



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

**HEREDABILIDAD EN CARACTERÍSTICAS DE
CRECIMIENTO EN UN ENSAYO DE PROGENIES DE
Tabebuia rosea(BERTOL.) DC. Y UN MÉTODO DE
IMPUTACIÓN**

TESIS

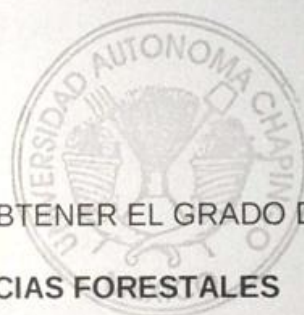
**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES**

PRESENTA:

ÁNGELA GYSELLA LEDESMA ORTIZ

CHAPINGO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

ENERO 2014



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Tesis realizada por **Ángela Gysella Ledesma Ortiz** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

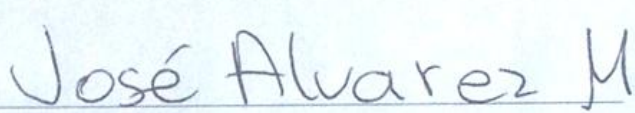
MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:



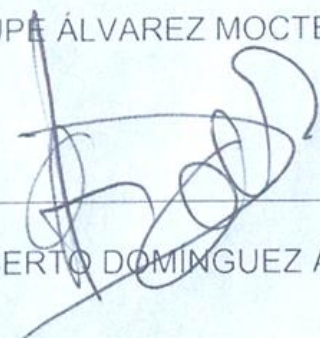
DR. FRANCISCO JOSÉ ZAMUDIO SÁNCHEZ

CODIRECTOR:



DR. JOSÉ GUADALUPE ÁLVAREZ MOCTEZUMA

ASESOR:



M. C. FRANCISCO ALBERTO DOMÍNGUEZ ÁLVAREZ

DEDICATORIA

*A Dios y a mis padres por darme la
vida, brindarme su apoyo y confianza
incondicionales*

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, por todos los conocimientos y oportunidades brindadas que me permiten este gran logro en mi desarrollo profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para realizar estudios de Posgrado.

A la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal—CONIF—, especialmente al Mc. Víctor Manuel Nieto y al Ing. Javier Rodríguez por brindarme acceso a los datos usados en esta investigación.

Al comité asesor; especialmente al Dr. Francisco José Zamudio Sánchez por su guía y continuos consejos.

A los Doctores Juan Burgueño y Jesús Vargas, por sus contribuciones, sugerencias y asesorías.

A todas las personas que de uno u otro modo contribuyeron con la realización de este estudio, en especial a Ernesto Navarro, Antonio Baez e Idalia Zaragoza, por sus contribuciones, amistad y apoyo.

DATOS BIOGRÁFICOS

Ángela Gysella Ledesma Ortiz nació en la ciudad de Villavicencio, capital del departamento del Meta, Colombia, el 01 de octubre de 1986. Sus estudios de nivel básico los realizó en la ciudad de Bogotá D.C. Estudió el nivel medio superior en el colegio “INEM Francisco de Paula Santander” en la misma ciudad de Bogotá. La licenciatura la realizó en la Universidad Francisco José de Caldas, egresó de la carrera de Ingeniero Forestal en el año febrero de 2010.

Después de obtener el título profesional, trabajó en la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF) durante año y medio. Estudió el posgrado en la Universidad Autónoma Chapingo en el Programa de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, de agosto del 2011 a enero del 2014.

CONTENIDO

0.	INTRODUCCIÓN	1
	HIPOTESIS.....;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
	OBJETIVO GENERAL	4
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.	MARCO TEÓRICO.....	6
1.1.	MEJORAMIENTO GENÉTICO FORESTAL (MGF)	6
	POBLACIÓN BASE:	8
	POBLACIÓN SELECCIONADA:	9
	POBLACIÓN DE PRODUCCIÓN:	9
	POBLACIÓN DE MEJORA	10
	IMPORTANCIA, VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL MGF.....	10
	TERMINOLOGÍA EMPLEADA EN EL MGF	11
	PROCEDENCIA	11
	PROGENIE:.....	11
	FAMILIA:.....	11
	ENSAYO DE PROGENIE:.....	11
	EVALUACIÓN DE LA DESCENDENCIA DE CRUZAMIENTOS:.....	12
1.2.	HEREDABILIDAD	12
1.3.	GENERALIDADES DE LA ESPECIE <i>TABEBUIA ROSEA</i> (BERTOL.)	
DC.		15
1.3.1.	DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE	16
	NOMBRES REGIONALES EN MÉXICO	17
	PRECIOS DE LA MADERA.....	22
1.4.	ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN EN <i>T. ROSEA</i>	25
1.4.1.	HEREDABILIDAD EN EL GÉNERO <i>TABEBUIA</i>	35
2.	METODOLOGÍA	39
2.1.	GENERALIDADES DE LOS ENSAYOS.....	39
2.2.	BASE DE DATOS Y VARIABLES EVALUADAS	40
2.2.1.	IMPUTACIÓN	41
	VALIDACIÓN DE LA IMPUTACIÓN	42
2.3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	43
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
3.1.	EXPLORACIÓN DE LAS BASES DE DATOS.....	46

3.2.	SUPERVIVENCIA Y CRECIMIENTO	48
3.3.	IMPUTACIÓN.....	53
3.4.	HEREDABILIDAD MEDIA DE FAMILIA (H^2_F) POR SITIO	56
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
5.	LITERATURA CITADA.....	61
6.	ANEXOS	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Componentes de varianza (REML) para las características de diámetro a la altura del pecho (DAP), altura de planta (AP), el volumen cilíndrico (VC), la forma del tronco (FOR) y la supervivencia para las procedencias Bebedouro y Mogi (modelo 93) y análisis conjunto (modelo 5) de <i>Handroanthus vellosi</i> , a los 24 años de edad, en Luiz Antônio, SP.....	37
Tabla 2.	Población seleccionada de árboles de <i>Tabebuia rosea</i>	40
Tabla 3.	Porcentajes de Mortalidad, datos perdidos y datos imputados de <i>T. rosea</i> en 5 sitios a la edad de 2, 3, 4, 8, 10 años.	47
Tabla 4.	Crecimiento en altura (m) de 24 familias de <i>T. rosea</i> evaluadas en 5 sitios, a los 10 años de edad.	49
Tabla 5.	Crecimiento en diámetro (cm) de 24 familias de <i>T. rosea</i> evaluadas en 5 sitios, a los 10 años de edad	51
Tabla 6.	Promedios generales del altura (m) por familia con y sin imputación	53
Tabla 7.	Promedios generales del DAP (cm) por familia con y sin imputación	53
Tabla 8.	Promedios generales de altura y DAP con y sin imputación por sitio.....	54
Tabla 9.	Varianzas residuales con y sin imputación para cada evaluación realizada.....	55

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Requerimientos ambientales para la especie <i>T. rosea</i>	20
Cuadro 2.	Resultado de evaluaciones de plantaciones de <i>Tabebuia rosea</i> en México y otros países.....	32
Cuadro 3.	Características generales de los sitios donde se establecieron los ensayos de.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo básico de un ciclo completo de mejora genética	8
Figura 2. Crecimiento en altura de 24 familias <i>T. rosea</i> evaluadas en 5 sitios a los 10 años de edad.....	50
Figura 3. Crecimiento en altura de 24 familias <i>T. rosea</i> evaluadas en 5 sitios a los 10 años de edad. (continuación)	50
Figura 4. Crecimiento en diámetro (DAP) de 24 familias <i>T. rosea</i> evaluadas en 5 sitios a los 10 años de edad	52
Figura 5. Crecimiento en diámetro (DAP) de 24 familias <i>T. rosea</i> evaluadas en 5 sitios a los 10 años de edad	53
Figura 8. Heredabilidad promedio por sitio para altura (m) a los 10 años de edad	57
Figura 9. Heredabilidad promedio por sitio para DAP (cm) a los 10 años de edad	57
Figura 8. Heredabilidad promedio para altura (m) a los 10 años de edad con y sin imputación.	58
Figura 9. Heredabilidad promedio para DAP (cm) a los 10 años de edad con y sin imputación.	58

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Comportamiento de altura promedio (m) por sitio por familia en las diferentes edades evaluadas (2, 3, 4, 8 y 10 años de edad) CON y SIN imputación.....	68
Anexo 2. Comportamiento de DAP (cm) promedio por sitio por familia en las diferentes edades evaluadas (2, 3, 4, 8 y 10 años de edad) CON y SIN imputación.....	74
Anexo 3. Crecimiento en altura (m) de 24 familias de <i>T. rosea</i> evaluadas en 5 sitios, a los 10 años de edad, con los datos imputados.	79

Anexo 4. Crecimiento en diámetro (cm) de 24 familias de T. rosea evaluadas en 5
sitios, a los 10 años de edad, con los datos imputados.

.....81

0. INTRODUCCIÓN

Colombia está considerado como un país con vocación forestal ya que, de las 114,174, 800 ha de extensión del país, el 61.5% (70 millones ha) es de vocación forestal, pero sólo un 49% (55 millones ha) se encuentra bajo cobertura de bosques naturales. De ellas, estimaciones de la autoridad nacional en los años 90 indicaron que el 65% de dicha cobertura está en la región Amazónica, 12% en la zona Andina, 13% en la región de la Orinoquia y 10% en la región Pacífico. Del total, tan solo unas 29 millones ha fueron considerados bosques comerciales; esto sin contar que: la pérdida anual de cobertura boscosa entre 1986 y 1996 fue de 91,932 ha y que para el 2001 el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM reportó una tasa de deforestación oficial de 101,000 hectáreas/año (Acosta, 2004; FAO, 2011).

Los bosques naturales continúan como objeto de intensa intervención humana y el volumen de madera que suministran representa de un 70% a 80% de la oferta nacional. La gran mayoría de este porcentaje lo representan aprovechamientos ilegales. Para el caso de las plantaciones forestales comerciales, a finales del 2002 se estimaron tan solo 174,241 ha, de las 4.5 millones de hectáreas que ya están zonificadas como aptas para plantaciones; estas hectáreas plantadas contribuyen al suministro de madera industrial con un 20% de la oferta nacional; el 73% del área plantada es con especies introducidas (pinos y eucaliptos), (Acosta, 2004; Berrío, 2007).

Lo mencionado anteriormente evidencia lo lejana que ese encuentra esta actividad económica frente a su potencial. Las cifras hablan por sí solas; datos de informes del

Ministerio del Medio Ambiente indican para las plantaciones una producción de madera en rollo industrial promedio de 462.000 m³/año para el período 1998 a 2001, con una tendencia decreciente, de 541.000 m³ en 1998 a 392.000 m³ en el 2001. De continuar así, la demanda por esta madera continuará sin posibilidad de ser sustituida por madera de plantaciones (Acosta, 2004; Berrío, 2007; FAO, 2011).

El inadecuado aprovechamiento de los bosques naturales y las plantaciones en Colombia han generado un alto grado de destrucción de los recursos, en especial de la variabilidad genética de las especies. Muchas de las especies nativas disponen de un recurso genético alterado y con un alto nivel de selección disgénica, sesgado hacia la extracción de los mejores individuos del bosque. (Berrío 2007; MADR, 2009)

Por todo lo anterior, se puede inferir una clara necesidad de establecer plantaciones forestales comerciales; y un aspecto importante integrado a esto, es la de generar información sobre el manejo y desarrollo de las mismas, lo cual se puede lograr a través de evaluaciones técnicas para conocer el comportamiento en cuanto a la adaptación, crecimiento y desarrollo de las diferentes especies forestales que sean seleccionadas para tal fin, y así generar la información técnica necesaria para el establecimiento y manejo eficientes de plantaciones forestales comerciales. Para ello se deben considerar las técnicas alternativas necesarias para restaurar el potencial productivo y optimizar el rendimiento, por medio de programas de mejoramiento genético, que incluyen desde la reintroducción de especies en ensayos de progenie–procedencia, a partir de sus zonas naturales, hasta la colección y conservación en bancos de germoplasma del material propagativo de especies (MADR, 2009; Rueda, 2011).

Tabebuia rosea es una especie nativa de alto valor comercial, reportada como especie potencialmente valiosa para la restauración ecológica y la reforestación,

razones que la convierten en especie nativa prioritaria en México y Colombia esto no solo por su apreciada madera, también es considerada como ornamental por su llamativa floración y fructificación, además de su uso medicinal. En Costa Rica la infusión de las flores, hojas o raíces se utiliza como antídoto para las mordeduras de serpientes y contra la fiebre. En El Salvador la utilizan contra la malaria. En México la corteza se utiliza contra el cáncer uterino y las úlceras (Bernal y Correa, 1989; Vázquez, 1999; CENICAFÉ, 2008; Rueda, 2011). Por otro lado, las propiedades mecánicas superan el promedio de la mayoría de especies que tienen una densidad similar. Se puede trabajar en aserrío, molduras, puede taladrarse y tornearse con muy buenos resultados y acabado muy fino. Esta madera también se considera fácil de encolar (CENICAFÉ, 2008).

En América Latina, y en especial en Colombia, la *T. rosea* ha mostrado resultados prometedores en ensayos experimentales de enriquecimiento de rastrojos y en plantaciones mixtas y homogéneas. Sin embargo, las plantaciones homogéneas que se han establecido en zonas de colina en la región Caribe de Colombia, no han dado el rendimiento de madera esperado, debido en su mayoría a problemas derivados de la interacción ambiente-genotipo, la cual se ve expresada en el comportamiento diferencial entre las progenies de diferentes árboles, según el ambiente particular, como cuando los ensayos de evaluación se realizan en varias localidades; además de las características propias de la especie, como es su temprana bifurcación.

Para superar dichas limitaciones es necesario llevar a cabo un mejoramiento genético forestal, el cual se enfoca en el aumento de la calidad de los árboles y su adaptabilidad a cambios ambientales (White et al., 2007) y que estas características puedan transmitirse a la nuevas generaciones y se mantengan en el tiempo, aun a

pesar del ambiente. Parte de la información que se necesita generar para llegar a este mejoramiento es la determinación de la heredabilidad de las especies estudiadas.

Aunque en Colombia existen diversos ensayos con *T. rosea*, los avances han sido escasos y en particular lo relacionado con la heredabilidad ha sido poco estudiado, por lo que su abordaje se convierte en un área importante y necesaria de investigar en el proceso del mejoramiento genético de la especie.

Debido a todo lo anterior, en este trabajo la pregunta de investigación que guió el trabajo fue la siguiente: ¿Cuál es el comportamiento de la heredabilidad de las variables de crecimiento, diámetro a 1.30 m y altura total, de *Tabebuia rosea* en Colombia?

A dicha pregunta se propuso la siguiente hipótesis:

Hipótesis

La heredabilidad en *Tabebuia rosea* la para las variables de crecimiento DAP y AT en las 21 progenies es baja; y ésta se comporta de manera similar en los 5 sitios con diferentes condiciones ambientales.

Para confirmar la hipótesis se busco cumplir con el siguiente objetivo general y sus específicos:

Objetivo General

Evaluar el comportamiento de la heredabilidad de las variables de crecimiento, diámetro a 1.30 m (DAP) y altura total (AT), en 21 progenies seleccionadas de *Tabebuia rosea*, en cinco sitios con diferentes condiciones ambientales en los departamentos de Magdalena y Córdoba, Colombia, para constituir la población base.

Objetivos Específicos

- Realizar los análisis del experimento haciendo uso de una técnica de imputación sugerida y contrastarlo con el resultante sin imputación alguna.
- Estimar el parámetro genético heredabilidad de las variables de crecimiento DAP y AT para cada uno de los ambientes evaluados.
- Identificar los sitios con los valores de heredabilidad más altos.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Mejoramiento Genético Forestal (MGF)

El conocimiento de las causas naturales de la variación y la evolución es la base esencial para poder usar dicha variación en beneficio del ser humano. Las leyes de Mendel aplican de igual forma cuando la naturaleza selecciona al más apto, o cuando el mejorador selecciona para obtener árboles con fustes más rectos (Wellendorf y Ditlevsen, 1992).

Muchos piensan que la manipulación genética es un fenómeno nuevo en la silvicultura y en realidad es “más viejo que el hilo negro” en sus aspectos básicos se ha utilizado desde la época de los romanos (Ipinza, 1998).

El Mejoramiento Genético Forestal (MGF) consiste en el vínculo de la silvicultura y el origen del árbol para obtener las mayores ganancias totales (Zobel y Talbert, 1988); comprende todas aquellas actividades dirigidas a producir árboles genéticamente mas deseables, incluyendo el cruce controlado de individuos con características superiores. Por medio de la selección se busca utilizar los mejores genotipos que se han desarrollado en la naturaleza mediante el cruce controlado de progenitores seleccionados, se trata de producir genotipos nuevos, que combinen además propiedades favorables.

La expresión “mejoramiento genético forestal” generalmente hace pensar en actividades complejas y altamente especializadas, sin embargo, en la práctica es un arte, el mejoramiento forestal solo significa algún grado de ajuste del manejo forestal y de las practicas silvícolas, teniendo en cuenta algunos principios básicos; un arte que se ha

formalizado solo en los últimos 20 años. Hoy se reconoce como parte integrante de la Silvicultura y, de acuerdo con la intensidad con que se aplique, tiene consecuencias económicas excepcionales (Ipinza, 1998; Palmberg, 1987; Zobel y Talbert, 1988).

Las especies forestales difieren en muchos aspectos de los cultivos agrícolas. Por ejemplo, hablando en términos genéticos, los bosques naturales continúan presentando, en gran medida, una interferencia humana muy baja, a pesar de su degradación y de la creciente deforestación, es por esto que los bosques naturales son una enorme fuente de variación genética que debe ser utilizada y conservada.

Según diversos autores (Ipinza, 1998; Zobel y Talbert, 1988; Wright, 1964; White, 1987) los programas de mejoramiento genético pueden exhibir muchas diferencias, producto de distintas estrategias, lo que conlleva a distintas actividades, énfasis, etc. Pero todos ellos representan una estructura en común denominada, “ciclo de mejoramiento” (Figura X). Todos los programas de mejoramiento genético forestal dependen y constan del siguiente proceso:

- ✓ Determinación de las especies, o fuentes geográficas dentro de una especie que deben utilizarse en una determinada área.
- ✓ Selección de poblaciones dentro de especies (subespecies, variedades, razas, procedencias, fuentes semilleras, etcétera, y determinación de la cantidad, tipo y causas de la variabilidad dentro de la especie.
- ✓ Selección de individuos dentro de poblaciones superiores por medio de la reunión de las cualidades deseadas en individuos mejorados para obtener árboles con combinaciones de las características deseadas.

- ✓ Cruzamiento controlado, incluyendo recombinación e hibridación entre especies, poblaciones, progenitores y descendientes seleccionados para la producción a gran escala de los individuos mejorados con fines de reforestación.
- ✓ Desarrollo y mantenimiento de una población con una base genética lo bastante amplia para satisfacer las necesidades de las generaciones avanzadas.

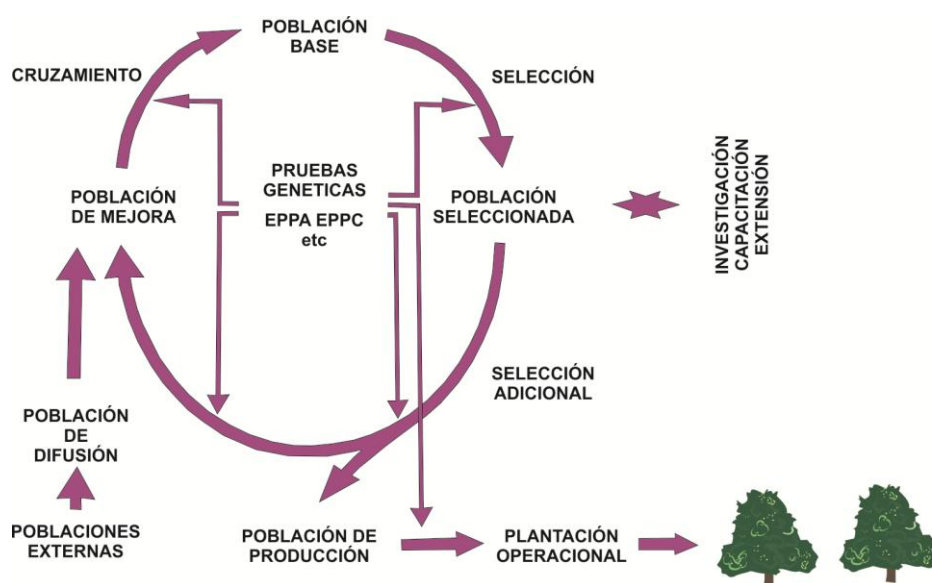


Figura 1. Modelo básico de un ciclo completo de mejora genética

Fuente: Ipinza, 1998

En la Figura 1. Se detalla el ciclo de mejoramiento; las poblaciones tipos en los ciclos de mejoramiento son las siguientes:

Población Base: corresponde a un grupo de individuos a los cuáles se les aplica mejoramiento genético, es la población fundacional. A partir de todos los individuos disponibles para la selección se desarrollará una población mejorada. La unidad o área geográfica para la cual se desarrolla una variedad mejorada, se denomina unidad de

mejora. Cada unidad de mejora tiene un programa de mejora distinto con su propia población.

Una población base de primera generación se encuentra formada por varios millones de individuos y con una inmensa variabilidad genética. Una población base de generación avanzada consiste de árboles mejorados genéticamente y que crecen en ensayos genéticos, además a estos árboles se les conocerá el pedigrí, es decir, su origen geográfico, historia, progenitores y ancestros (Ipinza, 1998).

Población seleccionada: el ciclo de mejora comienza en cada generación con la selección desde la población base de los árboles superiores. En un programa de primera generación la selección es normalmente masal, es decir, a partir de poblaciones no mejoradas (plantaciones de una raza local, renovables y bosques naturales).

La población seleccionada es un subconjunto de la población base, conceptualmente, es una proporción de la población base que es elegida para llevar a cabo el ciclo de mejoramiento. Los individuos seleccionados se transportan, normalmente, a través de injertos o de estacas y se almacenan en bancos clonales. En este lugar se realiza un manejo intensivo de la población para acortar el ciclo generacional y por ende el ciclo de mejoramiento (Ipinza, 1998).

Población de producción: para una generación dada, la población está compuesta por algunos o toda la población seleccionada. La función de la población de producción es producir descendencia genéticamente mejorada para plantaciones operacionales (Ipinza, 1998)

Los huertos semilleros clonales y las áreas de multiplicación clonal y familiar a través de estos constituyen los tipos más usados de población, aunque existan otras alternativas para obtener material para plantaciones operativas (Ipinza, 1998)

Población de Mejora: para una generación determinada algunos o todos los individuos de la población seleccionada se incluyen en la población de mejora. El objetivo de la población de mejora es crear la población base de la siguiente generación. Esto se alcanza al inducir la recombinación de genes entre genotipos superiores, la progenie resultante se establece en pruebas genéticas, una vez que la nueva población base se ha creado, comienza nuevamente un ciclo completo de mejora (Ipinza, 1998).

Importancia, ventajas y limitaciones del MGF

Una de las principales ventajas del mejoramiento genético forestal radica en que una vez que se logra el cambio, puede mantenerse por varias generaciones (Zobel y Talbert, 1988). La cualidad de permanencia de determinado(s) carácter(es) durante varios ciclos los hace importantes desde el punto de vista económico. Otra ventaja es que el material genético obtenido puede mantenerse intacto por un tiempo indefinido a través de los métodos de propagación vegetativa.

En cuanto a las limitaciones, una de las limitaciones es el tamaño de los árboles, porque puede crear dificultades en los procesos de medición, cruza y colecta de semilla; otra gran limitación importante en el MGF es la permanencia de las organizaciones y el desplazamiento de las personas, debido a que el mejoramiento genético forestal es un

proceso a largo plazo y como tal de tener registros permanentes que pasen de una persona a otra.

Terminología empleada en el MGF

Procedencia

Lugar en el cual está creciendo un rodal de árboles o la semilla derivada de estos árboles. Para un rodal indígena la procedencia es a la vez el origen, pero para un rodal no indígena, el origen es el lugar de donde la semilla o las plantas se introdujeron por primera vez (Ladrach, 1980).

PROGENIE: los árboles producidos a partir de la semilla de un árbol progenitor se conoce como su progenie. Las pruebas de progenie se utilizan para determinar el valor genético de los árboles progenitores o para determinar otras características genéticas. Algunas veces, la prueba de los propágulos vegetativos de un determinado donador se conoce como prueba de progenie, pero se denomina por lo común prueba clonal (Zobel y Talbert, 1988).

FAMILIA: los individuos que están más estrechamente emparentados entre sí que con otros individuos de una población se agrupan bajo el término de familia. En general, este término se utiliza para denotar grupos de individuos que tienen uno o ambos progenitores en común (Zobel y Talbert, 1988).

ENSAYO DE PROGENIE: es definido como una prueba para estimar el valor genotípico, de acuerdo con el desempeño de su progenie. Dentro de un programa de mejoramiento, cumplen varias funciones: eliminar individuos de bajo valor genético, conocer el valor relativo de los miembros de la población de producción

para elegir la mejor semilla para sitios específicos, subir la calidad de los integrantes de la población de mejora, mejorar la eficiencia del diseño de cruzamientos, mejorar la eficiencia de la selección de futuras poblaciones bases (Ipinza, 1998).

EVALUACIÓN DE LA DESCENDENCIA DE CRUZAMIENTOS: Después de completar el cruzamiento entre los miembros de la población de mejora, la progenie se planta en terreno para evaluar qué árboles específicos parecen ser superiores. Estas pruebas genéticas constituyen la población base para iniciar un nuevo ciclo de selección y mejoramiento (Ipinza, 1998).

1.2. Heredabilidad

Conocer en la población para un cierto carácter, cuánto de la variación observada es explicada por diferencias hereditarias y cuánto por diferencias ambientales está en lo que se denomina heredabilidad; era ya una preocupación de los biólogos del siglo pasado, pero fue Johannsen en 1903, quien por primera vez con su diferenciación clásica entre fluctuaciones ambientales y fluctuaciones hereditarias, en su libro “Erblichkeit in Populationen und in reinen Linien” despejó la incógnita al usar, para tal fin, algo muy aproximado a lo que hoy se conoce como “heredabilidad en sentido amplio”; y no fue, sino hasta 1936 que Lush (1945), introdujo el concepto moderno de lo que hoy se conoce como “heredabilidad en sentido restringido” (Molina, 1992).

La heredabilidad de un carácter métrico es una de las propiedades más importantes. Con ella se expresa, como hemos visto, la proporción de la varianza total debida a las

diferencias en las características mejoradas, que son las que determinan el parecido entre parientes (Falconer, 2006).

Uno de los aspectos más destacables de la heredabilidad es su función predictiva, puesto que representa el grado en que el valor fenotípico proporciona una indicación fiable del valor mejorante. Los valores fenotípicos individuales son los únicos que pueden evaluarse directamente, pero su influencia en la generación siguiente está determinada por el valor mejorante. Por tanto, cuando el mejorador o el experimentador escogen a los futuros padres de acuerdo con sus valores fenotípicos, su éxito, a la hora de modificar las características de la población, sólo puede predecirse a partir del conocimiento de la correspondencia entre valores fenotípicos y mejorantes. Esta correspondencia es lo que mide la heredabilidad. La heredabilidad se define como el cociente entre la varianza genética aditiva y la varianza fenotípica (Falconer, 2006):

$$h^2 = \frac{V_A}{V_P}$$

En un rodal, la importancia relativa del efecto de las diferencias genéticas sobre las diferencias fenotípicas entre los árboles es medida a través de la heredabilidad en sentido amplio (H^2), la cual es aprovechada y se utiliza en la propagación clonal. Cuando la propagación es sexual normalmente se utiliza el efecto genético promedio del árbol, sobre su descendencia, por lo que en el cálculo de la ganancia se usa la heredabilidad en sentido estricto (h^2). Ambas heredabilidades se definen en seguida (Ipinza, 1998; Molina, 1992).

La heredabilidad en el sentido amplio (Ipinza, 1998; Molina, 1992; Falconer, 2006) es la relación entre la varianza genotípica (σ_G^2) y la varianza fenotípica (σ_P^2); la cual

representa la parte porcentual de la varianza fenotípica u observada atribuible a los efectos totales de los genes de una población. Se expresa de la siguiente manera:

$$H^2 = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_P^2}$$

La heredabilidad en el sentido estricto (Ipinza, 1998; Molina, 1992; Falconer, 2006), es la relación entre la varianza genética aditiva (σ_A^2) y la varianza fenotípica (σ_P^2); la cual representa la parte porcentual de la varianza fenotípica atribuible a los efectos aditivos de los genes en la población:

$$h^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_P^2}$$

El significado de h^2 también se puede expresar como la pendiente de la regresión entre el valor fenotípico promedio de los padres y el valor de la descendencia.

Si cada hembra se cruza con una muestra aleatoria de machos, se puede estimar que la pendiente de la regresión entre el valor fenotípico de las hembras y el de sus hijos, es la mitad de la heredabilidad en sentido estricto ($0.5h^2$). La descendencia de árboles individuales en condiciones de polinización abierta en un rodal, puede representar la situación antes descrita, siempre y cuando exista aleatoriedad en los cruces de los miembros de la población. (Jara, 1995)

La heredabilidad se puede interpretar como la pendiente de la regresión entre el valor fenotípico y genotípico (en el sentido amplio); y entre el valor fenotípico y el valor de cruce (en el sentido estricto).

1.3. Generalidades de la Especie *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC.

En Colombia esta especie está distribuida en áreas de clima cálido y medio, desde el nivel del mar hasta los 1,500 m, e incluso hasta los 1,700 m.

Puede encontrarse próxima a corrientes de agua o sobre suelos húmedos, pantanosos o anegados, y no es común observarla en sitios con baja retención de humedad ni con pendientes superiores al 75%. Se adapta bien en zonas con precipitación anual entre 1,100 y 3,000 mm, con un período seco marcado hasta de 3 meses, y un rango de temperatura anual entre 20 y 27°C; no tolera temperaturas por debajo de 16°C. Es una especie que exige luz desde temprana edad. El guayacán rosado logra su mejor desarrollo en suelos con texturas francas a franco-arcillosas, y tolera inundaciones ocasionales.

La madera es moderadamente dura y pesada, con una densidad básica que oscila entre 0,48 y 0,65 g/cm³. Posee una durabilidad natural alta a moderada, de fácil secado, fácil de trabajar y con baja respuesta a la impregnación con tratamientos de preservación. La albura es blanco-amarillenta a marrón pálido con vetas oscuras, el duramen es castaño oscuro y una vez seco al aire se torna amarillo-rojizo con vetas marrones. Posee un veteado pronunciado en arcos superpuestos con bandas oscuras, satinado por el contraste de los radios.

El guayacán rosado posee algunas características biológicas que pueden confundirse con problemas fitosanitarios causados por un insecto plaga o un patógeno. El guayacán se defolia dos veces al año antes de la floración, y en este proceso las hojas antes de caer se tornan amarillentas. Igualmente en el árbol es común observar varios ejes de ramificación, lo que da la impresión de varios tallos, pero con dominancia de uno de

ellos, además algunos factores abióticos también pueden propiciar bifurcaciones tempranas indeseables como el perder el meristemo apical por la acción del sol.

1.3.1. Descripción De La Especie

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Scrophulariales

Familia: Bignoniaceae

Género: *Tabebuia*

Especie: *rosea*

Sinónimos, (Trópicos, 2014 y Conabio, 20013a).

Tabebuia pentaphylla (L.) Hemsl.

Tabebuia heterophylla (A. DC.) Britt.

Tabebuia mexicana (Mart. ex A. DC.) Hemsl.

Tabebuia pallida Miers.

Tabebuia leucoxylon var. *pentaphylla* Bur. et K. Schumm.

Tabebuia punctatissima (Krentzl.) Standl.

Tecoma rosea (Bertol.) DC.

Tecoma mexicana Mart. ex A. DC.,

Tecoma pentaphylla Juss.

Tecoma punctatissima Krentzl.

Tecoma evenia Don.-Sm.

Bignonia pentaphylla L.

NOMBRES REGIONALES EN MÉXICO

Según CONABIO, 2013a; algunos de los nombres comunes para *T. rosea* en México son: Amapola, Maculís, Palo de rosa, Rosa morada (Rep. Mex.); Maculís, macuilis (Tab., Chis.); Cul (l. huasteca, S.L.P.); Macuelis de bajo (Lacandona, Chis.); Hok'ab, Kok'ab (l. maya, Yuc.); Li-ma-ña (L. chinanteca, Oax.); Yaxté (l. tojolabal, Chis.); Roble, Roble blanco (Oax., Gro., S.L.P.); Amapa rosa (Nay.); Amapola (Sin.); Rosa morada (Camp., Qroo.); Maculishuate, Palo blanco, Tural (Chis.); Nocoque, Cacahua, Icotl (S.L.P.); Palo yugo, Primavera (Sin.); Roble prieto (Oax.); Satanicua (Gro.)

NOMBRES REGIONALES EN COLOMBIA

Guayacán, guayacán rosado, guayacán lila (Antioquia, Caldas, Quindío, Risaralda), flor morado (Cundinamarca), ocobo (Tolima, Huila), guayacán morado, ocobo (Valle del Cauca), roble (Córdoba, Sucre, Magdalena, Bolívar, Magdalena medio), garza (Nariño), roso (Santander y Norte de Santander), (MADR, 2009; CENICAFÉ. 2008).

DESCRIPCIÓN BOTÁNICA (CONABIO, 2013a)

Forma. Árbol caducifolio, de 15 a 25 m (hasta 30 m) de altura, con un diámetro a la altura del pecho de hasta 1 m.

Copa/Hojas. Copa estratificada, convexa. Hojas decusadas, digitado compuestas, de 10 a 35 cm de largo, incluyendo el pecíolo; folíolos 5, los dos inferiores más pequeños, el terminal más grande, lanceolados o elípticos, con el margen entero.

Tronco/Ramas. La especie decepciona en su fase inicial de crecimiento por su ramificación dicotómica que augura un tronco mal formado. Eventualmente el árbol llega a formar un excelente fuste sobre todo si hay sombra lateral de la misma especie o

de un árbol nodriza. Tronco derecho, a veces ligeramente acanalado. Ramificación simpódica.

Corteza. Externa fisurada y suberificada, de aspecto compacto, con las fisuras longitudinales más o menos superficiales que se entrelazan formando un retículo; color café grisáceo oscuro a amarillento. Interna de color claro a crema rosado, fibrosa, con sabor amargo a agridulce. Grosor total: 16 a 30 mm.

Flor(es). Panículas cortas con las ramas cimosas, axilares, hasta de 15 cm de largo, escamosas; cáliz blanco verdoso, tubular, de 2 a 2.5 cm de largo; corola de 7 a 10 cm de largo, tubular en la base y expandida en la parte superior en un limbo bilabiado; tubo de la corola de color blanco; lóbulos color lila a rosado pálido o púrpura rojizo.

Fruto(s). Cápsulas estrechas de 22 a 38 cm de largo por 0.9 a 1.5 cm de ancho, lisas, con 2 suturas laterales, péndulas, pardo oscuras, cubiertas por numerosas escamas, con el cáliz persistente; conteniendo numerosas semillas.

Sexualidad. Hermafrodita.

SEMILLA

Semillas aladas y delgadas, blanquecinas, de 2 a 3 cm de largo, las alas hialino-membráceas, conspicuamente demarcadas del cuerpo de la semilla.

Germinación. Especie de rápida velocidad de germinación. Se inicia a los 7 días y se completa a los 27 días, obteniéndose un 75% de germinación a los 12 días.

Porcentaje de germinación: 80 % (sin pre-tratamiento).

Número de semillas por kilogramo: 35,000 a 50,000.

FENOLOGIA

Follaje. Caducifolio. Los árboles tiran las hojas de marzo a junio (temporada seca).

Floración. Florece de febrero a junio. En Chamela, Jalisco florece de marzo a mayo.

Fructificación. Los frutos maduran desde marzo hasta junio.

ORIGEN/EXTENSION

Se extiende del sur de México al norte de Venezuela y el oeste de los Andes hasta las costas de Ecuador. Presente en las Antillas (CONABIO, 2013a).

Mahecha (1983) reporta a la especie *T. rosea* propia de América tropical y de amplia distribución. Se encuentra naturalmente en el sur de México, Centroamérica, Antillas, norte del Perú, Venezuela y Ecuador. En Colombia es considerada especie nativa que crece desde el nivel del mar hasta los 1.900 metros, desarrollándose en sitios inundables del medio y bajo Magdalena y también en la zona cafetalera de la región Andina.

En Colombia se reportan cultivos de roble en muchas regiones del país como la Costa Atlántica en los departamentos de Córdoba, Magdalena, Atlántico, la Guajira y Sucre. En la región Andina crece en los departamentos del Viejo Caldas, Cundinamarca, Santander, Antioquia, Tolima, Huila y Valle (MADR, 2009).

ECOLOGÍA- HABITAT

Las especies del género *Tabebuia* son consideradas como pioneras, por lo cual presentan características heliófitas y semi-heliófitas (MADR, 2009).

Se adapta a climas cálidos húmedos y subhúmedos, es altamente demandante de luz y de día largo. Se desarrolla en un rango altitudinal que va desde los 100 a 1000 m. (Webb,

1980); sin embargo, también se puede desarrollar adecuadamente bien desde el nivel del mar (Geilfus, 1989).

Las temperaturas máximas promedio en las que se ha registrado oscilan entre los 23 a 30°C, y las mínimas promedio entre los 17 y 22°C (Webb, 1980 y SEDER, 1995). Requiere precipitaciones anuales entre los 1,250 a 2,500 mm (Webb, 1980), pero también puede desarrollarse en precipitaciones mínimas de 700 mm y máximas de hasta 3000 mm (SEDER, 1995).

Es una especie que se adapta a suelos con textura arenosa o franco-arenosa, con *pH* alcalino, neutro o ácido y puede tolerar inundaciones breves (Webb, 1980). Se presenta indiferentemente en suelos de origen calizo, ígneos o aluviales, pero requiere un buen drenaje; alcanza sus mejores desarrollos en los estados de Tabasco, Campeche y Chiapas (Pennington y Sarukhán, 1968).

En el cuadro 1 se resumen los requerimientos ambientales de *Tabebuia rosea*

Cuadro 1. Requerimientos ambientales para la especie *T. rosea*.

CLIMA Y SUELOS				DÓNDE CRECE MEJOR	FACTORES LIMITANTES
Precipitación mm/año	1,200 a 2,500	Suelos	Arcillo arenosos y aluviales	El mejor crecimiento ocurre en sitios bajos, en regiones con temperatura superior a 25°C, precipitación alta y suelos aluviales	Requiere luz para crecer y un período seco para iniciar floración. Puede tolerar suelos franco arcillosos, pobres, ácidos e infértiles, pero no muestra buen crecimiento
Período seco	0-6 meses	Textura	Liviana media		
Altitud	0-1,800 msnm	pH	Tolera suelos ácidos a neutros		
T. max. media	25-30°C	Drenaje	Prefiere libre drenaje, aunque tolera inundación		
T. min. media	17-22°C				
T. media anual	19-27°C				

Fuente: Acero (1985)

ASOCIACIONES AGROFORESTALES

El guayacán puede establecerse en asociación con cultivos transitorios como maíz, con cultivos anuales como yuca y con cultivos semipermanentes como banano o plátano, los cuales deben rotarse con períodos de descanso del lote (rastrojo), con el fin de ayudar al árbol a reducir la bifurcación y mejorar la forma. Las distancias de siembra pueden ser 3 x 3 m, 4 x 4 m, y 5 x 5 m, intercalando los cultivos entre los árboles. Bajo esta modalidad las labores de manejo de los cultivos favorecen el desarrollo de los árboles (CENICAFÉ, 2008).

PLAGAS Y ENFERMEDADES

Plagas asociadas al guayacán rosado en su fase de vivero

Perforadores de la hoja del roble, el pegador de hojas del roble, el perforador del roble, saltador de hojas y roedor de follaje y tallo; plagas en *T. rosea*, cuando se desarrolla en forma individual o en pequeños grupos lorito o saltahojas del guayacán rosado (CONIF, 1997a).

Enfermedades asociadas a *T. rosea* en su fase de vivero

Nematodos noduladores de la raíz, mal del tallito en germinadores de guayacán rosado (CONIF, 1997).

Enfermedades asociadas a *T. rosea* en plantaciones establecidas en el campo

La roya del guayacán, mancha foliar, el secamiento de la hoja del roble, mancha rojiza (CONIF, 1997).

CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO

Se considera que el *T. rosea* es una especie de mediano crecimiento; se estima un rendimiento anual que varía entre 18 y 20 m³/ha/año, esperando un aprovechamiento final de 170 m³/ha. (MADR, 2009)

Para un turno de 20 años para madera de aserrío se espera un rendimiento de 338.7 m³/ha/año. En forma hipotética, Del Valle, 1985, reporta un rendimiento aceptable de 210 m³/ha/año para cosecha final en 25 años, rendimiento que se puede aumentar cerca de los 380 m³/ha/año teniendo en cuenta las entresacas. CENICAFÉ, 2008 y CONIF, 1998); reportan que Reforestadora de la Costa -Refocosta reportó en sus plantaciones un crecimiento medio anual de 5 m³/ha/año, valor que pudo deberse principalmente porque: las plantaciones que establecieron fueron bajo un sistema silvopastoril, lo cual reduce la densidad de siembra; y porque estas plantaciones exhibieron algunos problemas de bifurcación en su fuste principal por la acción de un insecto.

Según CENICAFÉ (2008); cada año se aprovechan de 10 a 15 árboles, de 20 años de edad aproximadamente, con un promedio de producción de 800 pulgadas cuadradas comerciales (0,001935 m³) ó 10 rastras (50 piezas de 10 cm x 10 cm x 3 m de largo),

PRECIOS DE LA MADERA

Se considera un precio del metro cúbico de madera aserrada en finca de \$74.35 USD y \$38.5USD para madera de menor calidad para el año 1998 (CONIF, 1998).

Una pieza (10 cm x 10 cm x 3 m) en los depósitos de madera de Bogotá cuesta \$23.1 USD, y la madera es vendida a las fábricas de enchapes en Bogotá (CENICAFÉ, 2008).

Un árbol de roble en pie de 15 años se puede comprar en \$25.6 USD, pero si se corta y procesa puede valer \$102.5 USD, y si se asierra y hacen 10 bancos puede valer \$205.1 USD y así sucesivamente, hasta que se lleva a muebles, el valor se incrementa considerablemente; luego, la consigna deberá ser, concebir y planificar el negocio de la reforestación como una cadena forestal productiva para sacarle el mayor beneficio posible en cuanto a rentabilidad y generación de empleo (Navas, 1988).

USOS

La madera puede secarse al aire relativamente rápido, posee pocos o ningún defecto de agrietamiento y sólo presenta ligeros problemas de torceduras. Es muy apreciada en ebanistería por su buena estabilidad dimensional, el buen acabado final y un color natural. Las propiedades mecánicas superan el promedio de la mayoría de especies que tienen una densidad similar.

El duramen, en general, se considera resistente al ataque de hongos, y se reporta que la madera más oscura y pesada es más resistente que aquella más clara y liviana (CENICAFÉ, 2008).

OTROS USOS NO MADERABLES

En Costa Rica la infusión de las flores, hojas o raíces se utiliza como antídoto para las mordeduras de serpientes y contra la fiebre (CENICAFÉ, 2008).

PLANTACIONES DE *T. rosea* EN COLOMBIA

Las plantaciones forestales de roble con fines industriales se encuentran concentradas en las áreas de influencia de la industria de pulpa y madera de construcción en los departamentos de Quindío, Risaralda, Caldas, Antioquia, Córdoba y Magdalena. Según el IDEAM (2007) para el 2004, el área reforestada con roble era de 6,617.41 ha. En el 2008, según información suministrada por la Cadena Forestal de Córdoba, la superficie plantada en el departamento con *T. rosea* fue de 16,354.08 ha, indicador de la acogida de la especie por parte de los pequeños productores (MADR, 2009).

El Magdalena es el segundo departamento de la Costa Atlántica con mayor superficie plantada con roble, según el DANE–SISAC (2006a), en el 2005 el área con *T. rosea* fue de 1,358.6 ha, que representa el 6% de área plantada en el departamento. Para este mismo año, en la zona de Antioquia el área plantada era de 2,217.9 ha, correspondiente al 5.5% del área total reforestada (DANE–SISAC, 2006b).

Aunque para el 2010 no existen estadísticas exactas de la superficie plantada con el roble, se estima que supera las 20,000 hectáreas, distribuidas principalmente en la región Cafetera (Caldas, Risaralda, Quindío, la región nor-oriental del departamento de Valle del Cauca, toda la región del suroeste de Antioquia y el nor-occidente del Tolima.)y la Costa Atlántica. (MADR, 2009)

Como población base para la obtención de modelos de crecimiento y rendimiento para *T. rosea* se dispone de plantaciones establecidas por CENICAFÉ en los municipios de Pueblo Bello (Cesar), Floridablanca (Santander), Fredonia (Antioquia), Chinchiná (Caldas) y Líbano (Tolima); otras en los municipios de San Antero (Córdoba)

establecidas por la empresa Reforestadora Palermo en asociación con CONIF® y otras de propietarios particulares en las fincas Guayaquil, Santa Helena, Guacharacal, Campo Bello, Brasilia, Rollo Arena, Comején y hacienda San José, en el municipio de Montería (Córdoba), y la finca Villa Blanca, ubicada en el municipio de Palmito (Sucre).

1.4. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN EN *T. rosea*

Jorge Ignacio Del Valle Arango. 1985. Crecimiento del roble (*Tabebuia rosea* y del cedro (*Cedrela odorata*) en la región de Uraba, Antioquia. Trabajo de promoción presentado para optar al escalafón de Profesor Titular. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía Medellín.

En esta investigación se estudia el crecimiento de regeneraciones naturales coetáneas de cedro (*Cedrela odorata*) y de roble (*Tabebuia rosea*) en la región de Urabá, Antioquia, empleando el método de los tiempos de paso.

En el caso del roble se establecieron, en junio de 1980, diez parcelas permanentes, las cuales se remidieron en junio de 1982. Se utilizó además información de tres parcelas de edad conocida para el crecimiento inicial. En total se alcanzaron a medir en las dos fechas 638 arboles

Se prevé para el roble una producción final de 210 m³/ha a los 25 años, representada en 165 árboles de 45.5 cm de diámetro promedio. La producción final, incluyendo las entresacas, se estima en 379 m³/ha.

Rolando Galán Larrea, Héctor Manuel de los Santos Posadas, y Juan Ignacio Valdez Hernández. 2008. Crecimiento y rendimiento de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-*

smithii Rose en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. *Madera y Bosques* 14(2), 2008:65-82.

Se construyó un Sistema de Crecimiento Maderable (SCM) de tipo explícito a partir de datos de sitios con remediciones de *Cedrela odorata* (cedro rojo) y *Tabebuia donnell-smithii* (primavera) en la región de la costa oaxaqueña. Como primera fase del SCM se construyeron modelos de volumen total y comercial por árbol con base en datos de volumen obtenidos mediante métodos no destructivos. Los datos de las parcelas se ajustaron a un SCM explícito, a través de regresión aparentemente no correlacionada para lograr compatibilidad total entre componentes de predicción y proyección.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal, CONIF. 1998. Plan estratégico para el mejoramiento genético de *Cordia alliodora* y *Tabebuia rosea* en Colombia. Serie de documentación No. 29. Santa Fe de Bogotá. 40 p.

El plan estratégico de mejoramiento genético para *Cordia alliodora* y *Tabebuia rosea* propone un método de mejoramiento basado en un ciclo de selección recurrente. El plan de trabajo se desarrolla en un horizonte de diez años, con el establecimiento de poblaciones de producción basado en semillas y propagación vegetativa.

El proyecto se inicia con la formalización de una Cooperativa de Mejoramiento Genético para Colombia. El otro hito importante es la creación de la población de mejoramiento para aumentar las ganancias genéticas en el mediano y largo plazo, ésta se iniciará con la colecta y establecimiento de semilla de los árboles plus seleccionados para el proyecto.

En cuanto a los recursos genéticos de *Tabebuia rosea*.; se puede decir que: la superficie es de 1,487 hectáreas; esta especie tiene muy pocas áreas plantadas como plantación pura; la superficie total de fuentes semilleras asciende a 83.5 hectáreas.

Del estado actual los ensayos que fueron establecidos con estas dos especies, concluyen que en la actualidad no existe ninguno; a excepción del ensayo en la Estación La Espriella de CONIF

Los antecedentes de la última encuesta nacional realizada por CONIF, establece que la demanda media anual es de 292 kilogramos para *Cordia* y 229 kilogramos para *Tabebuia*.

Objetivo de Mejora

Maximizar la producción de volumen de aserrío a una determinada edad, a un costo razonable y generando o manteniendo una variabilidad genética que permita obtener ganancias en las futuras generaciones de mejora.

El plan estratégico se ha formulado siguiendo el método de mejora "Selección recurrente para la aptitud combinatoria general". Formar huertos semilleros clonales; esbozar un aprovechamiento clonal a través del enraizamiento de estacas; instrumentar el primer ciclo de mejoramiento genético que aumente los recursos genéticos disponibles de ambas especies en el largo plazo.

La población de mejoramiento inicial se estructurará en 25 sub-líneas, cinco para cada zona de mejora.

El plan operativo del programa estratégico de mejoramiento genético ha sido diseñado para ser ejecutado en 10 años.

La inversión total en los diez años para el programa genético de *Cordia alliodora* y

Tabebuia rosea es de \$2,207.2 millones de pesos de 1998.

La tasa de rentabilidad del programa genético, teniendo en cuenta el flujo de gastos y de ingresos después de impuestos, se estima en 14.2% real. En el caso de la producción de huerto semillero, la tasa interna de retorno (TIR) se estima en 12.3% y para la producción con clones en 16.3%.

Rodríguez R, J. y L. E. Vega G. (Ed). 2009. *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC., especie forestal promisoría en Colombia: estado del conocimiento. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Corporación Nacional de Investigación Forestal-CONIF[®]. Bogotá, Colombia.

En Colombia los avances de mejoramiento genético con el roble han sido escasos. En anteriores años algunas entidades trabajaron en el establecimiento y cosecha de huertos semilleros con esta especie, esfuerzos que no lograron cumplir su objetivo, debido a factores como la falta de continuidad para el manejo, la invasión por animales y personas ajenas a los ensayos y la alta mortalidad natural de los ensayos, entre otros.

Dicho tema lo retomó el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural a través del Programa de Oferta Agropecuaria (Proagro) bajo permanente coordinación de CONIF[®].

En su inicio el programa de mejora genética, que adelantó CONIF[®], estructuró un Plan Estratégico de Mejoramiento Genético para el roble, el cual fue la base metodológica y operativa para la mejora genética

Los resultados surgen de la última medición realizada a los 8 años de edad (año 2009), utilizando parcelas de un árbol por progenie y 24 repeticiones en un arreglo en bloques al azar:

Altura total: Evaluada en 6 sitios de la Costa Atlántica, la progenie 10 muestra buen comportamiento en todos los sitios, alcanzando un promedio en altura total de 9.29 m, superior a la media familiar de todas las progenies evaluadas.

La interacción de la progenie y el sitio fue significativa, indicando que el crecimiento en altura cambia con relación al sitio. El ambiente (sitio) más favorable para el crecimiento del roble se obtuvo en Mocarí (Montería) con una expresión media en altura de 9.15 m, seguido por Canalete con una media de 8.98 m a los 8 años de edad.

Diámetro: La progenie 10, al igual que la altura, mostró mayor crecimiento en diámetro en todos los sitios, con una media familiar de 13.09 cm. El mayor crecimiento promedio por sitio se obtuvo en Planeta Rica (12.46 cm), ya que no todas las progenies se comportan igual en todos los sitios.

Bifurcación Es de resaltar que el 100% de los árboles de todas las progenies presentaron bifurcación, las diferencias se encontraron en la altura a la que se bifurcan los árboles. En Planeta Rica la altura de bifurcación varió de 4.25 m a 6 m, en las progenies 26 y 9, respectivamente, con una media de 5.18 m, siendo el valor más alto de la altura de bifurcación. Se observa una alta interacción entre la altura de bifurcación y los sitios, esto no es deseable puesto que para cada sitio habría que utilizar semilla de una progenie específica.

Sobrevivencia La sobrevivencia fue generalmente buena, aún en los peores sitios. Se observa una leve influencia del sitio sobre la mortalidad de los árboles.

Conclusiones

El máximo crecimiento en altura para el roble se logra mediante la selección adecuada de sitios, aplicación de buenas prácticas silvícolas y el uso de germoplasma de la mejor calidad posible.

El manejo silvícola es un factor importante, por ejemplo, la densidad de siembra y la frecuencia e intensidad de las entresacas afecta significativamente el crecimiento en diámetro.

Es evidente que la calidad de los sitios influye significativamente sobre la altura de la primera bifurcación de los árboles, sin embargo, la bifurcación en el 100% de los árboles indica que esta característica es intrínseca (genética) a la especie.

Los objetivos principales de la investigación para el mejoramiento de árboles en Colombia deben ser la conservación del germoplasma, tanto en las poblaciones naturales como en los bancos genéticos, el aumento de la calidad y la cantidad de plantaciones comerciales y el mejoramiento de los productos finales.

Rueda S., A.; J. Benavides S.; E. A. Rubio C.; J. T. Sáenz R.; J. Á. Prieto R. y A. Molina C. 2011. Evaluación de plantaciones forestales comerciales de *Tabebuia rosea* en el estado de Jalisco. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto técnico Núm. 12. México, D. F. 64 p.

En el occidente de México el aprovechamiento forestal de *T. rosea* se hace principalmente a través de la extracción de selvas medianas sub-caducifolias, lamentablemente su regeneración natural es escasa, y esto es uno de los principales problemas que enfrenta la especie.

En el presente trabajo se evaluaron tres plantaciones comerciales de *Tabebuia rosea* (rosa morada) en el estado de Jalisco, con el propósito de conocer la adaptación, crecimiento, desarrollo, incremento y producción en volumen, para contribuir al conocimiento sobre plantaciones forestales comerciales en la entidad, información que será de gran relevancia para la toma de decisiones de autoridades y técnicos profesionales así como los productores interesados en el ramo.

Acerca de los resultados de evaluaciones preliminares de plantaciones de *Tabebuia rosea* en México y otros países se encontró que: en relación a la supervivencia de las plantaciones en Colima, México, se presentaron supervivencias de 32, 68 y 100%, en Jalisco se observó una adaptación más homogénea con valores de 81, 86 y 98%, en Honduras y Costa Rica se presentaron valores de 88 y 89% respectivamente. En cuanto al diámetro y altura, los estados de Jalisco y Colima, a edades de tres años, exhibieron diámetros de 6.8 y 2.5 cm, y alturas de 4.9 y 1.2 m, respectivamente; en Costa Rica, una plantación de cinco años de edad presentó diámetro y altura promedios de 6.7 cm y 5.5 m, en otra plantación de siete años en Talamanca, el diámetro y altura fueron de 13 cm y 1.1 m, respectivamente; en Puerto Rico, a los 14 años de edad se reportó un diámetro de 13.0 cm y una altura de 14.0 m; en Colombia, una plantación de 25 años de edad, presentó un diámetro de 46.0 cm. Ver cuadro 2

Con relación a los incrementos medios anuales en diámetro, tanto en México como en otros países, el mayor incremento fue para una plantación en el estado de Jalisco con 2.26 cm, a la edad de tres años, y el menor incremento fue para una plantación de cuatro años en el estado de Colima con 0.57 cm. Ver cuadro 2

Una plantación en Costa Rica, de cinco años de edad, reportó un crecimiento en área basal de 4.37 m²/ha. Ver cuadro 2

Cuadro 2. Resultado de evaluaciones de plantaciones de *Tabebuia rosea* en México y otros países.

Lugar de la plantación	Edad (años)	S (%)	DN (cm)	IMAD (m)	Altura (m)	IMAA (m)	Autor
Panamá	1	-	-	-	2.1	-	Cordero <i>et al.</i> , 2003
Panamá	1.6	-	-	-	0.6	-	Cordero <i>et al.</i> , 2003
Tecomán, Colima*	3.0	68	2.5	0.83	12	0.40	Villa <i>et al.</i> , 1996
La Huerta, Jalisco*	3.0	86	6.8	2.26	4.9	1.60	Espinoza y Talavera, 1998
El Tanque, Jalisco	4.0	100	2.3	0.57	2.0	0.51	Orozco <i>et al.</i> , 2010
Costa Rica	5.0	-	6.7	1.34	5.5	-	Buttlefield y Espinoza, 1995
Guatemala	5.0	-	-	-	-	0.50	Cordero <i>et al.</i> , 2003
Talamanca, Costa Rica	7.0	89	13	1.8	1.1	0.16	Salazar, 1997
La Huerta, Jalisco*	11.0	81	16	1.45	12	1.09	Benavides <i>et al.</i> , 2009
Tecomán, Colima*	12.0	32	17.8	1.48	8.5	0.71	Forte, 2005
La Huerta, Jalisco*	13.0	98	22.3	1.72	12.8	0.98	Distancia, 2008
Puerto Rico	14.0	-	13.0	-	14	1	Cordero <i>et al.</i> , 2003
Colombia	25	-	46	1.84	-	-	Cordero <i>et al.</i> , 2003
Honduras	-	88	-	0.90	-	0.60	Cordero <i>et al.</i> , 2003

*Plantación experimental. S=supervivencia; DN= diámetro normal; IMAD= incremento medio anual; IMAA= incremento medio anual en altura

Área de estudio

Las plantaciones forestales evaluadas se localizan en el municipio de Pihuamo, Jalisco. El municipio se ubica al sur del estado, entre las coordenadas 18° 57' 30" a Latitud N 19° 23' 30" y Longitud W 103° 10' 00" a 103° 32' 05", a una altitud de 773 m, colinda al norte con los municipios de Tecalitlán y Tuxpan, al sur con el estado de Michoacán, al

oriente con el municipio de Tecalitlán y al poniente con el municipio de Tonila y el estado de Colima.

Se evaluaron tres plantaciones forestales comerciales a los cuatro años de edad, ubicadas en el predio El Tule, municipio de Pihuamo, Jalisco. Dos plantaciones se establecieron sólo con la especie *T. rosea* (módulos uno y tres) y otra es una plantación mixta compuesta por *T. rosea* y *Roseodendron donnell-smithii* (módulo dos).

El módulo uno se localiza en las coordenadas 19°20'11.3" Latitud N y 103°23'18.2" Longitud W, los sitios de muestreo se ubicaron en altitudes entre los 750 a 780 m, con diferentes exposiciones, predominando las exposiciones noreste, con pendientes de 0 a 12%, es decir, en terrenos ligeramente inclinados. El módulo dos se localiza en las coordenadas 19°20'02.4" N y 103°23'29.5" W, los sitios de muestreo se ubicaron en altitudes de 780 a 800 m, con exposición noroeste y pendientes de 2 a 4%, en terrenos ligeramente inclinados. El tercer módulo se ubica en las coordenadas 19°19'55.2" N y 103°23'29.8" W, los sitios de muestreo se localizaron en altitudes entre los 790 a 800 m, con exposición noreste y pendientes de 10%, en terrenos inclinados.

Las tres plantaciones se establecieron mediante el método rectangular con espaciamientos de 4 x 2 m, con densidades de 1,250 árboles por hectárea.

Conclusiones del estudio

La supervivencia fue de 94% en los módulos dos y tres; y 60% en el módulo uno; los diámetros e IMAD que presentaron son favorables y están a nivel de otras plantaciones, tanto de México como de otros países de Latinoamérica.

La altura e IMAA de las plantaciones observaron diferencias importantes entre los módulos: 2.74 m y 0.69 m modulo uno; en los otros módulos, oscilando la altura entre 4.20 a 4.34 m y los IMAA de 1.05 a 1.10.

El volumen e IMAV, reportados para los tres módulos, observaron marcadas diferencias: módulo tres con 9.85 m³/ha, le siguió el módulo uno con 3.27 m³/ha, y para el módulo dos resultó ser de 2.80 m³/ha.

El área de copa: módulo tres con 6.43 m², le siguió el módulo dos con 5.96 m² y el menor fue el módulo uno con 2.98 m².

La mayor área basal fue para el módulo tres con 3.64 m²/ha; el mayor porcentaje de individuos con vigor exuberante se observó en los módulos dos y tres.

El estado fitosanitario de las plantaciones se consideró bueno.

Las diferencias entre los módulos, de las variables evaluadas, en general son evidentes, sobre todo entre el módulo uno y los módulos dos y tres, se consideró que fue debido principalmente a la humedad del suelo entre los módulos, además de las deficiencias en el manejo aplicado a los mismos.

Se recomienda que para el establecimiento de futuras plantaciones con esta especie, es importante que se conozcan la procedencia y calidad de la semilla, a fin de poder garantizar un crecimiento y desarrollo homogéneo en plantaciones.

Molina Castillo, P. F. 2012. Comportamiento y manejo de la *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. en El Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, 24p.

Los sitios plantados tienen edades de 25 y 26 años, con densidades entre 345 y 875 árboles por hectárea. Las variables dasométricas indican que las masas plantadas están estancadas en crecimiento diametral y tienen individuos de porte pequeño y fuste corto, así como individuos con buenas características fenotípicas que se podrían utilizar como productores de semilla para futuros programas de mejoramiento genético.

En virtud del estado actual de las plantaciones de *Tabebuia rosea* en El Zamorano se recomienda que la unidad forestal realice raleo a través de eliminación de plantas que no desarrollaron sus potenciales, para evitar competencia por la luz y los nutrientes. El objetivo principal, es llevar las plantaciones a una densidad adecuada antes del turno económico.

1.4.1. Heredabilidad en el género *Tabebuia*

La información o reportes sobre heredabilidad en *Tabebuia rosea*, es nula; es muy probable que exista información pero no se encuentra publicada.

Por esta razón, dada la necesidad de tener un valor reportado de heredabilidad para la especie, se optó por obtener dicho valor pero a nivel de género; vale la pena resaltar que la especie *Handroanthus vellosi* es sinónimo de *Tabebuia vellosi*.

Camila Moreira Batista, Miguel Luiz Menezes Freitas, Marcela Aparecida de Moraes, Antonio Carlos Scatena Zanatto², Pedro César dos Santos, Marcelo Zanata², Mario Luiz Teixeira de Moraes, Alexandre Magno Sebbenn. 2012. ESTIMACIONES DE PARÁMETROS GENÉTICOS Y VARIABILIDAD EN PROCEDENCIAS Y

PROGENIES DE *Handroanthus vellosi*. Publicado en: Pesquisa Florestal Brasileira, Brazilian Journal of Forestry Research. Sao Paulo, Brasil.

El estudio tuvo como objetivo estimar los parámetros genéticos y la variabilidad entre y dentro de procedencias para caracteres silvícolas en un ensayo de procedencias y progenies *Handroanthus vellosi* (Toledo) el estudio se estableció en la Estación Experimental de Luiz Antônio (SP) del Instituto Forestal de Sao Paulo La prueba se instaló en un diseño experimental bloque compacto de la familia, dos orígenes (las principales parcelas) fueron utilizados y sub-tramas lineales de cinco plantas de un total de 35 progenies. En el ensayo se midieron las características de diámetro a la altura del pecho (DAP) altura de la planta (AP), el volumen cilíndrico (VC), la forma (FOR) y la supervivencia (SOB) del tallo, a los 24 años de edad. Se observaron diferencias significativas entre procedencias para el carácter de forma del fuste. Mediante el análisis de la desviación se diferencias significativas para el efecto de progenie para el análisis conjunto de las procedencias (población experimental) lo que sugiere que tienen una alta variación genética y lo que indica la posibilidad de mejora genética mediante la selección de las mejores progenies.

La estimación de heredabilidad para el nivel individual y media de progenie osciló entre baja y moderada (26% para DAP, 32% en AP, 24% para el VC, el 27% de la FOR y la SOB 46%), lo que confirma la posibilidad de la mejora genética por selección y que las procedencias tienen el potencial para responder a la presión de la selección natural.

Resultados

En el análisis combinado, las estimaciones de heredabilidad fueron medias a altas, en el sentido estricto, para todas las características, DAP (0.26), la AP (0.32), el VC (0.24) , la

FOR (0.27) y la SOB (0.46) , lo que indica que parte de la varianza fenotípica total y el promedio entre progenie son de origen genético . Por lo tanto, la heredabilidad resalta q la variabilidad genética para las características estudiadas, con valores medios a altos pueden ser explotados en programas de mejoramiento genético para las características estudiadas y de conservación genética.

Este resultado también indica que las características evaluadas tienen potencial genético para responder a la selección natural, es decir, el promedio de la población puede ser alterado por la selección natural. En general, las estimaciones de heredabilidad individual llevan a magnitudes moderadas de la heredabilidad en el promedio de la familia (Resende, 2002).

Falconer (2006) señaló que la heredabilidad es una propiedad no solamente de un carácter, sino también de la población y de los entornos y circunstancias en que los individuos están sometidas. El valor de la heredabilidad puede verse afectada si hay un cambio en cualquiera de los componentes de la varianza. Por lo tanto, estos de alta heredabilidad indican control genético significativo de los caracteres evaluados. Con esto, se puede inferir que los caracteres estudiados de *H. vellosi* se pueden utilizar para evaluar la variabilidad genética de la especie en las poblaciones muestreadas, observando que la procedencia de Bebedouro tiene mayor potencial genético. La tabla 1 muestra los componentes de varianza obtenidos.

Tabla 1. Componentes de varianza (REML) para las características de diámetro a la altura del pecho (DAP), altura de planta (AP), el volumen cilíndrico (VC), la forma del tronco (FOR) y la supervivencia para las procedencias Bebedouro y Mogi (modelo 93) y análisis conjunto (modelo 5) de *Handroanthus vellosi*, a los 24 años de edad, en Luiz Antônio, SP.

Análisis	Característica	Componentes de varianza											μ	IMA
		σ_a^2	σ_{parc}^2	σ_e^2	σ_f^2	h_a^2	h_{mp}^2	C_{parc}^2	C_{proc}^2	CV_{gi} (%)	CV_{gp} (%)	CV_e (%)		
Bebedouro	DAP (cm)	27,18	2,16	24,59	53,93	0,50	0,79	0,04	-	37,4	18,7	24,0	13,9	0,58
	AP (m)	10,8	0,58	3,03	14,4	0,75	0,85	0,04	-	32,9	16,5	16,8	10,0	0,42
	VC (m3)	0,04	0	0,06	0,09	0,40	0,75	0,02	-	78,8	39,4	55,3	0,3	0,01
	FOR	0,20	0,01	1,28	1,49	0,13	0,50	0,01	-	19,6	9,8	23,9	2,3	-
	SOB (%)	0,17	0,01	0,04	0,22	0,75	0,84	0,06	-	64,4	32,2	34,4	0,6	-
Mogi Guaçu	DAP (cm)	0,08	0,16	37,29	37,54	0	0,02	0	-	1,9	1,0	18,5	14,9	0,62
	AP (m)	0,15	0,16	13,09	13,39	0,01	0,07	0,01	-	3,5	1,8	15,2	11,0	0,46
	VC (m3)	0	0	0,05	0,05	0,01	0,05	0,01	-	7,5	3,7	38,5	0,3	0,01
	FOR	0,68	0,01	0,79	1,48	0,46	0,79	0,01	-	28,8	14,4	18,2	2,9	-
	SOB (%)	0,03	0,01	0,15	0,19	0,15	0,49	0,06	-	22,7	11,3	28,3	0,7	-
General	DAP (cm)	11,62	0,61	33,08	45,78	0,26	-	0,01	0,01	4,5	2,3	22,7	14,5	0,60
	AP (m)	4,65	0,46	8,79	14,2	0,32	-	0,03	0,01	2,3	1,1	18,5	10,6	0,44
	VC (m3)	0,02	0	0	0,06	0,24	-	0,02	0	51,0	25,5	46,9	0,3	0,01
	FOR	0,44	0,01	1,03	1,66	0,27	-	0,01	0,10	26,0	13,0	20,8	2,6	-
	SOB (%)	0,09	0,01	0	0,09	0,46	-	0,07	0,02	45,1	22,5	31,7	0,7	-

σ_a^2 = varianza genética aditiva; σ_{parc}^2 = varianza de parcela; σ_e^2 = varianza residual; σ_f^2 = varianza fenotípica individual; h_a^2 = heredabilidad individual en sentido estricto; h_{mp}^2 = heredabilidad media de progenies; C_{parc}^2 = coeficiente de determinación de efectos de parcela; C_{proc}^2 = coeficiente de determinación de efectos de poblaciones; CV_{gi} = coeficiente de variación genética aditiva individual; CV_{gp} = coeficiente de variación genotípica entre progenies; CV_e = coeficiente de variación experimental; μ = media general del experimento; IMA = incremento medio anual

Conclusiones

Existe una variación genética entre procedencias solamente para la característica forma del fuste; y, entre progenies dentro de procedencias para todas las características evaluadas; y, la mayor parte de variación genética encontrada se distribuye entre progenies.

En general, las heredabilidad moderadas para las características evaluadas en el análisis conjunto, indican que la población tiene potencial genético para responder a la selección

natural, así como para la conservación genética *ex situ* y utilización para su manejo en programas de mejoramiento genético

2. METODOLOGÍA

2.1. Generalidades de los ensayos

El presente estudio se realizó a partir de la base de datos proporcionada por CONIF^{®1} de un ensayo de progenies establecido en el año 2000 con las siguientes características: cinco réplicas, diseño en bloques completos al azar, 30 bloques, parcelas conformadas por un árbol, 21 familias y 3 testigos evaluados. Los sitios en los que se realizaron los ensayos presentan las características ambientales generales descritas en el Cuadro 3

Cuadro 3. Características generales de los sitios donde se establecieron los ensayos de progenie con la especie *T. rosea*.

PARÁMETRO	1.CANALETE	2.MOCARÍ	3.MOMIL	4.PLANETA RICA	5.ZAPAYÁN
Departamento	Córdoba	Córdoba	Córdoba	Córdoba	Magdalena
Finca	Los Maderables	Vivero CVS	Santo Tomás	La Independencia	Hacienda La Gloria
Lat. y Long. (° ` ``)	W-75 37 10 N - 9 22 22	W - 75 37 10 N - 9 22 22	W - 74 17 58 N - 10 10 42	W - 75 36 52 N - 8 24 34	W-74 17 58 N-10 10 41
Elevación (msnm)	120	65	55	120	120
Precipitación total media anual (mm)	1500	1500	1000	1500	1200
Fecha Establecimiento	Septiembre 20 al 22 de 2001	Octubre 1 de 2001	Septiembre 25 y 26 de 2001	Septiembre 20 al 22 de 2001	Septiembre 25 al 26 de 2001
Diseño Estadístico	Bloques completos al azar, un árbol por parcela (STP: Single Tree Plot), con 30 repeticiones: 21 progenies y tres testigos/bloque:				
No. Progenies	21	21	21	21	21
Área	0.7 ha	0.7 ha	0.7 ha	0.7 ha	0.7 ha
Densidad y Sistema de Siembra	Distancia de siembra 2,5 x 2,5 m, en cuadro, dos líneas de borde				

¹ Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal, Colombia

En la tabla 2 se detalla la información de la población seleccionada (árboles madre) para el establecimiento de las pruebas de progenie

Tabla 2. Población seleccionada de árboles de *Tabebuia rosea*

Codigo Familia	Departamento	Municipio	Finca	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
2	Atlantico	Galapa	Cantillera	10°51'54.32"	74°53'44.00"	75
3	Atlantico	Campeche	Otan	10°43'21.52"	74°55'50.72"	80
4	Bolivar	Galerasamba	El Ceibal	10°37'04.35"	75°16'31.86"	85
5	Bolivar	Galerasamba	El Ceibal	10°37'05.29"	75°16'18.66"	85
6	Atlantico	Luruaco	Torcoroma	10°36'44.26"	75°11'56.72"	80
7	Atlantico	Sabanalarga	Galicia	10°39'09.48"	74°54'47.40"	80
9	Magdalena	Pivijay	Refocosta	10°9'17.17"	74°16'47.24"	235
10	Magdalena	pivijay	Refocosta	10°10'41.94"	74°17'58.90"	245
13	Córdoba	Momil	Santo Tomas	9°21'46.42"	75°36'46.39"	50
14	Córdoba	Momil	Santo Tomas	9°22'22.81"	75°37'10.63"	45
19	Córdoba	Momil	Santo Tomas	9°20'20.18"	75°36'44.48"	15
20	Córdoba	Montelibano	Los Robles	8°2'08.58"	75°22'05.25"	25
23	Sucre	Tolú	Tierra Santa	9°25'19.30"	75°33'16.40"	15
24	Sucre	Tolú	Santillana	9°30'49.31"	75°33'12.12"	20
31	Córdoba	Monteria	Mocari	8°31'38.45"	75°52'34.52"	20
33	Córdoba	Monteria	San Jose	8°35'28.03"	75°50'11.61"	15
35	Córdoba	Tierra alta	El torno	8°20'29.55"	76°1'02.62"	25
36	Córdoba	Valencia	Las olas	8°21'47.94"	76°2'23.94"	15
43	Córdoba	Planeta rica	El Caucho	8°25'01.92"	75°32'14.32"	60
44	Córdoba	Planeta rica	El Caucho	8°24'49.40"	75°32'14.32"	55
47	Córdoba	Planeta Rica	Independencia	8°24'34.31"	75°36'54.99"	80
T1	50 gr de semilla comercial - CVS Sahagún (Córdoba)					
T2	153 gr mezcla en partes iguales de semilla 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11 y 24					
T3	50 gr mezcla de semilla comercial de procedencias Sahagún- Córdoba, Unión-Valle, árboles testigo: 028, 029, 034, 036, 037, 039, 042, 043, 044, 045 y semilla de 16 árboles plus					

2.2. Base de datos y Variables Evaluadas

Como primer paso antes de los análisis estadísticos, se depuró la base de datos con el fin de detectar errores.

Se evaluaron las variables altura total (*AT*) en los años: 2003, 2004, 2005, 2009 y 2012 y diámetro del tronco a 1.30 m (*DAP*) en los años 2004, 2005, 2009 y 2012. Las réplicas fueron enumeradas del 1 al 5 según su orden alfabético de la siguiente manera: 1 corresponde a Canalete, 2 a Mocarí, 3 a Momil, 4 a Planeta Rica y 5 a Zapayán. La réplica 5 no presentó datos en el año 2009 para ninguna de las dos variables.

Los datos se analizaron por separado y en forma conjunta para los cinco sitios.

2.2.1. Imputación

Dentro de la preparación de la base de datos, debido a la cantidad de datos perdidos (16.44%) y datos aparentemente incoherentes (7.6%); se decidió realizar pruebas de imputación con el fin de lograr un error experimental apropiado y un diseño balanceado.

El procedimiento de imputación constó de las siguientes etapas:

- 1) Se ordenaron los valores de una misma progenie, en una misma réplica, para cada año y ambas variables *AT* y *DAP*, por separado. Como son 30 bloques, en total se tenían, en principio, 30 posiciones en cada año para cada progenie.
- 2) Si se tenía que imputar el(los) valor(es) de un(os) individuo(s) en el año X y cierta variable, se promediaban los valores de los órdenes del (de los) individuo(s) que se deseaba(n) imputar de los años que contaban con información diferente al año X para esa variable, y se le(s) asignaba(n) el(los) valor(es) que correspondía(n) a esa(s) posición(es) y variable. Para un individuo con sólo 3 valores de los 5 que debía de tener, se tenían que imputar dos valores.
- 3) Se imputó teniendo en cuenta la consistencia de los ordenamientos, porque, en la mayoría de los casos, la curva de crecimiento de cada individuo debe mantenerse a través del tiempo; es decir, que si a los 2 años de edad ocupó la posición 8, a

los 4 la posición 9 y a los 8 la posición 9, entonces el promedio de las posiciones sería de 8.6, y el valor que le correspondería sería el que ocupara la posición aproximada a 8.6 de los dos años faltantes.

- 4) En la base de datos se insertó un comentario en la celda del valor que se imputó con la siguiente información: valor encontrado, las observaciones que se usaron para obtener el promedio de los ordenamientos y, de ser necesarias, observaciones. Lo anterior con propósitos de seguimiento de los valores imputados.

La estrategia de imputación fue la de asumir un perfil para cada individuo, a través de los años en que se colectó información del mismo, el cual dominaba a, o era dominado por, otros perfiles a lo largo del ensayo. Si bien esta hipótesis no siempre se cumple, los errores que se cometan al asumirla plausiblemente se cancelan en las sobrevaloraciones o subvaloraciones que se hagan.

Validación de la Imputación

Para validar el procedimiento de imputación y determinar cómo se ve afectada la imputación por la pérdida de datos, y a su vez como se ven afectadas las varianzas con la imputación, se buscó un conjunto completo de datos como referencia para cada variable, en donde no se tuviera ningún dato faltante, estuviera compuesto por la mayor cantidad de progenies y, simultáneamente, estas mismas progenies se encontraran completas en por lo menos 2 de las 5 réplicas.

En estos conjuntos de datos se eliminaron de manera aleatoria el 10%, el 30% y el 50%; y se imputaron siguiendo el procedimiento descrito anteriormente.

De esta manera se obtuvo un valor real de varianza y se comparó con los valores de varianzas obtenidos al tener un 10%, 30% y 50% de datos imputados.

Este procedimiento de validación se repitió 3 veces y se le denominó “Imputaciones simuladas”.

2.3. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico GenStat 15th Edition (VSN International). Para determinar las diferencias entre familias en los valores promedio de *AT*, *DAP* y obtener los componentes de varianza σ_f^2 y σ_e^2 , se realizaron análisis de varianza con los procedimientos *Stats*, *Mixed Models (REML)* y *Linear Mixed Models*.

Los modelos utilizados en el análisis de componentes de varianza fueron los que se describen en seguida.

En cada sitio,

$$Y_{ij} = \mu + B_i + F_j + BF_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Valor observado (ajustado) de la j -ésima familia en el i -ésimo bloque;

μ : Efecto de la media general;

B_i : Efecto del i -ésimo bloque;

F_j : Efecto de la j -ésima familia;

BF_{ij} : Efecto de la interacción del i -ésimo bloque con la j -ésima familia (error experimental);

$i = 1, 2, \dots, 30; j = 1, 2, \dots, 24$

En los cinco sitios,

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + B_{j(i)} + F_k + SF_{ik}$$

Donde:

Y_{ijk} : Valor observado (ajustado) ,del j -ésimo bloque dentro del i -ésimo sitio, de la k -ésima familia;

μ : Efecto de la media general;

$B_{j(i)}$: Efecto del j -ésimo bloque dentro del i -ésimo sitio;

F_k : Efecto de la k -ésima familia;

SF_{ik} : Efecto de la interacción del i -ésimo sitio con la k -ésima familia;

$i = 1, 2, \dots, 5$; $j = 1, 2, \dots, 30$ $k = 1, 2, \dots, 24$

Los datos fueron ajustados a los efectos fijos de bloques para excluir su influencia en la varianza fenotípica total (Borralho, 1998).

Falconer y Mackay, (2006) mencionan que de manera general las familias de polinización libre representan familias de medios hermanos y que el componente de varianza de familias (s^2_f) representa $\frac{1}{4}$ de la varianza genética aditiva (s^2_A). Sin embargo esto es así solo cuando los padres no están emparentados y la endogamia es cero; siendo la correlación intra-clase de hermanos obtenidos por polinización libre, mayor de $\frac{1}{4}$ en la mayoría de los casos (Squillace, 1974). Considerar un coeficiente de $\frac{1}{4}$ en esta situación origina una sobrestimación de la varianza aditiva (s^2_A), la heredabilidad y al mismo tiempo de la ganancia genética esperada (Namkoong, 1966). Debido a lo anterior, en este trabajo se empleó un coeficiente de determinación genética de 3 para el cálculo de la varianza genética aditiva suponiendo que la correlación genética entre hermanos obtenidos por polinización libre es de $\frac{1}{3}$ (Campbell, 1986; Sorensen y White, 1988).

Con los componentes de varianza obtenidos se estimó la heredabilidad en sentido estricto, tanto a nivel individual (h^2_i) como de familia (h^2_f) para las variables consideradas; para ello se emplearon las ecuaciones descritas por Falconer y Mackay (2006):

$$h^2_i = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_f^2 + \sigma_e^2}$$

$$h^2_f = \frac{\frac{1}{4}\sigma_A^2}{[\sigma_f^2 + (\sigma_e^2 / k)]}$$

Donde:

σ_A^2 : Varianza aditiva (estimada como $3\sigma_f^2$);

σ_f^2 : Varianza de familias;

σ_e^2 : Varianza del error;

k : media armónica del número de plantas por familias en cada sitio

Nota: Todos los casos donde se presentaron varianzas genéticas negativas fueron eliminados del análisis.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Exploración de las bases de datos

Al realizar los análisis exploratorios de la base de datos entregada por CONIF, se encontraron los siguientes errores e inconsistencias:

- Se encontraron individuos que tenían valores menores en evaluaciones de años posteriores que en años anteriores; lo cual es contradictorio porque un árbol no decrece. En todos los sitios se presentó esta incoherencia, alcanzando porcentajes cercanos al 20% en las evaluaciones realizadas a la edad de 2 (sitio 2), 8 (sitio 4) y 10 años (sitios 3, 4, 5).
- Se presentó un alto porcentaje de casos en los cuales faltaban observaciones solo en determinado (s) año(s), y en varios casos en años no consecutivos; pero si se encontró observación en uno o más años posteriores. Este tipo de inconsistencia se le denominó “dato perdido”. Ver tabla 3.
- Se identificaron pocos casos de errores tipográficos.

En la tabla 3 se muestran los porcentajes de datos perdidos, mortalidad y datos imputados por sitio para cada uno de los años evaluados; se resaltan en amarillo los valores mayores que 20 y en rojo los valores mayores que 25. Se asumieron como “datos perdidos” cuando de un individuo (s) en determinado(s) año (s) no figuró ningún valor, pero en años posteriores SI figuran uno o más valores; se tomaron como

“muertos” aquellos individuos de los que no se tiene ningún registro en ninguno de los años reportados ó de los se tiene (n) valor (es) en determinado (s) año (s) pero en los años posteriores a este (os) no figura ningún otro valor; y, se tomaron como datos “imputados” aquellos valores que se sustituyeron por otros que no fueron informados en una observación, o que si fueron informados pero presentaban incoherencias, como en el sitio 2 en a los 2 años se tuvo tan solo una mortalidad de 0.69% y un 1.67% de datos perdidos, pero un 24.17% de datos imputados; esto significa que el 21.81% restante se imputo debido a incoherencias en los datos.

Esto una clara evidencia de que no se puede 100% confiar en estas bases de datos, porque existen muchas contradicciones en ellas.

Tabla 3. Porcentajes de Mortalidad, datos perdidos y datos imputados de *T. rosea* en 5 sitios a la edad de 2, 3, 4,8, 10 años.

SITIO	2 años			3 años			4 años			8 años			10 años		
	Perd. %	Mort. %	Imp. %	Perd. %	Mort. %	Imp. %	Perd. %	Mort. %	Imp. %	Perd. %	Mort. %	Imp. %	Perd. %	Mort. %	Imp. %
1	6.806	9.722	6.667	5.278	18.61	15.14	3.75	20	14.58	4.167	20.28	15.69	0	27.64	22.08
2	1.667	0.694	24.17	1.806	1.667	3.333	1.806	1.667	4.028	0.972	5.139	15.83	0	11.94	16.67
3	6.944	3.194	7.083	11.94	4.167	13.19	31.94	4.306	32.64	13.75	4.861	17.92	0	19.44	19.31
4	5.417	1.389	7.5	7.917	1.528	8.056	6.806	1.667	8.472	8.889	1.944	21.25	0	12.08	21.53
5	2.639	0.972	17.22	59.31	1.528	64.03	5.833	1.667	8.194				0	14.03	22.92

Perd % = porcentaje de datos perdidos; Mort. % = porcentaje de mortalidad y Imp. % = porcentaje de datos imputados.

Sin embargo se hizo el análisis respectivo con y sin imputación; y los resultados obtenidos fueron los que se mencionan a continuación.

3.2. Supervivencia y crecimiento

La supervivencia promedio para los 5 sitios a los 10 años de edad fue alta, con un valor promedio de 83% con excepción del sitio 1 (Canalete) que tuvo el 72.36%.

El promedio general del ensayo a la edad de 10 años (2012), en cuanto a parámetros de crecimiento fue de 14.33, 14.38, 15.13, 13.34 y 9.83m para la variable altura en los sitios 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente; y de 13.37, 13.14, 13.66, 13.36 y 11.51cm. para la variable diámetro (DAP) en los sitios 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente (ver anexo 1 y 2).

Altura total

La Tabla 4 muestra el crecimiento en altura total promedio de las familias, evaluadas en 5 sitios de la Costa Atlántica Colombiana. Todos los sitios, presentaron diferencias estadísticas entre progenies. A los 10 años de edad, las familias No. 9, 10, 33 y 35 se mantuvieron dentro del grupo de las 10 superiores en 4 de los 5 sitios, con excepción del sitio 5 (Zapayán) en el cual, de las 4 familias mencionadas anteriormente solo se mantuvieron las familias No. 9 y 35.

La familia No.10 mostró buen comportamiento en 4 de los 5 sitios, alcanzando un promedio de 14.74m; la familia No.35 mostró el mayor crecimiento en los sitios 1 y 4 (Canalete y Planeta Rica); sin embargo, en los demás lugares ocupó posiciones intermedias.

La interacción de la progenie y el sitio fue significativa, indicando que el crecimiento en altura cambia con relación al sitio.

El ambiente (sitio) más favorable para el crecimiento del roble se obtuvo en el sitio 3 (Momil) con una media en altura de 15.1m (Figura 2 y 3), seguido por el 2 (Mocarí) con una media en altura de 14.4m y por el 1 (Canalete) con una media de 14.3 m a los 10 años de edad.

Contrario a lo que se esperaba, los tratamientos testigos (T1, T2, T3) registraron crecimientos intermedios con relación a todas las familias, esto refuerza la afirmación que el crecimiento en altura tiene bajo control genético.

Tabla 4. Crecimiento en altura (m) de 24 familias de *T. rosea* evaluadas en 5 sitios, a los 10 años de edad.

FAMILIA	SITIO 1	SITIO 2	SITIO 3	SITIO 4	SITIO 5	MEDIA FAMILIAR
2	14.05	13.23	13.64	14.26	9.08	12.9
3	13.33	15.72	13.00	13.71	10.17	13.2
4	12.95	13.31	15.81	12.00	10.00	12.8
5	14.29	12.38	17.15	12.42	10.19	13.3
6	14.07	17.74	14.92	15.07	9.22	14.2
7	12.97	10.55	14.24	12.23	10.26	12.0
9	16.00	16.67	14.81	15.33	10.08	14.6
10	17.91	18.52	15.25	16.09	9.71	15.5
13	15.64	13.00	14.40	13.46	10.00	13.3
14	12.77	11.89	14.41	12.80	9.89	12.4
19	15.08	11.85	18.16	13.21	9.98	13.7
20	13.27	12.54	14.46	12.64	9.94	12.6
23	14.10	13.15	15.88	10.53	10.51	12.8
24	15.46	14.19	16.13	14.83	9.98	14.1
31	12.81	16.74	15.90	16.04	9.64	14.2
33	14.95	17.85	15.29	13.97	9.79	14.4
35	18.05	18.07	14.72	17.33	10.13	15.7
36	13.88	13.48	15.87	12.63	9.93	13.2
43	13.13	12.11	13.68	11.32	9.52	12.0
44	14.64	13.04	15.47	10.15	9.31	12.5
47	13.42	14.03	15.17	11.50	10.00	12.8
T1	13.13	14.36	15.22	11.11	9.33	12.6

FAMILIA	SITIO 1	SITIO 2	SITIO 3	SITIO 4	SITIO 5	MEDIA FAMILIAR
T2	14.04	16.37	15.00	13.62	9.68	13.7
T3	13.98	14.35	14.46	13.96	9.55	13.3
MEDIA SITIO	14.3	14.4	15.1	13.3	9.8	13.4

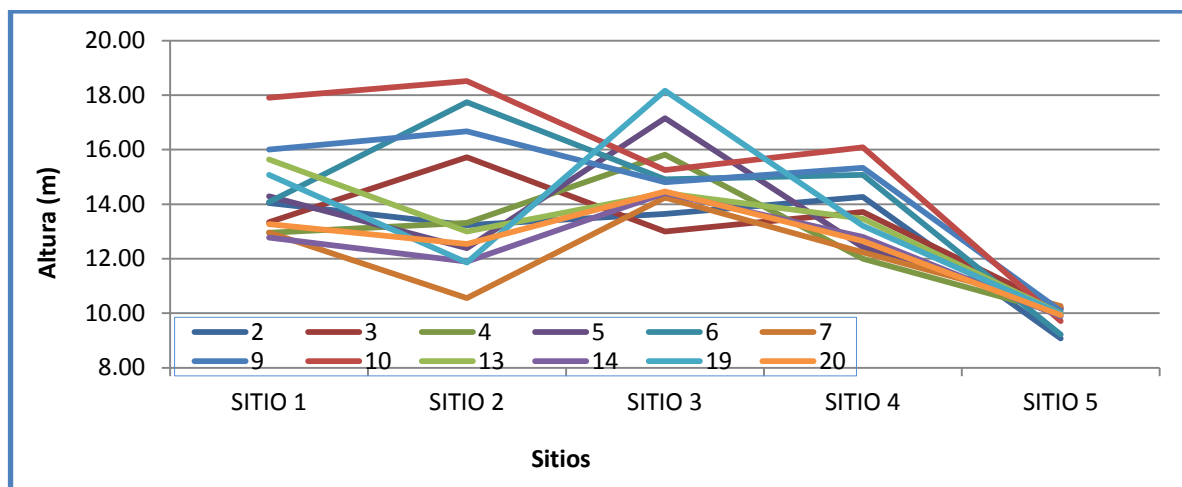


Figura 2. Crecimiento en altura de 24 familias *T. rosea* evaluadas en 5 sitios a los 10 años de edad

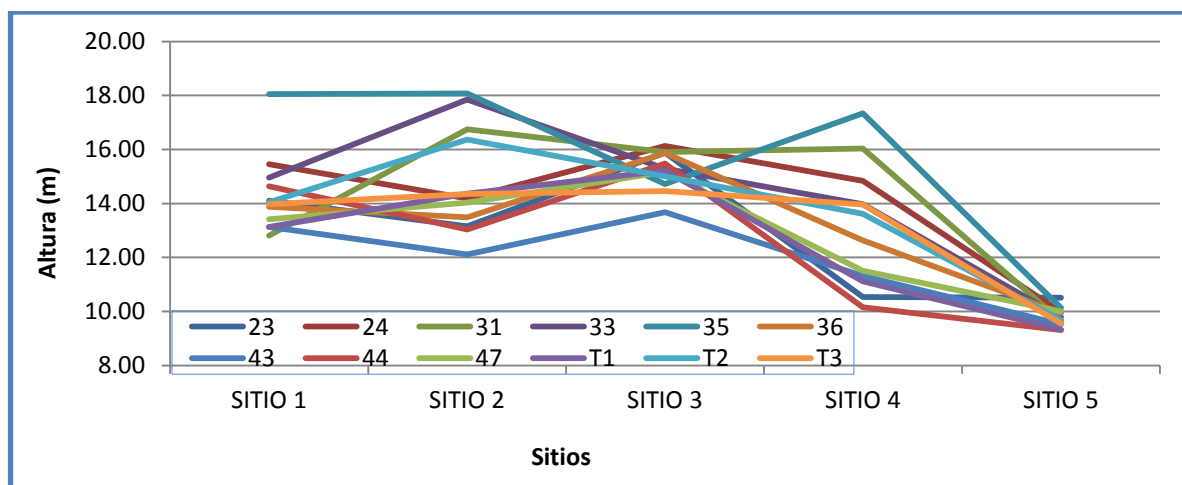


Figura 3. Crecimiento en altura de 24 familias *T. rosea* evaluadas en 5 sitios a los 10 años de edad. (continuación)

Diámetro (DAP)

La Tabla 5 muestra el crecimiento en diámetro (DAP) promedio de las familias, evaluadas en los 5 sitios. Se presentaron diferencias estadísticas entre familias en todos los sitios. A los 10 años de edad, las familias No. 10, 31 y 35 se mantuvieron dentro del grupo de las 10 superiores en los 5 sitios, con excepción de la familia 35, que ocupa 13º el lugar en el sitio 3 (Momil). La familia 9 solo aparece en 3 de los 5 sitios (Canalete, Mocarí y Planeta Rica); en el sitio 3, ocupa el 11º.

La familia No.10, al igual que en altura, mostró un buen comportamiento los 5 sitios, alcanzando un DAP promedio de 16.7cm; seguido por la familia No.35 con 15.6cm; seguido por la familia No.31 con 15.4cm. El crecimiento más bajo lo obtuvo la familia No.43 con 10.9cm.

El ambiente (sitio) más favorable para el crecimiento del roble se obtuvo en el sitio 3 (Momil) con una media en DAP de 13.7cm (Figura 4 y 5); seguido por el 1 (Canalete) y 2 (Mocarí), con una media de 13.4cm cada uno. El sitio más desfavorable para *T. rosea* fue el 5 (Zapayán) con 11.5cm, muy por debajo de la media general que fue de 13.0cm.

Tabla 5. Crecimiento en diámetro (cm) de 24 familias de *T. rosea* evaluadas en 5 sitios, a los 10 años de edad

FAMILIA	SITIO 1	SITIO 2	SITIO 3	SITIO 4	SITIO 5	MEDIA FAMILIAR
2	13.50	12.55	12.43	15.12	10.39	12.8
3	13.30	17.04	11.99	16.24	11.93	14.1
4	11.82	12.00	13.95	10.39	11.83	12.0
5	12.86	10.77	15.45	10.68	12.66	12.5
6	13.56	15.96	13.64	15.70	10.11	13.8
7	12.32	11.10	14.15	10.75	12.28	12.1
9	13.58	16.48	13.40	16.48	11.58	14.3
10	18.68	18.32	14.18	20.87	11.62	16.7

FAMILIA	SITIO 1	SITIO 2	SITIO 3	SITIO 4	SITIO 5	MEDIA FAMILIAR
13	14.49	11.18	12.12	14.00	12.25	12.8
14	11.19	10.55	14.21	11.59	11.22	11.8
19	12.70	9.79	16.51	12.40	12.33	12.7
20	11.51	10.19	12.69	11.54	11.48	11.5
23	12.05	10.38	14.37	9.07	11.92	11.6
24	15.26	11.44	14.34	13.52	11.48	13.2
31	13.67	17.19	14.54	18.71	12.67	15.4
33	14.79	18.00	12.67	16.05	11.40	14.6
35	17.34	17.03	13.74	17.55	12.22	15.6
36	13.37	12.31	14.44	12.44	11.26	12.8
43	11.71	9.77	11.67	10.21	11.29	10.9
44	12.60	11.07	12.86	8.62	10.84	11.2
47	11.80	11.93	13.37	10.41	11.49	11.8
T1	11.75	12.52	13.43	10.12	10.52	11.7
T2	13.43	14.41	13.86	14.56	10.69	13.4
T3	13.50	13.30	13.74	13.70	10.84	13.0
MEDIA SITIO	13.4	13.1	13.7	13.4	11.5	13.0

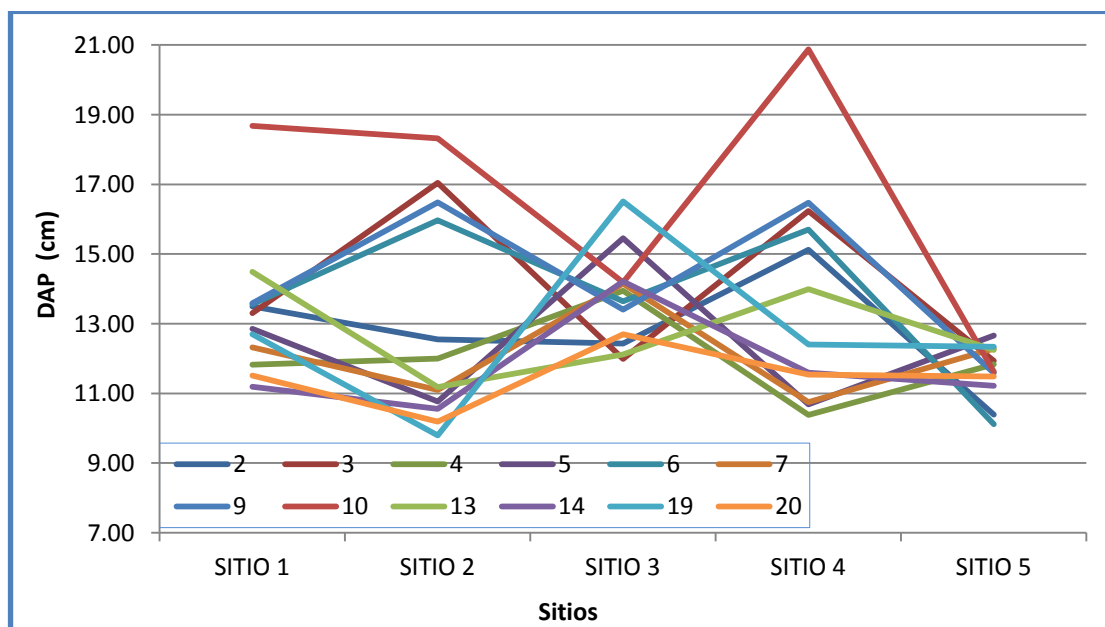


Figura 4. Crecimiento en diámetro (DAP) de 24 familias *T. rosea* evaluadas en 5 sitios a los 10 años de edad

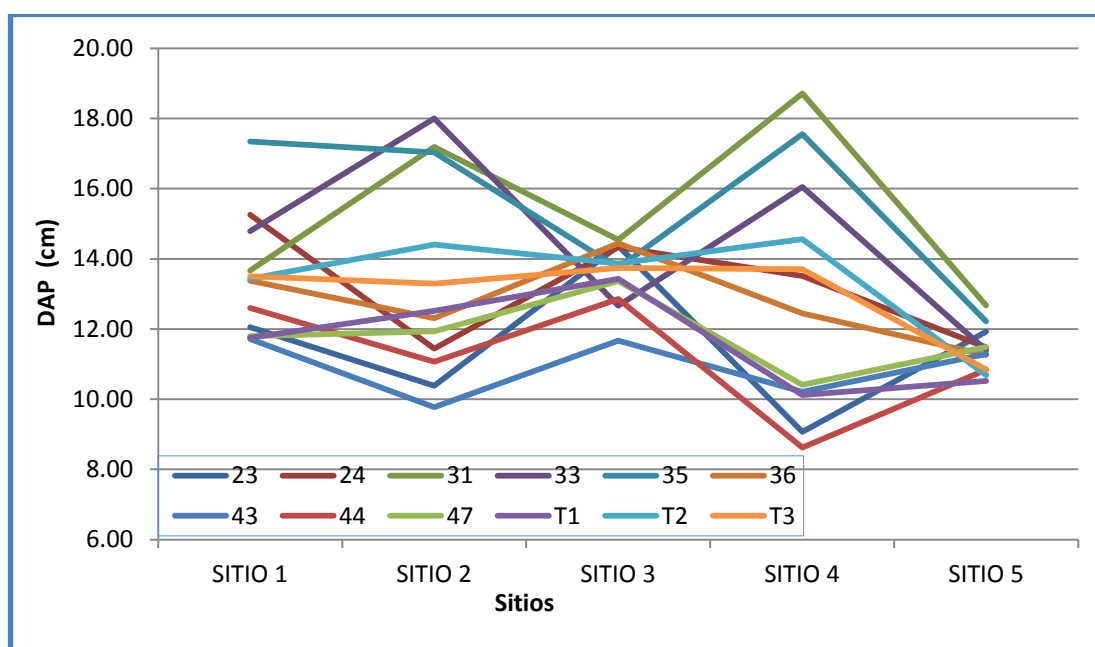


Figura 5. Crecimiento en diámetro (DAP) de 24 familias *T. rosea* evaluadas en 5 sitios a los 10 años de edad

3.3. Imputación

En los promedios generales de familia y sitio los resultados obtenidos con imputación fueron muy similares a los obtenidos sin imputación; en los dos casos las familias No. 9, 10, 31, 33, 35 obtuvieron los valores más altos tanto para altura como para DAP (ver tablas 6 y 7)

Tabla 6. Promedios generales del altura (m) por familia con y sin imputación

ALTURA (m)			
FAMILIA	CON	SIN	FAMILIA
10	16.13	15.66	35
35	15.79	15.50	10
9	14.95	14.58	9
33	14.94	14.37	33
6	14.80	14.23	31
31	14.49	14.20	6
24	14.30	14.12	24

Tabla 7. Promedios generales del DAP (cm) por familia con y sin imputación

DAP (cm)			
FAMILIA	CON	SIN	FAMILIA
10	19.15	16.74	10
35	16.03	15.58	35
31	15.99	15.36	31
9	15.92	14.58	33
33	15.74	14.31	9
3	15.70	14.10	3
6	15.28	13.79	6

T2	13.95	13.74	T2	T3	14.50	13.39	T2
19	13.88	13.66	19	T2	14.46	13.21	24
13	13.70	13.30	13	24	14.24	13.02	T3
T3	13.58	13.29	5	2	14.12	12.81	13
2	13.56	13.26	T3	13	14.10	12.80	2
5	13.46	13.19	3	5	13.72	12.76	36
36	13.38	13.16	36	36	13.67	12.75	19
3	13.34	12.85	2	19	13.43	12.48	5
23	13.32	12.83	23	7	13.20	12.12	7
4	13.26	12.82	47	47	13.19	12.00	4
T1	13.25	12.82	4	T1	13.18	11.80	47
47	13.16	12.63	T1	4	13.09	11.75	14
44	12.65	12.57	20	23	12.70	11.67	T1
14	12.62	12.52	44	14	12.54	11.56	23
43	12.46	12.35	14	44	12.31	11.48	20
7	12.46	12.05	7	20	12.25	11.20	44
20	12.45	11.95	43	43	12.12	10.93	43

Los sitios donde se desarrolla mejor la especie siguen siendo el Momil, Mocarí y Canalete (ver tabla 8). Para más detalles ver anexo No.3.

Tabla 8. Promedios generales de altura y DAP con y sin imputación por sitio.

Sitio	SIN		CON	
	Altura (m)	DAP (cm)	Altura (m)	DAP (cm)
3 Momil	15.13	13.66	15.41	15.36
2 Mocarí	14.38	13.14	14.89	14.58
1 Canalete	14.33	13.37	14.56	14.32
4 Planeta R.	13.34	13.36	13.99	14.46
5 Zapayán	9.83	11.51	9.88	12.23
General	13.40	13.01	13.75	14.19

Otra forma de evaluar la imputación fue por medio de las varianzas residuales, las cuales al tener más grados de libertad deben ser menores en comparación que las varianzas residuales de los datos sin imputar (tabla 9); tan solo en 11 de 43 casos la varianza

residual del modelo con imputación fue mayor (por centésimas) que sin imputación (resaltados en rojo), y de esos 11, 8 pertenecían a la evaluación realizada a los 3 años de edad (2004); año en el cual el porcentaje de perdidos fue mayor (59%) dándole a esta evaluación poca credibilidad.

Tabla 9. Varianzas residuales con y sin imputación para cada evaluación realizada

Sitio	Variable	SIN	CON
1	h03	0.139	0.138
	h04	0.756	0.76
	h05	0.737	0.692
	h09	2.002	1.649
	h12	15.71	13.35
	DAP04	1.206	1.265
	DAP05	2.259	1.944
	DAP09	12.26	12.31
	DAP12	19.63	17.12
2	h03	1.645	1.203
	h04	1.02	0.882
	h05	1.227	1.05
	h09	4.825	3.777
	h12	21.58	21.01
	DAP04	2.677	2.688
	DAP05	5.435	3.799
	DAP09	13.61	11.53
	DAP12	21.37	22.21
3	h03	0.249	0.243
	h04	0.643	0.537
	h05	0.716	0.608
	h09	1.468	1.096
	h12	17.1	14.69
	DAP04	1	1.05
	DAP05	2.346	1.824
	DAP09	11.14	10.49
	DAP12	21.67	17.26
Sitio	Variable	SIN	CON
4	h03	0.867	0.824
	h04	0.635	0.67
	h05	1.347	0.938
	h09	2.3	1.332
	h12	16.14	12.29
	DAP04	1.327	1.402
	DAP05	3.133	2.196
	DAP09	18.23	14.97
	DAP12	22.31	21.76
5	h03	0.846	0.712
	h04	0.327	0.351
	h12	3.248	3.267
	DAP04	0.31	3.956
	DAP05	2.182	1.78
	DAP12	12.67	12.59

Los resultados obtenidos en lo estadísticos descriptivos y los análisis de las varianzas sin imputar e imputando, demuestran la consistencia y robustez del método de imputación utilizado.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos anteriormente expuestos, se decidió continuar con los análisis e interpretación de los resultados únicamente con los datos

imputados; y también se decidió tomar en cuenta únicamente los sitios y evaluaciones que tenían la información más consistente y creíble.

3.4. Heredabilidad media de familia (h^2_f) por sitio

Altura

En promedio para todos los sitios a los 10 años de edad, se presentó una heredabilidad de familia para altura de 0.564; alcanzando valores más altos en los sitios 2 (0.668), 4 (0.583) y 1 (0.564). La heredabilidad mas baja la reporto el sitio 5 (0.144) (Figura 8). Estos valores están concuerdan con los reportados por Moreira et al. (2012) para el género *Tabebuia* en Brasil; porque al igual que en este estudio la variación en de h^2_f fue alta, reportando valores de 0.02 hasta 0.79 para la característica altura; y muestran un alto control genético para altura en cada sitio pero; las fluctuaciones de heredabilidad entre sitios muestran la alta variabilidad entre estos y su determinante influencia en el crecimiento de la especie.

DN

Para DN el promedio para todos los sitios a los 10 años de edad, se presentó una heredabilidad media de familia de 0.595; alcanzando valores más altos en los sitios 3 (0.682), 1 (0.648) y 2 (0.637). La heredabilidad mas baja la reporto el sitio 5 (0.0374). Ver Figura 9. Al igual que en el caso de altura, estos valores coinciden con los reportados por Moreira et al. (2012), los cuales para DAP variaron desde 0.07 hasta 0.85 en diferentes sitios.

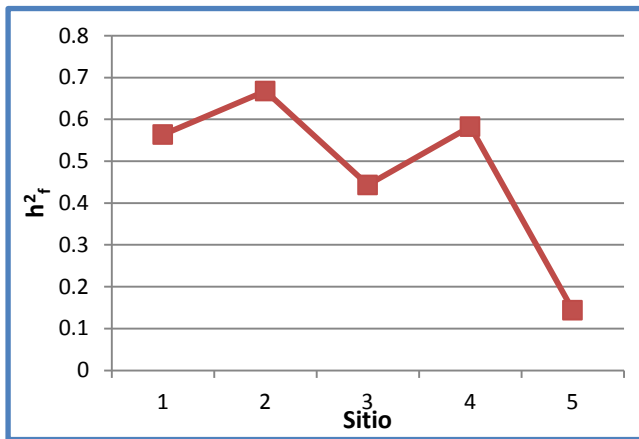


Figura 6. Heredabilidad promedio por sitio para altura (m) a los 10 años de edad

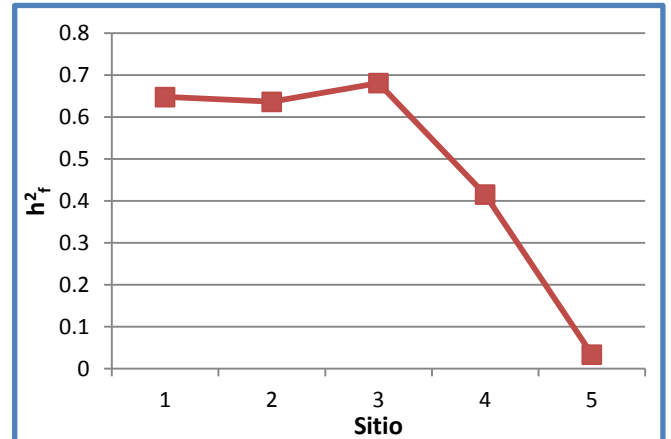


Figura 7. Heredabilidad promedio por sitio para DN (cm) a los 10 años de edad

La alta mortalidad y el alto porcentaje de datos inconsistentes que presentan el sitio 5, donde normalmente cada familia está representada por muy pocos individuos, afectó el análisis estadístico ya que no se obtiene una estimación adecuada de la variación debida al componente *árboles dentro de bloques*, que corresponde a la varianza residual. Al disminuir el número de árboles por bloque, la estimación de la variación residual tiende a ser mayor (3.26 para altura y 12.59 para DN), lo que puede explicar estos valores tan bajos en heredabilidad además de los bajos crecimientos que presentó la especie bajo las condiciones ambientales del sitio 5.

Por esta razón la media de h^2_f se obtuvo excluyendo al sitio 5, y se aprecia mejor para altura en la figura 8 y para DN en la Figura 9. Nótese que la desviación estándar se reduce a la mitad cuando se trabaja con los datos imputados

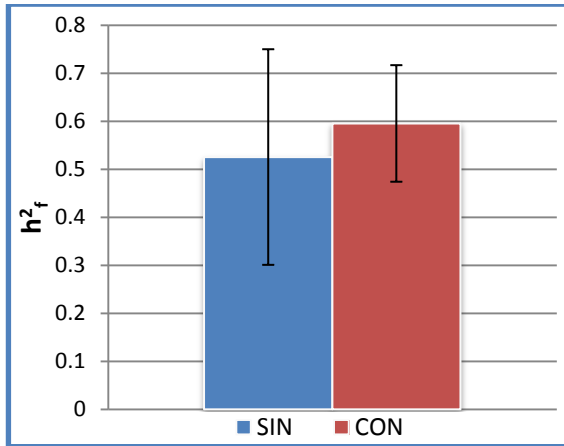


Figura 8. Heredabilidad promedio para altura (m) a los 10 años de edad con y sin imputación.

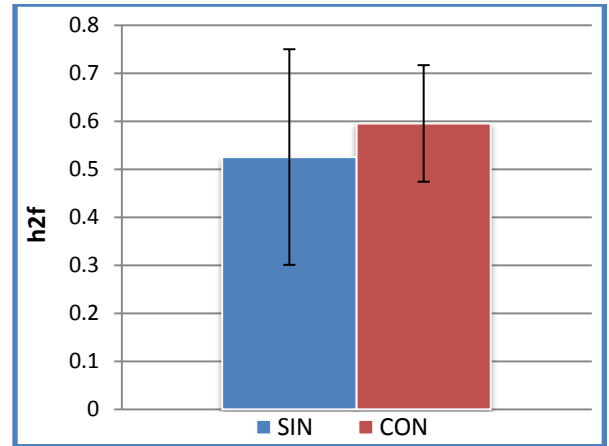


Figura 9. Heredabilidad promedio para DN (cm) a los 10 años de edad con y sin imputación.

La heredabilidad de un carácter se considera alta si h^2_i es mayor que 0.50, media si se encuentra entre 0.50 y 0.20, y baja si h^2_i es menor que 0.20 (Stanfield, 1971). Mientras que la heredabilidad de medias de familia depende del número promedio de individuos por familia y de la supervivencia en los ensayos, pues como lo mencionan White et al., (2007) a mayor tamaño promedio de familias, mayor será h^2_f , lo que coincide con los resultados obtenidos en este estudio, ya que los valores de las h^2_f fueron de medias a altas y su variable comportamiento a través de los sitios, es explicado por la alta diferencia en el tamaño promedio de familia por sitio debido al alto porcentaje de datos perdidos e inconsistentes.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El método de imputación propuesto se comportó de la manera esperada, manteniendo la estructura de la base de datos y su vez brindando mayores grados de libertad, menor error experimental y desviaciones estándar menores; comparado con los datos sin imputar, con algunas excepciones, las cuales se le atribuyen a las propias inconsistencias existentes en la base de datos.

En general las heredabilidades medias de familia fueron de moderadas para las características de altura y diámetro, comportándose de manera diferente a través de los sitios con valores desde 0.145(sitio 5) hasta 0.668 (sitio 2) para AT y desde 0.034 (sitio 5) hasta 0.682 para DAP; esta inestabilidad en el comportamiento de familias a lo largo de los sitios puede ser un factor importante al considerar cuando se seleccionen Familias o progenies.

Los sitios con los valores de heredabilidad media familiar más altos fueron Mocarí (0.668) y Planeta Rica (0.583) para AT; y, Momil (0.682) y Canalete (0.648) para DAP

Sobresalieron por su óptimo crecimiento tanto en AT como en DAP las familias No. 9,10, 31, 33 y 35; comportándose de manera similar en todos los sitios; por lo cual se puede concluir que el máximo crecimiento en AT y DAP para *T. rosea* se logra

mediante la selección adecuada de sitios, aplicación de buenas prácticas silviculturales y el uso de germoplasma de la mejor calidad posible.

El alto porcentaje de datos perdidos e inconsistentes que presenta estudio, cambió la representación de cada familia dentro de los sitios, estando representada por una cantidad muy variable de individuos, lo cual pudo haber afectado el análisis estadístico. Por la misma razón, los valores de h^2_f encontrados en este estudio pueden estar ligeramente subestimados y deben interpretarse con precaución.

5. LITERATURA CITADA

Acero D., E. (1985). Árboles de la zona cafetera de Colombia. Vol. XVI. Ediciones Fondo Cultural Cafetero. Editora Andes. 307 p.

Acosta Contreras, I. (2004). Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina Documento de Trabajo: Informe Nacional Colombia. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación– FAO, Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal– CONIF. Roma, Italia. p.10-11. 113 p.

Arévalo F., R. L.; Londoño A., A. (2005). Manual para la identificación de maderas que se comercializan en el departamento del Tolima. Ibagué, Corporación Autónoma Regional del Tolima – Cortolima. Universidad del Tolima. p 70-72.

Becerra, J. (1972). Notas sobre Mejoramiento Genético de Árboles Forestales. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Ingeniería Forestal. 60p.

Berrío. J. (1988). Evaluación de la experiencia Colombiana en Reforestación. Doc. Plan de Acción Forestal Para Colombia. PAFC. 112 pp.

Berrío. J. (2007). Acerca de la historia y el estado actual de la reforestación comercial en Colombia. Doc. La reforestación en Colombia Visión de Futuro. Federación nacional de Industriales de la Madera-FEDEMADERAS. Bogotá. 116 pp.

Bernal, H. Y.; Correa, J. E. Especies vegetales promisorias del convenio Andrés Bello. (1989). Programa de recursos vegetales del convenio Andrés Bello. SECAB. Vol. 2. Bogotá, Guadalupe, 462 p.

Borralho, N. 1998. “Genetics parameters estimation” En: Mejora Genética Forestal Operativa. Editore

Campbell R K (1986) Mapped genetic variation of Douglas-fir to guide seed transfer in southwest Oregon. *Silvae Genetica* 35:85-96.

Centro Nacional de Investigación del Café-CENICAFÉ. (2008). El Guayacán rosado o Roble. Guías Silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana. CENICAFÉ. 58 p.

CONABIO. (2013). Índice de especies. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/indice_especies.html. Consultado 12 de diciembre de 2013.

CONABIO. (2013a). Ficha técnica *Tabebuia rosea*. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/11-bigno7m.pdf. Consultado 12 de diciembre de 2013

Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal– CONIF. (1997). Guía de enfermedades en plantaciones forestales. Bogotá, CONIF - Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia, 99 p.

Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal– CONIF. (1997a). Guía de insectos dañinos en plantaciones forestales. Bogotá, CONIF- Ministerio del Medio Ambiente - Programa de Protección Forestal. BOGOTÁ, COLOMBIA. 99 p.

Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal -CONIF. (1998) Guía para Plantaciones Forestales Comerciales Córdoba. Bogotá, CONIF-Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural- OIMT, Serie de Documentación No. 34, 36-46.

Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal-CONIF. (1998). Plan estratégico de mejoramiento genético de *Cordia alliodora* y *Tabebuia rosea*. Bogotá, Colombia. Serie de Documentación No.29. 40 p.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE y Sistema de Información Agropecuaria-SISAC. (2006a). Síntesis censo de plantaciones forestales del departamento del Magdalena. IDEAM.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE y Sistema de Información Agropecuaria-SISAC. (2006b). Síntesis censo de plantaciones forestales del departamento de Córdoba. IDEAM.

Del Valle A. J. I. (1985). Crecimiento del roble (*Tabebuia rosea*) y del cedro (*Cedrela odorata*) en la región de Urabá, Antioquia. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. 106p

Falconer, D. S. & Mackay, T. F.C. 2006. Introducción a la Genética Cuantitativa. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 468p.

Galán L. R., De los Santos P. H. M., y Valdez H. J. I. (2008). Crecimiento y rendimiento de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. *Madera y Bosques* 14(2), 2008:65-82.

Geilfus, F. (1989). El árbol al servicio del agricultor; manual de agroforestería para el desarrollo rural. Vol 2: Guía de especies. Santo Domingo. Enda- Caribe y CATIE. Costa Rica. p. 377.

Guzman C., A.; Tovar V., R. O. (1993). Experiencias colombianas con *Tabebuia rosea* (Bertol) DC. Ibagué, Colombia, Universidad del Tolima. 114p. Tesis (Ing. For.) Universidad del Tolima. Facultad de Ingeniería Forestal.

Holdridge, L. R. 1967. «Life Zone Ecology». Tropical Science Center. San José, Costa Rica. (Traducción del inglés por Humberto Jiménez Saa: «Ecología Basada en Zonas de Vida», 1a. ed. San José, Costa Rica: IICA, 1982)

Ipinza, R. (1998). Mejoramiento genético forestal. CONIF Serie Técnica No.42. Bogotá. 162 p.

Jara N., L. F. (1995) Mejoramiento forestal y conservación de recursos genéticos forestales. Tomo I. Serie Técnica – Manual Técnico No. 14. Danida Forest Seed Centre, Centro Agronómico Tropical de la Enseñanza - CATIE, Programa Manejo Integrado de Recursos Naturales – MIREN, Proyecto de Semillas Forestales – PROSEFOR. Turrialba, Costa Rica. 174p.

Johannsen, W. (1903). Erbllichkeit in Populationen und in reinen Linien. 68 pp. Jena: Fischer

Kleinn, C. y Davis, Robert. (Eds). (1999). Memoria del Taller sobre el programa de evaluación de los recursos forestales en once países latinoamericanos. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 17-21 mayo, 1999. Programa de Evaluación de los Recursos Forestales. Documento de Trabajo 10. Rome. pp. III,IV;3-6; 29-33.

Mahecha V., G. y Echeverri R. (1983). Árboles del Valle del Cauca. Bogotá, Colombia. 208 p.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR. (2009). *Tabebuia rosea* (Bertol) D.C. Especies Forestal Promisoria en Colombia: Estado del Conocimiento. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia-CONIF, Bogotá, Colombia. 150p.

Molina Castillo, P.F. (2012). Comportamiento y manejo de la *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. en El Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación del programa de

Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, 24p.

Molina G J D (1992) Introducción a la Genética de Poblaciones y Cuantitativa (Algunas Implicaciones en Genotecnia). A.G.T., México, D.F. 349 p.

Mora Santacruz, Antonio; Valdez Hernández, Juan Ignacio; Ángeles Pérez, Gregorio; Musálem Santiago, Miguel Ángel; Vaquera Huerta, Humberto. (2006). Establecimiento y desarrollo de plántulas de *Tabebuia rosea* (Bignoniaceae) en una selva subcaducifolia manejada de la costa Pacífica de México. *Revista de Biología Tropical*, December, 1215-1225.

Moreira B. C., Menezes F. M. L., Aparecida de M. M., Scatena Z. A. C., Dos Santos P. C., Zanata M., Teixeira de Moraes. M. L., Magno S. A. (2012). Estimaciones de parámetros genéticos y variabilidad en procedencias y progenies de *Handroanthus vellosi*. Publicado en: *Pesquisa Florestal Brasileira, Brazilian Journal of Forestry Research*. Sao Paulo, Brasil.

Namkoong G (1966) Inbreeding effects on estimation of genetic additive variance. *Forest Science* 12(1):8-13.

Navas T., Y. (1998). El negocio forestal. Corponor, Paper de trabajo. Colombia. 8 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO. (1995). *Prácticas agroforestales: Metodología y estudios de caso*. Quito, Proyecto Fao-Holanda “Desarrollo forestal participativo de los Andes”, Roma. Italia p. 94- 97. (Serie Validaciones).

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación– FAO. (2011) *Situación de los bosques del mundo ROMA, ITALIA*. p.130- 148.

Palmberg, C. (1987). Creation of new forest resources. Paper presented for: Planning National programmes for Wood Based Energy. Italy 26 oct- 5 nov 1987. GCP/INT/433/ITA

Pennington, T. D. y J. Sarukhan. (1968). Manual para la identificación de campo de los principales árboles de México. SAG. INIF. FAO. México. 413 p.

Rodríguez R., J.; Nieto R., V. M. (2002). Aplicación de los métodos de estacas e injertos para la propagación vegetativa de *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken y *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. Bogotá, CONIF. 61 p. (Serie de Documentación No. 47).

Rueda, S. A.; J. de D. Benavides S.; E. A. Rubio C.; J. T. Sáenz R.; J. A. Prieto R. y A. Molina C. (2011). Evaluación de plantaciones forestales Comerciales de *Tabebuia rosea* en el estado de Jalisco. Folleto Técnico Núm. 12. Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco. CIRPAC-INIFAP. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 63 p.

Salaya-Domínguez, José M., López-Upton, Javier, & Vargas-Hernández, J. Jesús. (2012). Variación genética y ambiental en dos ensayos de progenies de *Pinus patula*. *Agrociencia*, 46(5), 519-534. Retrieved January 18, 2014, from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S14053195201200050009&lng=en&tlng=.

Sánchez Monsalvo, Vicente; Salazar García, J. Gustavo; Vargas, Hernández, Jesús; López, Upton, Javier; Jasso, Mata, Jesús. (2003). Parámetros genéticos y respuesta a la selección en características del crecimiento de *Cedrela odorata* L.. *Revista Fitotecnia Mexicana*, enero-marzo, 19-27.

Secretaría de Desarrollo Rural (SEDER). Gobierno del estado de Jalisco. (1995). Plan Sectorial Forestal para el estado de Jalisco, Convenio México- Finlandia. 70 p. (Inédito).

Sorensen F C, T L White (1988) Effect of natural inbreeding on variance structure in tests of wind-pollination Douglas-fir progenies. *Forest Science* 34:102-118.

Squillace A E (1974) Average genetic correlations among offspring from open-pollinated forest trees. *Silvae Genetica* 23(5):149-156.

Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 06 Ene 2014:
<http://www.tropicos.org/Name/3700648?tab=synonyms>

Vallejos, J. & Badilla Y., & Murillo O. (2010). Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. *Agronomía Costarricense*, San Pedro de Montes de Oca, v. 34, n. 1, jun. 2010.

Vázquez-Yanes, C., A. I. Batis Muñoz, M. I. Alcocer Silva, M. Gual Díaz y C. Sánchez Dirzo. (1999). Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO - Instituto de Ecología, UNAM

Vera, C.G. y Dorantes, L.J (2003). Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques en el Sur y Sureste de México. Documentos de Trabajo: Recursos Genéticos Forestales. FGR/61S Servicio de Desarrollo de Recursos Forestales, Dirección de Recursos Forestales, FAO, Roma. (Inédito).

Webb, D. G. (1980). Guía y clave para seleccionar especies en ensayos forestales de regiones tropicales y subtropicales. Overseas development administration Londres, Inglaterra. 275p.

Wellendorf, H.; Ditlevson, B. (1992). Introduction to forest genetics. Danida Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark. Lecture note. D-2, 13p

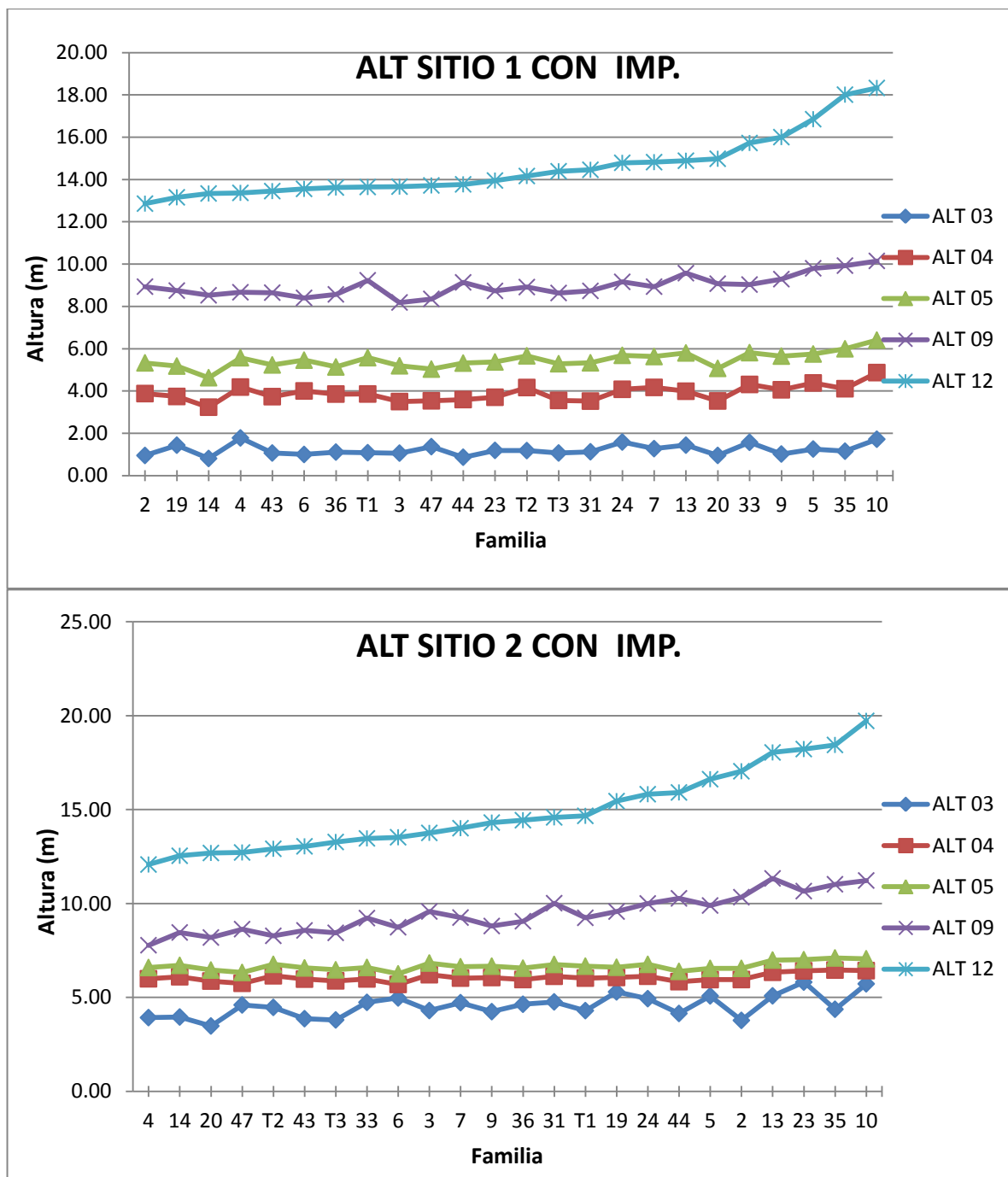
White, T. L., W. T. Adams and D. B. Neale. 2007. Forest Genetics. CABI. Oxfordshire. 682 p.

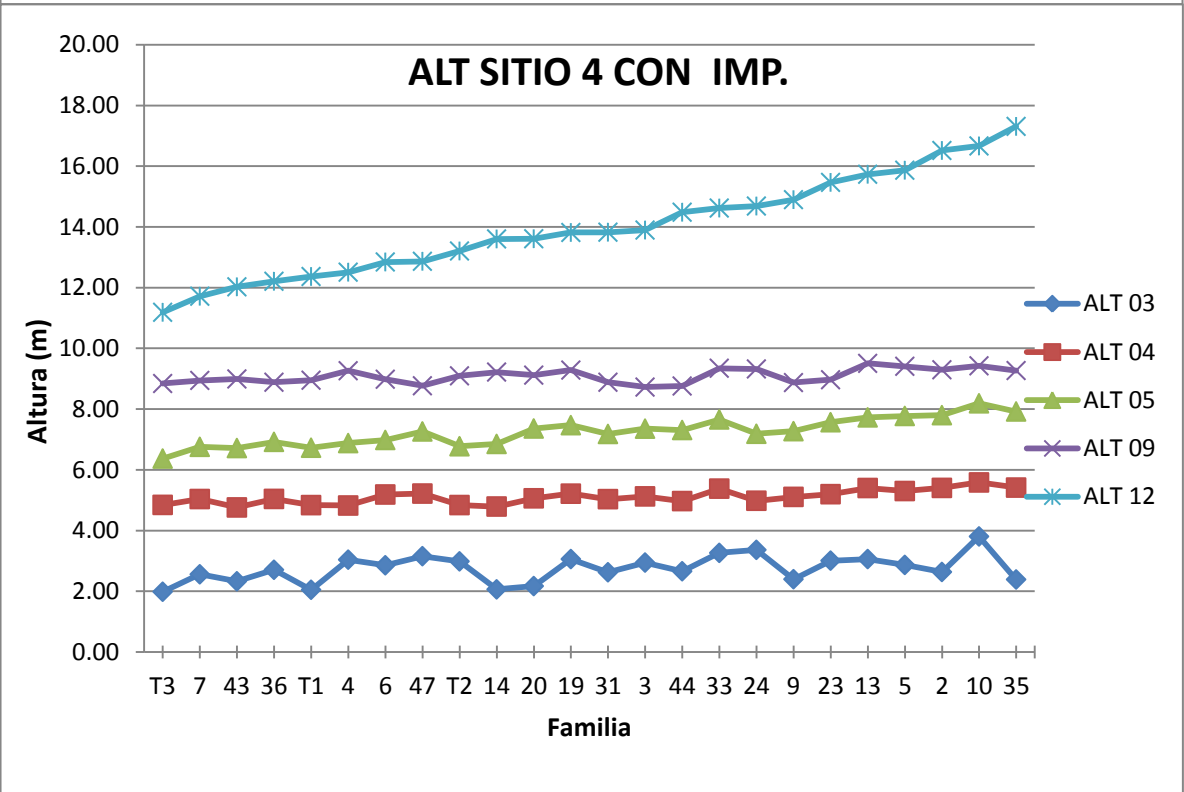
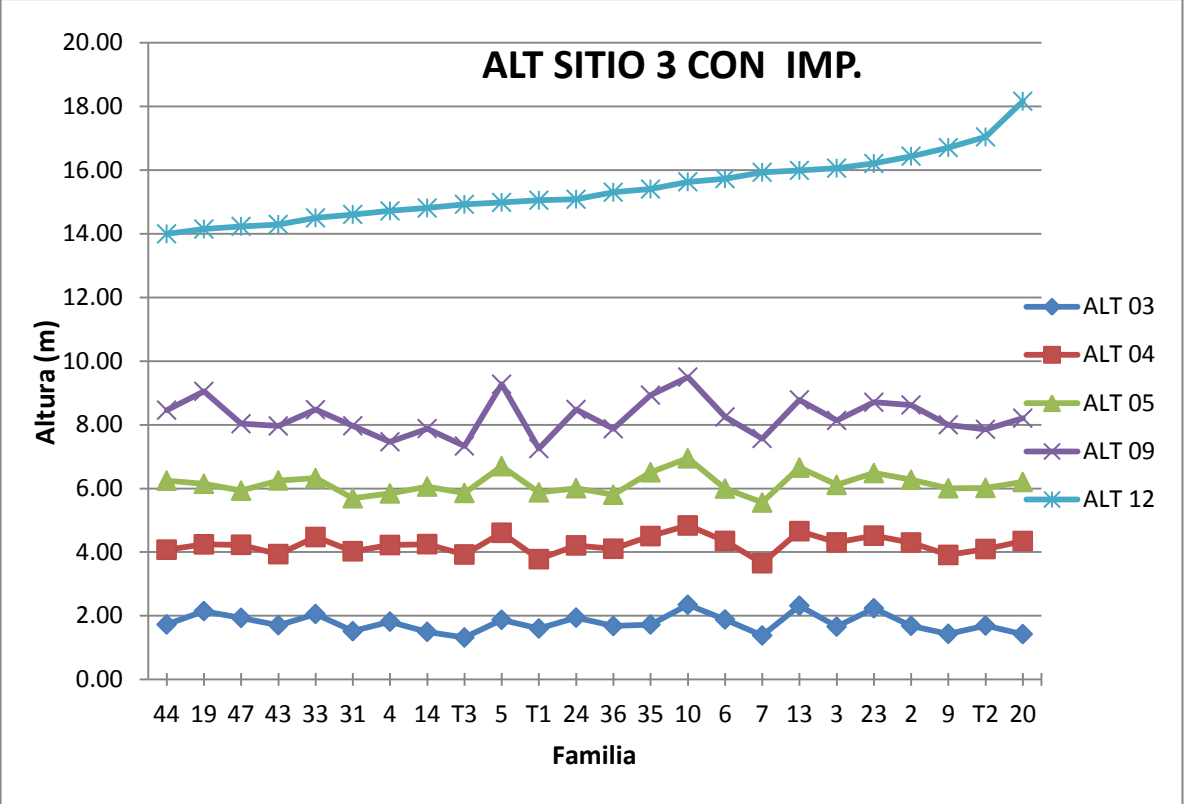
Wright, J. (1964) Mejoramiento Genético de Arboles Forestales. FAO. Roma, Italia. 436p.

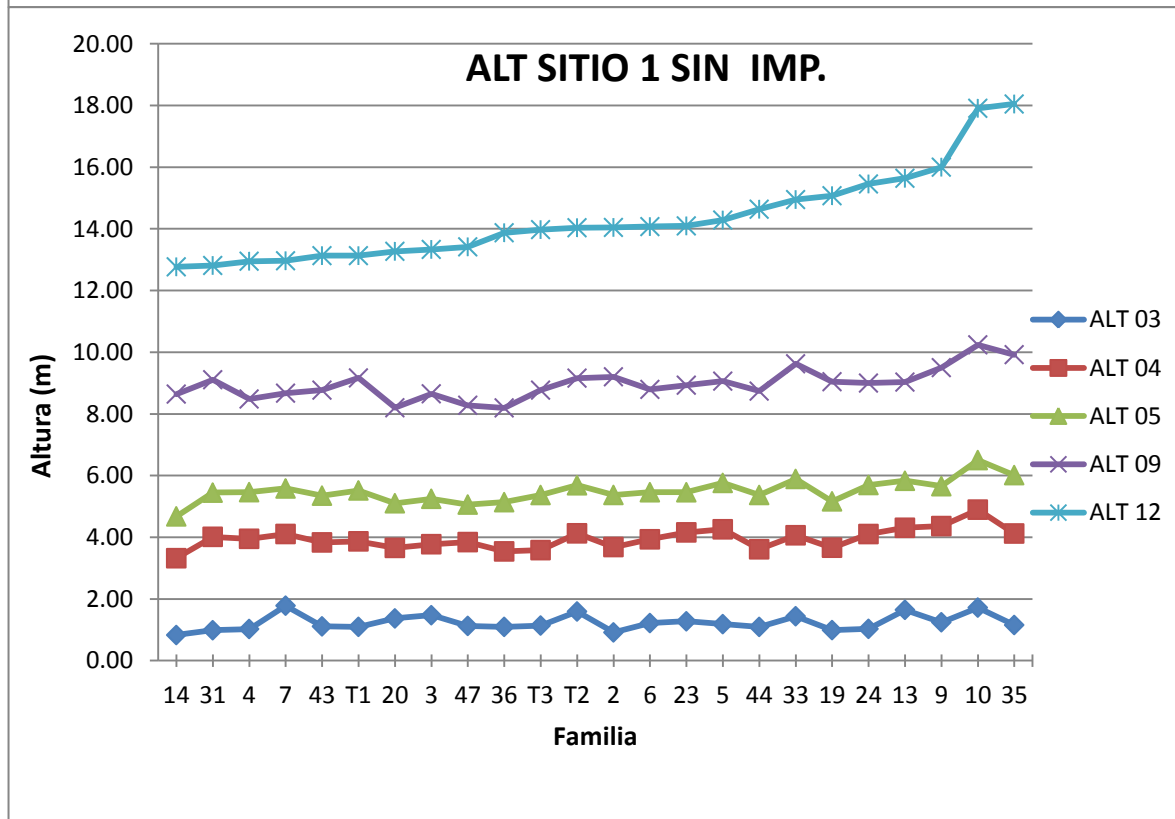
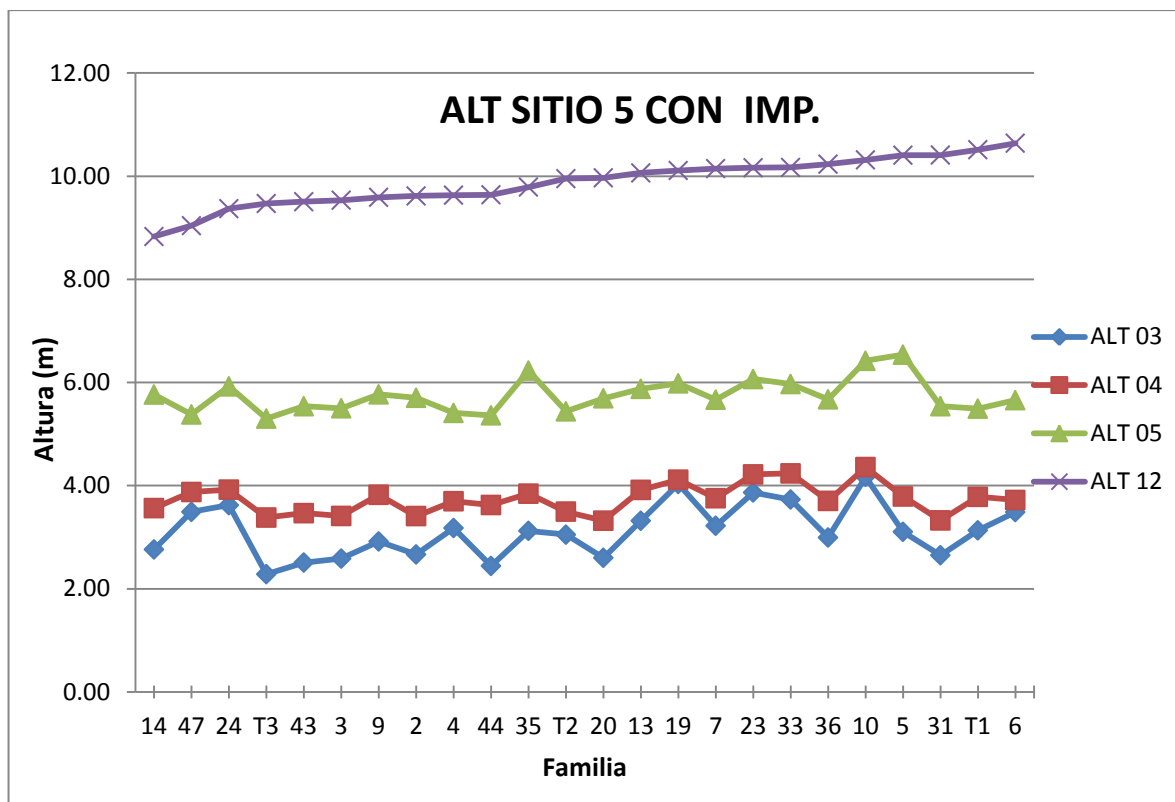
Zobel, B. & Talbert, J. (1988). Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Ed. Limusa. Trad. M Guzmán O. México. 545 pp.

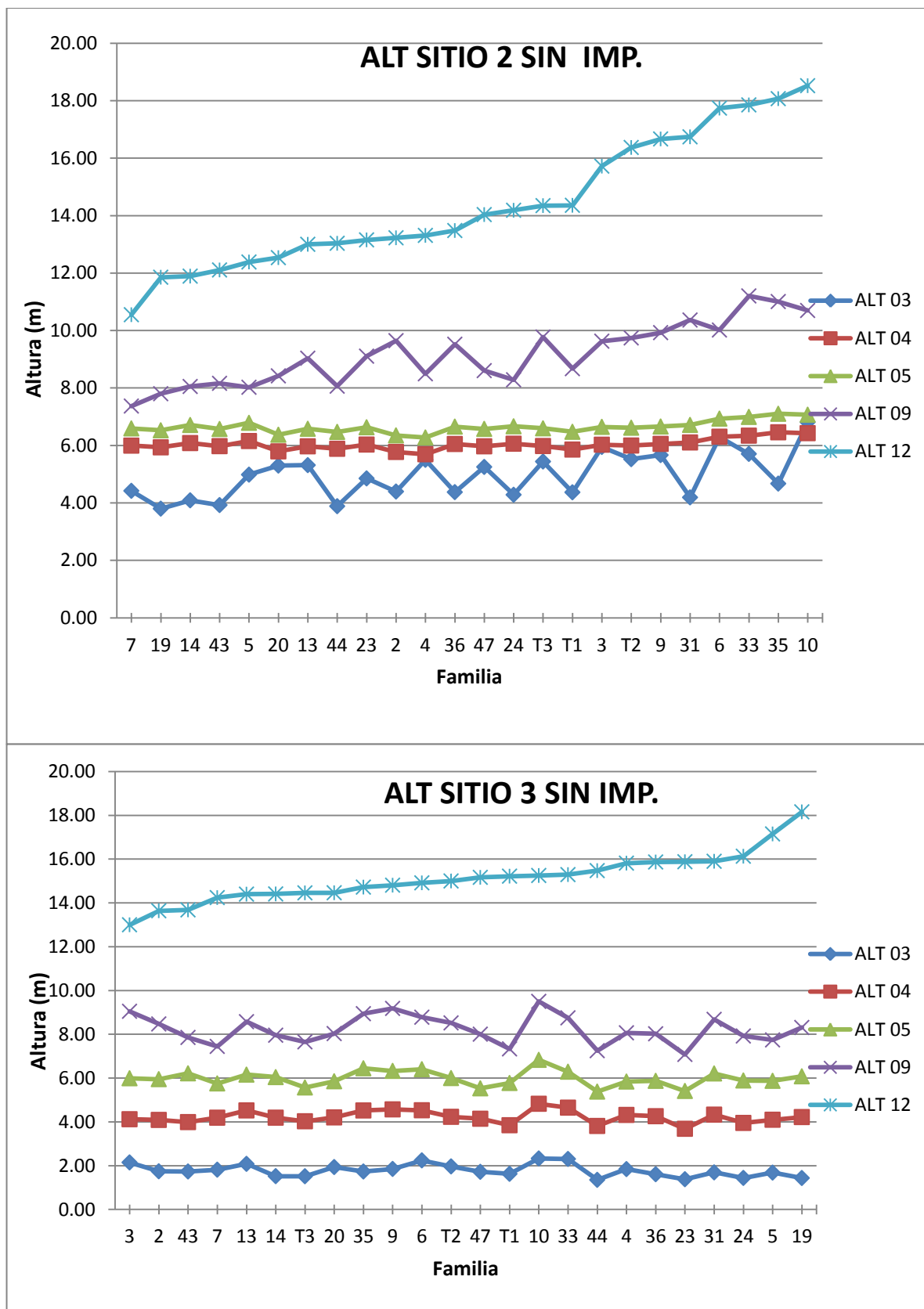
6. ANEXOS

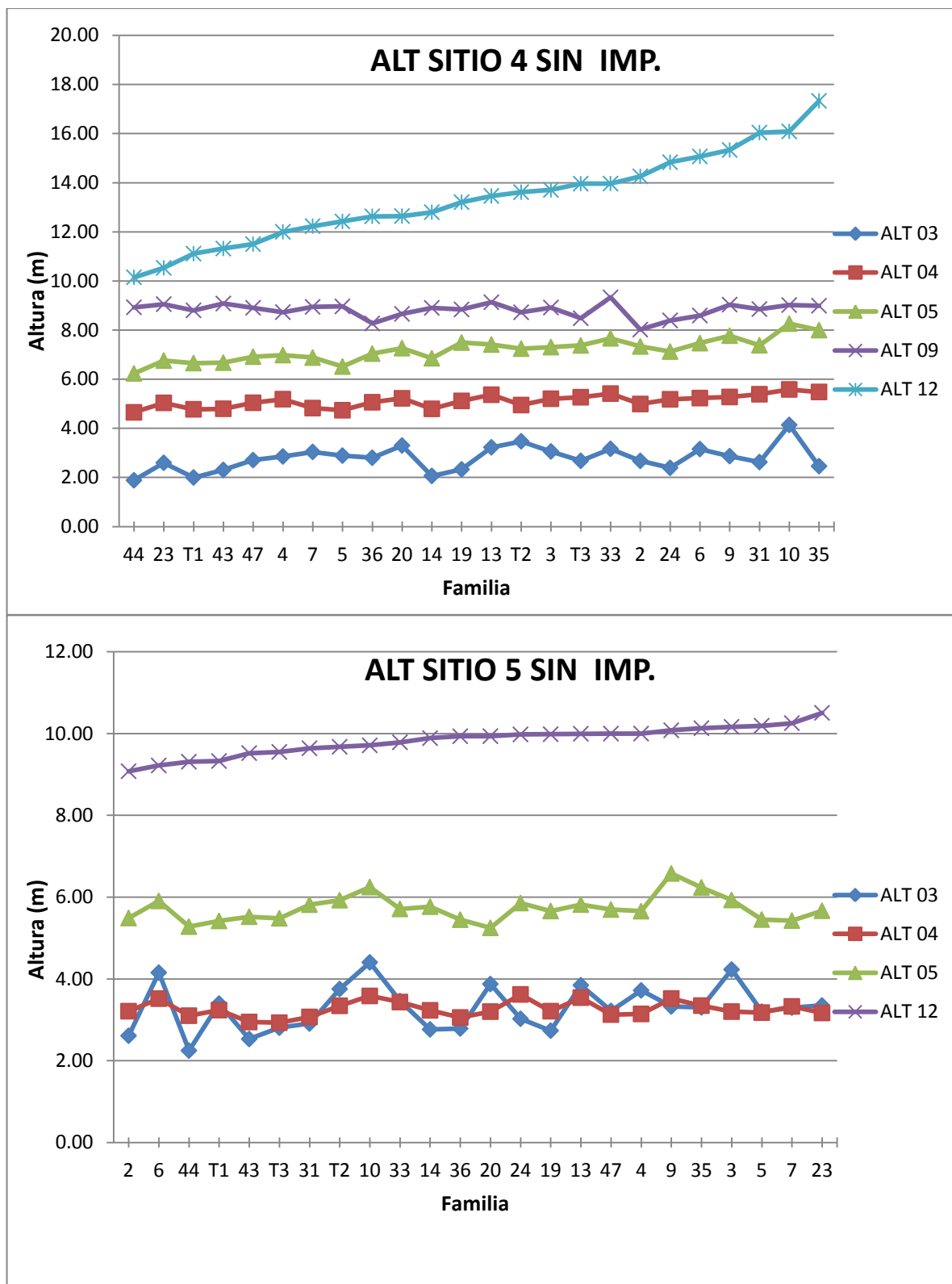
Anexo 1. Comportamiento de altura promedio (m) por sitio por familia en las diferentes edades evaluadas (2, 3, 4, 8 y 10 años de edad) CON y SIN imputación



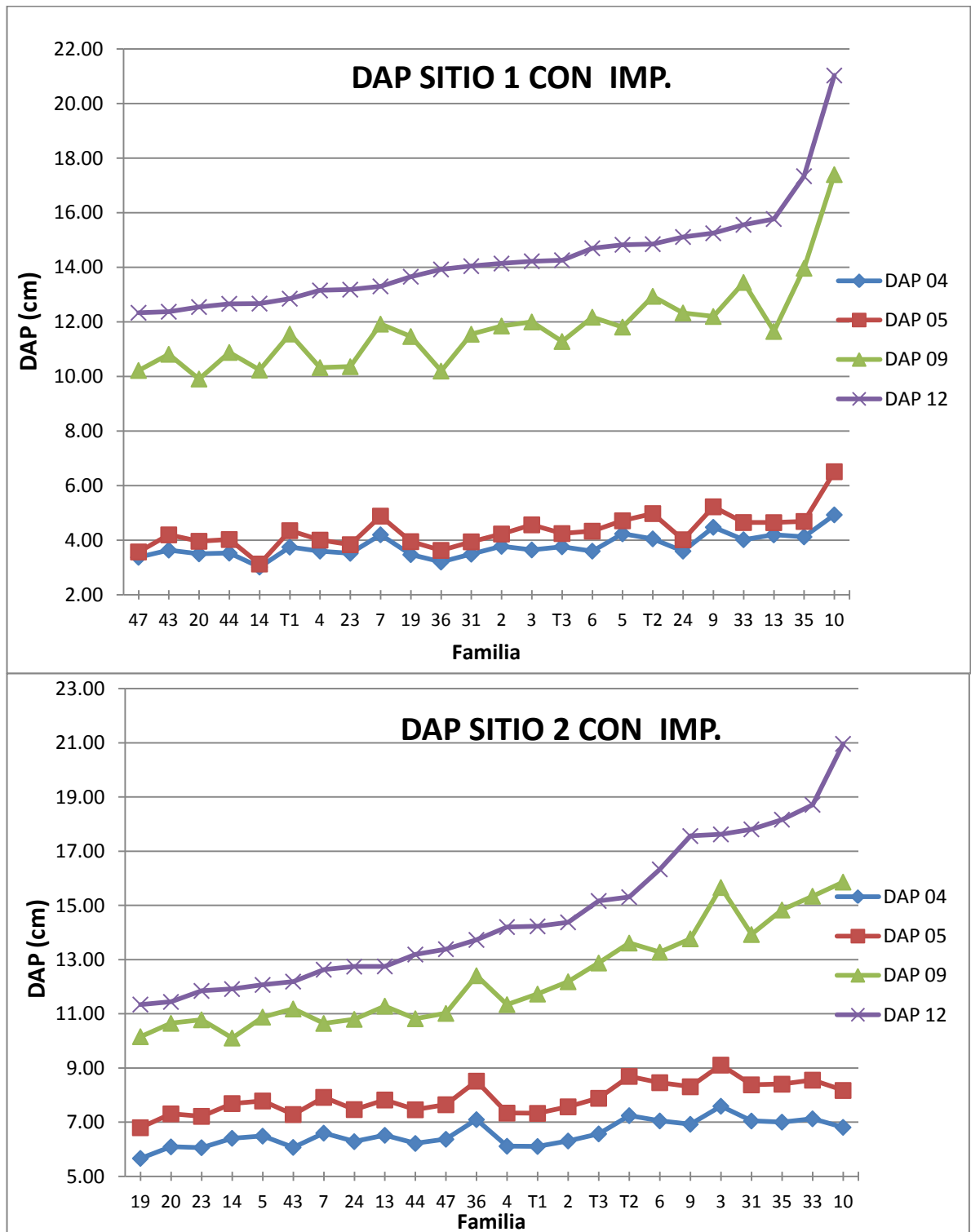


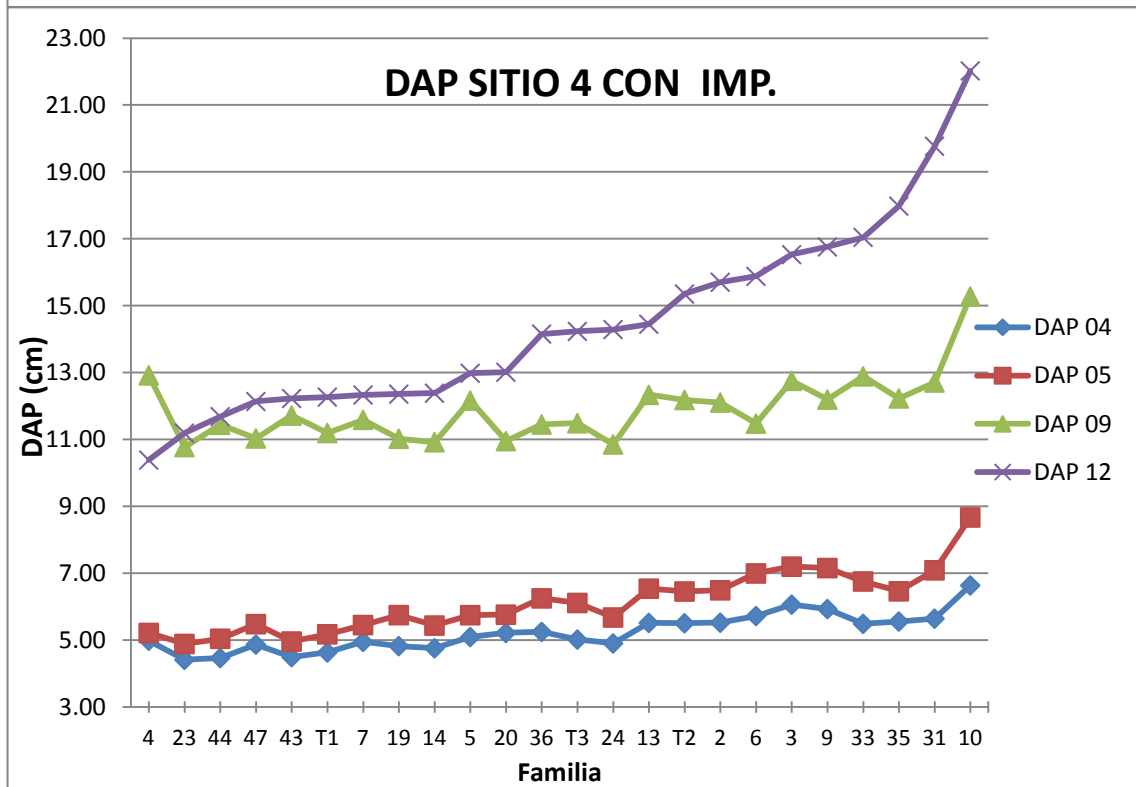
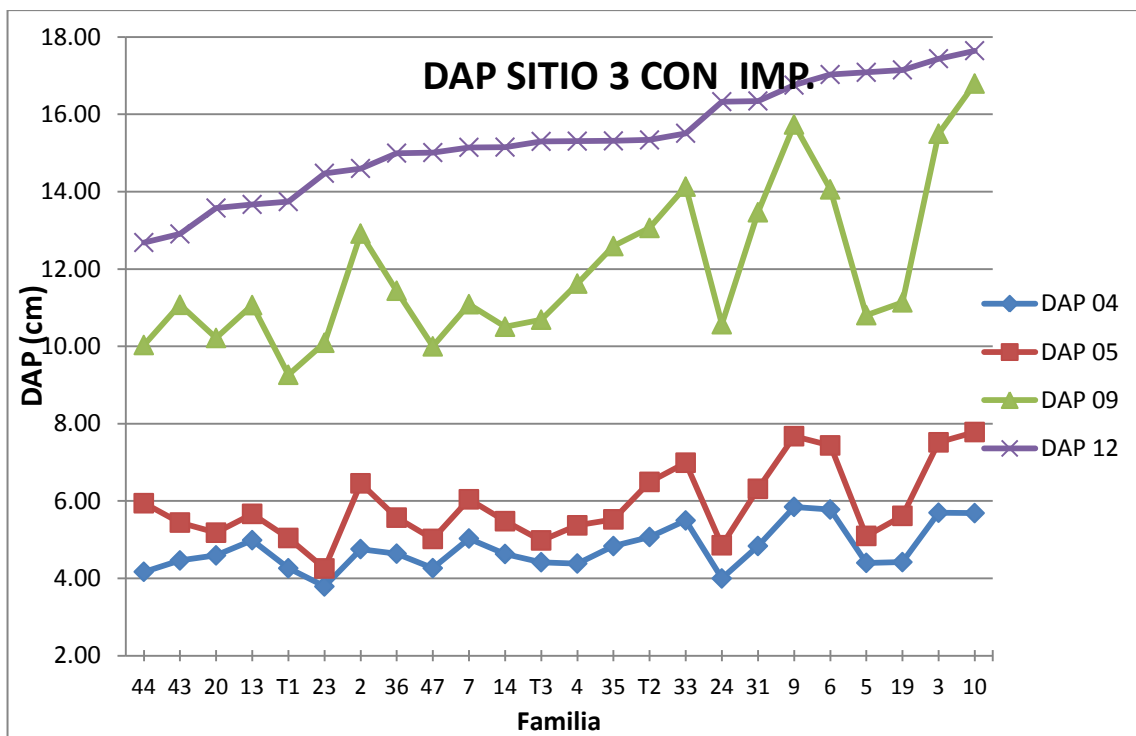


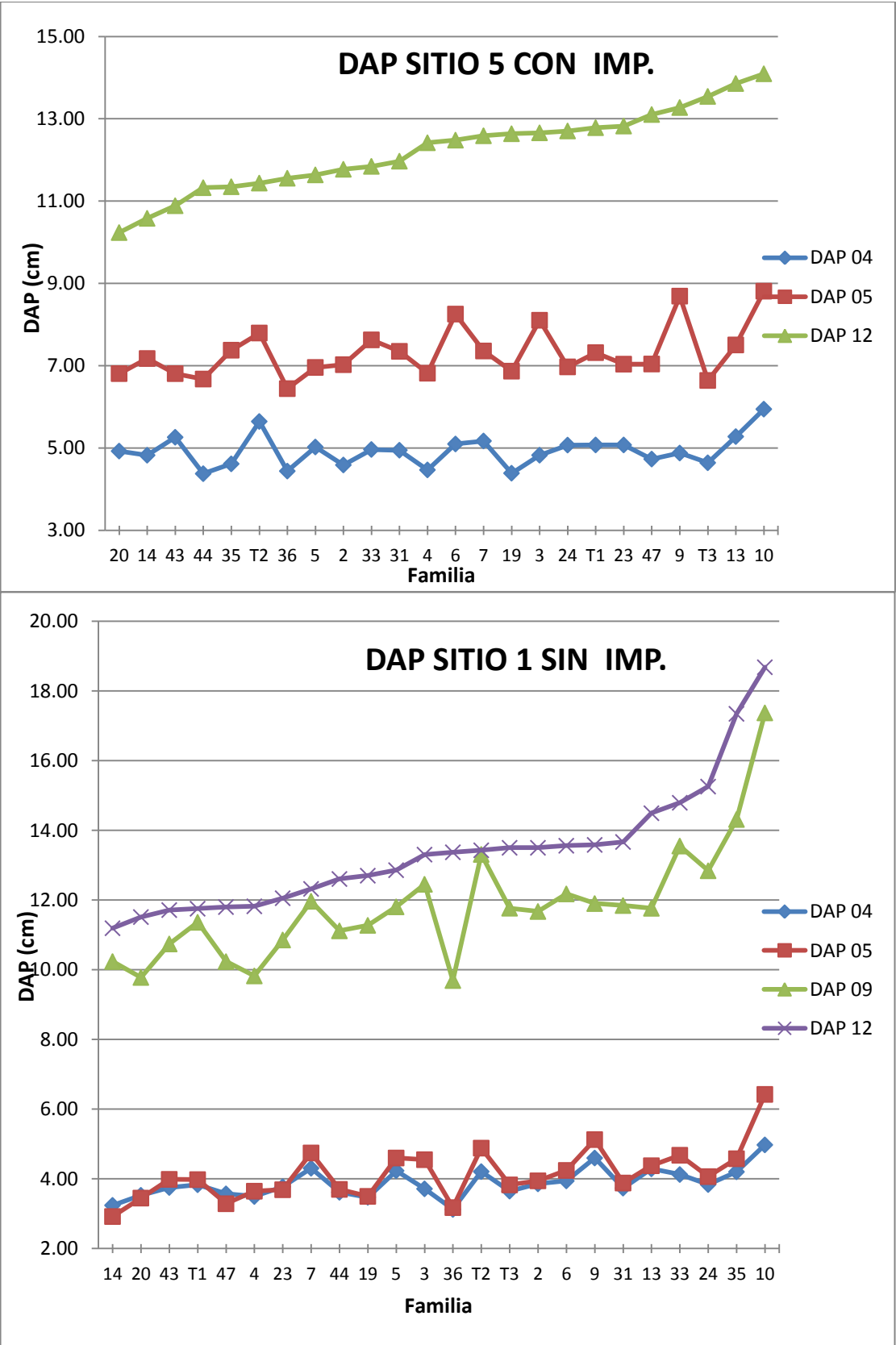


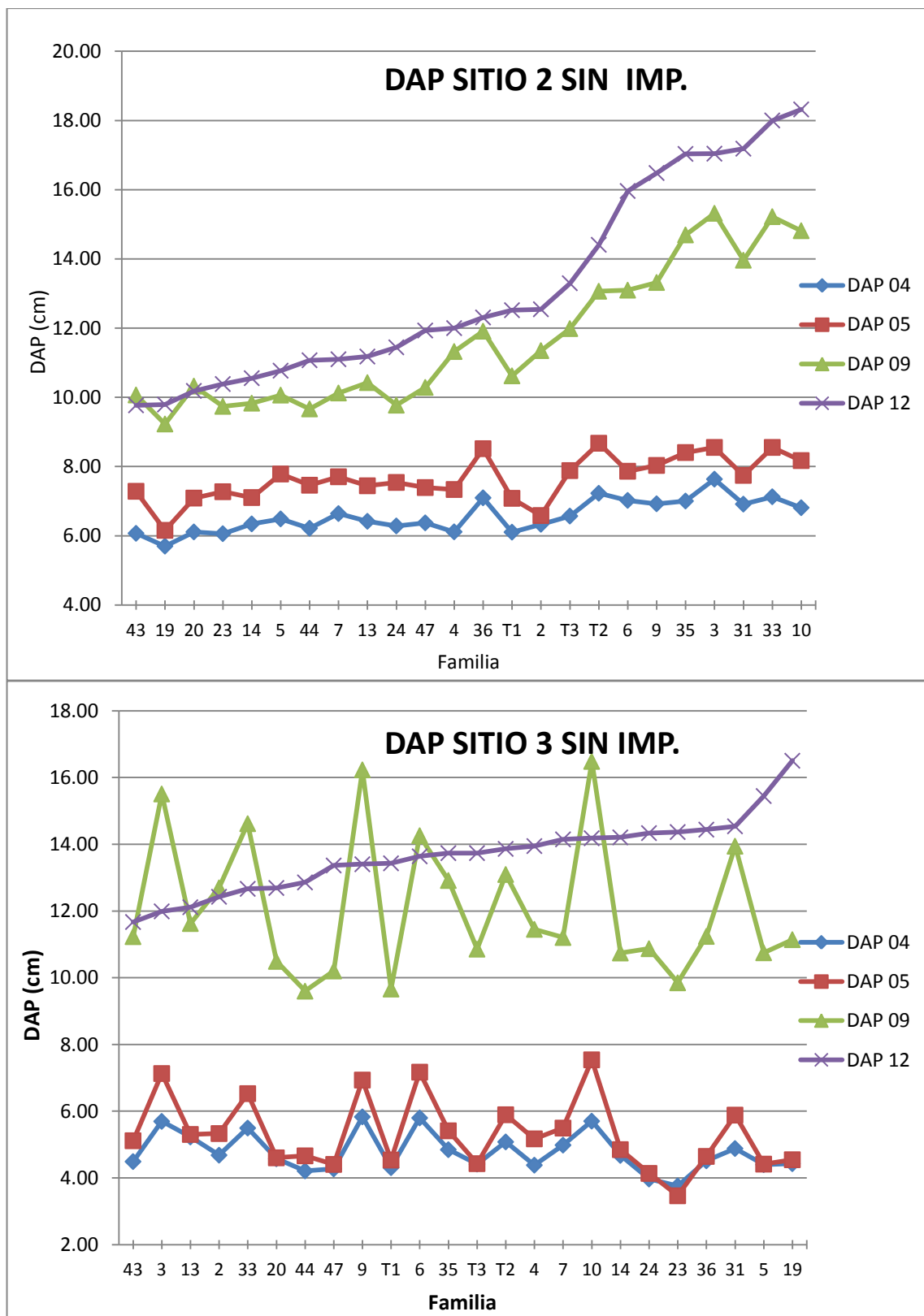


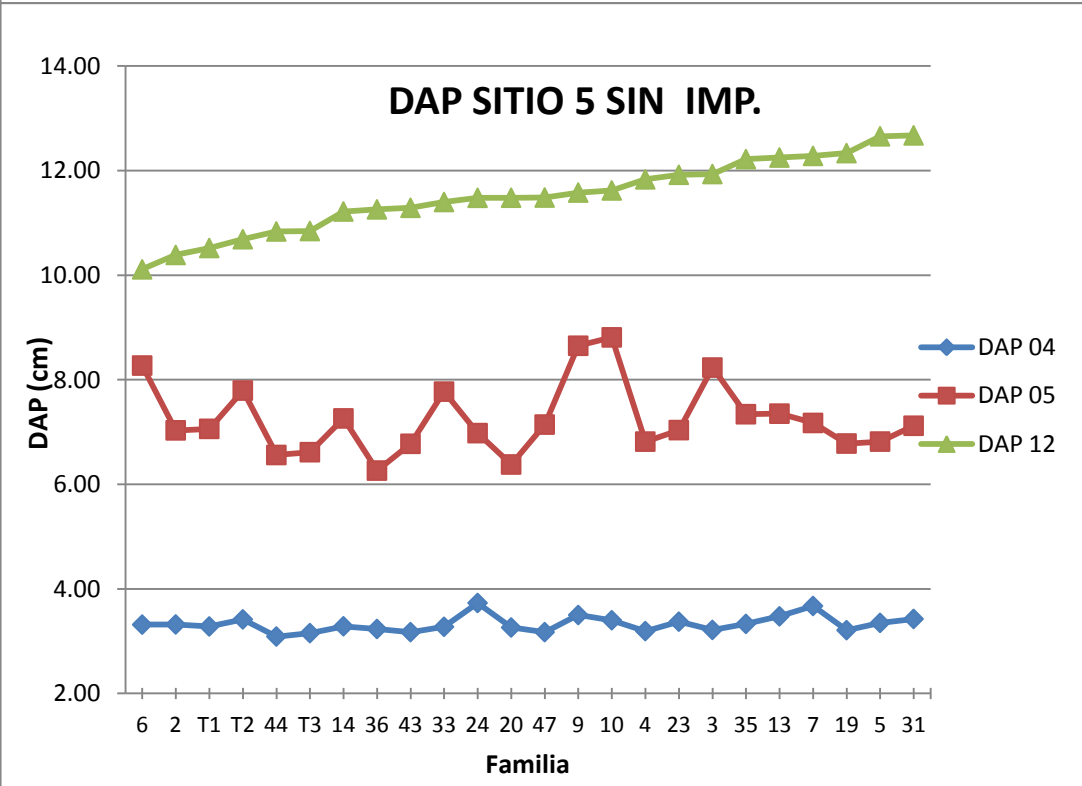
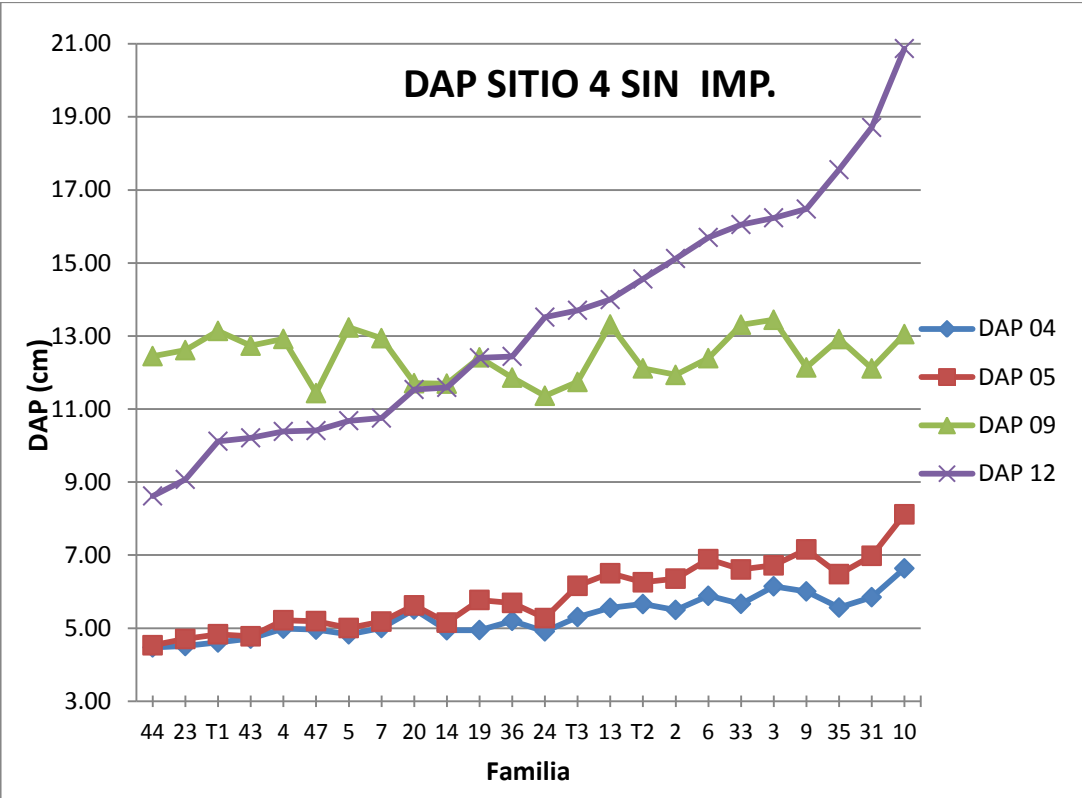
Anexo 2. Comportamiento de DAP (cm) promedio por sitio por familia en las diferentes edades evaluadas (2, 3, 4, 8 y 10 años de edad) CON y SIN imputación







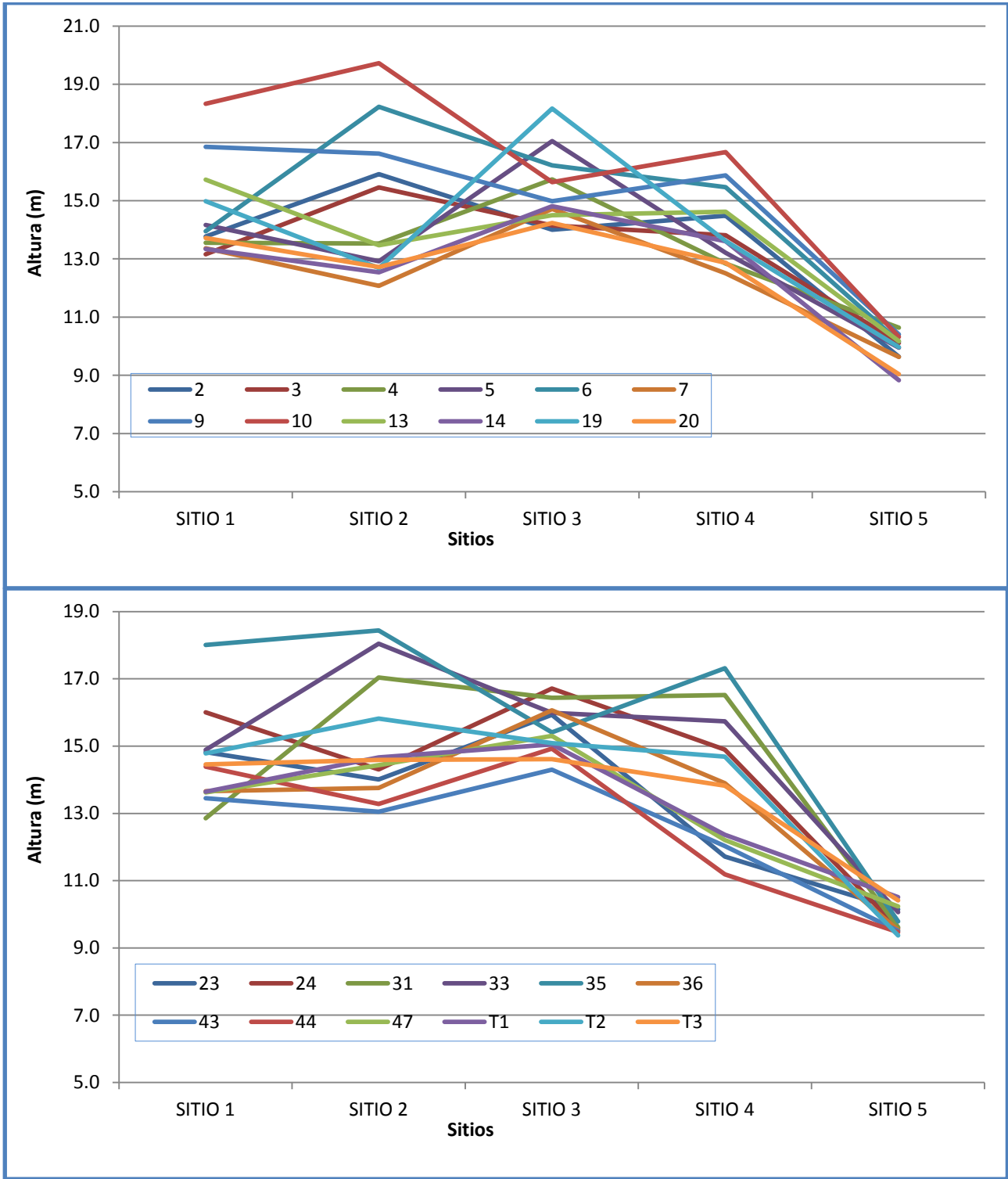




Anexo 3. Crecimiento en altura (m) de 24 familias de T. rosea evaluadas en 5 sitios, a los 10 años de edad, con los datos imputados.

FAMILIA	SITIO 1	SITIO 2	SITIO 3	SITIO 4	SITIO 5	MEDIA FAMILIAR
2	13.8	15.9	14.0	14.5	9.6	13.6
3	13.2	15.5	14.2	13.8	10.1	13.3
4	13.6	13.5	15.7	12.8	10.6	13.3
5	14.2	12.9	17.0	13.2	10.0	13.5
6	14.0	18.2	16.2	15.5	10.2	14.8
7	13.4	12.1	14.7	12.5	9.6	12.5
9	16.9	16.6	15.0	15.9	10.4	14.9
10	18.3	19.7	15.6	16.7	10.3	16.1
13	15.7	13.5	14.5	14.6	10.2	13.7
14	13.3	12.5	14.8	13.6	8.8	12.6
19	15.0	12.7	18.2	13.6	10.0	13.9
20	13.7	12.7	14.2	12.9	9.0	12.5
23	14.8	14.0	15.9	11.7	10.1	13.3
24	16.0	14.3	16.7	14.9	9.6	14.3
31	12.9	17.0	16.4	16.5	9.6	14.5
33	14.9	18.0	16.0	15.7	10.1	14.9
35	18.0	18.4	15.4	17.3	9.8	15.8
36	13.7	13.8	16.1	13.9	9.5	13.4
43	13.5	13.0	14.3	12.0	9.5	12.5
44	14.4	13.3	14.9	11.2	9.5	12.6
47	13.6	14.4	15.3	12.2	10.2	13.2
T1	13.6	14.7	15.1	12.4	10.5	13.2
T2	14.8	15.8	15.1	14.7	9.4	13.9
T3	14.5	14.6	14.6	13.8	10.4	13.6
MEDIA SITIO	14.6	14.9	15.4	14.0	9.9	13.7

Crecimiento en altura (m) de 24 familias de *T. rosea* evaluadas en 5 sitios, a los 10 años de edad, con los datos imputados.



Anexo 4. Crecimiento en diámetro (cm) de 24 familias de T. rosea evaluadas en 5 sitios, a los 10 años de edad, con los datos imputados.

FAMILIA	SITIO 1	SITIO 2	SITIO 3	SITIO 4	SITIO 5	MEDIA FAMILIAR
2	14.1	14.4	14.6	15.7	11.8	14.1
3	14.2	17.6	17.4	16.5	12.7	15.7
4	13.2	14.2	15.3	10.4	12.4	13.1
5	14.8	12.1	17.1	13.0	11.6	13.7
6	14.7	16.3	17.0	15.9	12.5	15.3
7	13.3	12.6	15.1	12.3	12.6	13.2
9	15.3	17.6	16.8	16.8	13.3	15.9
10	21.0	21.0	17.6	22.0	14.1	19.2
13	15.8	12.8	13.7	14.4	13.9	14.1
14	12.7	11.9	15.2	12.4	10.6	12.5
19	13.7	11.3	17.2	12.4	12.6	13.4
20	12.5	11.7	13.8	12.9	10.2	12.2
23	13.2	11.8	14.5	11.2	12.8	12.7
24	15.1	12.7	16.3	14.3	12.7	14.2
31	14.0	17.8	16.3	19.8	12.0	16.0
33	15.6	18.7	15.5	17.0	11.8	15.7
35	17.3	18.2	15.3	18.0	11.3	16.0
36	13.9	13.7	15.0	14.2	11.6	13.7
43	12.4	12.2	12.9	12.2	10.9	12.1
44	12.7	13.2	12.7	11.7	11.3	12.3
47	12.3	13.4	15.0	12.1	13.1	13.2
T1	12.9	14.2	13.7	12.3	12.8	13.2
T2	14.9	15.3	15.3	15.4	11.4	14.5
T3	14.3	15.2	15.3	14.2	13.5	14.5
MEDIA SITIO	14.3	14.6	15.4	14.5	12.2	14.2

Crecimiento en diámetro (cm) de 24 familias de *T. rosea* evaluadas en 5 sitios, a los 10 años de edad, con los datos imputados.

