debe al predominio de géneros de crecimiento rápido y expansivo como *Aspergillus* spp. y *Penicillium*, mientras que en agares la incidencia de estos hongos disminuyen. Al respecto, Castaño (1986) anota que medios como el CZA, disminuyen el crecimiento micelial de la mayoría de los hongos, dando lugar a la expresión de otros géneros fúngicos de crecimiento más lento.

El desarrollo de los géneros fúngicos en los métodos de cámara húmeda y medios agarizados, mostraron que el medio PDA presentó el menor escape de géneros fúngicos (Tablas 9.1 y 9.2). Hongos importantes como

Syncephalastrum sp., *Gliocladium* sp. y *Cladosporium* sp. no fueron detectados en CH principalmente en semillas de *T. grandis*. De igual forma, estos resultados indican que el medio CZA es limitado en la detección de géneros fúngicos comunes como *Nigrospora* sp. y *Trichoderma* sp. y el medio SDA en la detección de géneros importantes como *Cladosporium* sp., *Syncephalastrum* sp., *Curvularia* sp., *Botryodiplodia* sp. y *Gliocladium* sp. Estos resultados evidencian la importancia del uso de varios métodos para la expresión de la mayor diversidad de géneros fúngicos en estudios exploratorios, a fin de obtener un levantamiento completo de hongos asociados a semillas, así como para la selección de métodos eficientes y complementarios, que permitan un aislamiento representativo de la carga fúngica presente en las semillas, lo que se traduciría en una ajustada y óptima evaluación de la calidad sanitaria de la semilla (Benetti *et al.*, 2009; Lazarotto *et al.*, 2010; Padulla *et al.*, 2010; Kobayashi *et al.*, 2011; Lazarotto *et al.*, 2012; Rego *et al.*, 2012; Syed *et al.*, 2013; Rathod & Pawar, 2013; Francoso & Barbedo, 2014).

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos permiten indicar que semillas colectadas en campo de *A. mangium*, *G. arborea* y *T. grandis* son portadoras de al menos 11 géneros fúngicos de los cuales *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Curvularia* sp., *Syncephalastrum* sp., *Cladosporium* sp., *Trichoderma* sp. y *Nigrospora* sp. fueron comunes en semillas de las tres especies forestales. Los medios PDA y CZA presentan nutrientes importantes para la evaluación óptima de la calidad sanitaria de las semillas.

La desinfección superficial de semillas evidenció que la incidencia de patógenos internos es superior a la tolerancia permitida (5 %) para conservación de germoplasma, lo que indica la necesidad de aplicar tratamientos de desinfección eficientes para reducir de la carga fúngica de procedencia interna.

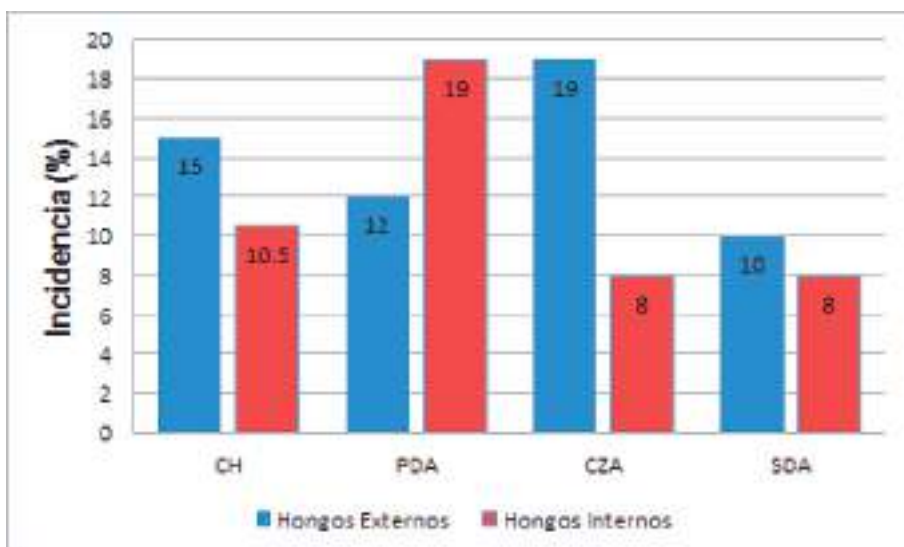


Figura 9.1. Incidencia (%) de hongos en semillas de *A. mangium* en cuatro métodos de incubación.

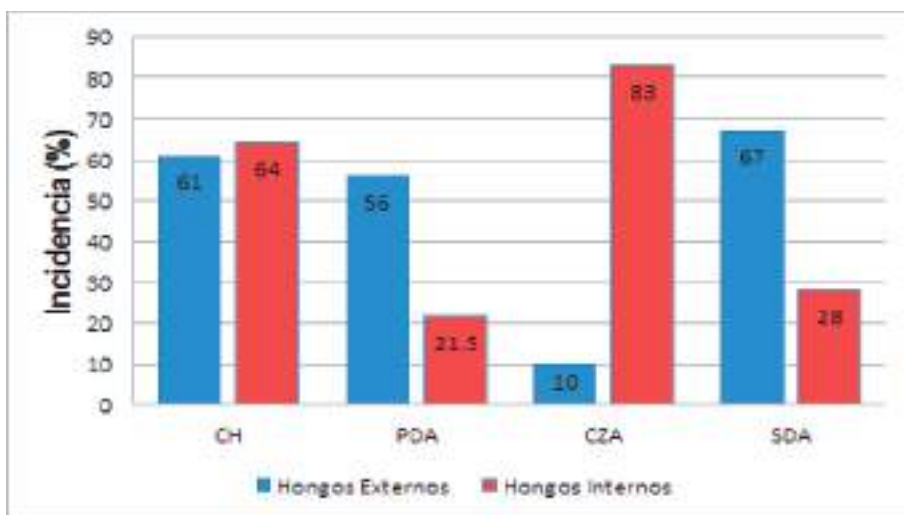


Figura 9.2. Incidencia (%) de hongos en semillas de *G. arborea* en cuatro métodos de incubación.

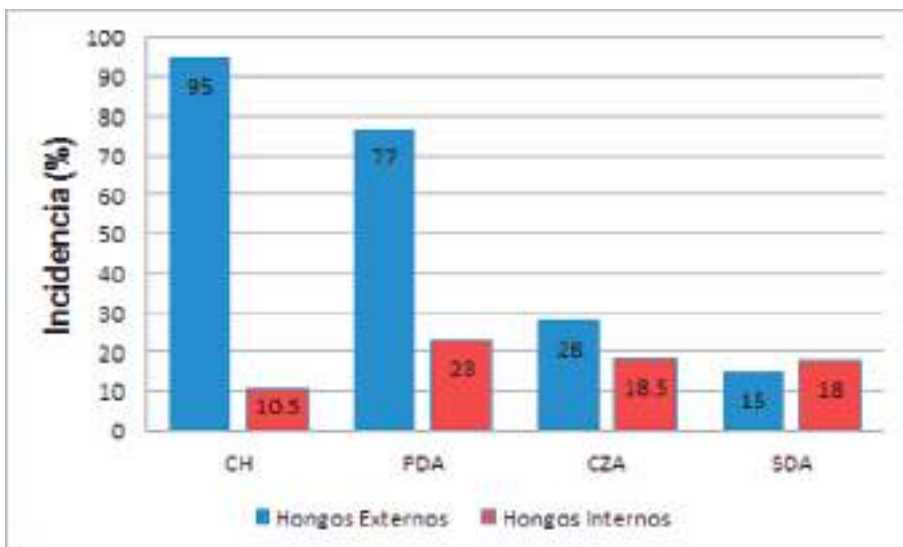


Figura 9.3. Incidencia (%) de hongos en semillas de *T. grandis* en cuatro métodos de incubación.



Figura 9.4. Superficie de semillas de acacia, teca y melina. A) Ralladuras longitudinales en la superficie de semillas de *T. grandis*; B) Cavidad terminal en semillas de *G. arborea*; C) Superficie lisa y lustrosa en semillas de *A. mangium*.

5. REFERENCIAS

- AGROSOFT (2000). *Acacia mangium* Willd. Serie-Especies Forestales, Reporte de especie No. 2. 12p.
- Alvarez-Pardo, V.M., Ferreira, A.G. & Nunes, V.F. (2006). Seed disinfestation methods for *in vitro* cultivation of epiphyte orchids from Southern Brazil. *Horticultura Brasileira*, 24(2): 217-220.
- Alzugaray, C., Carnevale, N., Salinas, A. & Pioli, R. (2007). Factores bióticos y abióticos que afectan la calidad de las semillas de *Schinopsis balansae* Engl. y *Aspidosperma quebracho-blanco* Schltdl. *Rev. Iberoam. Micol.*, 24: 142-147.
- Arguedas, M. (1997). *Plagas de semillas forestales en América Central y el Caribe*. Turrialba: CATIE.
- Arguedas, M. & Torres, G. (1996). *Problemas fitosanitarios en semillas forestales*, No. 11. Cartago: ITCR-CIT.
- Arguedas, M., Jiménez, M. & Miller, C. (1999). Microorganismos asociados a semillas de especies forestales en Costa Rica. II Simposio sobre Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina. Santo Domingo, República Dominicana.
- Barnett, H. & Hunter, B. (1998). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. (4th edn.). St. Paul, MN, USA: APS Press.
- Barrios, L. & Pérez, I. (2005). Nuevos registros de hongos en semillas de *Oryza sativa* en Cuba. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)*, (75): 64-67.
- Benetti, S.C., Dos Santos, A.F., Medeiros, A.C. & Filho, D.D. (2009). Levantamento de Fungos em Sementes de Cedro e Avaliação da Patogenicidade de *Fusarium* sp. e *Pestalotia* sp. *Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo*, 58(1): 81-85.
- Bhering, L. (2002). Sanidade de sementes com referencia a melhoria de qualidade na produção de sementes básicas no Brasil. Resumos e palestras 7º Simpósio Brasileiro de patologia de sementes, 1ª 3 de outubro. Embrapa Milho e Sorgo/NIA Sete Lagoas, MG.

- Botelho, L., Moraes, M. & Menten, J. (2008). Fungos associados às sementes de ipê-amarelo (*Tabebuia serratifolia*) e ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*): incidência, efeito na germinação e transmissão para as plântulas. *Summa Phytopathol. Botucatu*, 34(4): 343-348.
- Campacci, C. & Pessanha, B. (1970). Exame fitopatológico das sementes. In: Seminário Brasileiro de Sementes (pp.113-118). Pelotas, Anais Guanabara: MA.
- Carneiro, J. (1986). Microflora associada a sementes de essências florestais. *Fitopatologia Brasileira*, 11(3): 556-566.
- Carneiro, J. (1987). Testes de sanidade de sementes de essências florestais. In J. Soave & M. Wetzel, *Patologia de sementes* (pp.386-393). Campinas: Cargill.
- Carvalho, W. & Muchovej, J. (1991). Fungos associados a sementes de essências florestais. *Revista Árvore, Viçosa*, 15(2): 173-178.
- Castaño, J. (1986). *Prácticas de Laboratorio de Fitopatología. Composición de medios de cultivo y soluciones para el crecimiento, montaje y conservación de hongos*. San Antonio de Oriente, Francisco Morazan, Honduras: Ed. Zamorano Academic Press.
- Clima (2015). *Datos climáticos mundiales*. [consultado 10 agosto 2015]. Disponible en: <http://es.climate-data.org/location/28985/>
- Correa, A.E., Paternina, P.J., Camacho, M.E., Campo, A.R.O. & Urango, N. (2012). Identificación de hongos asociados a semillas de *Acacia mangium* Wild. *Tectona grandis* L.f y *Gmelina arborea* Roxb. *Fitopatología Colombiana*, 36(1): 1-5.
- Dhingra, O. (2005). Teoría da transmissão de patógenos fúngicos por sementes Em L. Zambolim (Ed.), *Sementes qualidade fitossanitária* (p.502). Brasil: Universidade Federal de Viçosa.
- Engels, J. & Visser, L. (2007). *Guía para el manejo eficaz de un banco de germoplasma. Manuales para Bancos de Germoplasma* N° 6. Roma, Italia: Bioversity International.

- Francoso, C.F. & Barbedo, C.J. (2014). Tratamientos osmóticos e térmicos para controle de fungos em sementes de grumixameira (*Eugenia brasiliensis* Lam.) e pitangueira (*Eugenia uniflora* L.). *Hoehnea*, 41(4): 541-552.
- Frison, E. & Jackson, G. (1995). Plant health and germplasm collectors. Pp. 329–340 En L. Guarino, R.V. Rao & R. Reid (Eds.), *Collecting Plant Genetic Diversity: Technical guidelines* (pp.329-340). Reino Unido: CAB International, Wallingford.
- Gobernación de Córdoba (2015). *Municipios de Córdoba*. [consultado 10 agosto 2015]. Disponible en: <http://www.cordoba.gov.co/cordoba/municipios.html>
- Gold, K., León-Lobos, P. & Way, Y.M. (2004). Manual de recolección de semillas de plantas silvestres para conservación a largo plazo y restauración ecológica. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile. *Boletín INIA* N° 110, 62p. <http://www.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR31275.pdf>. (Consultado: sep/8/2015).
- ISTA-International Seed Testing Association (1999). Internacional Seed Testing Association. *Rules Seed Science & Technology*. Supplement. Zurich (Suiza).
- ISTA-International Seed Testing Association (2014). *International Rules for Seed Testing 2014*. The International Seed Testing Association, Bassersdorf, Suiza.
- Ivory, M. & Tompsett, P. (1994). Germplasm health and disease indexing with particular reference to forest trees in tropical countries. *Commonwealth Forestry Review*, 73(1): 28-34.
- Kobayashi, L., Adoriam, A.I., Neto, V.B., Alves, Ch.Z. & Rezende, M.C. (2011). Incidência de fungos em sementes de pinhão-manso. *Pesqui. Agropecu. Trop.*, 41(3): 385-390.
- Lazarotto, M., Muniz, M.F.B. & Santos, Á.F.D. (2010). Detection, transmission, pathogenicity and chemical treatment of fungi in *Ceiba speciosa* seeds. *Summa Phytopathol*, 36(2): 134-139.

- Lazarotto, M., Muniz, M.F.B., Beltrame, R., Figueiredo, A.D.S., Maciel, C.G. & Longhi, S.J. (2012). Sanidade, transmissão via semente e patogenicidade de fungos em sementes de *Cedrela fissilis* procedentes da região sul do BRASIL. *Ciência Florestal, Santa Maria*, 22(3): 493-503.
- Machado, J., Langerak, C. & Jaccoud-Filho, D. (2002). *Seed-borne fungi: a contribution to routine seed health analysis*. Zürich: ISTA, 138p.
- Maciel, C.G., Muniz, M.F.B., Santos, Á.F. & Lazarotto, M. (2012). Detecção, transmissão e patogenicidade de fungos em sementes de angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida*). *Summa Phytopathol*, 38(4): 323-328.
- Madia, M. (1994). Identificación y patogenicidad de hongos hallados en semillas de *Lotus* spp. En Argentina. *Bol. San. Veg. Plagas*, 20: 827-831.
- Medeiros, A., Mendes, M., Ferreira, M. & Aragão, F. (1992). Avaliação qualitativa de fungos associados a sementes de aroeira (*Astronium urundeuva* (FR. ALL.) ENGL.). *Revista Brasileira de Sementes*, 14(1): 51-55.
- Medeiros, J.G.F., Da Silva, B.B., Araújo, A.C.N. & Do Nascimento, L.C. (2012). Fungos associados com sementes de flamboyant-mirim (*Caesalpinia pulcherrima*): incidência, efeito na germinação, transmissão e controle. *Pesq. Flor. Bras., Colombo*, 32(71): 303-308.
- Murillo, O., Espitia, M. & Castillo, C. (2012). *Fuentes semilleras para la producción forestal*. 1ª edición. Bogotá: Producción Editorial Domar S.A.S.
- Neergaard, P. (1977). *Seed Pathology*. Vol. I. London: MacMillan Press.
- Neergaard, P. (1979). *Seed Pathology*. Vol I-II. London and Basinstoke: The MacMillan Press LTD.
- Netto, D. & Faiad, M. (1995). Viabilidade e sanidade de sementes de espécies florestais. *Revista Brasileira de Sementes*, 17(1): 75-80.
- Niembro, A. (1989). *Semillas de plantas leñosas: Morfología comparada*. México D.F.: Editorial LIMUSA.

- Noelting, M., Sandoval, M. & Abbiati, N. (2004). Determinación de microorganismos fúngicos en semillas de Amaranto (*Amaranthus* spp.) mediante diferentes métodos de análisis. *Rev. Peru. Biol.*, 11(2): 169-178.
- Padulla, T.L., Duarte, M.H., Barbedo, C.J., Borges, I.F., Machado, J.O. & Pascholati, S.F. (2010). Detecção de fungos em sementes de pau-brasil (*Caesalpinia echinata*) coletadas durante sua formação e dispersão. *Rev. Bras. Sementes*, 32(2): 154-159.
- Palencia, G., Mercado, T. & Combatt, E. (2006). *Estudio agroclimático del departamento de Córdoba*. Montería: Editorial Gráficas del Caribe.
- Palmero, D., Iglesias, C. & Sinobas, J. (2005). Inventario fúngico asociado a las semillas de cultivares de cardo (*Cynara cardunculus* L.). *Bol. San. Veg. Plagas*, 31: 277-285.
- Pérez-Vera, O., Yáñez-Morales, M., Alvarado-Rosales, D., Cibrián-Tovar, D. & García-Díaz, S. (2005). Hongos asociados a eucalipto, *Eucalyptus grandis* Hill: Maid. *Agrociencia*, 39: 311-318.
- Rao, N. (2004). Plant genetic resources: Advancing conservation and use through biotechnology. *African Journal of Biotechnology*, 3(2): 136-145.
- Rao, N., Hanson, J., Dulloo, M., Ghosh, K., Novell, D. & Larinde, M. (2007). *Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. Manuales para Bancos de Germoplasma* No. 8. Roma, Italia: Bioversity International.
- Rathod, L.R. & Pawar, N.B. (2013). In Vitro Seed Treatment of Fungicides for the Control of Seed Borne Fungi of Soybean Variety Durga. *Gra - Global Research Analysis*, 2(10): 15-16.
- Refocosta (2007). Componente microbiológico del proyecto de certificación de semilla de teca (*Tectona grandis*). Informe final Proyecto: Desarrollo de un sistema de certificación de material forestal reproductivo de teca (*Tectona grandis* L.f.) para Colombia. 43p.

- Rego, A. (2005). Análise sanitária na produção de sementes de hortaliças. Em L. Zambolim, *Sementes-Qualidade fitossanitária* (pp.267-281). Vicosa: UFV, DFP.
- Rego, S.S., Santos, Á.F., Nogueira, A.C. & Kuniyoshi, Y.S. (2012). Detection, transmission and pathogenicity of fungi on *Blepharocalyx salicifolius* (H.B.K.) Berg. seeds. *Rev. Bras. Sementes*, 34(1): 9-13.
- Santos, A., Junior, A. & Auer, C. (2001). Transmissão de fungos por sementes de espécies florestais. *Floresta*, 30(1): 119-128.
- Sutherland, J., Diekmann, M. & Berjak, P. (2002). Forest Tree Seed Health. *IPGRI Technical Bulletin* No. 6. Rome, Italy: International Plant Genetic Resources Institute.
- Syed, D.Y.N., Shiden, T., Merhawi, W. & Mehret, S. (2013). Identification of seed borne fungi on farmer saved sorghum (*Sorghum bicolor* L.), pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) and groundnut (*Arachis hypogaea* L.) seeds. *Agricultural Science Research Journals*, 3(4): 107-114.
- Thomson, J. (1983). *Introducción a la tecnología de semillas*. Zaragoza: Acribia.
- Triviño, T., De Costa, R. & Castillo, A. (1990). Técnicas de manejo de semillas para algunas especies forestales neotropicales en Colombia. Mejoramiento de semillas y fuentes semilleras en Colombia. CONIF-INDERANA-CIID. Serie de documentación. 91p.

Capítulo 10

EFFECTO DEL TIPO DE SEMILLA EN LA GANANCIA GENÉTICA ESPERADA EN MELINA (*GMELINA ARBOREA* ROXB.)

1. INTRODUCCIÓN

El sector forestal constituye uno de los componentes agrarios priorizados en la agenda de competitividad de Colombia y del departamento de Córdoba. Colombia cuenta con 25 millones de ha aproximadamente, con aptitud forestal, de las cuales el departamento de Córdoba posee 8 mil ha (CONIF, 2003; MADR, 2005; Rincón, 2009; CFC, 2011).

De los 2.502.000 ha del área total del departamento de Córdoba, 8 mil ha (35,89 %) tienen potencial forestal, de ellas 326 mil (36,3 %) ha no tienen ninguna restricción y 572 mil ha (63,7 %) presentan alguna restricción menor (Rincón, 2009; CFC, 2011). En Córdoba existen aproximadamente 35.000 ha de plantaciones forestales (nativas e introducidas) y en los próximos 25 años se espera plantar 100.000 ha en las principales zonas productoras (Espitia *et al.*, 2014; CFC, 2015). Entre las especies introducidas plantadas para la producción de madera con fines comerciales, en orden de mayor participación, se encuentran teca (*Tectona grandis* L.), acacia (*Acacia mangium* Willd.) y melina (*Gmelina arborea* Roxb.), con un 25,8 %, 24,9 % y 5 % del área plantada, respectivamente. En ese mismo orden, son las que proveen la mayor cantidad de madera de alta calidad para abastecer la demanda en el mercado internacional (CFC, 2011; Espitia *et al.*, 2014; CFC, 2015).

La melina es considerada una de las especies más promisorias para usar en diferentes procesos industriales y en programas de reforestación, agroforestales y silvopastoriles. Su principal cualidad es su acelerado crecimiento en los primeros seis años, turnos cortos (14 años) y alta producción de biomasa. Alcanza hasta 30 m de altura y entre 60 a 100 cm de DAP (Obregón, 2006). Su madera es versátil para la elaboración de productos de calidad de mediano a alto valor. Se adapta muy bien en hábitat que varían desde húmedos hasta secos y es una especie oportunista en los bosques húmedos. Sus requerimientos de suelos y climas son intermedios, en comparación con *A. mangium* y *T. grandis* (Rojas & Murillo, 2004). En Colombia ha tenido excelente adaptación en diferentes zonas productoras de madera, incluida la región Caribe (CFC, 2011; Espitia *et al.*, 2014).

Los principales problemas para la producción forestal en Colombia y en el departamento de Córdoba, específicamente con *G. arborea*, están relacionados con bajo rendimiento, escasez de semilla (sexual o asexual) como material base para atender la demanda de siembra, dificultad para importar semilla (sexual o asexual) mejorada para siembra, y la ausencia de un programa de mejoramiento genético en la región (Espitia *et al.*, 2010; Espitia *et al.*, 2011; CFC, 2011).

El éxito de un programa de mejoramiento genético depende de la calidad e intensidad de selección (rigor) de los árboles parentales. Las ganancias genéticas esperadas dependen tanto del control genético de las características de interés como de la variabilidad existente en la población (Zobel & Talbert, 1988; Balcorta & Vargas, 2004; Pavlotzky-Blank & Murillo, 2012; Verardi *et al.*, 2013). La heredabilidad en sentido estricto y el diferencial de selección son útiles para predecir la respuesta de la selección en especies forestales (Zobel & Talbert, 1988). El diferencial de selección es importante porque está altamente correlacionado con la ganancia genética, que es el fin de un programa de mejoramiento genético (Balcorta & Vargas, 2004).

De manera general, se ha utilizado el diferencial de selección fenotípico obtenido durante la selección de los árboles plus, como base para estimar el progreso genético esperado en teca y acacia (Vallejos *et al.*, 2010; Espitia *et al.*, 2010; Espitia *et al.*, 2011). Las estimaciones de ganancia genética esperada le permiten al mejorador forestal conocer su progreso genético potencial y decidir al inicio del programa, cuáles individuos componen la población comercial y cuáles la población de mejoramiento (Vallejos *et al.*, 2010), de igual forma, definir si utiliza en el desarrollo de su programa de mejoramiento semilla botánica, material vegetativo (clones) o ambos en las poblaciones superiores seleccionadas.

Existen diversos reportes de varios países sobre intensidad de selección y ganancias genéticas importantes para varios caracteres de interés del árbol en diferentes especies forestales (Kumar & Matharoo, 2003a; Kumar & Matharoo, 2003b; Botrel *et al.*, 2007; SangUrk *et al.*, 2007; Blada & Popescu, 2008; Oh *et al.*, 2008; Rocha *et al.*, 2009; Verryn *et al.*, 2009; Vallejos *et al.*, 2010; Murillo, 2011; Godoy & Rosado, 2011; Pavlotzky-Blank & Murillo-Gamboa, 2012; Mora & Saavedra, 2012; Verardi *et al.*, 2013). En Colombia se han reportado con base en el uso de semilla botánica ganancias genéticas esperadas variables, para caracteres como el DAP, altura total y forma del fuste en varias especies nativas: *Alnus jorullensis* Kunth; *Cariniana pyriformis* Miers; *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Cham; *Genipa americana* L. y *Tabebuia rosea* (Bertol.) D.C. (Rodríguez & Nieto, 1999), así como para teca (Espitia *et al.*, 2011) y *Acacia mangium* (Espitia *et al.*, 2010), sin embargo no se reportan trabajos similares con *G. arborea* cuantificando la ganancia genética esperada, con el uso de semilla sexual botánica o material vegetativo (clonación) de los árboles superiores seleccionados.

Por lo anterior, este estudio partió de la hipótesis de que en las plantaciones donde se seleccionaron los árboles, existía variabilidad genética que podía ser aprovechada por selección y corroborada a través del objetivo principal

de este trabajo, el cual fue estimar la ganancia genética esperada con el uso de semilla sexual botánica y material vegetativo (clones), con base en la selección fenotípica de los mejores 35 árboles plus seleccionados en plantaciones comerciales de melina en los departamentos de Córdoba y Magdalena.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización

La investigación se llevó a cabo durante los años 2008 al 2012, en plantaciones comerciales de melina (*G. arborea* Roxb.) de siete a diez años de edad en los departamentos de Córdoba y Magdalena (Colombia) (Tabla 10.1).

Tabla 10.1. Localización (municipios y fincas) de las plantaciones donde se realizó la selección de árboles plus de *Gmelina arborea* en los departamentos de Córdoba y Magdalena (Colombia).

Municipio	Finca	Área reforestada (ha)	Coordenadas	
			Latitud N	Longitud O
Tierra Alta, Córdoba	3F Kanguroid	50	08°02'05,5"	76°12'01,2"
Zapayán, Magdalena	Hacienda La Gloria	150	10°10'1"	74°43'1"
Total		200		

2.2. Material genético

El estudio se realizó en dos plantaciones comerciales variables fenotípicamente de *G. arborea*, de siete a diez años de edad, las cuales sumaron un total de 200 ha (Tabla 10.1) y 222.200 árboles, aproximadamente. De acuerdo con la información suministrada por los reforestadores, las plantaciones donde se realizó el estudio tuvieron origen genético de semilla sexual procedente de áreas productoras de semilla de libre polinización, lo cual explica y asegura la variabilidad fenotípica presente en los árboles que conformaron cada una de las plantaciones objeto de investigación.

2.3. Procedimiento

El proceso de selección de los árboles plus se realizó mediante visita y

participación de trabajadores de las plantaciones de *G. arborea*, utilizando la metodología propuesta por Zobel y Talbert (1984) y adaptada por Vallejos *et al.* (2010).

La selección de los árboles ocurrió en dos fases: a) preselección de los mejores árboles candidatos de toda la plantación, y b) sanción o verificación de la superioridad fenotípica de los candidatos preseleccionados. La primera fase del procedimiento se basa en una revisión exhaustiva de toda el área plantada, buscando los fenotipos sobresalientes en altura total, altura comercial, calidad del fuste y volumen. Por tanto, esta preselección implica una primera estimación de la intensidad de selección (i), que consiste en la relación de los elegidos vs la población total original de individuos de la plantación. La segunda fase de selección, revisa las características del árbol candidato y se compara contra los mejores vecinos, tal y como se explica en detalle más adelante. Los candidatos que logran superar la fase de verificación se constituyen en árboles plus, que conforman entonces la población base de mejoramiento. Su número es utilizado entonces como estimador de la intensidad de selección (i) de la población original que dio origen a la plantación.

Todos los árboles pre-seleccionados y sancionados en cada lote fueron identificados y georreferenciados, para poder coleccionar su semilla posteriormente. La selección se basó en la evaluación fenotípica del árbol candidato y sus cuatro mejores vecinos en un radio de 20 m, considerando los siguientes caracteres: a) ausencia de gambas, b) rectitud del fuste, c) ausencia de nudos prominentes, d) tamaño y simetría de copa, e) presencia de ramas delgadas con ángulo de inserción de 45 a 90°, f) dominancia en altura, g) sanidad del árbol, h) diámetro a la altura del pecho (DAP), i) altura comercial (h_{COM}) y j) calidad del fuste (CALI); calificando en forma individual las primeras cuatro trozas de 2,5 m de largo con base en una escala de 1 a 4, donde un valor de 1 es la mejor calidad posible y un valor de 4 se asigna para trozas sin valor como madera sólida (Murillo & Badilla, 2004).

El volumen comercial (Vol_{COM}) se estimó utilizando la función que incorpora el DAP y la h_{COM} (Murillo & Badilla, 2004) así: $Vol_{COM} = [(DAP/100)^2 * 0,7854 * h_{COM} * 0,65]$. La CALI del árbol se estimó con el promedio ponderado de la calidad individual del fuste de sus primeras cuatro trozas comerciales. El peso ponderado de la troza en el fuste se basó en su aporte al volumen total de los primeros 10 metros de fuste (Murillo & Badilla, 2004):

Troza 1 = 40 % (0 a 2,5 m)

Troza 2 = 30 % (2,51 a 5 m)

Troza 3 = 20 % (5,01 a 7,5 m)

Troza 4 = 10 % (7,51 a 10 m)

El valor de calidad del fuste del árbol (CALI) se convierte en una variable cuantitativa que registra valores de 1 a 4. Los árboles seleccionados se clasificaron en dos listas A y B. En la lista A se incluyeron los árboles que registraron superioridad tanto en Vol_{COM} como en CALI, con base en el diferencial de selección: $S = [(Y_{\text{árbol seleccionado}} - \bar{Y}_{\text{árboles vecinos}}) / \bar{Y}_{\text{árboles vecinos}}] * 100$ y en la lista B, cuando superaron solamente en Vol_{COM} o en CALI a todos sus mejores vecinos. La CALI se transformó de la escala original de “1” a “4” a una escala de 1 a 100 para facilitar su comprensión e interpretación, así: $CALI_{\text{Invertida}} = 100 * \{1 - [(CALI - 1) / 3]\}$. Con los valores obtenidos de S, se estimó el diferencial de selección promedio por: i) lote o plantación, ii) todos los árboles seleccionados y iii) árboles seleccionados en la lista A (Zobel & Talbert, 1984; Vallejos *et al.*, 2010; Espitia *et al.*, 2011).

La ganancia genética (GG) se estimó a través de la siguiente ecuación (Zobel & Talbert, 1984; Murillo *et al.*, 2004; Vallejos *et al.*, 2010):

$$GG = S * h^2$$

Donde: S es el diferencial de selección y h^2 es la heredabilidad en sentido

estricto promedio reportada para un grupo amplio de especies forestales tropicales: $h^2_{\text{Diámetro}} = 0,20$; $h^2_{\text{Altura}} = 0,25$; $h^2_{\text{Volumen}} = 0,25$ y $h^2_{\text{Calidad}} = 0,35$ (Cornelius, 1994).

La diferencia entre la GG esperada con base en el uso de la semilla sexual botánica y el uso de material vegetativo o semilla vegetativa (clonación) de los árboles seleccionados, se explica porque en la clonación se captura el 100 % de la información genética (aprovechamiento de toda la varianza genética: efectos genéticos aditivos y no aditivos) de los árboles plus; mientras que cuando se utiliza la semilla sexual originada de polinización abierta, solo se captura el 50 % de la información genética (aprovechamiento solo de la varianza genética aditiva) de los árboles plus seleccionados (madre), ya que por la condición de especie alógama, no se conoce al progenitor masculino (Vallejos *et al.*, 2010; Espitia *et al.*, 2011; Murillo *et al.*, 2012).

Con la GG obtenida, se construyó un Índice de Selección (IS) que integró de forma ponderada el Vol_{COM} con la CALI, así (Murillo *et al.*, 2004; Vallejos *et al.*, 2010):

$$\text{IS} = [(0,6 * (\text{Vol}_{\text{COM}} - \text{Promedio del volumen comercial}) / \text{ds}) + (0,4 * (\text{CALI} - \text{Promedio de la calidad}) / \text{ds})]$$

Donde:

ds = desviación estándar de cada carácter.

Vol_{COM} = Promedio del volumen comercial del conjunto de los árboles plus

CALI = Promedio de la calidad del fuste del conjunto de los árboles plus

Promedio = se refiere a media de todos los árboles involucrados en la evaluación fenotípica de los árboles plus (vecinos + árboles plus)

Los coeficientes de 0,6 (para Vol_{COM}) y 0,4 (para CALI) son el peso económico asignado a la variable.

Con base en el IS se obtuvieron los mejores árboles plus, tanto en volumen comercial como en calidad, los cuales pasan a constituir la subpoblación comercial (plus A) inicial. El resto de los árboles (plus B) forman parte de la población de mejoramiento e investigación.

2.4. Análisis estadísticos

Con los datos de campo obtenidos en las cuatro variables de interés, empleando las fórmulas antes mencionadas, se estimaron el diferencial de selección (S), ganancia genética esperada (GG) e índice de selección (IS), con base en el uso de la semilla sexual botánica y el uso de material vegetativo o semilla vegetativa (clonación) de los árboles seleccionados, por departamento, lote o plantación, todos los árboles seleccionados y árboles seleccionados en la lista A. Todos los cálculos en este estudio se realizaron en la hoja electrónica de Excel.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Árboles plus seleccionados e intensidad de selección

En la Tabla 10.2 se puede observar que el proceso de selección realizado permitió identificar un total de 57 árboles plus por sus características fenotípicas sobresalientes (A+B), de los cuales se conserva semilla sexual en cuarto frío. El número de árboles seleccionados por finca osciló entre 21 y 36. Esta variación se debe fundamentalmente a la diferencia en tamaño de las plantaciones, las cuales oscilaron entre 50 y 150 ha (Tabla 10.1). Probablemente, otro factor que afectó el número de árboles seleccionados por finca fue la variabilidad y el origen genético de la semilla sexual (material procedente de áreas productoras de semilla de libre polinización, utilizado para la siembra de las plantaciones objeto de estudio. Esto fue posible detectar en la visita de selección y eliminación de árboles en las plantaciones,

hasta el punto que en algunos lotes muestreados dentro de una misma finca, no se incluyó ningún árbol superior.

Con base en el proceso de selección descrito se obtuvo una intensidad de selección por finca que osciló entre 1 por cada 2.600 (3F Kanguroid) a 1 por cada 4.600 árboles (Hacienda La Gloria). Esto originó una intensidad de selección promedio de 1 árbol seleccionado por cada 4.100 árboles evaluados (Tabla 10.2), que equivale aproximadamente a 1 árbol por cada 4,0 ha, lo cual demuestra parte del rigor y exigencia en el proceso de selección de los mejores árboles en las plantaciones revisadas en Córdoba y Magdalena.

Tabla 10.2. Número de árboles seleccionados e intensidad de selección por lote en las poblaciones estudiadas de *G. arborea* en los departamentos de Córdoba y Magdalena (Colombia).

Municipio	Finca	Número de árboles plus seleccionados	Intensidad de Selección (proporción de árboles)
Tierra Alta, Córdoba	3F Kanguroid	21	1 cada 2.600 (2,5 ha)
Zapayán, Magdalena	Hacienda La Gloria	36	1 cada 4.600 (4,5 ha)
Global (A+B)		57	1 cada 4.100 (4 ha)
Plus A		35	1 cada 6.350 (5,7 ha)

De los 57 árboles seleccionados (A+B), el 61 %, aproximadamente (35 árboles), fueron clasificados como plus A, ya que superaron a sus mejores vecinos en los criterios de volumen y calidad. Mientras que el 39 % restante de los árboles seleccionados (22), solo superaron a sus árboles vecinos en volumen o en calidad (integrantes de la lista de árboles plus B). La intensidad de selección para los 35 árboles plus A fue de 1 cada 6.350 árboles. Esta intensidad de selección promedio para este grupo de árboles, resultó ser más exigente que la reportada por Balcorta & Vargas (2004), quienes referencian la selección de 1 árbol plus por cada 1.111 individuos en *G. arborea*; pero inferior a la mencionada por Murillo & Badilla (2009), Espitia *et al.* (2010 y 2011) y Pavlotzky-Blank & Murillo-Gamboa (2012), quienes reportan 1 árbol seleccionado por cada 15.000 a 20.000 individuos en *G. arborea*, 1 árbol

plus por cada 10.622 a 30.538 individuos en *A. mangium* y 1 árbol por cada 20.000 a 36.193 individuos en *T. grandis*, respectivamente. Igualmente, las intensidades de selección fueron superiores a las recomendadas por Zobel & Talbert (1984), quienes sugieren intensidades de selección de 1: < 20 para rodales semilleros y 1: > 1.000 para huertos semilleros. Los valores de intensidad de selección obtenidos en este estudio, se consideran suficientes para iniciar un programa de mejoramiento genético, ya que además de permitir identificar un número significativo de árboles superiores, también hace posible racionalizar y hacer eficiente el proceso de mejoramiento, sin generar problemas importantes de endogamia en la progenie resultante.

3.2. Diferencial de selección, ganancia genética esperada e índice de selección

En la Tabla 10.3 se observa que el diferencial de selección promedio (S) varió con el tipo de lotes (departamento) y los cuatro caracteres evaluados. Aun cuando el número de árboles seleccionado en cada departamento fue diferente, en Córdoba se obtuvieron los mayores diferenciales de selección para altura (h_{COM}) y volumen comercial (Vol_{COM}), con valores de 76,11 y 130,7 %, respectivamente. Mientras que en Magdalena se obtuvieron las mayores estimaciones de diferencial de selección para diámetro a la altura del pecho (DAP) y en calidad del fuste (Calidad), con valores de 12,41 y 78,06 %, respectivamente. Entre los cuatro caracteres, el mayor diferencial de selección fue registrado en el Vol_{COM} , seguido por la Calidad, h_{COM} y DAP del fuste, con valores promedios ponderados de 81,13; 70,95; 39,60 y 11,82 %, respectivamente. Estos resultados son similares en tendencia y magnitud a los estimados en *Acacia mangium* y *Tectona grandis* por Espitia *et al.* (2010 y 2011) y Pavlotzky-Blank y Murillo-Gamboa (2012), pero superiores a los reportados en melina por Kumar y Matharoo (2003a) y Balcorta y Vargas (2004), con valores de diferencial de selección de 40 % para altura total y 40 % para volumen comercial, respectivamente.

Sin embargo, se debe tener presente como lo señalan Vallejos *et al.* (2010), que estos valores de diferencial de selección son por lo general más bajos de lo real, debido a que cada árbol plus fue evaluado contra sus mejores cuatro vecinos. Se puede inferir que estos vecinos son competidores muy fuertes e igualmente, constituyen parte de los mejores individuos de la población base ordinaria (sin mejoramiento) que usualmente se obtiene de los viveros comerciales. Por lo tanto, el verdadero diferencial de selección que se presenta en este tipo de programas, normalmente es superior y supera notablemente a la población base.

Tabla 10.3. Diferencial de selección promedio (S) de los árboles plus de *G. arborea* seleccionados en los departamentos de Córdoba y Magdalena (Colombia).

Municipio, Departamento, Plantación	Número de Árboles	Diferencial de selección (Si, %)				Índice de Selección (IS, %)
		S1 DAP*	S2 h_{COM}	S3 Vol_{COM}	S4 Calidad	
Tierralta (Córdoba), 3F Kanguroid	21	10,81	76,11	130,70	58,77	274,09
Zapayán (Magdalena), Hacienda La Gloria	36	12,41	18,30	52,21	78,06	72,40
Promedio ponderado de todos los árboles plus en las dos regiones (A+B)	57	11,82	39,60	81,13	70,95	146,71
Promedio ponderado de los Plus A en las dos regiones	35	19,81	51,56	122,16	76,11	197,23

*Diámetro a la altura del pecho (DAP), Altura comercial (h_{COM}); Volumen hasta altura comercial (Vol_{COM}); Calidad del fuste en una escala de 0 a 100, donde 100 es excelente; Índice de Selección (integra Volumen Comercial*0,6 con la calidad*0,4).

La misma tendencia en el diferencial de selección se puede observar en los cuatro caracteres evaluados, cuando solo se consideran los 35 árboles plus A. Los valores más altos se registraron en: Vol_{COM} (122,16 %), CALI (76,11 %), h_{COM} (51,56 %), y DAP (19,81 %). Estos resultados reflejan la superioridad genética potencial de los 35 árboles plus A, frente a los 57 árboles totales seleccionados (A+B), especialmente en Vol_{COM} (41,03 puntos más en porcentaje) y h_{COM} (11,96 puntos más en porcentaje). Los valores de diferencial de selección registrados en este estudio para los plus A son similares en tendencia y magnitud a los

encontrados en *A. mangium* y *T. grandis* por Espitia *et al.* (2010 y 2011), y mayores a los reportados por Vallejos *et al.* (2010) en teca en el Pacífico central de Costa Rica de 22,88 % en volumen y 21,83 % en calidad; igualmente a los encontrados por Murillo y Badilla (2003) en teca, con diferencial de selección para el volumen comercial de 24% superior en las mejores familias y de 39 % más que los testigos. Así mismo, a los valores relacionados por Balcorta y Vargas (2004), quienes han registrado diferenciales de selección de un 40 % para altura y 40 % para volumen comercial respectivamente, con respecto a la población original.

Es importante destacar que los resultados del proceso de selección indican que los mayores índices de selección (IS) se presentaron en las plantaciones de 3F Kanguroid-Córdoba (IS= 274,09 %), superando en 201,69 puntos en porcentaje a las plantaciones de Zapayán-Magdalena (Tabla 10.3). Estos resultados evidencian que en las plantaciones de Córdoba se encuentra la mayor cantidad de árboles seleccionados, los cuales reúnen las mejores características en crecimiento, volumen y calidad del fuste. Además, se presenta una superioridad en el índice de selección de los 35 árboles plus A (IS= 197,23 %) sobre los 57 árboles seleccionados (IS= 146,71 %), esto se explica porque todos los individuos plus A superan en volumen y calidad a todos sus mejores vecinos o testigos. Estos resultados son superiores a los encontrados en Córdoba por Espitia *et al.* (2010 y 2011) en procesos de selección de *A. mangium* y *T. grandis*, con valores fenotípicos promedio de índices de selección para los árboles plus A de 126,08 % y 37,90 %, respectivamente.

Al comparar los valores promedios para h_{COM} y calidad del fuste de los 35 árboles plus A, frente al grupo total de 228 mejores vecinos utilizados como testigos (Tabla 10.4), se puede estimar un incremento fenotípico de los árboles plus A de 51,56 % y 76,11 %, en altura comercial (h_{COM}) y calidad del fuste (CALI), respectivamente.

Tabla 10.4. Valores promedios para altura comercial (h_{COM}), diferencial de selección de la altura comercial (h_{COM} %), calidad del fuste (Calidad) y diferencial de selección en calidad del fuste (calidad %), en los árboles plus seleccionados y en sus mejores cuatro vecinos, de *G. arborea* en los departamentos de Córdoba y Magdalena (Colombia).

Grupo	Número de árboles	* h_{COM} (m)	Diferencial h_{COM} (%)	Calidad (%)	Diferencial Calidad (%)
Plus A	35	15,71	51,56	82,19	76,11
Plus (A+B)	57	14,86	39,60	81,23	70,95
Testigos (mejores vecinos)	228	11,86		47,42	

*Altura comercial (h_{COM}) y Calidad del fuste de 0 a 100, donde 100 es excelente.

En la Tabla 10.5 se presentan los estimados de ganancia genética esperada (GG) e índice de selección (IS) en los cuatro caracteres estudiados, si se utilizan los 57 árboles plus seleccionados (A+B) o se usan los 35 árboles plus A, a partir de su semilla sexual botánica o directamente como clon (material vegetativo). Entre los cuatro caracteres analizados en el proceso de selección los mayores niveles de ganancia genética esperada se estimaron en los caracteres calidad del fuste y volumen comercial (Vol_{COM}). Tanto cuando se emplea la semilla sexual o se toma la decisión de clonar los árboles seleccionados. La ganancia genética para calidad de fuste osciló entre 28,38 % (árboles A+B, semilla) y 34,25 % (árboles A, clon). Mientras que para el Vol_{COM} las ganancias variaron desde 20,28 % (árboles A+B, semilla) hasta 36,65 % (árboles A, clon), con respecto a los mejores árboles vecinos, considerados como testigos o población base (Tabla 10.5). Los resultados obtenidos en este estudio son similares o mayores a los reportados por diferentes autores, como Espitia *et al.* (2010) y Pavlotzky-Blank & Murillo-Gamboa (2012), quienes en *A. mangium* reportan ganancias genéticas esperadas en promedio de árboles plus A de 22,24 % y 48,57 % en altura y volumen comercial, respectivamente; Espitia *et al.* (2011) en selección de *T. grandis*, detectaron GG promedio en árboles plus A de 41,71 % y 9,59 %, para volumen y calidad del fuste, respectivamente. Al respecto, Vallejos *et al.* (2010) relacionan ganancias genéticas esperadas en general entre 20-25 % en volumen, y Mesén (2001) estimó ganancias genéticas en melina de 17 % en altura y 43 % en DAP. Por su parte, Cornelius

& Hernández (1994), en la misma especie, reportaron ganancias genéticas de hasta 12 % en rectitud del fuste, y Kumar & Matharoo (2003a), en melina a nivel clonal, encontraron para altura, diámetro basal y diámetro a la altura del pecho, ganancias de un 18 %, 25 % y 30 %. Finalmente, Rojas y Arias (2004), en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr., en la zona del Pacífico sur de Costa Rica, obtuvieron ganancias del 23 % en volumen. Los resultados de este estudio evidencian el riguroso proceso de selección realizado en las plantaciones evaluadas y permiten vaticinar un importante progreso genético en los ensayos de evaluación de progenies y/o clones.

Se observa en la Tabla 10.5, que se pueden lograr mayores ganancias genéticas en el programa de mejoramiento empleando solamente los 35 árboles plus A, en vez de usar todos los 57 árboles seleccionados (A+B), tanto utilizando su semilla como clonándolos.

Si en el programa de mejoramiento genético de melina se utilizara la semilla sexual botánica de los mejores 35 árboles plus A (A, semilla), se obtendrían ganancias genéticas (78,89 % versus 58,68 %) mayores al uso de la semilla de los 57 árboles seleccionados (A+B, semilla). En Vol_{COM} se lograría un progreso genético de 10,26 % adicional y de 2,06 % adicional en Calidad. Espitia *et al.* (2010 y 2011) en los procesos de selección de *A. mangium* y *T. grandis* reportan para Córdoba (Colombia), resultados superiores en Vol_{COM} con valores de 19,04 % y 12,5 %, respectivamente. Mientras que los resultados para calidad del fuste en las dos especies han sido similares con valores de alrededor del 2,1 %.

En general, para los cuatro caracteres de interés incluidos en el estudio, el progreso genético esperado es mayor al clonar (uso de material vegetativo) los 35 árboles plus A (A, clon) que al utilizar su semilla botánica (A, semilla). Los valores de superioridad adicional oscilan entre un 0,99 % (DAP) y un 6,11 % (Vol_{COM}) (Tabla 10.5). De acuerdo con Ipinza (1998), Murillo & Badilla (2009),

Godoy & Rosado (2011), Pavlotzky-Blank & Murillo-Gamboa (2012), Mora & Saavedra (2012) y Verardi *et al.* (2013), esta diferencia en ganancia genética a favor de la clonación (uso de material vegetativo) de los árboles plus A, se explica porque en la clonación se captura el 100 % de la información genética (efectos genéticos aditivos y no aditivos) de los árboles plus A; mientras que cuando se utiliza la semilla sexual originada de polinización abierta, solo se captura el 50 % de la información genética de los árboles plus A seleccionados (madre), ya que no se conoce al progenitor masculino.

Tabla 10.5. Ganancia genética (GG) esperada por categoría de árboles plus de *G. arborea* seleccionados en los departamentos de Córdoba y Magdalena (Colombia), usando la semilla botánica (semilla) o clonando (clon) los árboles seleccionados.

Caracteres*	GG (%)			
	(A + B, semilla)	(A, semilla)	(A + B, clon)	(A, clon)
DAP	2,36	3,96	2,96	4,95
hCOM	9,90	12,89	11,88	15,47
VolCOM	20,28	30,54	24,34	36,65
Calidad	28,38	30,44	31,93	34,25
Índice de Selección (IS)	58,68	78,89	66,02	88,75

*Diámetro a la altura del pecho (DAP), Altura comercial (h_{COM}), Volumen comercial (Vol_{COM}), Calidad del fuste en una escala de 0 a 100 e Índice de Selección (integra Volumen Comercial*0,6 con la calidad*0,4).

La tendencia y superioridad de los valores de ganancia genética esperada determinada en este estudio, son consistentes con los índices de selección (IS) obtenidos, los cuales oscilaron entre 58,68 % (A+B, semilla) y 88,75 % (A, clon) para las cuatro estrategias de mejoramiento posibles (Tabla 10.5). Esto indica que los árboles plus A, cuando son clonados (A, clon) generan la mayor ganancia genética esperada en volumen y calidad (IS = 88,75 %), comparado con el uso de la semilla de tales árboles (A, semilla: IS = 78,89 %) para obtener nuevas progenies.

Si consideramos que con incrementos del 4 % por concepto de ganancias

genéticas en volumen se cubren los costos de un programa de mejoramiento genético forestal (Ipinza, 1998), los resultados obtenidos en este estudio permiten deducir alta rentabilidad económica en el programa que se adelanta en Córdoba. Ello en razón a que las ganancias genéticas esperadas en Vol_{COM} , han presentado valores del 30,54 % y 36,65 %, cuando se emplea la semilla sexual (A, semilla) o se clonan los árboles A (A, clon), respectivamente.

De acuerdo con Murillo & Badilla (2009), Godoy & Rosado (2011), Pavlotzky-Blank & Murillo-Gamboa (2012), Mora & Saavedra (2012) y Verardi *et al.* (2013), si se utiliza la estrategia de clonación de los árboles plus A, en aproximadamente 1 a 2 años se puede iniciar con el establecimiento de plantaciones clonales comerciales con material de alto rendimiento. Mientras que si se utiliza la estrategia de semilla sexual (familias de medios hermanos), en aproximadamente 6 a 8 años se tiene semilla mejorada para abastecer la demanda de plantaciones.

A lo anterior se le debe adicionar que la melina es una especie que se propaga vegetativamente y rebrota fácilmente. Los árboles plus seleccionados pueden ser incluso talados para iniciar su propagación vegetativa y los nuevos rebrotes pueden iniciar su propagación a partir de 6 a 8 semanas después de cortado el árbol. Estos niveles de progreso genético esperado, permiten adicionalmente, proyectar una reducción de aproximadamente 1 a 2 años en el tiempo para alcanzar dimensiones de cosecha final, si y solo si, se siguen los principios del manejo oportuno de la plantación (Murillo & Badilla, 2009), lo cual generará un alto impacto y estímulo a la reforestación con melina en el departamento de Córdoba y en Colombia.

Los 35 árboles plus A, por sus características superiores, pueden ser utilizados como progenitores para siembras comerciales, utilizando su semilla sexual (aprovechamiento solo de la varianza genética aditiva) o clonándolos directamente (aprovechamiento de toda la varianza genética) para lograr

capturar la mayor ganancia genética potencial (Ipinza, 1998; Mesén, 2001; Murillo & Badilla, 2009; Vallejos *et al.*, 2010; Godoy & Rosado, 2011; Pavlotzky-Blank & Murillo-Gamboa, 2012; Mora & Saavedra, 2012; Verardi *et al.* 2013). Sin embargo, como se observa en la Tabla 10.5, la mayor ganancia genética esperada en volumen comercial y calidad del fuste se obtiene con la clonación de los 35 árboles plus A, con valores de 36,65 % y 34,25 %, respectivamente. Los árboles plus B (22 restantes) no se incorporarán a la población comercial, dado que representan una condición de superioridad solamente en uno de los dos caracteres volumen o calidad. Por lo tanto, formarán parte de la población de mejoramiento (investigación y desarrollo) y se mantendrán a la espera de su evaluación genética y su utilización en los cruzamientos controlados en el programa de mejoramiento de melina en Córdoba, como lo señalan Murillo & Badilla (2009) y Vallejos *et al.* (2010).

Los resultados encontrados le permiten igualmente al mejorador forestal, de acuerdo a sus recursos económicos y de suelos, definir si incluye en sus ensayos de progenies y de clones todos los 57 árboles seleccionados (A+B) o evalúa en tales pruebas solamente los 35 árboles plus A. Una prueba de progenie (uso de semilla sexual) o clonal (material vegetativo) de los 35 árboles, replicada en al menos tres ambientes diferentes, es aceptable en este tipo de ensayos y permitiría, después del raleo genético, contar con sendos huertos semilleros de primera generación, que ofrecerían semilla sexual de excelente calidad genética para nuevas siembras comerciales. De igual forma se contaría con material vegetal para clonar los mejores árboles de las mejores familias, con adaptación específica en cada ambiente. Esta estrategia haría posible que los árboles definitivos se crucen entre sí, forzando su recombinación genética, la acumulación de alelos favorables y, por consiguiente, la producción de semilla de calidad genética superior, para continuar con el proceso de mejoramiento (Ipinza, 1998; Mesén, 2001; Godoy & Rosado, 2011; Pavlotzky-Blank & Murillo-Gamboa, 2012 y Mora & Saavedra, 2012).

Como es de esperarse, es posible que se encuentren buenos genotipos en otras empresas, organizaciones o países. Por lo tanto, este grupo de árboles plus A que se ha seleccionado y dado inicio a un programa de mejoramiento genético de melina en Córdoba, como lo señalan Murillo & Badilla (2009), permite igualmente el desarrollo de modelos cooperativos o de alianza e intercambio de material genético con otras empresas u organizaciones. Esta estrategia junto con la introducción de germoplasma de nuevas procedencias fuera del país, hace posible reducir costos, aumentar variabilidad genética y reducir tasas de consanguinidad en la población de mejoramiento, lo que permitirían seguir obteniendo ganancias genéticas durante varias generaciones (Pavlotzky-Blank & Murillo-Gamboa, 2012).

Los resultados obtenidos sugieren un progreso genético significativo en el mejoramiento de *G. arborea* en Córdoba. Según Zobel & Talbert (1984) y Xavier *et al.* (2009), este avance integrado con el proceso de silvicultura clonal con los mejores árboles élites puede constituir el complemento ideal de un programa de mejoramiento genético para esta especie. Adicionalmente, hacen prever un aporte importante a la productividad, competitividad y sostenibilidad de la producción forestal en esta zona del Caribe colombiano, de acuerdo a las exigencias de calidad del mercado internacional al cual se pretende llegar. No obstante, es necesario corroborar este progreso mediante ensayos genéticos apropiados en varias zonas productoras de Córdoba.

A pesar de las importantes ganancias genéticas esperadas que se han estimado, vale la pena señalar que los 57 árboles plus localizados en los departamentos de Córdoba y Magdalena constituyen todavía una base genética relativamente pequeña para sustentar un programa de mejoramiento genético a largo plazo con esta especie. Por lo anterior, es imprescindible realizar esfuerzos para introducir nuevas procedencias y efectuar intercambio de germoplasma, con el fin de ampliar la base genética de este programa.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los 57 árboles seleccionados, 35 (61 %) fueron clasificados como plus A y los 22 (39 %) restantes como plus B, cuya semilla sexual se conserva en cuarto frío.

En los cuatro caracteres de interés incluidos en el estudio, la ganancia genética esperada es mayor al clonar los 35 árboles plus A (uso de material vegetativo), que al utilizar su semilla botánica.

Al seleccionar y clonar los 35 mejores árboles plus A con base en el Índice de Selección (IS), se espera obtener ganancias genéticas de 4,95 %; 15,47 %; 36,65 % y 34,25 %, para los caracteres DAP, h_{COM} , Vol_{COM} y CALI, respectivamente.

Los resultados obtenidos sugieren un progreso genético notable en el mejoramiento de *Gmelina arborea* en el departamento de Córdoba, Colombia.

Es necesario comprobar este gran potencial de mejoramiento, mediante ensayos genéticos en varias zonas productoras de Córdoba.

5. REFERENCIAS

- Balcorta, H. & Vargas, J. (2004). Variación fenotípica y selección de árboles en una plantación de melina (*Gmelina arborea* Linn., Roxb.) de tres años de edad. *Revista Chapingo, Serie ciencias forestales y del ambiente*, 10(1): 13-19.
- Blada, I. & Popescu, F. (2008). Diallel crossing in *Pinus cembra*: IV. age trends in genetic parameters and genetic gain for growth and branching traits. *Ann. For. Res.*, 51: 89-112.
- Botrel, M.C.G., Moreira Da Silva, J.R., Trugilho, P.F., Da Silva, S.C. & Bruno Ricardo, B.F. (2007). Ganho genético em propriedades físicas e mecânicas de clones de eucalipto. *Science Forestry, Piracicaba*, 76(1): 13-19.

- CFC-Cadena Forestal de Córdoba. (2011). Acuerdo regional de competitividad: Cadena forestal madera, muebles y productos de madera del departamento de Córdoba 2011-2030 (Texto y matriz del acuerdo).
- CFC-Cadena Forestal de Córdoba (2015). *Área y especies forestales plantadas en el departamento de Córdoba en el año 2014*. Documento impreso.
- CONIF-Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (2003). Cadena Forestal Productiva de Córdoba. Folleto Núcleos Forestales. http://www.conif.org.co/docs/cadena_folleto_interior.pdf (04-10-2009).
- Cornelius, J. (1994). The effectiveness of plus-tree selection for yield. *Forest Ecology and Management*, (67): 23-34.
- Cornelius, J. & Hernández, M. (1994). Variación genética en crecimiento y rectitud del fuste en *Gmelina arborea* en Costa Rica. *Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales*, 10: 9-12.
- Espitia M., Araméndiz, H. & Montiel, J. (2014). Parámetros de germinación en cámara germinativa e invernadero en cinco especies forestales nativas en Córdoba. Ponencia. Memorias XLIV Congreso Anual de COMALFI (Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal). Centro de Convenciones de Córdoba-Montería (Córdoba) 24, 25 y 26/ septiembre/2014. 91p.
- Espitia, M., Murillo, O. & Castillo, C. (2011). Ganancia genética esperada en la selección de teca (*Tectona grandis* L.) en Córdoba (Colombia). *Revista Colombia Forestal*, 14(1): 95-106.
- Espitia, M., Murillo, O., Castillo, C., Araméndiz, H. & Paternina, N. (2010). Ganancia genética esperada en la selección de acacia (*Acacia mangium* Willd) en Córdoba (Colombia). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 13(2): 99-107.
- Godoy, T.G. & Rosado, S.C. DA S. (2011). Estimates of genetic gains for growth traits in young plants of *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *CERNE*, 17(2): 189-193.

- Ipinza, R. (1998). *Mejoramiento genético forestal. Serie Técnica N° 42, Programa CONIF-Ministerio de Agricultura sobre investigaciones en semillas de especies forestales nativas*. Santa Fe de Bogotá, Colombia: INSEFOR.
- Kumar, A. & Matharoo, A.K. (2003a). Genetic improvement of *Gmelina arborea* in India. In W.S. Dvorak, G.R. Hodge, W.C. Woodbridge & J.L. Romero (Eds.), *Recent Advances with Gmelina arborea*. CD-ROM. Raleigh, NC. US. CAMCORE, North Carolina State University. CAMCORE.
- Kumar, A. & Matharoo, A.K. (2003b). Growth performance and variability in different clones of *Gmelina arborea* in India. In W.S. Dvorak, G.R. Hodge, W.C. Woodbridge & J.L. Romero (Eds.), *Recent Advances with Gmelina arborea*. CD-ROM. Raleigh, NC. US. CAMCORE, North Carolina State University. CAMCORE.
- MADR-Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2005). Características y estructura del sector forestal-madera-muebles en Colombia, una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Documento de trabajo no. 95. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia.
- 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, septiembre. ISSN 0121-0300. 118p.
- Mora, F. & Saavedra, J. (2012). Combining genetic gain and diversity under an individual selection method in a selected provenance of *Eucalyptus cladocalyx*. *Cienc. Inv. Agr.*, 39(1): 177-184.
- Murillo, O. (2011). Estrategia de mejoramiento genético forestal para la Cooperativa GENFORES (Costa Rica). Conferencia magistral. En: XII Congreso Nacional de Fitomejoramiento y Producción de Cultivos. Montería (Colombia) 22, 23 y 24 de junio/2011. Memorias en CD-ROM. ISSN 2248-4388 (ICFES). 57p.

- Murillo, O. & Badilla, Y. (2003). Potencial de mejoramiento genético de la Teca en Costa Rica. En: Simposio sobre la teca. 26-28 noviembre del 2003. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. CD-ROM. sp.
- Murillo, O. & Badilla, Y. (2004). *Evaluación de la calidad y estimación del valor en pie de la plantación forestal*. Cartago, Costa Rica: Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR.
- Murillo, O. & Badilla, Y. (2009). *Reproducción clonal de árboles*. Cartago, Costa Rica: Taller de Publicaciones. Instituto Tecnológico de Costa Rica, ITCR.
- Murillo, O., Obando, G., Badilla, Y. & Araya, E. (2004). GENFORES, a Costa Rican tree improvement and gene conservation cooperative. En: IUFRO Meeting. *Forest Genetics and Genomics*. 1-5 de November. Charleston, South Carolina, USA. [CD-ROM]. sp.
- Murillo, O., Espitia, M. & Castillo, C. (2012). *Fuentes semilleras para la producción forestal*. Universidad de Córdoba. Bogotá: Ed. Domar S.A.S.
- Obregón, C. (2006). *Gmelina arborea*: Versatilidad, renovación y productividad sostenible para el futuro. *Revista El Mueble y la Madera*, Edición 50, 14-20.
- Oh, C.Y., Han, S.U., MM, C.S., Kang, K.S., Lee, B.S. (2008). Genetic gain and diversity in a clonal seed orchard of *Pinus Koraiensis* under various thinning intensities. *Korean Journal of Breeding Science*, 40(3): 263-268.
- Pavlotzky-Blank, B. & Murillo-Gamboa, O. (2012). Ganancia genética esperada en *Acacia mangium* en Los Chiles, Zona Norte de Costa Rica. *Agron. Mesoam*, 23(1): 93-106.
- Rincón, M. (2009). El sector forestal en Córdoba: Cadena productiva forestal madera y muebles departamento de Córdoba. Informe Cadena Forestal de Córdoba, febrero de 2009 (Centro de Investigaciones Turipaná -Corpoica). 37p.
- Rocha, R.B., Vieira, A.H., Bentes, M.D. & Brum, L.M. (2009). Avaliação genética de procedências de bandarria (*Schizolobium amazonicum*) utilizando REML/BLUP (Máxima verossimilhança restrita/Melhor predição linear não viciada). *Sci. For., Piracicaba*, 37(84): 351-358.

- Rodríguez, J. & Nieto, V. (1999). *Investigación en semillas forestales nativas. Serie Técnica* N° 43. ISSN 0121-0300. Programa de Investigación en Semillas Forestales Nativas-INSEFOR. Convenio CONIF-Ministerio de Agricultura.
- Rojas F. & Arias, D. (2004). Manual para productores de melina (*Gmelina arborea*) en Costa Rica. Cartago.
- Rojas, F. & Murillo, O. (2004). Botánica y Ecología. En F. Rojas, D. Arias, R. Moya, A. Meza, M. Olman & M. Arguedas (Ed), *Manual para productores de melina (Gmelina arborea) en Costa Rica* (pp.3-21). Cartago.
- Sangurk, H., Kyusuk, K., Byoung Hwan, C. & Changsoo, K. (2007). Realized genetic gains and heritabilities for height, DBH and volume growth in open-pollinated progenies of *Pinus thunbergii*. *Korean Journal of Breeding Science*, 39(1): 15-19.
- 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(1): 105-119.
- Verardi, C.K., Scaloppi-Junior, E.J., Peres-Silva, G.A., Lima-Gouvêa, L.R. & De Souza-Gonçalves, P. (2013). Genetic parameters and estimated genetic gains in young rubber tree progenies. *Pesq. Agropec. Bras.*, 48(4): 411-416.
- Verry, S.D., Snedden, C.L. & Eatwell, K.A. (2009). A comparison of deterministically predicted genetic gains with those realized in a South African *Eucalyptus grandis* breeding program. *Journal of Forest Science, Menlo Park*, 71(2): 141-146.
- Xavier, A., Wendling, I. & Da Silva, R. (2009). *Silvicultura Clonal. Princípios e Técnicas*. Viscosa, Minas Gerais, Brasil: Editorial Universidad Federal de Viscosa.
- Zobel, B. & Talbert, J. (1984). *Applied Forest Tree Improvement*. New York, USA: John Wiley & Sons.
- Zobel, B. & Talbert, J. (1988). *Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales*. México D.F.: Ed. Limusa.



FORCARIBE

ISBN 978-958-9244-78-4



9 789589 244784