

**EVALUACIÓN DE ENSAYO DE PROGENIES DE POLINIZACIÓN
ABIERTA DE *Pinus patula* Schl. Et Cham EN TRES SITIOS EN EL
DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA**

DIEGO FERNANDO GUZMÁN MEJÍA



UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA

ECAPMA

MEDELLÍN, COLOMBIA

2014

**EVALUACIÓN DE ENSAYO DE PROGENIES DE POLINIZACIÓN
ABIERTA DE *Pinus patula* Schl. Et Cham EN TRES SITIOS EN EL
DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA**

Diego Fernando Guzmán Mejía

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Agroforestal**

Asesora

Luisa Fernanda Casas Herrera

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

ECAPMA

Medellín, Colombia

2013

AGRADECIMIENTOS

A Dios quien siempre me acompaña y me guía.

Expreso mis agradecimientos a

Mi familia, apoyo fundamental en el recorrido de mi carrera profesional y personal.

Empresa Núcleos de Madera – Cipreses de Colombia S.A, Directivos y Compañeros, que por más de 5 años, me han permitido crecer como persona y profesional apoyando mi actual tarea en el área de investigación de la compañía.

Ingeniero Gerardo Vélez, el mentor de mi trabajo de grado y apoyo constante en el grupo de investigación.

A la Ingeniera Luisa Fernanda Casas, tutora del trabajo de grado, por sus aportes metodológicos y teóricos durante todo el desarrollo de este proyecto.

Universidad Nacional Abierta y a distancia, Unad, donde me formé académicamente como Ingeniero Agroforestal.

Universidad Nacional de Colombia, por tenerme como ponente de esta investigación en el VI Simposio nacional forestal.

CONTENIDO

RESUMEN.....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
OBJETIVOS	9
1. MARCO TEORICO	10
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE	10
1.2 TENDENCIAS DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO FORESTAL (MGF)	11
1.3 TENDENCIAS DEL MGF A NIVEL NACIONAL	12
1.4 TIPOS DE FUENTES SEMILLERAS	15
1.4.1 Fuentes identificadas (FI)	16
1.4.2 Fuentes seleccionadas (FS).....	16
1.4.3 Rodales semilleros (RS).....	16
1.4.4 Huerto semillero	17
1.5 ENSAYOS DE PROGENIE DE POLINIZACIÓN ABIERTA.....	18
1.6 ESTRATEGIAS PARA EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DEL <i>Pinus patula</i>.....	20
2. METODOLOGÍA.....	22
2.1 POBLACIÓN OBJETO DE ESTUDIO	22
2.2 ÁREA DE ESTUDIO EVALUADA	23
2.2.1 Caldas, Sitio uno (S1).....	23
2.2.2 Corregimiento de San Antonio de Prado sitio dos (S2)	24
2.2.3 Yarumal sitio tres (S3)	25
2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	27
2.4 REGISTRO DE DATOS	30
2.5 CALCULO DEL VOLUMEN.....	31
2.6 SOBREVIVENCIA.....	32
2.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	32
2.9 ANÁLISIS DE VARIANZA DEL DISEÑO BLOQUES COMPLETOS AL AZAR.....	33
3. RESULTADOS	36
3.1 ANÁLISIS FENOTIPICO DE LAS PROGENIES.....	36
3.2 CORRELACIONES	38
3.3 ANÁLISIS PARA EL SITIO UNO (CALDAS).....	38
3.4 ANÁLISIS DE DAP Y DE LA RECTITUD, EN LAS PROGENIES EVALUADAS EN EL SITIO DOS (PRADO)	39

3.5 ANÁLISIS PARA DAP, ANGULO DE RAMAS Y DIÁMETRO DE COPA EN EL SITIO TRES	40
3.6 POCENTAJE DE SOBREVIVENCIA POR SITIO PARA CADA UNA DE LAS PROGENIES EVALUADAS	41
3.7 HEREDABILIDAD EN SENTIDO ESTRICTO	42
4. DISCUSIÓN	44
BIBLIOGRAFÍA	48

RESUMEN

La empresa Cipreses de Colombia S.A presenta un huerto semillero en el departamento de Antioquia de la especie *P. patula*; sin embargo, solo se desea obtener semilla mejorada a partir de los árboles genéticamente superiores. Para identificar estos árboles se realizó un ensayo de 24 progenies en tres municipios con diferentes altitudes (msnm) (Caldas = 1960, San Antonio de Prado= 2350 y Yarumal= 2945), por medio de un diseño experimental de bloques completos al azar; donde se evaluó la supervivencia de cada progenie y el grado de heredabilidad en sentido estricto (h^2_i) para 8 variables (DAP, Altura (H), Volumen (V), Rectitud (R), Diámetro (DR), Ángulo ramas (AR) y Diámetro de copa (DC)). La supervivencia del ensayo a nivel de progenie alcanzó valores de 85% y a nivel de sitio del 90%; y se encontraron diferencias entre sitios con respecto a la heredabilidad para las 7 variables evaluadas, donde en el corregimiento de San Antonio de Prado se observó un mayor grado de heredabilidad superior a 0,22 en las variables DAP, H, V, R y AR; en el municipio de Caldas DR y B se destacaron, pero los h^2_i fueron menores a 0,11 ; y en el municipio de Yarumal fue superior el DC con un h^2_i de 0,21. En San Antonio de Prado se podrían sembrar semilla clones de las progenies evaluadas para producir árboles con excelente cantidad y calidad de madera.

INTRODUCCIÓN

El *Pinus patula* es una de las especies más cultivada a nivel industrial. La empresa Cipreses de Colombia S.A posee alrededor de 4000 ha plantadas con esta especie, para ello cuenta con un huerto semillero clonal (HSNC). En este trabajo se evalúan los clones a través de las familias, por medio de un ensayo de progenies de polinización abierta (PPA). En tres sitios donde habitualmente se planta la especie.

A partir de esta variabilidad entre las poblaciones forestales, se inician los programas de mejora genética cuyo fin, es la posibilidad de obtener semilla de alta calidad, en un espacio delimitado y reconocido, que sirva para abastecer de germoplasma los proyectos de reforestación ya sean de interés particular o privado (Ipinza, 1998). Para este propósito de mejorar condiciones de las plantaciones en aspectos de rendimiento y en especial de calidad, como lo es rectitud, diámetro de ramas y calidad de la madera se inició el programa de mejoramiento genético foresta (PMG), para el *Pinus patula* el cual inicia en año, con la preselección y selección de árboles plus en diferentes departamentos de Colombia (PEREIRA, 1989). En el año 1992, se establece el huerto semillero de primera generación de la especie, con un total de 46 clones cada uno de ellos con 16 a 18 rametos.

Una forma de determinar la calidad genética es a través de la evaluación de crecimiento de la progenie, de preferencia en los terrenos donde se establecerán las plantaciones (Clausen 1990). Un ensayo de progenies es una evaluación de los progenitores con base a la respuesta de su descendencia, siendo una herramienta útil para determinar el valor genético de los árboles inicialmente seleccionados (Wright, 1964). En el 2005 se establecen los ensayos de progenie de polinización abierta (EPPA) con 24 de las progenies seleccionadas al azar, estas corresponden al 52.2% de las

familias existentes en el huerto, dichos ensayos ubicados en los lugares donde se cultiva la especie.

Uno de los principales fines de los EPPA, es definir cuales son los clones cuyas procedencias expresan mejor rendimiento y calidad, en el caso específico se define como predicción, que las mejores progenies serán aquellas, cuyas madres son procedentes de razas locales; además tendrán respuestas fenotípicas más deseables en los sitios más similares donde estaban ubicadas los árboles madres por adaptación histórica. Además se considera determinar las heredabilidades para las variables evaluadas en cada uno de los sitios. Se considera que al ser un ensayo de polinización abierta donde solo se conocen las madres, la h^2 será baja dado que el árbol polinizador no siempre será el mismo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar los ensayos progenies de polinización abierta de *Pinus patula*, en tres sitios productivos, de diferentes condiciones altitudinales en el departamento de Antioquia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las progenies, mejor favorecidas a nivel de supervivencia, desarrollo fenotípico, en cada uno de los ambientes planteados en la investigación.
- Describir el desarrollo de la investigación, definiendo estado actual y proyectar una metodología de trabajo que permita una orientar las futuras evaluaciones.
- Definir las condiciones de sitios apropiados para cada una de las progenies evaluadas
- Verificar la diferencia entre la semilla de procedencia comercial, versus la semilla producida por clones del huerto semillero
- Conocer los datos de heredabilidad para cada una de las variables consideradas para la evaluación de progenies.

1. MARCO TEORICO

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

El *Pinus patula* Schiede and Deppe in Schlecht. & Cham se conoce como pino llorón a nivel nacional, y como pino chino u ocote colorado en zonas de distribución natural. En países de habla inglesa se conoce como patula pine o meica weeping pine (Wormald, 1975).

Donahue (1989) afirma que la especie es introducida en Colombia con procedencias de Sudáfrica y México, e incluso de regiones de Centro América, con resultados que favorecen el crecimiento, a partir de los 1800 m de altitud hasta los 3000 m.s.n.m y con un rango de precipitación desde los 1000 a 4000 mm/año. Según Vela (1980), el *Pino patula* se desarrolla mejor en altitudes entre los 1900 y 2400 m

Esta especie exótica se cultiva exitosamente en suelos de origen volcánico lixiviados o estériles, así como en cualquier suelo suficientemente ácido y húmedo durante todo el año (Andrew, 1992).

Posee un fuste recto cilíndrico y una copa cónica. La corteza es papirácea, escamosa de color rojizo en la parte superior del tallo y en las ramas. Sus hojas en grupos de 3 y a veces de 4, son delgadas y verticalmente caídas, de un color verde claro brillante, con borde finamente aserrado. Las Inflorescencias femeninas son de color amarillo y las masculinas son amentos, ubicados en la parte terminal de las ramas, de color verde cuando jóvenes y amarillas al madurar, de hasta 1,0 cm de diámetro, agrupados alrededor del nuevo brote y aparecen con las nuevas hojas (Vinueza, et al., 1989)

1.2 TENDENCIAS DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO FORESTAL (MGF)

El sector forestal es reconocido como una industria atrasada en el mundo por la falta de apoyo en la investigación biológica forestal. La generación de información es fundamental para que un programa de mejoramiento genético forestal (PMGF) sea exitoso, ya que mediante el análisis de los resultados se pueden tomar acciones para hacer sitios forestales más productivos (Zamudio, 2002) Según (Osorio, 2014) el mejoramiento genético forestal se encuentra en una fase de desarrollo menor respecto al mejoramiento animal y agrícola, debido a la diferencia de ciclos productivos.

El mejoramiento genético forestal se desarrolló a inicios de la década de los 50 (Namkoong, et al.,1988); y en estos momentos constituye una parte operacional de todos los programas. El mejoramiento genético futuro será parte fundamental del manejo forestal intensivo de las próximas décadas, y por lo tanto de la industria de productos forestales.(IPINZA, 1998)

De acuerdo con la Figura 1, la FAO (2004) registra investigación genética para 29 géneros de árboles forestales en 35 países de todos los continentes en . América del Norte es la región que lidera la investigación con un 48% de las modificaciones genéticas en especies de árboles forestales, seguida por Europa (32%), Asia (14%) y Oceanía (5%). África y América del Sur solo presenta un poco más del 1% de todas las investigaciones en modificación genética forestal

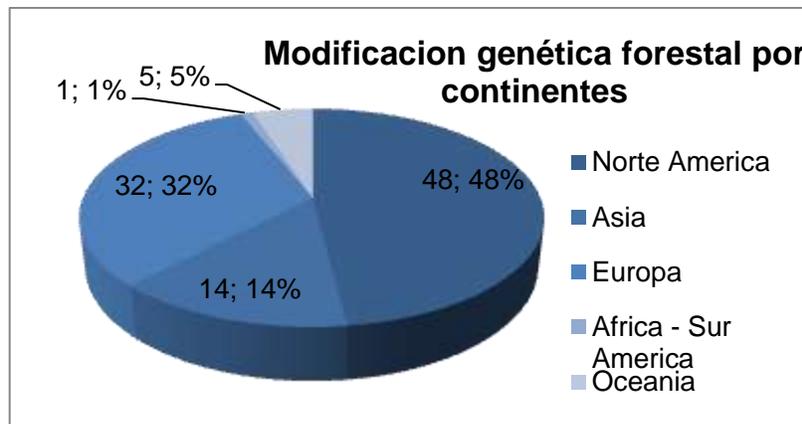


Figura 1 Investigación en modificación genética por continente

Fuente: FAO 2004

1.3 TENDENCIAS DEL MGF A NIVEL NACIONAL

En Colombia se introducen los principios del mejoramiento genético forestal (MGF) y se desarrollan los primeros programas de mejoramiento genético para varias especies de pinos y eucaliptos en la década de los 70, debido a que las empresas privadas consideraron como parte fundamental del desarrollo forestal, ligar la silvicultura con la genética de árboles. Adicionalmente, otras instituciones como el INDERENA lideraron en los años 80 ensayos de introducción de especies y procedencias, con lo cual se logró el establecimiento de algunas fuentes semilleras y la conservación de recursos genéticos forestales en el país. Posteriormente, se alcanzaron exitosos resultados comerciales y de calidad, donde las semillas de poblaciones silvestres presentaban algún grado de diferenciación (Nieto, 2012).

Por ejemplo, entre las fuentes semilleras establecidas en el país, se encuentra el de la especie roble (*Tabebuia rosea* (Bertol.)D.C); la cual cuenta con cinco ensayos de progenies ubicados en sitios representativos de cultivos industriales de la Zona Andina y la Costa Atlántica. Por otra parte, en el departamento de

Caldas y zonas aledañas cafeteras, se encuentran dos huertos semilleros clonales de la especie nogal cafetero (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav) Oken), establecidas por la Federación Nacional de Cafeteros, Conif, Cenicafe y Smurfit Kappa Cartón de Colombia. Adicionalmente, compañías como Reforestadora la Costa, Granados y Maderas, y Reforestadora Caribe, cuentan con un huerto semillero clonal de la especie teca (*Tectona grandis* L.F), en el cual se han desarrollado programas de mejoramiento genético. Finalmente, la empresa privada Smurfit Kappa Cartón de Colombia cuenta con ensayos de procedencias, progenies y huertos semilleros de las especies *Pinus sp* y *Eucalyptus sp*, en donde para esta última especie se encuentran ensayos clonales de tercera generación

TRUJILLO (2010), En la actualidad se depende de la importación de semillas, procedente de países centroamericanos en especies como: *Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, *Pinus tecunumanii*, *Pinus oocarpa*, *Pinus maximinoi*, *Pinus caribea* y *Eucalyptus grandis* y *urograndis*, de las cuales cuentan con los permisos fitosanitarios para importación del ICA.

De acuerdo con la resolución 2457 del 2010, es ideal que la reforestación se desarrolle a partir de semilla proveniente de huertos semilleros, dado a los altos costos y resultados a largo plazo con el agravante de que en el país hay pocos profesionales especializados en esta área, y que por ello se debe contar con asesoría externa con genetistas PhD de Costa Rica, Chile o “CAMCORE” (Cooperativa de mejoramiento genético auspiciada por la Universidad de Carolina del Norte), que en su momento han contribuido a algunas reconocidas empresas del país.

Cartón de Colombia con *E grandis*, cuyo PMG ya se encuentra en ensayos clonales de tercera generación y con *Pinus sp* igualmente la empresa Kappa Cartón de Colombia, con *P kesiya*, *P maximinoii*, *P tecunumanii* y *P patula* en los cuales cuentan con ensayos de procedencias, progenies y huertos semilleros (Nieto, 2012). La empresa Cipreses de Colombia cuenta con huertos clonales de

Pinus patula y *Cupressus lusitanica*, además de un rodal semillero de *Pinus oocarpa*, a partir del año 2012 se inicia el programa de mejoramiento genético de esta especie con la selección de árboles plus.

De acuerdo con la resolución 2457 del 2010, es ideal que la reforestación se desarrolle a partir de semilla proveniente de huertos semilleros, dado a los altos costos y resultados a largo plazo con el agravante de que en el país hay pocos profesionales especializados en esta área, y que por ello se debe contar con asesoría externa con genetistas PhD de Costa Rica, Chile o “CAMCORE” (Cooperativa de mejoramiento genético auspiciada por la Universidad de Carolina del Norte), que en su momento han contribuido a algunas reconocidas empresas del país.

De acuerdo a (Trujillo, 2010) En cuanto al comportamiento de la especie, existe una oferta limitada de huerto semilleros, la importación de semilla de huertos y de rodales, que sumados podría alcanzar los 20 kg/año si se programa a tiempo.

En el país el abastecimiento de semilla de *Pinus sp*, así como de otras especies forestales depende de fuentes semilleras nacionales, y del extranjero las cuales en ocasiones pueden resultar dispendioso el proceso de importación para el caso de semilla procedente del extranjero, en el caso de fuentes locales los productores dan prioridad para su propio abastecimiento en plantaciones, si existe algún sobrante este se dispone para ventas lo que puede significar un alto costo de esta materia prima. En el país las fuentes semilleras de *Pinus patula* pertenecen a empresas privadas las cuales son: Smurfit Carton de Colombia (SKCC), Empresas públicas de Medellín (EPM) y Cipreses de Colombia S.A ver tabla 1.

Tabla 1. Fuentes semilleras de Pinus patula en Colombia

Departamento	Municipio	Propietario	Tipo de fuente
Antioquia	Medellín	Cipreses de Colombia S.A	Huerto semillero
Antioquia	Rionegro	EPM	Rodal semillero
Cauca	Sotará	H1/SKCC	Huerto semillero
Cauca	Sotará	H2/SKCC	Huerto semillero
Cauca	Riosucio	Betania /SKCC	Huerto semillero

Fuente: Encuesta Conif, 2000, (ISAZA, 2010)

1.4 TIPOS DE FUENTES SEMILLERAS

Una semilla de alta calidad genética se diferencia de forma significativa con las de baja calidad. A partir de estas, se obtienen plántulas con mayor rendimiento en crecimiento y forma; y mejor resistencia a plagas y enfermedades (Piedrahita, 2007). Para producirlas se debe contar con un área productora de semilla (APS) que corresponden a una población vegetal natural o artificial, donde predominan individuos fenotípicamente deseables, y tolerantes a plagas y enfermedades (Isaza, 1998). De acuerdo con la Resolución 2457 del 2010 del ICA, donde se reglamenta un área productora de semillas, la cual se define como una población de árboles naturales o plantados con buenas condiciones, cuyo objetivo principal es la producción de semillas.

Para la obtención de semilla con determinado grado de mejora genética se debe acudir a diferentes tipos de fuentes semilleras como se observa en la tabla 2. Según la resolución del ICA 2457 del 2010 donde se reglamentan, los siguientes tipos fuentes que cumplen dicho fin:

1.4.1 Fuentes identificadas (FI)

Plantación con poco número de árboles por hectárea en un área no mayor a 1 ha y que posee un mínimo de 20 árboles aptos para la producción de semillas (Isaza, 1998). Aquellas fuentes que no cumplan con dicho requisito deben de ser descartadas y reemplazadas (Jara, 1994). Este tipo de fuente no cuenta con ningún tipo de aclareo genético.

1.4.2 Fuentes seleccionadas (FS)

Es un área de árboles plantados o nativos de la misma especie que además de cumplir con determinados caracteres deseados por el productor, cuentan con buen estado fitosanitario (Trujillo, 2008). Esta fuente contiene entre 50 y 75 árboles por hectárea, esta área o fuente semillera no cuenta con un manejo especial como lo son los aclareos de depuración (Jara N., 1994).

1.4.3 Rodales semilleros (RS)

Se define como un área de producción semillera no menor de 1 ha y con una baja intensidad de selección (1 de cada 20), que se maneja en aislamiento con el fin de evitar la contaminación de polen no deseado, según la resolución 2457 del 2010, a partir de la eliminación de árboles indeseables por lo menos en una franja de 200 m al perímetro del rodal. Se requiere que un 50% de los árboles maduros alcancen la fructificación (Isaza 1998), Resolución 2457 del 2010).

1.4.4 Huerto semillero

Los huertos semilleros pueden ser de dos tipos: huerto semillero genéticamente comprobado (HSC) y no comprobado (HSNC). Según la FAO (2004) el huerto semillero genéticamente comprobado es una plantación a partir de clones de progenies seleccionadas, la cual esta aislada y es manejada para la producción de semilla; adicionalmente, cuenta con el respaldo de ensayos de progenie y es sometida a aclareos genéticos. De acuerdo con Trujillo (2008), estos ensayos son realizados en sitios potenciales para el cultivo de la especie. Por el contrario, el HSNC no ha sido sometido a pruebas de progenie ni a ningún tipo de aclareo (Isaza 1998). Este tipo de fuente se establece en sitios de facil acceso, con densidades bajas (menos de 200 árboles/ha), esta baja densidad permite un mayor desarrollo de ramas y amplitud de copa que favorecen la producción de frutos, ver figura 2.



Figura 2. Huerto semillero *Pinus patula* (Población objeto de estudio)

1.5 ENSAYOS DE PROGENIE DE POLINIZACIÓN ABIERTA

Una forma práctica de evaluar la calidad genética es por medio del seguimiento del desarrollo de la progenie, estos se establecen en sitios donde se ubicaran las futuras plantaciones (Clausen, 1990). El ensayo permite comparar el comportamiento de las familias bajo condiciones uniformes que facilitan el determinar el valor genético (Roulon & Olesen 1992). La polinización abierta es la nube de polen generada por una plantación en este caso, entre las replicas de los clones, conocidos como rametos de un huerto semillero donde se puede conocer el árbol madre, mas no se conoce el padre, por ello se le denomina pedigrí incompleto (Ipinza, 1998).

Zamudio (2002) concluye que con base al comportamiento de las progenies, se logran seleccionar árboles parentales que una vez estas se desarrollan, se procede a evaluarlas y finalmente se seleccionan aquellos árboles cuya descendencia logró tener mejores características, en comparación al resto del ensayo. Zobel y Talbert (1992). Describen que la mejor forma de evaluar el valor genético de los progenitores, seleccionados es cultivando su descendencia o progenie en diferentes sitios en tal forma que permita estimar los valores parentales de cruzamiento. De esta manera se ubica los progenitores cuya superioridad fenotípica son causa de crecer en un buen ambiente y aquellos que son superiores debido a un buen genotipo. Después de analizadas estadísticamente las pruebas genéticas, aquellas progenies que presente bajos resultados deben ser eliminados del huerto.

Para desarrollar las pruebas genéticas es necesario planificar cuidadosamente el diseño estadístico más apropiado para realizar los ensayos. En este análisis es muy importante tener en cuenta que el objetivo principal del diseño estadístico es separar el efecto ambiental del fenotipo lo cual se logra con una perfecta homogeneidad en las condiciones edáficas, climáticas, de exposición y de

gradiente para todas las progenies a ensayar. La empresa ha utilizado con mucha frecuencia el diseño en bloques completos al azar, el cual permite agrupar los tratamientos en bloques (repeticiones) con la mayor uniformidad posible. Las zonas dedicadas a la reforestación en el departamento de Antioquia presentan una alta variación en topografía (fisiografía) con pendientes de suaves a muy fuertes y un alto cambio de la fisiografía del terreno (VELEZ G., 1992), según Isaza (1998) los ensayos de progenie deben ser repetidos en varios sitios con el fin de cubrir todo el rango de variación ambiental de las áreas de interés. Al aplicar el diseño en el terreno es necesario tener en cuenta el perfil (recto, convexo, cóncavo) y el contorno (recto, convexo, cóncavo) y ubicar cada bloque en solo una de estas combinaciones como se presenta en la siguiente figura 3.

Para reconocer el valor genético de las progenies se debe aislar el efecto del ambiente (Osorio, 2104), esto se logra distribuyendo la muestra en diferentes ambientes y se aplica la fórmula $F = G + A + \text{Residual}$, o fenotipo = genotipo + ambiente, se observa como el fenotipo lo conforman el valor genético y un componente ambiental del cual se desconoce su valor. Con la evaluación estadística del ensayo de progenies es posible separar el efecto ambiental del genético.

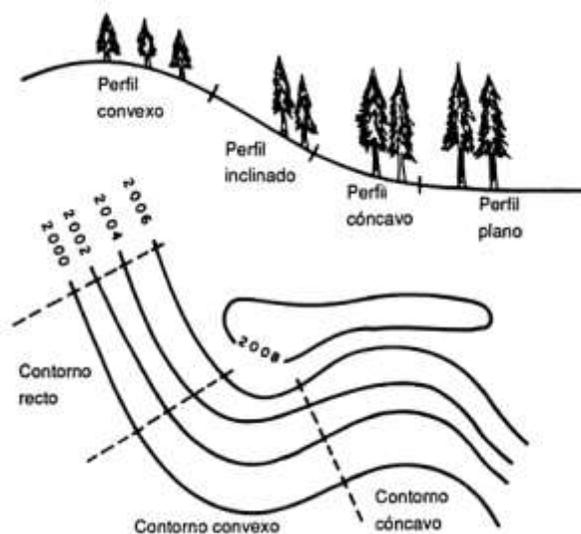


Figura 3. Descripción de un área de terreno según su curvatura topográfica

Fuente: (Tschinkel 1972).

1.6 ESTRATEGIAS PARA EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DEL *Pinus patula*

El reto de las estrategias de mejoramiento forestal es formular planes a largo plazo que consideren varias generaciones y que, aún así, sean suficientemente flexibles y rígidos para incorporar cambios en la política forestal y en la silvicultura, así como innovaciones en la genética y en los métodos de propagación, (Wellendorf, 1991).

De acuerdo a ensayos de procedencias y especies establecidos en los sitios mencionados, el *Pinus patula* y el *Cupressus lusitanica* obtuvieron los mejores resultados en cuanto a rendimiento y calidad en comparación a otras especies como *Pinus maximinoii*, *P taeda* y *P chiapensis* (Restrepo & Atehortúa, 1987), sin embargo en aspectos de calidad como rectitud y diametro de ramas no se observo los resultados deseados, con el fin de mejorar estas carecteristicas de calidad las cuales son de alta incidencia genetica se inicia el programa de mejora genetica para el *Pinus patula*, y para el cipres el cual finaliza su primera etapa en el año 1992, con el huerto semillero clonal de primera generación para ambas especies con muy buenos resultados en cuanto a rendimiento y calidad en las generaciones procedentes de los huertos observar figura 4 y 5.



Figura 4 y 5. Ensayo de progenies finca La Albania.(S2) y plantacion establecida con semilla comercial

De acuerdo con Mesén (1994), una estrategia de mejoramiento genético forestal es “un conjunto de acciones dirigidas a abastecer germoplasma en cantidad y calidad suficiente al menor costo y en el menor tiempo posible, a la vez que asegura la posibilidad de mejoramiento continuado en el largo plazo”. Este proceso requiere la existencia de los siguientes tres elementos: 1) la población base donde hay una amplia variedad genética; 2) el mejoramiento e investigación, donde se realizan la parte de selección de fenotipos superiores para ser evaluados bajo determinadas características; y 3) la población de producción, donde se logra agrupar los mejores individuos para el abastecimiento de germoplasma como se ilustra en la figura 5.

Desde este punto de vista, la tarea del mejorador simplemente consiste en reconocer (medir) la variación genética, aislarla y “empaquetarla” en los individuos apropiados para su multiplicación y utilización como recurso renovable (Sotolongo., 2000)



Figura 5. Estado y planes para el ciclo de mejoramiento genético forestal planteado para el *Pinus patula*.

Nota: Las flechas rojas indican la etapa actual del proceso, y las flechas azules es una vista del primer objetivo que es obtener un huerto semillero depurado, las flechas verdes las etapas del proceso donde se perciben los resultados y las flechas negras indican los procesos a largo plazo.

2. METODOLOGÍA

2.1 POBLACIÓN OBJETO DE ESTUDIO

La investigación parte de la necesidad de mejorar o avanzar en los programas de mejora genética forestal, para este caso se parte con la evaluación de los clones del huerto semillero clonal de primera generación de *Pinus patula*, ubicado en la finca Los Sauces, corregimiento de San Antonio de Prado, municipio de Medellín; propiedad de la empresa Cipreses de Colombia S.A el cual se ubica en las coordenadas 6° 14" Norte, 75° 40" Oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 2350 m, es la fuente para el abastecimiento de semillas de *Pinus patula* para la empresa, el cual se establece en el año de 1992. (Vélez 1992).

Tabla 3. Características del huerto semillero de *Pinus patula*

Item	Valor
Precipitación media anual	2000 mm
Temperatura media anual	16 °C
Área	4.5 ha
Fecha de establecimiento	Entre Dic-1991 y Oct-1992
Zona de vida según Holdridge	Bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB)
Número de clones	46 clones
Número de rametos por clon:	16-18
Arboles totales	890
Distanciamiento entre rametos del mismo clon	30 m
Distanciamiento entre rametos	10 m x 5 m
Distanciamiento de rodales de la misma especie	500 m

Fuente: Informe diseño y establecimiento huerto semillero *Pinus patula*. Cipreses de Colombia (G Velez 1992). Ver anexo mapa del Huerto semillero de *Pinus patula*

2.2 ÁREA DE ESTUDIO EVALUADA

Cada uno de los tres sitios seleccionados para la ubicación de los ensayos Caldas=Sitio1; San Antonio de Prado=Sitio 2 y Yarumal=Sitio 3. Corresponden a núcleos de producción donde habitualmente se cultiva la especie. La altitud de estos sitios va desde los 1900 a 2950 m.s.n.m, lo cual permite la evaluación de las progenies en tres sitios con condiciones ambientales diferentes.

2.2.1 Caldas, Sitio uno (S1)

Municipio con extensión territorial de 113.4 Km², con una población de 66.073 habitantes. Limita con los municipios de La Estrella, Sabaneta, Envigado, El Retiro, Angelópolis, Amaga, Santa Barbara y Fredonia. Entre los límites con estos dos últimos municipios se encuentra la cordillera del Chamuscado; y adicionalmente cuenta con un gran patrimonio ecológico y cultural como lo es el Alto de San Miguel, declarado como Reserva Ecológica, Alto del Romeral y el de la Romera con alta riqueza en flora y fauna. (Risgo., 2008).

Específicamente el ensayo en este municipio se realizó en la Finca La Vía del sector el Reposo, ubicado a 06° 02" N - 075°37" O, a una altura sobre el nivel del mar de 1960 m; con una temperatura promedio de 22 °C, con una humedad relativa de 64 %, y la precipitación media anual es de 2.200 mm, de acuerdo a Espinal (1990), pertenece a una zona de vida bosque muy húmedo premontano (Bmh – PM) de acuerdo a la clasificación de zonas de vida de Holdridge.

Segùn el GARCIA (2007), corresponde a un sitio con pendientes escarpadas, erosión ligera, alta susceptibilidad a la erosión y a los movimientos en masa, fuerte acidez, alta saturación de aluminio y baja fertilidad, donde se recomienda entre otros usos del suelo del suelo plantaciones productoras - protectoras, sistemas silvopastoriles, y la ganadería extensiva.

El ensayo se distribuye en cuatro bloques, cada uno corresponde a terrenos con condiciones homogéneas de pendiente que difieren entre sí. El bloque uno, corresponde a un sitio plano, el bloque **2** a un sitio con pendiente moderadamente fuerte; el bloque **3** a una pendiente moderadamente suave y bloque **4**, pendiente fuerte. Dado a las condiciones topograficas que permitieran la ubicación conjunta de los bloques, se opto por separa los bloques dado a que cumplieran con condiciones homogeneas por bloque, como se puede observar en el (anexo diseño ensayo de progenies para Caldas Antioquia).

2.2.2 Corregimiento de San Antonio de Prado sitio dos (S2)

Es uno de los cinco corregimientos del municipio de Medellín, ubicado al extremo Suroccidental de la ciudad. Linda por el norte con los corregimientos de Palmitas y San Cristóbal, por el oriente con el corregimiento Altavista, por el sur con los municipios de Itagüí y la Estrella, y por el occidente con los municipios de Angelópolis y Eliconia (Garcia 2007).

El corregimiento se encuentra ubicado sobre el ramal occidental de la cordillera central, con una extensión de 5075 ha, y con un área rural de 5049 ha. Su topografía es quebrada con fisiografía de altas pendientes y profundos cañones. Todo el corregimiento está dividido por una gran corriente denominada quebrada Doña María que separa dos grandes vertientes. La proximidad con algunas fallas

geológicas, topografía abrupta, cerros redondeados y colinas aisladas (Arango., 2006)..

La finca La Albania está ubicada en la vereda Astilleros, corregimiento San Antonio de Prado, Municipio de Medellín en las coordenadas 6° 14" Norte, 75° 40" Oeste, con una altitud sobre el nivel del mar de 2350 m y una precipitación media anual de 2000, y temperaturas de 15°C que corresponde a una zona de vida de bh – MB.

Según el IGAC, corresponde a un sitio correspondiente a una subclase 7p10, donde corresponde a terrenos con pendiente ligera a moderadamente erosionadas, alta susceptibilidad a la erosión y movimientos en masa, fuerte acidez y fertilidad baja.

El ensayo se distribuye en cuatro bloques, cada uno corresponde a terrenos con condiciones homogéneas de pendiente que difieren entre sí. El bloque uno, corresponde a un sitio plano, el bloque **2** a un sitio con pendiente moderadamente suave; el bloque **3** a una pendiente moderadamente fuerte y bloque **4**, pendiente fuerte. Como se puede observar en el (anexo diseño del ensayo de progenies para La Albania).

2.2.3 Yarumal sitio tres (S3)

Localizado al norte del departamento de Antioquia, limita al oriente con los municipios de Campamento y Angostura; al norte con Valdivia; al noroeste con el municipio de Briseño; al occidente con el municipio de San Andrés de Cuerquia y al sur con el municipio de Santa Rosa de Osos.

En el departamento de Antioquia existen diferentes regiones con áreas de producción forestal, la zona norte del departamento en donde se incluyen los municipios de Yarumal, Santa Rosa, Don Matias, Llanos de Cuiva y San andres de Cuerquia y Angostura donde se ubican importantes reforestadoras del departamento como los son: el RIA, Reforestadora El Guasimo y Cipreses de Colombia S.A.

En la finca Oceanias 1 Localizada en las coordenadas 6°57'N y 75°24', y una altitud de 2945 m.s.n.m. y una temperatura de 12°C En general el territorio presenta un relieve montañoso, esto se debe a que está ubicado sobre las estribaciones del ramal occidental de la cordillera central de los Andes.

Corresponde a la zona de vida bosque muy húmedo montano bajo, en el cual ocurre lluvias desde los 2000 a 4000 mm y una temperatura promedio de 12°C.

De acuerdo al IGAC, suelos que pertenecen a la subclase 4p-10, con suelos de pendientes moderadamente inclinadas, erosión ligera, susceptibilidad a la erosión y a los movimientos en masa, fuertemente ácidos, alta saturación de Aluminio, alta capacidad de retención de aniones y dificultad para el cambio de pH y baja fertilidad, donde recomiendan uso de cultivos agrícolas.

Tabla 2. Resumen de descripción por sitio

	Caldas Sitio 1	Prado Sitio 2	Yarumal Sitio 3
Altitud m.s.n.m	1960	2350	2945
Precipitación media anual	2200	2000	3000
Temperatura (°C)	22	15	12
Zona de vida	Bmh PM	Bh MB	Bmh-MB

Fuente: Informe Ensayo de progenies de *Pinus patula* Vélez (1992)



Figura 6. Ubicación geográfica, para cada uno de los ensayos.

2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

De acuerdo al ensayo establecido por Velez (2005), donde se evalúa un 52% de los árboles madre del huerto semillero, que corresponde a la selección al azar de 24 de los 46 clones existentes en el mismo, se basó en un diseño de bloques completamente al azar (DBCA). Según Ipinza (1998) las Unidades experimentales (UE), se agrupan en bloques completos o repeticiones. Se dice que son bloques completos ya que cada uno contiene todos los tratamientos, el objetivo es agrupar todas las unidades en un bloque tan uniforme como sea posible.

Este diseño es el más apropiado para realizar la evaluación de las progenies, (By G. MELCHIOR), (A. ARREGUI, S SPINEL 1999), (Juan Alba Landa 2005)

Se utilizó el DBCA, con cuatro bloques por ensayo, los cuales corresponden a sitios con diferentes condiciones de terreno, ver figura 2, cada uno de ellos con 24 tratamientos o familias, las cuales se registran en la tabla 3, además un testigo procedente de semilla comercial. Para el Sitio 1, sólo se ubicó 22 progenies, más el testigo (100), la unidad experimental (UE), corresponde a 10 árboles

representantes de cada familia, estos distanciados a 3.0 x 2.5 m, donde se marca el primer árbol con el número de la familia o progenie correspondiente, como se puede observar en la figura 10.

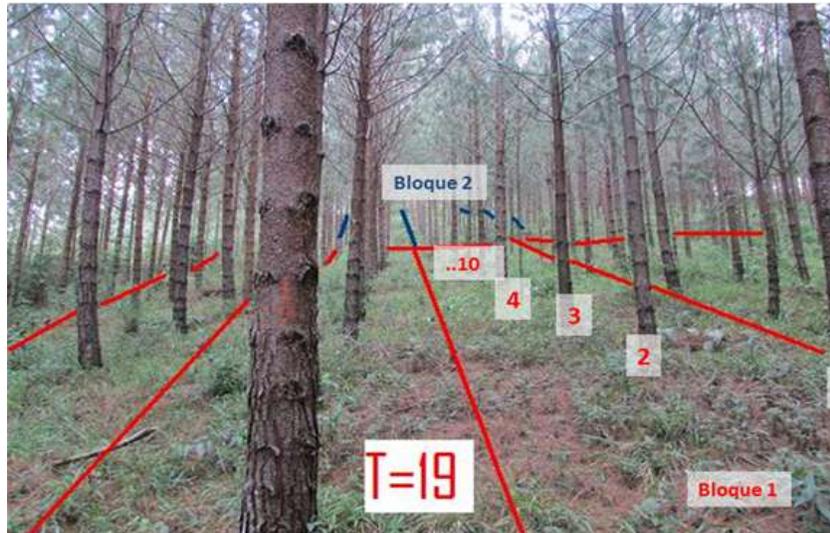


Figura 10. Diseño de ensayo, para ensayo La Albania (S2).

En la figura anterior las líneas verticales paralelas, indican la parcela o tratamiento; los números 1, 2, 3...10; indican la unidades experimentales y las líneas azules y rojas indican la separación entre bloques.

El modelo para bloques completos al azar, con interacción tratamiento y bloque es:

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + B_j + FB_{ij} + e_{ijk}$$

Donde, Y_{ijk} = es la observación, μ = efecto medio de la población, F_i = efecto de la i -ésima familia, B_j = efecto del j -ésimo bloque, FB_{ij} = interacción familia y bloque, e_{ij} = es el error que distribuye la normal $N(0, \sigma^2)$. (Ipinza 1998).

Los sitios seleccionados para el establecimiento de los ensayos, son lugares donde actualmente se encuentran los centros productivos, y donde habitualmente se planta la especie.

Tabla 3. Procedencia de los clones seleccionados del huerto

<i>Progenie</i>	<i>Procedencia Clon</i>
20	Versalles (Antioquia)
48	El Retiro (Antioquia)
46	Prado (Antioquia)
17	Prado (Antioquia)
18	Versalles (Antioquia)
14	Prado (Antioquia)
50	El Retiro (Antioquia)
19	Bello (Antioquia)
37	Tambo (Cauca)
27	Tambo (Cauca)
1	Pensilvania (Caldas)
12	Finlandia (Quindio)
15	El Retiro (Antioquia)
25	Tausa (Cundinamarca)
21	Medellín (Antioquia)
11	Villa Maria (Caldas)
43	Caldas (Antioquia)
2	Pensilvania (Caldas)
42	Popayan (Caldas)
13	Caldas (Antioquia)
6	Pensilvania (Caldas)
4	Pensilvania (Caldas)
100	-----

Fuente: Plan de mejoramiento genético del *Pinus patula* Velez (1992).

Nota: el 100 indica el testigo cuyo procedencia es de arboles seleccionados en Yarumal y Piedras blancas

2.4 REGISTRO DE DATOS

Para el año 2013 (7.98 años de edad), se planea y se realiza una medición en la cual se tuvo en cuenta evaluar los aspectos fenotípicos de cada uno de los ensayos, tales como: el diámetro al 1,3 m (Dap), la rectitud (R), diámetro de ramas (DR), ángulo de ramas (AR) y diámetro de la copa (DC), para esto fue necesario implementar un plan de monitoreo en el cual se diseña un método de evaluación que cumpla con la toma de datos que permita un análisis de cada una de las progenies para cada uno de los sitios con el fin de definir las mejores familias para cada uno de ellos, cabe anotar que el diseño del ensayo de progenies sólo se implemento para calificar el 52% de las progenies existentes del mismo, ver tabla 4.

En la toma de datos a los ocho años de edad del establecimiento se tiene en cuenta el medir el 100% de los árboles en cada tratamiento. Teniendo en cuenta dos tipos de variables: de rendimiento (Dap, H) las cuales son registradas directamente en campo la primera se registra en cm y se midió con cinta diamétrica y para la segunda la cual se expresa en m se utilizó varillas metálicas, con estas dos variables se calculó el volumen en m³.

Otro aspecto registrado, y que se encuentra relacionado con el rendimiento es la supervivencia, lo cual nos brinda información acerca de la resistencia y desarrollo de cada una de las progenies a las condiciones que fueron sometidas en los diferentes ensayos, esta variable nos permitirá interpretar que resistencia tienen las familias a los factores ambientales.

Para aspectos de calidad se tuvo en cuenta Rectitud del fuste (1-5); Diámetro de ramas (1-4), Angulo de ramas (1-3), y diámetro de copa (1-3). Como se explica en la tabla 4. ver anexos 1 y 2 (Formularios rendimiento y Calidad):

Tabla 4. Metodología para Calificación fenotípica de los ensayos de progenie

Parámetro	Rango	Descripción
Rectitud "R"	(1< 5)	Siendo 1 el valor más bajo y 5 el más alto: 1= árbol con fuste con múltiples torceduras; 2= con varias torceduras, en diferentes planos; 3: Árbol con poca torsión; 4: Árbol sin torceduras y 5: Árbol totalmente recto
Diámetro de Ramas "DR"	(1< 4)	Siendo 1 el valor más bajo y 4 el más alto: 1= árbol con ramas muy gruesas con respecto al fuste; 2= ramas gruesas; 3: ramas delgadas; 4: ramas muy delgadas
Ángulo de ramas "AR"	(1< 3)	Siendo 1 el valor más bajo y 3 el más alto: 1=ramas que forman ángulos entre 20 y 40° con respecto al fuste; 2= entre 40° y 60° y 3= entre 60° y 90°
Diámetro de copa "DC"	(1< 3)	Siendo 1 el valor más bajo y 3 el más alto: 1=Árbol con copa ancha y amorfa ; 2= copa de buena forma; 3: copa estrecha y sana

Nota: Metodología establecida por el grupo de investigación de Cipreses de Colombia S.A G Velez (2013)

2.5 CALCULO DEL VOLUMEN

Para el cálculo de volumen en m³, cuyo valor depende de la relación de dap y la altura recurrimos a calcular de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$VPpatula(m^3) = 0.00856 + 0.00003576 \times dap(cm)^2 \times h(m)$$

Donde: **V**: Volumen con corteza en m³, **dap**: al diámetro tomado a 1.3 m de altura de la base del fuste y **h**: altura registrada en metros.

2.6 SOBREVIVENCIA

Según Alba & Rentería (2005), existen aspectos importantes en cuanto a productividad se refiere, no solamente en la parte de rápido crecimiento sino también a una supervivencia a los factores ambientales adversos que favorezcan el desarrollo de plagas y enfermedades.

En la variable supervivencia se tiene en cuenta las familias que presentaron un mayor número de individuos vivos, con esta variable vemos las familias con una mayor resistencia, a pesar de que esta es la primera evaluación del ensayo, se plantea evaluar esta misma variable en futuras evaluaciones. Para el análisis de esta variable se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{Supervivencia} = \frac{(n_i - n_m) \times 100}{n_i}$$

Donde: n_i = Unidad muestral; n_m = Arboles muertos.

2.7 ANALISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se realizó por medio del programa STATGRAPHICS Centurion XVI.I (2007), el cual es un programa considerado en estos tipos de análisis, Gradual (1993). con la función de Anova multifactorial, se determinó las diferencias entre valores medios para cada una de las variables anteriormente mencionadas de rendimiento de esta forma se obtuvo los componentes de varianza.

Un análisis de varianza, es el más utilizado en un análisis de datos para la interacción de genotipo-ambiente, este permite la división total de la variación

fenotípica en componentes debido al genotipo por el ambiente y su interpretación del error (Skroppa 1984).

Con el fin de expresar la información mas relevante, se implementó un analisis de correlación de Pearson a traves de una herramienta denomina análisis multivariado, donde se evidencie la relación existente entre el Dap y las demas variables para cada uno de los sitios, de esta forma se hace énfasis en los datos de las variables no relacionadas con el dap en cada sitio.

2.9 ANÁLISIS DE VARIANZA DEL DISEÑO BLOQUES COMPLETOS AL AZAR

Según Zobel & Talbert (1992), el valor de las pruebas para un programa de mejoramiento genético forestal depende del análisis e interpretación adecuados de las mediciones obtenidas.

B, P y A se refieren al número de bloques, progenies y el número de árboles por parcela repetida en cada familia. σ^2_W , σ^2_{BP} , σ^2_P , σ^2_B son, respectivamente, los componentes de varianza dentro de la parcela, en la interacción bloque por tratamiento, en la progenie y en el bloque.

Varios de los diseños estadísticos permiten que la variación total existente en el experimento se divida en diferentes fuentes. En los experimentos de genética, el análisis de varianza permite que el genetista forestal divida la variación observada en sus componentes genético y ambiental y, cuando sea conveniente, determine las interacciones de ambos, ZOBEL Y TALBERT, 1992.

Tabla 5. Análisis de varianza para una prueba genética de medios hermanos plantados en un diseño de bloques completamente al azar, Zobel & Talbert (1992).

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	Cuadrados medios esperados
Bloques	B - 1	MS ₄	$\sigma^2_W + A \sigma^2_{BP} + AP \sigma^2_B$
Progenies	P - 1	MS ₃	$\sigma^2_W + A \sigma^2_{BP} + AP \sigma^2_P$
Progenies * bloques	(B - 1) (P - 1)	MS ₂	$\sigma^2_W + A \sigma^2_{BP}$
Árboles dentro de las parcelas	BP (A - 1)	MS ₁	σ^2_W

Fuente: plan de mejoramiento genético para el *Pinus oocarpa* Velez (2012).

En la tabla 2 el término cuadrados medios para cualquier fuente particular denotan toda la variación que ha contribuido a las diferencias observadas de ese efecto. El término cuadrados medios esperados denota las contribuciones relativas de cada tipo de varianza a cada cuadrado medio. Por ejemplo, de la tabla 2, el cuadrado medio de la progenie está compuesto por las variaciones (σ^2_W) de los árboles dentro de las parcelas, las interacciones de bloques por parcelas (σ^2_{BP}), y la variación (σ^2_P) existente en la progenie. El componente (σ^2_W) se estima directamente del cuadrado medio de los árboles dentro de las parcelas, MS₁. El componente de varianza en la interacción de los bloques * progenies (σ^2_{BP}), mostrado por los cuadrados medios de de la tabla 2, pueden estimarse a partir del cuadrado medio dentro de las parcelas, MS₁ y del cuadrado medio de los bloques * progenies, MS₂, de la siguiente forma:

$$\sigma^2_{BP} = \frac{(MS_2 - MS_1)}{n} = (\sigma^2_W + (n)\sigma^2_{BP}) - \sigma^2_W / n$$

El componente de varianza de la progenie se calcula a partir del cuadrado medio de la progenie, MS₃, y del cuadrado medio del bloque * progenie, MS₂, de la siguiente manera:

$$\sigma^2_P = \frac{(MS_3 - MS_2)}{n \times B}$$

donde: n = árboles por parcela y B= número de bloques

La heredabilidad en sentido estricto de árboles individuales (h^2), es decir la proporción de varianza genética aditiva respecto de la varianza fenotípica se calcula como:

$$h^2_i = \frac{4\sigma^2_P}{(\sigma^2_P + \sigma^2_{BP'} + \sigma^2_W)}$$

Nota: muchos mejoradores utilizan los términos familia y repetición en lugar de progenie y bloque (Velez,2013).

3. RESULTADOS

De acuerdo al análisis estadístico de las variables donde se registra los datos se presenta diferencia entre los valores medios para cada variable, cabe anotar la similitud entre los coeficientes de variación (%), cuyos valores se consideran bajos < 30%, lo cual significa lo representativo de la muestra para cada una de las variables. En el caso de la variable Volumen, cuyo coeficiente sobrepasa este valor, es consecuencia a que es estimada de acuerdo a unos coeficientes, al Dap y a la altura Mariño (1985), ver tabla 6.

Tabla 6. Datos de resumen estadístico de las variables consideradas en los ensayos de progenies de polinización abierta

Variable	Media (Desviación standard)			Coeficiente de variación %		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Dap (cm)	16,7 (4,2)	15,7 (3,9)	15,7 (3,7)	25,3	24,8	23,9
Altura (m)	16,2 (2,3)	14,1 (2,4)	10,9 (1,6)	14,4	17,3	14,8
Volumen (m ³)	0,18 (0,10)	0,15 (0,08)	0,11 (0,05)	54,5	53,9	46,7
Rectitud (1-5)	3,9 (1,1)	3,7 (0,7)	-----	27,7	19,3	-----
Diámetro de ramas (1-4)	3,3 (0,8)	2,9 (0,8)	3,16 (0,86)	24,4	27,8	27,4
Angulo de ramas (1-3)	2,1 (0,7)	2,0 (0,7)	1,99 (0,71)	33	35,2	35,9
Diámetro de copa (1-4)	2,0 (0,7)	2,0 (0,7)	2,2 (0,73)	35,6	35,4	33,3
Sobrevivencia (%)	90,3 (6,3)	94,6 (5,01)	95,3 (4,01)	7,04	5,3	4,2

CV %: Coeficiente de variación; S1: Caldas (n=830), S2: San Antonio de Prado (n=949) y S3: Yarumal (n=949)

3.1 ANÁLISIS FENOTIPICO DE LAS PROGENIES

De acuerdo al análisis de medias para cada uno de los sitios, considerando cada una de las variables, se observa diferencias significativas entre los sitios en cada una de ellas ($P < 0,05$ y $F=4,1$), como se evidencia en la figura 11 donde el sitio

con valores por encima de la media general para cada una de las variables corresponde al S1 (Caldas), excepto para la variable Diametro de copa cuyo mejor resultado es evidenciado en el sitio 3 (Yarumal). Lo que nos puede indicar la incidencia del sitio mas marcado en cuanto a las variables de rendimiento favoreciendo el sitio de menor altitud.

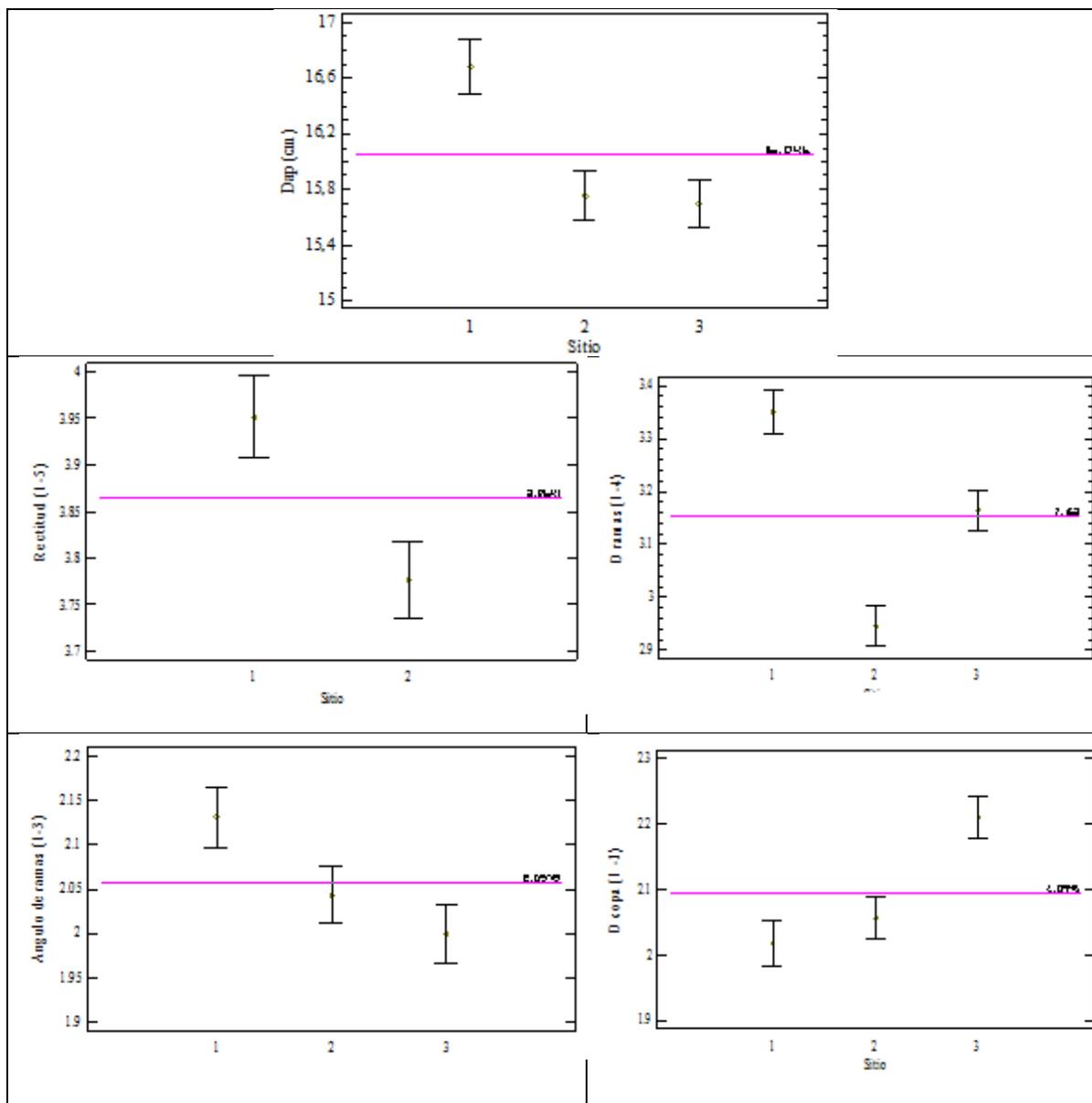


Figura 11. Analisis de valores medios para cada uno de los sitios considerando cada una de las variables

3.2 CORRELACIONES

En la tabla 7, se registra la correlación entre las variables para cada uno de los ensayos, se puede observar que para el sitio uno, todas las variables se encuentran relacionadas con el Dap ($P > 0,05$); en cuanto al sitio dos, no hay relación entre el Dap y la rectitud $P = 0,492$ y para el sitio 3, no se relacionan las variables ángulo de ramas ($P = 0,807$) y diámetro de copa ($P = 0,082$), de acuerdo a estas variables se hará énfasis en los resultados.

Tabla 7. Correlación de Pearson para el Dap y las demás variables, en cada sitio

Dap (cm) Valor P Sitio	h(m)	Rectitud (1-5)	D Ramas (1-4)	Angulo de ramas (1-3)	D Copa (1-3)
1	0,61	0,45	-0,08	0,2	0,28
	0,000	0,000	0,012	0,000	0,000
2	0,65	0,02	-0,18	0,08	0,22
	0,000	0,492	0,000	0,008	0,000
3	0,67		-0,23	0,01	0,06
	0,000		0,000	0,807	0,082

Los valores de P inferiores a 0,05 indican correlación entre las variables con un nivel de confianza del 95%,

De acuerdo a los resultados expresados en la anterior tabla, se determina el evaluar las variables no relacionadas directamente con el Dap, siendo así, que para Caldas sólo hace énfasis en el Dap, para el sitio dos la misma variable, con el diámetro de ramas y para el sitio 3, el Dap con el diámetro de copa y el ángulo de ramas.

3.3 ANÁLISIS PARA EL SITIO UNO (CALDAS)

De acuerdo a la figura 12, donde se ilustran los valores medios, para cada uno de los tratamientos, donde también se resalta en una escala de grises los valores desde el más alto (negro), hasta el más bajo (blanco), los grupos de progenies con

valores por encima de la media general, lo que se define como las mejores progenie (Zobel & Talbert, 1988). Se resalta la diferencia significativa entre las progenies procedentes del huerto semillero objeto de evaluación, respecto al testigo, procedente de semilla comercial ($P=0,00$ y $F=3,86$). el cual demostró el resultado mas bajo para este sitio.

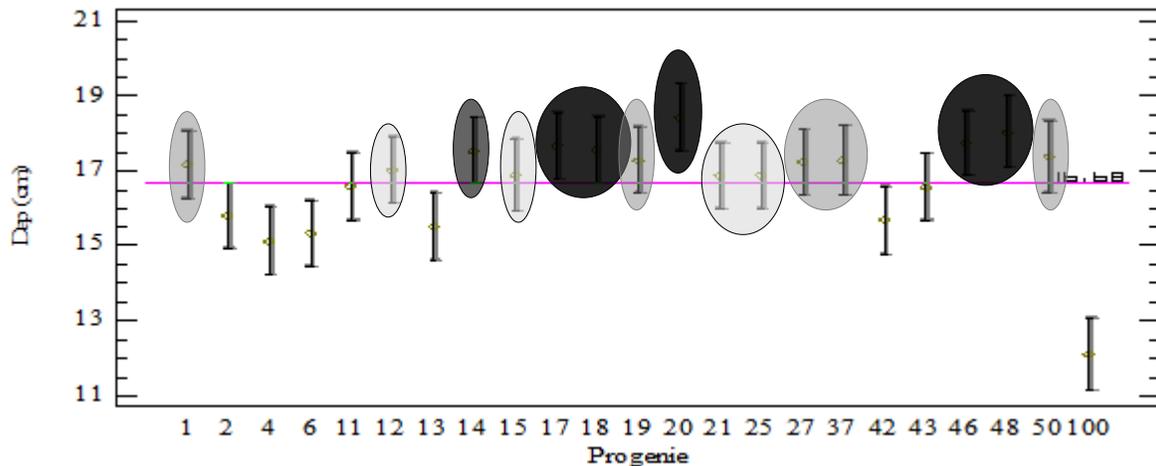


Figura 12. Análisis de valores medios LSD y agrupación por múltiples rangos para la variable Dap en el sitio uno

3.4 ANÁLISIS DE DAP Y DE LA RECTITUD, EN LAS PROGENIES EVALUADAS EN EL SITIO DOS (PRADO)

De acuerdo a la metodología aplicada en el punto anterior, se aplica de igual forma para las dos variables evaluadas en el sitio dos (Dap-Rectitud), donde para la primera se observa un comportamiento diferente de las progenies respecto al testigo, donde incluso dos familias estuvieron por debajo, del valor testigo y otras cinco con un valor similar a este, para este sitio sobresalen 8 progenies que estuvieron por encima del valor medio general. Con respecto a la segunda variable evaluada se observa un mejor resultado de las progenies procedentes del huerto con diferencias menores entre ellas ($P=0,00$ y $F=8,25$), pero una diferencia marcada con respecto al testigo.

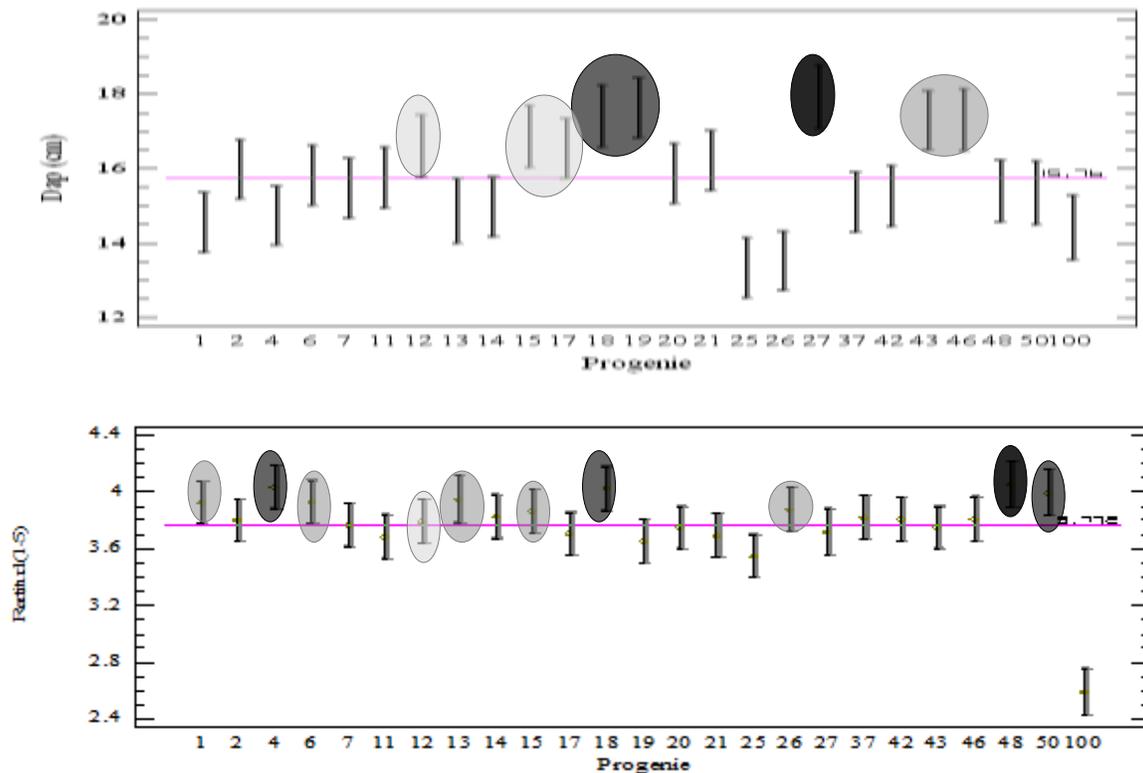


Figura 13. Análisis de medias e intervalos (95%) para la variable DAP y Rectitud en el sitio 2 (San Antonio de Prado), donde: I: DAP (cm); II: Rectitud (1-5).

3.5 ANÁLISIS PARA DAP, ANGULO DE RAMAS Y DIÁMETRO DE COPA EN EL SITIO TRES

De acuerdo a lo ilustrado en la figura 14, donde se observa una de las progenies (26), con un valor medio debajo del valor del testigo lo cual debe considerarse una de las progenies para descartar en este sitio, otras tubieron un valor muy similar; cabe anotar que 8 progenies tienen valores por encima del valor medio y representan una diferencia entre los demas tratamientos ($P=0,000$ y $F=3,62$); por otra parte para las variables angulo de ramas y diametro de copa se observa diferencias significativas entre las progenies y el testigo ($P=0,00$, $F=3,76$ y

$P=0,002$, $F=2,07$); donde esta diferencia es muy marcada como se puede observar en la figura 14.

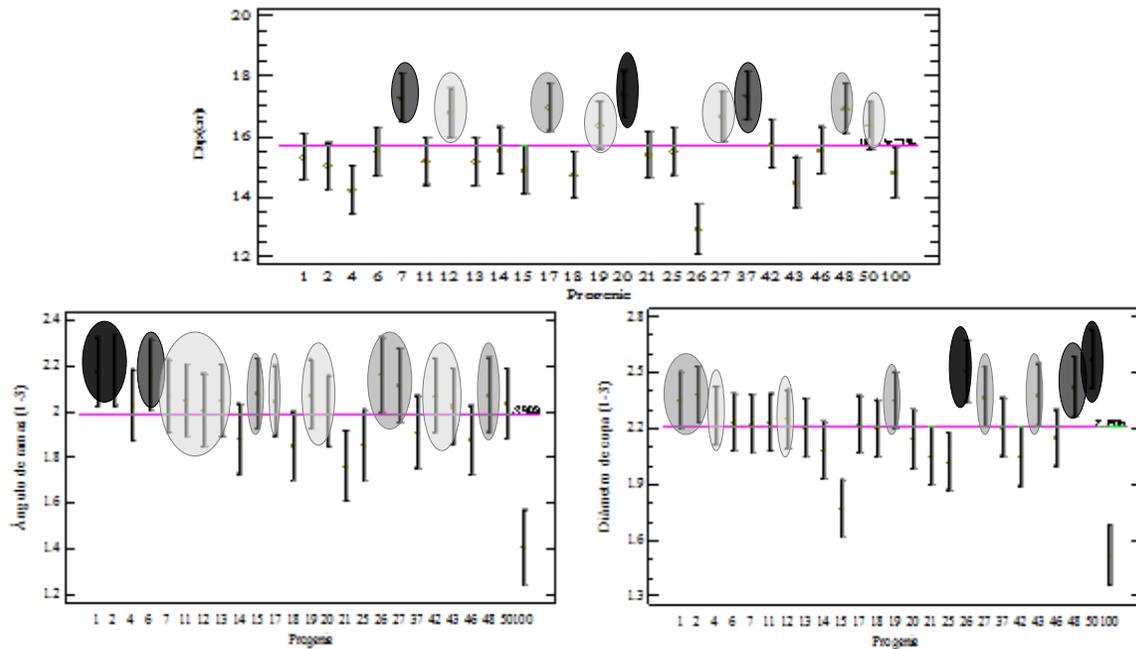


Figura 14 . Análisis de medias e intervalos (95%) para el DAP, Ángulo de ramas y Diámetro de Copa en el Sitio 3 (Yarumal).

I: Análisis DAP; II: Ángulo de ramas; y III Diámetro de copa

3.6 POCENTAJE DE SOBREVIVENCIA POR SITIO PARA CADA UNA DE LAS PROGENIES EVALUADAS

El porcentaje de sobrevivencia para los tres sitios no presentó diferencias estadísticamente significativas; sin embargo, al analizar la media, se encuentra que es levemente inferior para Caldas, sitio 1 (90.3%); seguido por el sitio dos y finalmente el sitio tres, que obtuvo el mayor nivel para esta variable.

Se encontró menor sobrevivencia para determinadas progenies para Caldas (S1), se observa que las familias que presentaron un menor porcentaje de

sobrevivencia, corresponden a: testigo (100) 50, 48, 42, 37 y 15; para Prado (S2) son: 100, 27 y 13, finalmente para Yarumal (S3), los resultados mas bajos son para los tratamientos (100), 43 y 26. Cabe resaltar que las progenies procedentes del huerto semillero obtuvieron un mayor porcentaje respecto al testigo (100), como se indica en la figura 15.

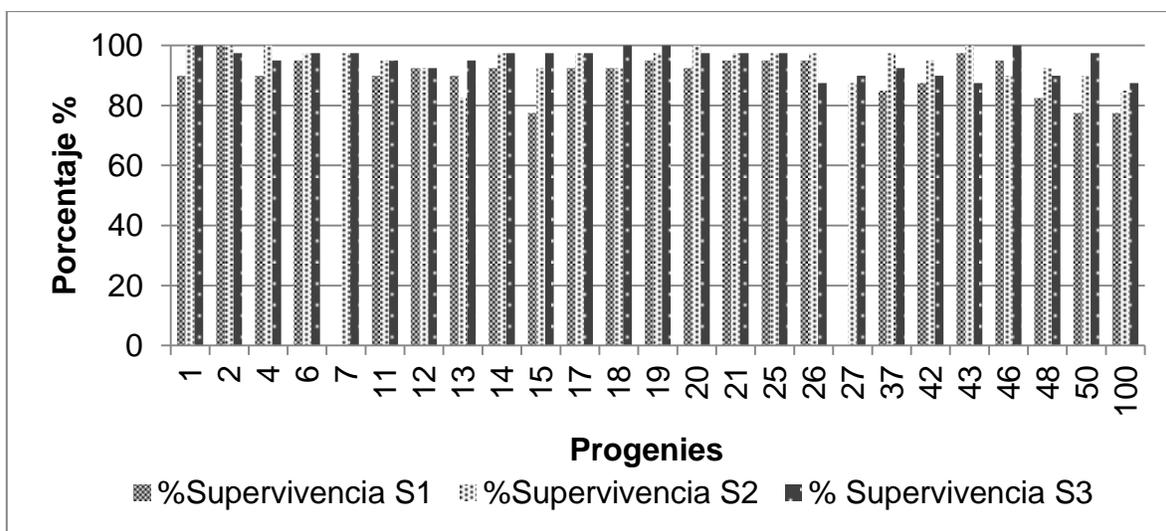


Figura 15. Porcentaje de sobrevivencia a nivel de sitios y progenies

3.7 HEREDABILIDAD EN SENTIDO ESTRICTO

Se detectaron diferencias entre sitios, obteniendo valores superiores, en San Antonio de Prado, tanto como para las variables de rendimiento, así como las de calidad, excepto en el diámetro de ramas como en el de copa lo que puede evidenciar una incidencia del sitio en el desarrollo de estas dos variables como se registra en la figura 16. De acuerdo para análisis de heredabilidad de medias de familias el cual es directamente proporcional al individual indica mayores valores para el sitio 2, como se evidencia en la tabla 8.

La variabilidad depende del ambiente y al reducir la varianza ambiental aumentaría su valor, esta varianza puede ser reducida a través de las prácticas silviculturales, para las cuales cada población tiene su heredabilidad y valores aditivos; en algunas reforestadoras, estos valores no difieren mucho, debido a que estas buscan minimizar la variabilidad ambiental entre sitios con las prácticas silviculturales similares para cada uno de los ensayos.

Tabla 8. Valores genéticos, heredabilidad individual (h^2i) y heredabilidad de familias (h^2f) para cada variable en cada sitio

Variable	h^2i (h^2f)		
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
Dap	0,19 (0,56)	0,26 (0,67)	0,12 (0,39)
Altura (H)	0,21 (0,59)	0,22 (0,52)	0,04 (0,13)
Volumen (Vol)	0,19 (0,56)	0,31 (0,70)	0,15 (0,39)
Rectitud	0,30 (0,70)	0,42 (0,84)	
Diámetro de ramas	0,37 (0,78)	0,11 (0,39)	0,27 (0,70)
Ángulo de ramas	0,10 (0,40)	0,24 (0,72)	0,07 (0,34)
Diámetro de copa	0,11 (0,48)	0,13 (0,48)	0,22 (0,63)

h^2i : Heredabilidad en sentido estricto; h^2f : heredabilidad entre familias

Nota: Para el sitio tres no se evalúa la variable rectitud por problemas en el ensayo en ese sitio

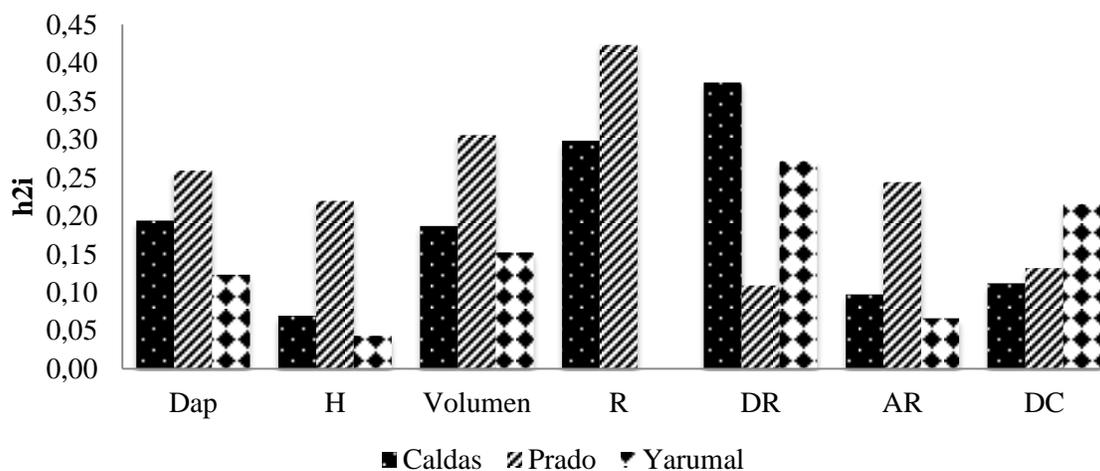


Figura 16. Diagrama de las heredabilidades en sentido estricto h^2i para cada una de las variables para los sitios evaluados.

4. DISCUSIÓN

Entre los tres sitios evaluados, se observó que en los sitios de menor altitud (S1), las parcelas permanentes de crecimiento (PPC) a los ocho años de edad, registraron un mayor volumen en m^3/ha .

De igual forma, se ha demostrado una incidencia del sitio en el rendimiento de la especie en los ensayos de progenie de polinización abierta (EPPA). Según Vela (1980), el *Pino patula* se desarrolla mejor en altitudes entre los 1900 y 2400 m. Por otro lado, queda en evidencia la ventaja de las plantaciones establecidas con semilla del huerto, dado a que se puede obtener incrementos en el volumen (m^3), que van desde 14,8% al 39,5% ver tabla 9.

Tabla 9. Comparativo de rendimiento de PPC y EPPA, en cada uno de los sitios evaluados

Sitios	Tipo de parcela	Vol (m^3/ha)	Dif (%)
Caldas	PPC	179	39,5
	EPPA	249	
Prado	PPC	169	23,5
	EPPA	208	
Yarumal	PPC	140	14,8
	EPPA	160	

Fuente: Cipreses de Colombia Atehortua (2014)

PPC: Parcelas permanentes de crecimientos evaluadas a los 8 años de edad y EPPA: Ensayos de progenie de polinización abierta.

Cabe anotar que los EPPA difieren en cuanto a los manejos silviculturales respecto a las PPC, siendo los primeros mas intensivos, sin embargo dichos rendimientos para cada un o de los sitios son positivos no sólo en variables de rendimiento sino evidentemente en las que se refieren a calidad, el MGF debe ir de la mano con manejos silviculturales para que las ganancias obtenidas sean mayores en cuanto a estas variables de interés para el mejorador genético forestal.

Los valores disminuyen en condiciones de manejo silviculturales variables, se debe optar por un manejo silvicultural uniforme que permita incrementar cuyos valores (Falconer. et al, 1996), este manejo silvicultural incluye manejo desde la colección de semillas, manejo en vivero, podas y limpieas etc, (Osorio, 2014)

Los valores obtenidos en valores de heredabilidad para variables de rendimiento son bastante razonables y consistentes con otras publicaciones de pinos tropicales (Borralho, 2013). En citados por (Morales *et al.* 1986), en EPPA a los siete años de edad en *Pinus patula* a los siete años de edad se encontró valores de h^2_i para Dap y Volumen de 0.10 y 0.15 respectivamente (Valencia, Manzo & Vargas, 1986), valores similares obtenidos en el sitio 3; En otros ensayos registrados por Mora & Zamudio (2006), para *Pinus radiata* de siete años de edad con valores de heredabilidad para altura de 0.08 a 0.13; Dap de 0.0 a 0.13 y volumen de 0.0 a 0.09; teniendo en cuenta que los dos ensayos establecidos en altitudes por encima de los 2600 m, son valores de heredabilidad muy similares a los resultados obtenidos para Yarumal.

En estudios similares registrados por Molina (1992), En Chichicastla México a una altitud de 2260 m, las heredabilidades fueron altas, tanto como a nivel de familias como a nivel individual ($h^2_f > 0.28-0.30$); una de la causas se debe a una menor

mortandad y a un mayor crecimiento entre familias, de acuerdo al anterior estudio donde las heredabilidades se vieron favorecidas por una alta sobrevivencia y un alto crecimiento lo que concuerda con los resultados presentados dado a que en San Antonio de Prado presenta una mayor h^2 , por presentar un buen desarrollo en las variables de rendimiento y un porcentaje alto de sobrevivencia. Por otra parte los valores de heredabilidad por familia son altos para cada uno de los sitios, lo que es deseable, dado que se asegura la similitud fenotípica de la madre con respecto a la progenie. Esto ofrece una oportunidad para el mejoramiento genético en variables como altura del árbol, diámetro y volumen, las cuales obtuvieron varianzas bajas; y una mejor oportunidad para el mejoramiento genético en características como rectitud y diámetro de ramas (Lester *et al.* 1990).

Además, si se refinan los árboles padres, entresacando los menos deseables, la selección fenotípica podría resultar en ganancias genéticas modestas en volumen, y ganancias genéticas moderadas para características de alta heredabilidad como la forma de tallo, hábito de ramificación y otras variables no tenidas en cuenta en este estudio. En la tabla 10 se registran los datos de las mejores familias que demostraron superioridad genética en los cuales se debe concentrar la recolección de semilla para abastecimiento propio y para comercio de la misma.

Tabla 10. Familias que presentaron los mejores valores para cada uno de los sitios

Orden	Familias	Procedencia clon	S1	S2	S3
1	20	pAv020	<u>X</u>	<u>X</u>	
2	17	pAm017	<u>X</u>	X	X
3	27	pCt027	X	<u>X</u>	X
4	18	pAv018	<u>X</u>	X	
5	19	pAb019	X	<u>X</u>	X
6	12	pQf012	X	X	X

7	46	pAv046	<u>X</u>	X
8	48	pAr048	<u>X</u>	X
9	50	pAr050	<u>X</u>	X
10	15	pAr015	X	X

Las X indica los sitios donde las progenies obtuvieron los mejores resultados de acuerdo a los valores medios, los códigos que hacen referencia a la procedencia de clon, La letra en mayúscula corresponde al departamento siendo así A: Antioquia, C: Cauca y Q: Quindío

BIBLIOGRAFÍA

ZAMUDIO F. (2002) Conceptos generales del mejoramiento genético forestal. Universidad de Talca CHILE.

TRUJILLO E. ¿Hay semillas para un millón de hectáreas comerciales? Revista del mueble y la madera M&M ed 72 2011 p 8, 11 Colombia 2011.

H. ROULUND & K. OLSEN. Mejoramiento forestal a nivel de familia y de individuo. CATIE. Humlebaek, Dinamarca. Septiembre 1992. pag 77

ARANGO S Natalia. Atractivos naturales y bienes patrimoniales de los corregimientos de Medellín breve reseña. Alcaldía de Medellín. Enero de 2006 p 43

GRADUAL L. Introducción a los principios sobre diseño y evaluación de experimentos de mejoramiento genético forestal . Introduction to principles in desing and evaluation of tree improvement experiments. Humlebaek Dinamarca. Agosto 1993. P 124. (en diseño experimental)

RIAÑO C. Modulo de Diseño experimental. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Bogotá: Escuela de ciencias básicas tecnología e ingeniería. (pag 7, 41, 42)

ALBA L Juan. Establecimiento de un ensayo de progenie de Pinus oaxacana Mirov en los Molinos, municipio de Perote Veracruz 2005.

IPINZA Roberto H (1998). Mejoramiento genético forestal. Conif Ficha técnica No 42. Santafé de Bogotá.

GARCIA (2007). GARCIA, CASTELLANOS LUIS EDUARDO, JOSE HUGO DIAZ AVILA. Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Antioquia Gobernación de Antioquia e IGAC 2007 (METODOLOGIA CALDAS)

LUIS SIGIFREDO ESPINAL. Zona de vida de Colombia Universidad Nacional de Colombia seccional Medellín 1990

WORMALD, T.J. *Pinus patula*. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1975. p.68-76.

VASQUEZ, J.A., DVORAK,W.S Y DONAHUE, J.K. Early height performance of *Pinus patula*. North Carolina State University CAMCORE. 1994 Annual Report.

WELLENDORF, H. Tree improvement strategies. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark. 1991.

JARA NFL. Identificación y selección de rodales semilleros. In Memorias, Curso Nacional sobre Selección y manejo de rodales semilleros, San Salvador, El Salvador 1994.

RESTREPO G & ATEHORTUA L. Alguno de los resultados de los ensayos de especies y procedencias del departamento de Antioquia Colombia. Recursos genéticos Forestales No 16, FAO 1987.

VELEZ G. Programa de mejoramiento genético Forestal (PMGF) del *Pinus patula*. Cipreses de Colombia S.A. Medellín 1992.

CHAVES E. & FONSECA W. *Cupressus lusitanica* especie de árbol de uso múltiple en América Central. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza, CATIE, Turrialba, Costa Rica 1990.

MORALES E. Parámetros genéticos de *Pinus patula* en un ensayo de progenies establecido en dos altitudes. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 36 (2): 155-162, México Chihuahua 2013.

NIETO V, IPINZA R & SALAS M. Los árboles y el sexo. Revista del mueble y la madera M&M ed 76 2011 p 18, 24 Colombia 2011.

RESOLUCIÓN 2457 DE 2010. Instituto Colombiano Agropecuario ICA. Diario Oficial No. 47.778 de 22 de Julio de 2010.

PIEDRAHITA E. Taller de capacitación sobre semillas y viveros forestales (Memorias). CORANTIOQUIA Medellín Noviembre de 2007.

MASATOSHI E. & VELEZ G. Results of a pruning trial with *Pinus patula* in Colombia. Smurfit Cartón de Colombia y Cipreses de Colombia S.A Cali – Medellín Colombia 1992.

ANDREW J.R. *Pinus patula* Schiede and Deppe. Patula pine. SO-ITF-SM-54. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 5 p 1992.

NAMKOONG G. Limitations of molecular marker aided selection in forest tree breeding. Can J For. Res. 22. USDA Forest Service and Department of Genetics, North Carolina State University. 1992.

PEREIRA V. G. Resultados de la evaluación parcial de cuatro de los dieciséis ensayos insatados en los estudios de mejoramiento genético de *P. patula* y *C.*

Lusitanica en diez municipios. CORATIOQUIA, Cipreses de Colombia S.A Medellín 1998.

OSORIO. A LUIS. Plantar los bosques del mañana con la mejor genética de hoy: significado económico del reforestador. Primera conferencia anual internacional forestal de ADRA La cadena forestal y su impacto en el desarrollo económico creando riqueza. Silvotecnica, Inverbosques y Núcleos de Madera. Medellín 2014.

BORRALHO, NUNO. Estadística, diseño de ensayos genéticos forestales e introducción a aplicativos de análisis. CONIF Santafé de Bogotá Junio de 2013.