

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE GANDIA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CLONES DE TECA
EN COSTA RICA**

Trabajo final de carrera en Ingeniería Técnica Forestal

**Carlos Gramage Espí
CARTAGO (COSTA RICA) 2010**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE GANDIA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CLONES DE TECA
EN COSTA RICA**

Trabajo final de carrera en Ingeniería Técnica Forestal

**Carlos Gramage Espí
CARTAGO (COSTA RICA) 2010**

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CLONES DE TECA EN COSTA RICA

Trabajo presentado a la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica junto con la Universidad Politécnica de Valencia como requisito para optar al título de Ingeniería Técnica Forestal.

Miembros del Tribunal

Ing. Olman Murillo Gamboa. Ph.D

Profesor tutor

Ing. Yorleny Badilla

Lectora

DEDICATORIA

A mis padres, José y Mari Carmen, a mis hermanas Cristina y Sara, y toda mi familia por el esfuerzo y apoyo que me han brindado desde el inicio de mis estudios y en cada momento de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento por la colaboración y apoyo en la realización del presente trabajo a las siguientes personas:

Al Ing. Olman Murillo, por su tutorización en este trabajo de investigación. Por transmitirme parte de su sabiduría. Por su amistad y confianza.

A la Ing. Yorlenny Badilla por la ayuda aportada en el desarrollo del estudio y por su amistad.

A todo el equipo técnico de las empresas ECOdirecta, BASA S.A. y BARCA S.A., por hacer posible el estudio y por la ayuda prestada.

A los trabajadores Jordan Cárdenas de ECOdirecta, Cristian Campos BASA S.A. y Félix Picado de BARCA S.A., por su importante trabajo realizado durante la etapa de toma de datos.

A todos mis compañeros de ITCR por su apoyo, colaboración y amistad.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	8
CAPÍTULO I.....	11
MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
Descripción del sitio.....	12
Diseño experimental.....	13
Mediciones realizadas.....	15
RESULTADOS	18
DISCUSIÓN.....	23
CONCLUSIONES.....	24
CAPÍTULO II.....	25
MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
Descripción del sitio.....	26
Diseño experimental.....	27
Mediciones realizadas.....	29
RESULTADOS	32
DISCUSIÓN.....	37
CONCLUSIONES.....	39
CAPÍTULO III.....	40
MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
Descripción del sitio.....	41
Diseño experimental.....	45

Mediciones realizadas.....	45
RESULTADOS	51
DISCUSIÓN.....	56
CONCLUSIONES.....	59
CAPÍTULO IV	60
MATERIALES Y MÉTODOS.....	61
Descripción del sitio.....	61
RESULTADOS	63
DISCUSIÓN.....	69
CONCLUSIONES.....	72
BIBLIOGRAFIA.....	73

INTRODUCCIÓN

La teca ha ganado gran reputación a nivel mundial debido a la alta calidad de su madera por su atractivo y durabilidad, posee gran resistencia al ataque de hongos e insectos y, por sus excelentes características. La madera es moderadamente dura, pesada, con mucha resistencia y presenta anillos de crecimiento.

Su madera fina, es fácil de trabajar, no presenta problemas de secado, posee buena durabilidad natural y estabilidad dimensional. Su carácter no corrosivo se debe a que posee aceites naturales, que la hacen resistente a termitas y a hongos.

Tectona grandis L. f, es una especie latifoliada que pertenece a la familia Verbenaceae. Es un árbol grande, decíduo, que puede alcanzar más de 50 m de altura y 2 m de diámetro en su lugar de origen. En Costa Rica alcanza alturas superiores a los 35 m en los mejores sitios.

Tectona consta de 3 especies, con una distribución natural del género discontinua, muchos autores citan que la especie es originaria del sureste asiático, entre los 12 y 25° latitud Norte y de 73 a 104° longitud Este.

En la zona de distribución natural, los bosques son de tipo monzónico, abarcando bosque seco tropical y bosque húmedo tropical.

Por la calidad de la madera, *Tectona* ha sido introducida en una gran cantidad de países que tienen clima tropical, entre los 18 y 28° latitud norte, en el sureste de Asia, en algunos países africanos y en muchos países de América Latina.

Las primeras plantaciones se establecieron en Costa Rica, a finales de los años 50 por la compañía bananera. Otros países en donde se han establecido plantaciones son Brasil, Perú, Salvador, Honduras, Bolivia, Ecuador, Jamaica, Colombia y Venezuela (Fonseca, W. Manual para productores de teca en Costa Rica, 2004).

La experiencia en Costa Rica demuestra que los mayores crecimientos se dan en sitios con altitudes menores a 500 msnm, con una estación seca marcada de 3 a 6 meses, entre 23 y 27 °C de temperatura promedio y una precipitación de 1300 a 2500 mm/año. Los mejores sitios son aquellos con una pendiente media (menor al 25 %), al pie de monte o en el fondo de valles, con suelos de textura liviana, bien drenados, fértiles, pH neutros, con una profundidad efectiva mayor a 80 cm, con alto contenido de calcio (Ca), fósforo (P) y magnesio (Mg).

La madera de teca por su solidez, resistencia, trabajabilidad y calidades estéticas, es la madera tropical más solicitada. Considerada como una de las más valiosas y apetecidas del mundo para el mercado específico de aplicaciones suntuarias como mueblería, componentes decorativos y construcciones navales (Manual para productores de teca en Costa Rica, 2004).

Se le atribuyen gran de variedad usos: en puentes, durmientes de ferrocarril, muebles internos y externos, carpintería en general, enchapado y contra enchapado, madera para parket, construcción de muelles o atracaderos...

La madera inmadura en rollo extraída por medio de raleos de las plantaciones está siendo utilizada como postes para madera laminada, puertas, pisos y otros productos.

Su importancia económica es de de gran relevancia en países de Asia como; Indonesia, Vietnam, Islas Solamón... algunos países de África como; Costa de Marfil, Nigeria...países de América latina como Jamaica, Costa Rica, Cuba, Ecuador y México.

Debido a imperfecciones naturales de la teca, como bifurcaciones, torcedura de fuste, existencia de ramas gruesas, gambas, la madera pierde calidad, que conlleva a grandes pérdidas económicas.

El objetivo de esta investigación es determinar para cada clon en su zona óptima para su mejor crecimiento y por tanto mayor calidad y/o volumen del fuste, así como delimitar aquellos clones que presenten en el mayor número de caracteres desfavorables para la producción de madera.

Los defectos de la madera de la teca producen grandes pérdidas económicas, de ahí que se recurra al mejoramiento genético para prevenir estos acontecimientos. El mejoramiento genético permite aislar aquellos genes que producen una pérdida de valor de la madera y acentuar aquellos que aumentan su valor. A través del mejoramiento genético se pretende localizar el mejor clon que incremente la producción y la calidad del fuste, debido a la ausencia de caracteres negativos como; rama gruesa, bifurcación, dobladura del fuste, gambas, entre otros.

En esta tesis se realiza el estudio y valoración de los clones de cinco empresas diferentes, cuyo crecimiento se da en diferentes zonas del país, por lo tanto en diferente situaciones climáticas y edafológicas.

Los clones reproducidos provienen de cinco empresas diferentes, seleccionados fenotípicamente, es decir, por su aspecto. Cada empresa aportó cinco clones de teca que se reprodujeron en cada lugar con el objetivo de determinar el clon de mejor calidad, volumen e índice en cada ambiente.

A través del software SELEGEN se obtuvieron parámetros genéticos de cada material evaluado de interés. Los principales valores son los de calidad y volumen, ya que en función de estos se determina el precio de la madera.

CAPÍTULO I

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CLONES DE TECA (*Tectona grandis*
L.f) EN EL CONCHO, SAN CARLOS, ZONA NORTE , COSTA RICA**

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio

Estos suelos pertenecientes a El Concho en San Carlos (zona norte de Costa Rica) se clasificaron como Ultisoles, y se caracterizan por ser muy viejos y meteorizados, profundos, de texturas arcillosas pesadas, colores rojizos, fertilidad baja, y pendientes de moderadas a fuertes (Vallejos, 2007).

Los suelos de esta finca presentan un perfil con una secuencia de horizontes Ap, Bt1, Bt2 y Bt3. La pendiente es ondulada con valores desde 3 a 30%, y algunas áreas planas con menos de 3% de pendiente. La profundidad efectiva de los suelos es de moderada a buena. En al menos la mitad de las observaciones con barreno se encontraron moteos amarillentos y rojizos en el horizonte Bt3, ubicado a una profundidad que oscila entre 60 y 90 cm. Sin embargo, sólo en dos observaciones se registró la capa de Plintita, a 52 y 60 cm. Esto indica que la finca en términos generales no presenta problemas por la presencia de Plintita que pudiera afectar el crecimiento del sistema radicular de los árboles.

La fertilidad de los suelos es de moderada a baja, principalmente por tener un pH ácido y contenidos de moderados a bajos de calcio, y deficiencias de fósforo, potasio y zinc. La acidez intercambiable es media y el pH ácido.

La principal limitante de estos suelos son las texturas arcillosas pesadas en el subsuelo, que se inician a partir de 30 cm de profundidad. Lo cual dificulta la penetración de raíces y el movimiento vertical del agua de drenaje. La profundidad efectiva es moderada, y los efectos de haber sido sembrada con melina podrían ser favorables, debido al aporte de materia orgánica proveniente de los residuos vegetales de estos árboles, como raíces, ramas y troncos. Y al efecto descompactador de las raíces de melina sobre el suelo.

Diseño experimental

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	EXP 48	EXP 48	BALS6	BALS6	ECO31CM	ECO31CM	BALS11	BALS11	GB41	GB41	THS	THS	PAW51	PAW51	BALL4	BALL4	BALS14	BALS14	BAMF2	BAMF2	GB37	GB37	GB11	GB11
2	BAMF2	BAMF2	PAW44	PAW44	ECO68	ECO68	EX55	EX55	EX49	EX49	TS	TS	PAW44	PAW44	GB14	GB14	EX7	EX7	GB15	GB15	ECO68	ECO68	EX48	EX48
3	BALS14	BALS14	ECO31	ECO31	GB14	GB14	GB15	GB15	ECO30	ECO30	BALS6	BALS6	PAW6	PAW6	BALS11	BALS11	ECO1	ECO1	EX49	EX49	ECO31CM	ECO31CM	ECO31	ECO31
4	PAW51	PAW51	GB37	GB37	GB11	GB11	EX7	EX7	PAW4	PAW4	EX8	EX8	PAW4	PAW4	ECO31	ECO31	PAW62	PAW62	TS	TS	GB41	GB41	EX55	EX55
5	BALL4	BALL4	ECO1	ECO1	EX8	EX8	PAW6	PAW6	PAW62	PAW62	ECO31CM	ECO31CM	BALS6	BALS6	EX55	EX55	THS	THS	EX8	EX8	ECO30	ECO30	GB14	GB14
6	THS	THS	GB41	GB41	EX49	EX49	BAMF2	BAMF2	PAW51	PAW51	GB15	GB15	EX48	EX48	TS	TS	GB37	GB37	GB11	GB11	PAW6	PAW6	BALL4	BALL4
7	GB37	GB37	TS	TS	PAW62	PAW62	ECO31	ECO31	BALL4	BALL4	GB11	GB11	EX7	EX7	ECO68	ECO68	PAW51	PAW51	GB41	GB41	BALS14	BALS14	PAW4	PAW4
8	BALS11	BALS11	EX7	EX7	ECO30	ECO30	PAW44	PAW44	ECO1	ECO1	ECO68	ECO68	BAMF2	BAMF2	EX8	EX8	ECO31CM	ECO31CM	ECO1	ECO1	BALS11	BALS11	BALS6	BALS6
9	EX55	EX55	EX48	EX48	PAW4	PAW4	BALS14	BALS14	GB14	GB14	PAW6	PAW6	EX49	EX49	GB15	GB15	ECO30	ECO30	PAW62	PAW62	THS	THS	PAW44	PAW44
10	EX49	EX49	ECO31CM	ECO31CM	THS	THS	BALS11	BALS11	GB41	GB41	EX55	EX55	BALL4	BALL4	GB11	GB11	EX7	EX7	BAMF2	BAMF2	EX8	EX8	TS	TS
11	GB141	GB141	ECO31	ECO31	PAW44	PAW44	GB37	GB37	PAW62	PAW62	TS	TS	PAW4	PAW4	BALS11	BALS11	EX48	EX48	GB15	GB15	GB37	GB37	EX49	EX49
12	PAW4	PAW4	ECO1	ECO1	GB15	GB15	ECO68	ECO68	BALS6	BALS6	BALS14	BALS14	ECO31	ECO31	PAW62	PAW62	BALS6	BALS6	PAW51	PAW51	EX55	EX55	BALS14	BALS14
13	BALS14	BALS14	ECO30	ECO30	BAMF2	BAMF2	PAW6	PAW6	EX8	EX8	THS	THS	ECO68	ECO68	ECO1	ECO1	PAW44	PAW44	THS	THS	PAW6	PAW6	EX48	EX48
14	PAW51	PAW51	BALL4	BALL4	GB14	GB14	EX7	EX7	EX48	EX48	BALS11	BALS11	GB14	GB14	GB41	GB41	BALS14	BALS14	ECO31CM	ECO31CM	ECO30	ECO30	BALS11	BALS11
15	BALS6	BALS6	GB41	GB41	EX55	EX55	PAW4	PAW4	ECO31CM	ECO31CM	PAW44	PAW44	BAMF2	BAMF2	EX55	EX55	EX8	EX8	BALL4	BALL4	GB11	GB11	GB14	GB14
16	PAW6	PAW6	PAW62	PAW62	GB11	GB11	THS	THS	ECO31	ECO31	ECO30	ECO30	PAW51	PAW51	GB37	GB37	EX49	EX49	TS	TS	ECO31CM	ECO31CM	BALS6	BALS6
17	GB15	GB15	EX48	EX48	TS	TS	EX49	EX49	ECO1	ECO1	BALL4	BALL4	GB15	GB15	ECO30	ECO30	EX7	EX7	PAW44	PAW44	PAW6	PAW6	THS	THS
18	ECO68	ECO68	GB37	GB37	EX8	EX8	GB14	GB14	BAMF2	BAMF2	EX7	EX7	PAW4	PAW4	ECO31	ECO31	ECO68	ECO68	PAW62	PAW62	PAW51	PAW51	GB41	GB41
19	PAW4	PAW4	ECO31	ECO31	PAW51	PAW51	THS	THS	GB15	GB15	BALS6	BALS6	ECO68	ECO68	ECO31CM	ECO31CM	EX48	EX48	GB37	GB37	EX8	EX8	PAW6	PAW6
20	ECO31CM	ECO31CM	BALS11	BALS11	BALL4	BALL4	PAW6	PAW6	ECO68	ECO68	EX49	EX49	TS	TS	BALL4	BALL4	PAW44	PAW44	BALS14	BALS14	PAW4	PAW4	ECO31	ECO31
21	BAMF2	BAMF2	GB14	GB14	BALS14	BALS14	EX48	EX48	EX55	EX55	GB14	GB14	BALS11	BALS11	ECO1	ECO1	BALS6	BALS6	GB14	GB14	EX55	EX55	TS	TS
22	TS	TS	ECO1	ECO1	ECO30	ECO30	GB41	GB41	EX8	EX8	BALS14	BALS14	EX49	EX49	PAW51	PAW51	THS	THS	THS	THS	THS	THS	ECO1	ECO1
23	GB11	GB11	PAW44	PAW44	EX7	EX7	PAW62	PAW62	PAW62	PAW62	ECO31	ECO31	ECO30	ECO30	EX7	EX7	PAW62	PAW62	BAMF2	BAMF2	GB41	GB41	EX48	EX48
24	EX55	EX55	GB15	GB15	PAW4	PAW4	BAMF2	BAMF2	BALS11	BALS11	THS	THS	EX55	EX55	PAW4	PAW4	ECO31	ECO31	ECO68	ECO68	BALS11	BALS11	GB14	GB14

Figura 1. Distribución de cada material en cada bloque, en el ensayo clonal de la teca GENFORES, establecido en la zona de El Concho de Pocosol, San Carlos, zona norte de Costa Rica.

El ensayo consistió en un diseño experimental de bloques completos al azar, con 6 bloques o repeticiones. En este ensayo se evaluaron 25 clones (tratamientos) de teca, procedentes de 5 empresas reforestadoras del Programa de mejoramiento genético GENFORES, dirigido por la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Como parte del ensayo, se establecieron dos materiales testigo o control: a) semilla procedente del huerto semillero del Centro Agrícola Cantonal de Hojancha (CACH), identificado con las letras HS; b) semilla procedente del rodal

semillero de la misma organización CACH, identificado con las letras RS. De cada clon (tratamiento) se plantaron 8 rametos por bloque, distribuidos aleatoriamente dentro del bloque en 4 parejas, con la restricción de que dos parejas de un mismo clon no quedaran a menos de 5 plantas de distancia. En total, cada clon estuvo representado por 6 bloques x 8 plantas = 48 plantas. Todos los árboles fueron plantados a 3 x 3 m de distancia. El terreno fue preparado previamente con una rastra y luego con un subsolador.

El análisis de los datos del ensayo fue realizado empleando el modelo 2 del software SELEGEN-REML/BLUP (RESENDE, M.D.V. 2002. Software, SELEGEN-RML/BLUP. EMBRAPA, Colombo, Brasil), para el análisis de clones no emparentados, establecidos en una sola localidad. El modelo estadístico está dado por $y = Xr + Za + Wp + e$, donde "y" es el vector de datos; "r" es el vector de los efectos de repetición (asumidos como fijos) y sumados a la media general; "a" es el vector de los efectos genéticos aditivos individuales (asumidos como aleatorios); "p" es el vector de los efectos de parcela (asumidos como aleatorios); y "e" es el vector del término del error o residuos (aleatorio). Las letras mayúsculas representan las matrices de incidencia para los efectos referidos. Con la ayuda de este programa, los datos se analizaron estadísticamente para separar los efectos ambientales de los efectos genéticos, para finalmente obtener el ranking de los valores genéticos en cada uno de los 17 caracteres analizados en la base de datos. De estos 17 caracteres, se analizaron los 7 de mayor importancia económica, volumen comercial, calidad del fuste, presencia de gambas, presencia de bifurcaciones, presencia de ramas gruesas, presencia de dobladez del fuste (daño por viento) y finalmente, índice de calidad. Este índice se construyó a partir de la unificación de los caracteres Volumen comercial y Calidad del fuste. Para esto se procedió a estandarizar todos los datos previamente, luego se multiplicaron por un peso económico (60% para el volumen y 40% para la calidad). Finalmente se multiplicaron por la heredabilidad de cada uno de los dos caracteres (peso genético). Esta nueva variable, denominada Índice de selección, expresa entonces la unificación de los dos caracteres. Por tanto, permite elegir los individuos que sean simultáneamente superiores, tanto en volumen como en calidad.

Los datos fueron analizados de dos maneras. Primero, se organizó la base de datos agrupando todos los clones a la empresa que pertenecían. De esta manera resultó una nueva base de datos con 7 procedencias o empresas (5 empresas y 2 testigos). La segunda base de datos se conformó entonces en la base original, es decir, todos los clones ordenados a nivel individual.

Mediciones realizadas

Mediciones realizadas.

Los parámetros medidos en campo los siguientes.

- Diámetro (DAP).

El diámetro de cada árbol fue tomado con una cinta métrica a 1'3 m. (altura normal) de la base del árbol en cm.

- Altura (h).

La altura total de cada árbol fue tomada con una pértiga, desplegada para cada uno de los ejemplares y expresada en metros (m.).

- Gambas (G).

Para cada uno de los ejemplares fue observada la base evaluando la posible formación de gambas en el futuro que devaluasen el valor del fuste. Se anotó presencia (1) ausencia (0) del defecto.

- Bifurcación (B).

La bifurcación de un árbol es una malformación que anula la utilidad del fuste, es por ello que su evaluación es drástica, dotando el valor de ese fuste con el menor valor (4). Se registró similar a la gamba, como una variable binomial (0= ausente; 1= presente).

La altura de la bifurcación se registró como B1=bifurcación en la troza 1; B2=bifurcación en la troza 2;...BN=bifurcación en la troza "n".

- Ramas gruesas (RG).

Las ramas gruesas se consideraban en dos situaciones;

a) La rama secundaria era de un grosor superior al 25% del fuste principal.

- b) El ángulo de inserción de las ramas con el fuste principal en su parte superior era superior a 30°.

En función del grosor y el grado de inclinación se daba un valor a la troza donde se encontraba la rama gruesa.

- Dobladura (D).

Se consideró dobladura al doblez/torcedura del fuste principal, causado principalmente por el efecto del viento. En función del ángulo de dobladura que formaba el fuste principal con el suelo y la cantidad del árbol doblado se le daba un valor a la troza.

- Torcedura (T).

La torcedura del fuste principal se presenta como una desviación del fuste principal de su eje vertical, hacia alguno de los lados de crecimiento. De este modo el fuste no se presenta recto, si no varía de un lado a otro.

Este efecto podía ser producido por dos razones:

- a) Mal crecimiento del árbol.
- b) Mal crecimiento debido a la fuerza ejercida por alguna cuerda con el fin de corregir la dobladura del árbol.

- Reiteración (R).

El efecto de la reiteración se produce principalmente cuando una rama gruesa (RG) se inserta en un ángulo muy agudo (< 45) y compite por la dominancia apical del árbol.

La altura de la reiteración se registró de la misma manera como se anotó la altura de bifurcación.

- Flores (F).

Existencia de flores.

- Semillas (S).

Existencia de semillas.

- Calidad.

Esta variable fue creada calificando las primeras cuatro trozas de 2.5m de largo del árbol.

Variables creadas.

- Volumen comercial.

$$\text{Volcom} = (\text{dap}/100)^2 * \pi I4 * \text{altura comercial} * \text{factor de conicidad}$$

RESULTADOS

Cuadro 1: Parámetros genéticos por carácter de clones teca procedentes de 5 empresas del Programa de mejoramiento genético GENFORES, evaluados a los 2,4 años de edad en El Concho, San Carlos, zona norte, Costa Rica.

Carácter	H ²	Valor fenotípico promedio	Exactitud ¹	Desviación Estandar ²
Volum Comerc.	0,737	0,033 m ³ ± 0,002	0,859	0,002
Calidad	0,454	90,00 ± 1,67 %	0,674	0,011
Gambas	0,477	17,60 ± 5,93%	0,690	0,036
Bifurcación	0,363	2,80 ± 2,55%	0,603	0,013
Rama Gruesa	0,548	48,00 ± 7,72%	0,740	0,06
Dobladez	0,015	9,60 ± 4,54%	0,124	0,006
Índice	0,673	5,59 ± 0,077	0,821	0,113

1. Correlación entre el valor genético verdadero y el valor genético estimado = $\sqrt{H^2}$.
2.

En el cuadro 1 se puede observar valores muy altos de heredabilidad en el sentido amplio para todos los caracteres, con excepción de las gambas. El volumen comercial aparece con el registro más alto de todos, indicando un control genético sumamente alto. La columna de valor fenotípico promedio registra una calidad muy alta de los materiales evaluados (84% de la calidad máxima posible). Así también, una ausencia casi total de gambas (3%) y de bifurcaciones (8%) a esta edad de medición. La presencia de ramas gruesas ya se registra en un 29% de los materiales.

La exactitud de los estimados de heredabilidad es muy alto para todos los caracteres, con excepción de las gambas. Finalmente, la desviación estándar de los parámetros exhibe valores sumamente bajos.

Cuadro 2: Ranking para los valores genéticos de los caracteres Volumen Comercial, Calidad del fuste e Índice de selección, en clones de teca agrupados por empresa, evaluados a los 2,4 años de edad en El Concho, Pocosol de San Carlos, zona norte de Costa Rica.

Ranking	Volumen Comercial (Vol.)	Calidad (Cal)	Índice ¹
1	Altamira (0,038)	HS-Hojan (90,9%)	Altamira (2,78)
2	El Concho (0,036)	Nandayure (90,8%)	El Concho (2,69)
3	Parrita (0,033)	RS-Hojan (90,6%)	Nandayure (2,62)
4	Nandayure (0,033)	Altamira (90,5%)	Parrita (2,60)
5	Los Chiles (0,033)	Los Chiles (90,0%)	Los Chiles (2,55)
6	HS Hojanca (0,030*)	El Concho (89,7%)	HS (2,52)
7	RS Hojanca (0,029*)	Parrita (87,3%)	RS (2,46*)
	DMS ² = 0,0071 m ³	4,39 %	0,25

1. Índice = Vol.*0,6*H²_{VOL} + Cal*0,4*H²_{CALIDAD} (Valores estandarizados de Vol. y Cal)

2. DMS = Diferencia Mínima Significativa (basada en límites de confianza).

HS = Testigo, Huerto Semillero de Hojanca

RS = Testigo, Rodal Semillero de Hojanca

En el cuadro 2 se observa el ranking del valor genético de los materiales evaluados por empresa. Se posiciona con el mayor potencial en volumen comercial en este sitio a los clones procedentes de Altamira, seguido de los clones de El Concho, ambos de la zona norte del país. Mientras que claramente, los dos testigos se ubican en las últimas posiciones para este carácter.

De manera diferente, en el ranking del valor genético de la calidad del fuste se ubica en la primera posición los clones de la empresa de Nandayure, Guanacaste. Le siguen los clones procedentes de Altamira (zona norte), que repite en los primeros lugares para este carácter también. Los clones de Parrita se ubican como los de peor calidad de fuste, junto con los materiales procedentes de Los Chiles (zona norte), que repite en posiciones bajas. Para este carácter, los dos testigos se ubican en posiciones intermedias.

Cuadro 3: Parámetros genéticos por carácter de 25 clones teca procedentes de 5 empresas del Programa de mejoramiento genético GENFORES, evaluados a los 2,4 años de edad en El Concho, Pocosol de San Carlos, zona norte de Costa Rica.

Carácter	H ²	Valor fenotípico promedio	Exactitud ¹	Desviación Estandar ²
Volum Comerc.	0,819	0,034 m ³ ± 0,002	0,905	0,0016
Calidad	0,486	89,8% ± 0,85	0,697	0,0114
Gambas	0,518	82,1 % ± 3,02	0,720	0,0367
Bifurcación	0,498	97,2% ± 1,30	0,706	0,0151
Rama Gruesa	0,510	51,5 % ± 3,93	0,713	0,0577
Dobladez	0,146	90,4 % ± 2,31	0,382	0,0172
Índice	0,795	2,87 ± 0,04	0,891	0,0658

En el cuadro 3 se observan valores altos de heredabilidad en el sentido amplio, donde sobresalen estimados de hasta 0,69 para volumen comercial. El carácter calidad, sin embargo, registró una heredabilidad sumamente baja (2,4%). Los caracteres gambas y rama gruesa muestran también un débil control genético, con valores de heredabilidad relativamente bajos. De manera general, los valores de heredabilidad por clones individuales (cuadro 3) son menores a los valores obtenidos para los grupos de clones por empresa (cuadro 1). Con excepción del carácter gambas, que en este caso aumentó y en el carácter calidad, que registró un valor menor al colectivo por empresa.

La exactitud de los estimados muestra valores altos en los caracteres volumen comercial, dobladez (viento), bifurcación, rama gruesa y gambas. Nuevamente, para los estimados de calidad se registra una baja exactitud. Las desviaciones estándar aparecen nuevamente con valores sumamente bajos.

Cuadro 4: Ranking para los valores genéticos de los caracteres Volumen Comercial y Calidad del fuste, en clones de teca evaluados a los 2,4 años de edad en El Concho, Pocosol de San Carlos, zona norte de Costa Rica.

Ranking	Volumen Comercial (Vol.)	Calidad (Cal)	Índice ¹
1	A8 (0,0422)	N44 (91,22)	A8 (3,145)
2	A49 (0,0396)	A7 (90,99)	A49 (3,0531)
3	EC11 (0,0393)	LCH30 (90,89)	EC11 (3,0526)
4	A48 (0,0376)	HS (90,84)	A48 (2,9914)
5	EC41 (0,0373)	RS (90,51)	A7 (2,9739)
6	N4 (0,0364)	N6 (90,4)	N4 (2,959)
7	A7 (0,0363)	N62 (90,34)	LCH30 (2,9387)
8	P14 (0,0359)	N44 (90,33)	EC14 (2,9328)
9	EC14 (0,0358)	A55 (90,32)	P14 (2,9242)
10	LCH31 (0,0357)	EC37 (90,29)	N6 (2,9201)
11	P4 (0,0354)	EC14 (90,24)	EC41 (2,918)
12	LCH30 (0,0354)	EC11 (90,08)	LCH31 (2,9104)
13	N6 (0,0353)	LCH1 (90,05)	EC15 (2,8959)
14	EC15 (0,0349)	A48 (90,05)	N62 (2,8853)
15	P11 (0,0349)	EC15 (90,01)	P4 (2,88)
16	N62 (0,0343)	P4 (89,82)	LCH1 (2,8652)
17	LCH1 (0,034)	A8 (89,78)	A55 (2,8507)
18	N5 (10,0339)	P14 (89,77)	N51 (2,8414)
19	A55 (0,0334)	A49 (89,75)	P11 (2,8313)
20	LCH31CM (0,0321)	LCH31 (89,56)	EC37 (2,7909)
21	EC37 (0,0317)	LCH31CM (89,46)	LCH31CM (2,7792)
22	P6 (0,0311)	LCH68 (89,43)	HS (2,7299)
23	P2 (0,0307)	N51 (89,42)	LCH6 (82,706)
24	LCH68 (0,03)	EC41 (87,94)	N44 (2,6936)
25	HS (0,0295)	P11 (87,91)	P6 (2,6731)
26	RS (0,0286)	P6 (87,17)	RS (2,6633)
27	N44 (0,0282)	P2 (87,15)	P2 (2,6611)
DMS	0,0064 m ³	4,48%	0,258

1. Índice = Vol.*0,6*H²_{VOL} + Cal*0,4*H²_{CALIDAD} (Valores estandarizados de Vol. y Cal)

2. DMS = Diferencia Mínima Significativa (basada en límites de confianza).

HS = Testigo, Huerto Semillero de Hojancha.

RS = Testigo, Rodal Semillero de Hojancha.

En el cuadro 4 se puede observar, para el ranking genético del carácter volumen comercial, una distribución de clones procedentes de diferentes empresas. Sin embargo, se puede distinguir una tendencia a posicionarse en los primeros lugares a los clones procedentes de la zona norte del país, con excepción del clon 23 (Nandayure, Guanacaste) que se ubica en la primera posición. De manera importante, los dos testigos se posicionan en los dos últimos lugares, por debajo de todos los clones.

Para el carácter calidad del fuste, el ranking genético varía considerablemente. El mismo clon 23 (Nandayure) se vuelve a posicionar en el primer lugar, seguido por varios clones procedentes de Altamira. En los peores lugares se ubican varios de los clones de Parrita y Zona norte (Los Chiles y El Concho). En esta oportunidad, los dos testigos se ubican por encima del promedio global de todos los clones evaluados.

DISCUSIÓN

Los valores tan altos de heredabilidad pueden estar explicados por un buen trabajo experimental en el ensayo. Debe recordarse que esta empresa preparó bien el suelo, al utilizar el arado, la rastra y el subsolado. Así también aplicó un poco de cal al inicio para estabilizar la acidez del suelo. Al utilizar 48 plantas por clon, de las cuales 8 por bloque aleatorizados en 4 parejas, se logra una efectividad sumamente alta en los estimados, así como en el control de la variación ambiental intrabloque.

Solamente la dobladez del fuste registra una heredabilidad insignificante (1,5 %), lo cual indica la ausencia de efectos genéticos como posible fuente de explicación de su variación. Por el contrario, aparece la gamba con un alto control genético y más aún, la presencia o ausencia de ramas gruesas. Estos resultados sugieren un futuro prominente para el control de la gamba y la rama gruesa a través de la selección cuidadosa de los clones. La rama gruesa se presenta en casi un 30% de los individuos, por lo que el mejoramiento contra este carácter, tendrá sin duda un alto impacto económico.

En el cuadro 2 se puede observar que aquellos clones seleccionados en la misma zona del ensayo (Altamira y El Concho), superan ampliamente a todas las demás procedencias, en particular, a los dos testigos. Muy probablemente, su mayor adaptabilidad al sitio expliquen su mejor desempeño. Si se analiza el comportamiento de los materiales en relación con el carácter calidad, los clones procedentes de Nandayure superan ahora a todos los demás, aunque no se registraron diferencias significativas entre ninguna de las procedencias. Sin embargo, hay claramente una tendencia de los clones de Nandayure de ubicarse en la primera posición. Lo cual refleja un muy buen trabajo de selección a favor de la calidad del fuste en esta empresa.

Los resultados altos para la heredabilidad de caracteres como gambas, bifurcación y rama gruesa, señalan un futuro halagador para el mejoramiento genético contra estos defectos de alto impacto económico.

CONCLUSIONES

No debe plantarse la semilla del huerto semillero ni del rodal semillero de Hojancha en esta zona a nivel comercial. Por el contrario, los clones de la empresa de Altamira, son los más recomendables y seguros para plantar. A nivel de clones individuales, el A8, A49, EC11, A48, A7, N4, LCH30, EC14, P14 y N6 son los que se deberían plantar comercialmente en la zona de El Concho, con preparación del suelo.

No es recomendable plantar la semilla del huerto semillero ni la del rodal semillero de Hojancha.

Existe un potencial de progreso genético para disminuir o eliminar en teca defectos como la presencia de gambas, bifurcaciones, ramas gruesas y débilmente, dobladez del fuste.

CAPÍTULO II

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CLONES DE TECA (*Tectona grandis*
L.f) EN SAN ANTONIO DE POCOSOL, SAN CARLOS ZONA NORTE COSTA
RICA**

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio

La clasificación de estos suelos es de Ultisoles, y se caracterizan por ser muy viejos y meteorizados, profundos, de texturas arcillosas pesadas, colores rojizos, fertilidad baja, y pendientes de moderadas a fuertes.

Los suelos de esta finca presentan un perfil con una secuencia de horizontes Ap, Bt1, Bt2 y Bt3. La pendiente es ondulada con valores desde 3 a 30%, y algunas áreas planas con menos de 3% de pendiente. La profundidad efectiva de los suelos es de moderada a buena. En al menos la mitad de las observaciones con barreno se encontraron moteos amarillentos y rojizos en el horizonte Bt3, ubicado a una profundidad que oscila entre 60 y 90 cm, sin embargo, sólo en las observaciones 21 y 28 se presentó la capa de Plintita. A 52 y 60 cm, respectivamente. Esto indica que la finca en términos generales no presenta problemas por la presencia de Plintita que pudiera afectar el crecimiento del sistema radicular de los árboles.

La fertilidad de los suelos es de moderada a baja, principalmente por tener un pH ácido y contenidos de moderados a bajos de calcio, y deficiencias de fósforo, potasio y zinc. La acidez intercambiable es media y el pH ácido, por lo que sería necesario aplicar cal para mejorar la condición de fertilidad del suelo, y un fertilizante alto en fósforo a la siembra de los árboles.

La principal limitante de estos suelos son las texturas arcillosas pesadas en el subsuelo, que se inician a partir de 30 cm de profundidad, lo cual dificulta la penetración de raíces y el movimiento vertical del agua de drenaje. La profundidad efectiva es moderada, y los efectos de haber sido sembrada con melina podrían ser favorables debido al aporte de materia orgánica proveniente de los residuos vegetales de estos árboles, como raíces, ramas y troncos. Y al efecto descompactador de las raíces de melina sobre el suelo.

La mayoría de las tierras clasifican en la clase $IVe_{12S_{24}}$, por limitaciones de pendiente, erosión, textura arcillosa y fertilidad baja.

Estas tierras son aptas para la siembra de Acacia, aunque se sugiere realizar una preparación adecuada del terreno, y aplicar cal y fertilizante alto de P a la siembra.

Diseño experimental

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
Finca: San Antonio																									
Lote: ensayo																									
Especie: Teca																									
Año de siembra: 18-10-08																									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	BLOQUE 1
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	2		
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	3			
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	4				
5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	5					
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	6						
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	7							
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	8								
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	9									
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	10										
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	11											
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	12												
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	13													
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	14														
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	15															
16	17	18	19	20	21	22	23	24	16																
17	18	19	20	21	22	23	24	17																	
18	19	20	21	22	23	24	18																		
19	20	21	22	23	24	19																			
20	21	22	23	24	20																				
21	22	23	24	21																					
22	23	24	22																						
23	24	23																							
24	24																								

Figura 2 : Distribución espacial y de cada material en cada bloque, en el ensayo clonal de teca GENFORES, establecido en la zona de San Antonio de Pocosol, San Carlos, zona norte, Costa Rica.

El ensayo consistió en un diseño experimental de bloques completos al azar, con 6 bloques o repeticiones. En este ensayo se evaluaron 25 clones (tratamientos) de teca, procedentes de 5 empresas reforestadoras del Programa de mejoramiento genético GENFORES, dirigido por la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Como parte del ensayo, se establecieron dos materiales testigo o control: a) semilla procedente del huerto semillero del Centro Agrícola Cantonal de Hojancha (CACH), identificado con las letras HS; b) semilla procedente del rodal semillero de la misma organización CACH, identificado con las letras RS. De cada clon (tratamiento) se plantaron 8 rametos por bloque, distribuidos aleatoriamente dentro del bloque en 4 parejas, con la restricción de que dos parejas de un mismo clon no quedarán a menos de 5 plantas de distancia. En total, cada clon estuvo representado por 6 bloques x 8 plantas = 48 plantas. Todos los árboles fueron plantados a 3 x 3 m

de distancia. El terreno fue preparado previamente con una rastra y luego con un subsolador.

El análisis de los datos del ensayo fue realizado empleando el modelo 2 del software SELEGEN-REML/BLUP (RESENDE, M.D.V. 2002. Software, SELEGEN-RML/BLUP. EMBRAPA, Colombo, Brasil) para el análisis de clones no emparentados, establecidos en una sola localidad. El modelo estadístico está dado por $y = Xr + Za + Wp + e$, donde "y" es el vector de datos; "r" es el vector de los efectos de repetición (asumidos como fijos) y sumados a la media general; "a" es el vector de los efectos genéticos aditivos individuales (asumidos como aleatorios); "p" es el vector de los efectos de parcela (asumidos como aleatorios); y "e" es el vector del término del error o residuos (aleatorio). Las letras mayúsculas representan las matrices de incidencia para los efectos referidos. Con la ayuda de este programa, los datos se analizaron estadísticamente para separar los efectos ambientales de los efectos genéticos, para finalmente obtener el ranking de los valores genéticos en cada uno de los 17 caracteres analizados en la base de datos. De estos 17 caracteres, se analizaron los 7 de mayor importancia económica, volumen comercial, calidad del fuste, presencia de gambas, presencia de bifurcaciones, presencia de ramas gruesas, presencia de dobladez del fuste (daño por viento) y finalmente, índice de calidad. Este índice se construyó a partir de la unificación de los caracteres Volumen comercial y Calidad del fuste. Para esto se procedió a estandarizar todos los datos previamente, luego se multiplicaron por un peso económico (60% para el volumen y 40% para la calidad). Finalmente se multiplicaron por la heredabilidad de cada uno de los dos caracteres (peso genético). Esta nueva variable, denominada Índice de selección, expresa entonces la unificación de los dos caracteres. Por tanto, permite elegir los individuos que sean simultáneamente superiores, tanto en volumen como en calidad.

Los datos fueron analizados de dos maneras. Primero, se organizó la base de datos agrupando todos los clones a la empresa que pertenecían. De esta manera resultó una nueva base de datos con 7 procedencias o empresas (5 empresas y 2 testigos). La segunda base de datos se conformó entonces en la base original, es decir, todos los clones ordenados a nivel individual.

Mediciones realizadas

Mediciones realizadas.

Los parámetros medidos en campo los siguientes.

- Diámetro (DAP).

El diámetro de cada árbol fue tomado con una cinta métrica a 1'3 m. (altura normal) de la base del árbol en cm.

- Altura (h).

La altura total de cada árbol fue tomada con una pértiga, desplegada para cada uno de los ejemplares y expresada en metros (m.).

- Gambas (G).

Para cada uno de los ejemplares fue observada la base evaluando la posible formación de gambas en el futuro que devaluasen el valor del fuste. Se anotó presencia (1) ausencia (0) del defecto.

- Bifurcación (B).

La bifurcación de un árbol es una malformación que anula la utilidad del fuste, es por ello que su evaluación es drástica, dotando el valor de ese fuste con el menor valor (4). Se registró similar a la gamba, como una variable binomial (0= ausente; 1= presente).

La altura de la bifurcación se registró como B1=bifurcación en la troza 1; B2=bifurcación en la troza 2 ;...BN=bifurcación en la troza "n".

- Ramas gruesas (RG).

Las ramas gruesas se consideraban en dos situaciones;

c) La rama secundaria era de un grosor superior al 25% del fuste principal.

- d) El ángulo de inserción de las ramas con el fuste principal en su parte superior era superior a 30°.

En función del grosor y el grado de inclinación se daba un valor a la troza donde se encontraba la rama gruesa.

- Dobladura (D).

Se consideró dobladura al doblado/torcedura del fuste principal, causado principalmente por el efecto del viento. En función del ángulo de dobladura que formaba el fuste principal con el suelo y la cantidad del árbol doblado se le daba un valor a la troza.

- Torcedura (T).

La torcedura del fuste principal se presenta como una desviación del fuste principal de su eje vertical, hacia alguno de los lados de crecimiento. De este modo el fuste no se presenta recto, si no varía de un lado a otro.

Este efecto podía ser producido por dos razones:

- c) Mal crecimiento del árbol.
- d) Mal crecimiento debido a la fuerza ejercida por alguna cuerda con el fin de corregir la dobladura del árbol.

- Reiteración (R).

El efecto de la reiteración se produce principalmente cuando una rama gruesa (RG) se inserta en un ángulo muy agudo (< 45) y compite por la dominancia apical del árbol.

La altura de la reiteración se registró de la misma manera como se anotó la altura de bifurcación.

- Flores (F).

Existencia de flores.

- Semillas (S).

Existencia de semillas.

- Calidad.

Esta variable fue creada calificando las primeras cuatro trozas de 2.5m de largo del árbol.

Variables creadas.

- Volumen comercial.

$$\text{Volcom} = (\text{dap}/100)^2 * \pi I4 * \text{altura comercial} * \text{factor de conicidad}$$

RESULTADOS

Cuadro 5: Parámetros genéticos por carácter de clones teca procedentes de 5 empresas del Programa de mejoramiento genético GENFORES, evaluados a los 2,4 años de edad en San Antonio, Pocosol de San Carlos, zona norte de Costa Rica.

Carácter	H ²	Valor fenotípico promedio	Exactitud ¹	Desviación Estandar ²
Volum Comerc.	0,020	0,008 m ³ ± 0,0008	0,142	0,0001
Calidad	0,152	90,08% ± 3,06	0,390	0,0103
Gambas	0,007	9,27% ± 4,52	0,087	0,0037
Bifurcación	0,284	6,50% ± 3,74	0,533	0,0189
Rama Gruesa	0,006	9,18% ± 4,47	0,076	0,0038
Dobladez	0,247	10,94% ± 4,72	0,497	0,022
Índice	0,344	0,292 ± 0,01	0,005	0,0054

1. Correlación entre el valor genético verdadero y el valor genético estimado = $\sqrt{H^2}$.

2.

En el cuadro 1 se puede observar valores modestos a muy bajos de heredabilidad en el sentido amplio para todos los caracteres, con excepción de bifurcación, dobladez y el Índice de selección, el cual registra el máximo valor de heredabilidad. Que supera incluso a los valores individuales del volumen comercial y la calidad.

La columna de valor fenotípico promedio registra una calidad muy alta de los materiales evaluados (90% de la calidad máxima posible). Así también, una ausencia casi total de gambas (9%) y de bifurcaciones (6,5%) a esta edad de medición. La presencia de ramas gruesas se registra tan solo en poco más de un 9% de la población; mientras que la dobladez (efecto del viento principalmente) se registra en casi un 11% de los individuos del ensayo.

La exactitud de los estimados de heredabilidad es baja para todos los caracteres, con excepción de la bifurcación. Finalmente, la desviación estándar de los parámetros exhibe valores sumamente bajos.

Cuadro 6: Ranking para los valores genéticos de los caracteres Volumen Comercial, Calidad del fuste e Índice de selección, en clones de teca agrupados por empresa, evaluados a los 2,4 años de edad en San Antonio, Pocosol de San Carlos, zona norte de Costa Rica.

Ranking	Volumen Comercial (Vol.)	Calidad (Cal)	Índice ¹
1	Altamira (0,0082)	Altamira (0,9094)	Altamira (0,299)
2	HS (0,0081)	El Concho (0,9071)	Nandayure 0,295)
3	Parrita (0,0081)	Nandayure (0,9051)	El Concho 0,295)
4	Nandayure (0,0081)	HS (0,8991)	HS (0,292)
5	El Concho (0,0081)	RS (0,8963)	RS (0,289)
6	RS (0,0081)	Los Chiles (0,8955)	Parrita (0,287)
7	Los Chiles (0,0081)	Parrita (0,8933)	Los Chiles (0,285)
	DMS² = 0,0004 m³	4,06%	0,021

1. Índice = Vol.*0,6*H²_{VOL} + Cal*0,4*H²_{CALIDAD} (Valores estandarizados de Vol. y Cal)

2. DMS = Diferencia Mínima Significativa (basada en límites de confianza).

HS = Testigo, Huerto Semillero de Hojancha.

RS = Testigo, Rodal Semillero de Hojancha.

En el cuadro 2 se observa el ranking del valor genético de los materiales evaluados por empresa. Se posiciona con el mayor potencial en volumen comercial en este sitio, los clones procedentes de Altamira, seguido de la semilla mejorada del huerto semillero del CACH (HS). Sin embargo, las diferencias entre estas fuentes semilleras no son significativas (DMS > 0,0004 m³).

De manera similar, el ranking de los valores genéticos de la calidad ubica en primera posición a los clones de Altamira, seguido por los de El Concho. Los clones procedentes de Los Chiles y Parrita muestran una tendencia hacia una menor calidad de fustes. Sin embargo, las diferencias entre las fuentes semilleras, para este carácter tampoco superaron la diferencia mínima significativa (DMS > 4 %) en ninguno de los casos.

El Índice de selección, por tanto, registra en las mejores posiciones a los clones procedentes de Altamira y Nandayure, mientras que los clones de Parrita y Los Chiles se ubican en las peores posiciones. Al igual que con los caracteres Volumen comercial y Calidad, el Índice de selección no registra diferencias significativas entre ninguna de las fuentes semilleras evaluadas.

Cuadro 7: Parámetros genéticos por carácter de 25 clones tecla procedentes de 5 empresas del Programa de mejoramiento genético GENFORES, evaluados a los 2,4 años de edad en San Antonio, Pocosol de San Carlos, zona norte de Costa Rica.

Carácter	H ²	Valor fenotípico promedio	Exactitud ¹	Desviación Estandar ²
Volum Comerc.	0,590	0.008 m ³ ± 0,0004	0,77	0,001
Calidad	0,062	90,21 ± 1,56	0,25	0,007
Gambas	0,040	9,27% ± 2,30	0,20	0,008
Bifurcación	0,290	6,17% ± 1,91	0,54	0,019
Rama Gruesa	0,250	9,21% ± 2,28	0,51	0,025
Dobladez	0,029	10,87% ± 2,40	0,17	0,008
Índice	0,600	0,692 ± 0,048	0,77	0,035

Al nivel del clon individual, puede observarse en el cuadro 3 valores más altos de heredabilidad en relación al grupo de clones por empresa, para todos los caracteres, con excepción de la calidad y la dobladez del tronco (tolerancia al viento), donde ambos disminuyeron ostensiblemente. Puede observarse nuevamente, que el Índice de selección registra el valor de heredabilidad más alto, incluso por encima de los valores individuales de los caracteres volumen comercial y calidad.

Los valores de exactitud mejoraron en todos los caracteres, excepto en la calidad. La desviación estándar, por su parte, mostró una tendencia a la disminución en varios de los caracteres.

El carácter calidad, sin embargo, registró una heredabilidad sumamente baja (6,2%). Los caracteres gambas y dobladez muestran también un débil control genético, con valores de heredabilidad relativamente bajos (< 10%).

La exactitud de los estimados muestra valores altos en los caracteres volumen comercial, bifurcación, rama gruesa y gambas. Nuevamente, para los estimados de calidad se registra una baja exactitud. Las desviaciones estándar aparecen nuevamente con valores sumamente bajos.

Cuadro 8: Ranking para los valores genéticos de los caracteres Volumen Comercial y Calidad del fuste, en clones de teca evaluados a los 2,4 años de edad en San Antonio, Pocosol de San Carlos, zona norte de Costa Rica.

Ranking	Volumen Comercial (Vol.)	Calidad (Cal)	Índice ¹
1	A4 (0,0092)	N62 (90,45)	A48 (0,7732)
2	A7 (0,0091)	A8 (90,42)	A7 (0,7659)
3	P2 (0,0089)	A48 (90,37)	P2 (0,7464)
4	N4 (0,0088)	EC37 (90,32)	N4 (0,7433)
5	EC41 (0,0088)	EC15 (90,30)	EC41 (0,7414)
6	N6 (0,0086)	EC41 (90,28)	N6 (0,7307)
7	A8 (0,0086)	N51 (90,27)	A8 (0,7302)
8	LCH68 (0,0085)	P4 (90,27)	LCH68 (0,7161)
9	LCH30 (0,0083)	N6 (90,26)	EC14 (0,703)
10	P11 (0,0083)	LCH31 (90,23)	LCH30 (0,7027)
11	EC14 (0,0083)	A49 (90,22)	P11 (0,7026)
12	HS 80,0082)	A7 (90,21)	HS 80,7007)
13	N51 (0,0081)	EC14 (90,19)	N51 (0,6931)
14	LCH1 (0,0081)	N4 (90,18)	LCH1 (0,6883)
15	P14 (0,0078)	A55 (90,18)	P4 (0,6692)
16	P4 80,0078)	EC11 (90,16)	P14 (0,6687)
17	P6 (0,0078)	LCH68 (90,14)	EC37 (0,6681)
18	EC37 (0,0078)	LCH31CM (90,13)	P6 (0,6657)
19	A49 (0,0077)	P11 (90,13)	A49 (0,6656)
20	EC11 (0,0077)	P2 (90,11)	EC11 (0,6597)
21	RS (0,0077)	HS (90,10)	EC15 (0,6586)
22	LCH31CM (0,0077)	LCH1 (90,10)	RS (0,6568)
23	EC15 (0,0077)	P14 (90,09)	A55 (0,6553)
24	A55 (0,0076)	RS (89,99)	LCH31CM (0,6537)
25	N44 (0,0076)	N44 889,97)	N44 (0,6539)
26	LCH31 (0,0074)	LCH30 (89,96)	LCH31 (0,6399)
27	N62 (0,0072)	P6 (89,83)	N62 (0,6314)
DMS²	0,0018 m³	2,62 %	0,1363

1. Índice = Vol.*0,6*H²_{VOL} + Cal*0,4*H²_{CALIDAD} (Valores estandarizados de Vol. y Cal)

2. DMS = Diferencia Mínima Significativa (basada en límites de confianza).

HS = Testigo, Huerto Semillero de Hojancha.

RS = Testigo, Rodal Semillero de Hojancha.

En el cuadro 4 se puede observar, para el ranking genético del carácter volumen comercial, un posicionamiento en los primeros lugares de clones procedentes de

diferentes empresas. Predominan los clones de Altamira, seguido por la semilla mejorada (HS) de Hojancha en la posición 12, mientras que la del Rodal semillero (RS) se localiza en la posición 21. Entre las peores posiciones se localizan los clones pertenecientes a Nandayure y Los Chiles. Sin embargo, las diferencias entre los clones

se puede distinguir una tendencia a posicionarse en los primeros lugares a los clones procedentes de la zona norte del país, con excepción del clon 23 (Nandayure, Guanacaste) que se ubica en la primera posición. De manera importante, los dos testigos se posicionan en los dos últimos lugares, por debajo de todos los clones.

Para el carácter calidad del fuste, el ranking genético varía considerablemente. El mismo clon 23 (Nandayure) se vuelve a posicionar en el primer lugar, seguido por varios clones procedentes de Altamira. En los peores lugares se ubican varios de los clones de Parrita y Zona norte (Los Chiles y El Concho). En esta oportunidad, los dos testigos se ubican por encima del promedio global de todos los clones evaluados.

DISCUSIÓN

En este sitio se registró una mortalidad alta en varios de los bloques. La pérdida de observaciones pudo afectar drásticamente los estimados de los clones individuales, así como al nivel de empresa. La pérdida de observaciones puede aumentar los valores de los parámetros ambientales, por tanto, reduciendo los estimados de heredabilidad al disminuirse la proporción de los parámetros genéticos del total de la variación observada. Así también, al disminuirse las observaciones, podría explicarse un aumento en la desviación estándar.

La tasa baja de presencia de gambas debe interpretarse como un resultado temporal. Ya que este defecto continúa y se expresa con mayor claridad, a partir de los 4 años de edad en esta especie.

Al no registrarse diferencias significativas entre empresas para ninguno de los tres caracteres evaluados (cuadro 2), puede interpretarse que todos los materiales podrían ser iguales. Sin embargo, si es conveniente mencionar que hay una clara tendencia en agrupar a los clones procedentes de Altamira y Nandayure en las mejores posiciones. Los clones de Parrita y Los Chiles en las peores posiciones para estas condiciones de sitio en la zona de Pocosol de San Carlos. Los resultados para el carácter volumen comercial, son esperados para los clones de Altamira, pero no para los de Los Chiles. Estos clones de estas dos empresas, fueron seleccionados prácticamente, en las mismas condiciones ambientales (principalmente suelos) en que son ahora evaluados. Por tanto, los clones de la empresa de Nandayure (Guanacaste, con suelos mejores) muestran sorpresivamente, una muy buena posición en el ranking bajo suelos pobres y ácidos. Estos resultados son prometedores, en el sentido de que es posible encontrar clones de teca, capaces de tolerar condiciones muy diferentes de suelos y clima.

En cuanto al ranking de calidad, las diferencias entre los clones de las empresas no registraron diferencias significativas. Sin embargo, los clones de la empresa de Altamira y El Concho, tienden a ubicarse en las mejores posiciones en cuanto a calidad del fuste. Este carácter registró una heredabilidad baja (0,15, cuadro 1 y 0,06 cuadro 3), lo cual hace pensar en un control genético pobre. A pesar de estos resultados poco alentadores, es importante no olvidar, que la tasa de mortalidad tan alta registrada en este sitio, pudo también afectar todos los valores de los parámetros genéticos.

El índice de selección resuelve para ambos caracteres (Volumen y calidad) y muestra claramente las tendencias entre los materiales de las empresas. Altamira es

consistente y se ubica de nuevo en la primera posición del ranking. Mientras que Parrita y Los Chiles se localizan de nuevo en las peores posiciones, pero esta vez, con diferencias significativas.

CONCLUSIONES

Los materiales provenientes de Altamira se adaptan mejor a las condiciones de sitio de San Antonio de Pocosol. Mientras que los materiales provenientes de Parrita y Los Chiles, no deberían ser plantados en esta región.

Los clones A48, A7, P2, N4, EC41, N6 y A8, son recomendables para ser plantados en la zona de San Antonio de Pocosol.

En promedio, los clones de las procedencias Altamira, Nandayure y El Concho, superan claramente a la semilla del huerto y del rodal semillero de Hojancha.

CAPÍTULO III

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CLONES DE TECA (*Tectona grandis*
L.f.) EN OSA, PUNTARENAS, COSTA RICA**

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio

Ubicación del sitio

El sitio se ubica en la finca Salamá, caserío Salamá, distrito de Piedras Blancas, Cantón de Osa, Puntarenas, Costa Rica. El ensayo se estableció en propiedad de BARCA S.A.

Descripción físico-ambiental del sitio

El sitio en estudio, ubicado en Finca Salamá, presenta una precipitación media anual de 4000-4500 mm. Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1978), Salamá se encuentra dentro de la zona de vida Bosque Muy Húmedo Tropical piso basal. El balance hídrico con una 75 % de probabilidad indica que siempre hay exceso de agua en todos los meses; más abundante en septiembre y octubre, y menos en enero , febrero y marzo. Este balance se determinó para una plantación de teca con una capacidad máxima de retención de 442mm en una textura franco arenosa, para un sistema radicular de 66 centímetros en Venecia, Palmar Norte de Osa.(Arguedas et al, 2006).

La clasificación taxonómica del suelo es Fluvaquentic Eutrudepts. Es un suelo del orden inceptisol, que presenta un régimen de húmedo údico o sea aquellos que no presentan una estación seca marcada, incipiente, inmaduro, con desarrollo pedogenético (pero escaso). Estos suelos presentan un horizonte B conocido taxonómicamente como cámbico, el cual muestra principalmente desarrollo de estructura y color propios del suelo. El suelo presenta una textura franco arenosa y una alta saturación de bases. Esos suelos son de origen aluvial (Fluvaquentic) y con drenaje moderadamente lento (Mata 2006). Terreno plano con pendientes suaves entre 0-5% (ITCR, 2004).

Uso anterior de la finca

Anteriormente, el uso de la de la tierra estuvo bajo cobertura forestal, ya que desde aproximadamente 18 años existió en el sitio una plantación de melina (*Gmelina arborea*).

Preparación del sitio

En la preparación del sitio se eliminó todos los obstáculos y los escombros de madera que no fue extraída durante el aprovechamiento. Todo el material se acumuló para que no obstaculizara las diferentes labores durante el establecimiento y manejo del ensayo. Se eliminó las malezas usando un herbicida de contacto conocido comercialmente como Round-up (componente activo glifosato 35.6%). No se realizó procesos de descompactación de suelo. Se diseñaron y construyeron drenajes terciarios de aproximadamente 60 cm de profundidad, cada 15 metros para evacuar adecuadamente el agua y evitar afectar el desarrollo normal de la teca. Se rehabilitaron los drenajes secundarios y primarios que estaban construidos cada 50 metros (Vallejos, 2007).

Material vegetativo a utilizar

Este es un ensayo genético GENFORES, que se caracteriza por estar constituido con el aporte de material genético compartido por un número de empresas miembro. El ensayo se replicó en terrenos de las empresas participantes. Este ensayo busca cumplir con los siguientes objetivos:

1. Determinar y comparar el nivel genético de las colecciones de cada una de las organizaciones participantes.
2. Determinar la posible interacción genotipo x ambiente, con el fin de conocer la posibilidad de mover clones de una región a otra sin riesgo de afectar su productividad.

En este ensayo se plantaron 25 clones de teca, compuestos por el aporte de 5 clones de cada una de las empresas participantes (ECODirecta, EXPOMADERAS, Ganadera BASA, PANAMERICAN WOODS Y BARCA S.A., todas miembros GENFORES). El

ensayo incluye dos testigos o material control: a) lote compuesto de la semilla del huerto semillero de primera generación de teca del CACH (Santa Marta de Hojancha); b) lote compuesto por semilla ordinaria o comercial obtenida del Banco Semillas del CATIE. En el cuadro 7 se presentan los clones que se utilizaron en el ensayo de teca.

Cuadro. Clones de teca (*Tectona grandis*) aportado por las empresas miembro de GENFORES para realizar el ensayo clonal de Finca Salamá, Osa, Puntarenas, Costa Rica.

ECOdirecta	EXPOMADERAS	PANAMERICAN	Ganadera	BARCA
		WOODS	BASA	S.A.
ECO1	EXP7	PAW4	GB11	LL4
ECO30	EXP8	PAW6	GB14	LS6
ECO31	EXP48	PAW44	GB15	LS11
ECO31-CM	ESP49	PA51	GB37	LS14
ECO68	EXP55	PAW62	GB41	MF2

Producción de plantas/clon

En el invernadero clonal de BARCA en Palmar Sur, se produjo un total de 60 rametos por cada clon y 60 plántulas por cada testigo. El material se propagó y se sembró en pellets (Jiffy) de 50mm. De diámetro. El material se produjo en un lapso de 7 a 8 semanas en invernadero.

Las raíces que sobresalían del jiffy fueron podadas y desinfectadas con Agrodsc Drenche 50% (10 cc/ litro), con el fin de prevenir el ataque de un hongo en la herida provocada con la poda de raíces. Se aplicó una fertilización foliar con regadera de 4 litros, utilizando Multimineral (5 cc/ regadera) y otra jiffy con 10-30 -10 (fertilizante granular disuelto en agua).

En el invernadero se organizó y empacó el material para su traslado al campo, siguiendo el orden de siembra de cada hilera dentro de cada bloque. Las cajas se identificaron externamente con el numero de bloque y la hilera de siembra dentro del bloque. Todas las plantas fueron debidamente etiquetadas, utilizando paletas de madera con el numero del clon.

Diseño experimental y trazado en el terreno.

El ensayo clonal se estableció a un distanciamiento de siembra de 3 X 3m± 40 cm con el objetivo de colocar al árbol en el mejor micrositio posible. El diseño experimental del ensayo clonal fue proporcionado por la dirección de GENFORES. El diseño experimental es de bloques completos al azar, con 6 bloques y 8 rametos por clon/bloque, distribuidos aleatoriamente dentro del bloque en 4 parejas. Lo anterior implicó un total de 48 plantas/clon en todo ensayo. Todo el ensayo fue establecido con 1 a 2 hileras de borde. Para el trazado se estaquillo el areca a plantar con el de facilitar la ubicación de cada árbol dentro del bloque.

Establecimiento del ensayo

El ensayo se plantó el lunes 29 de octubre de 2007. Después de la plantación y a los 30 días de establecido el ensayo se realizó la resiembra.

Diseño experimental

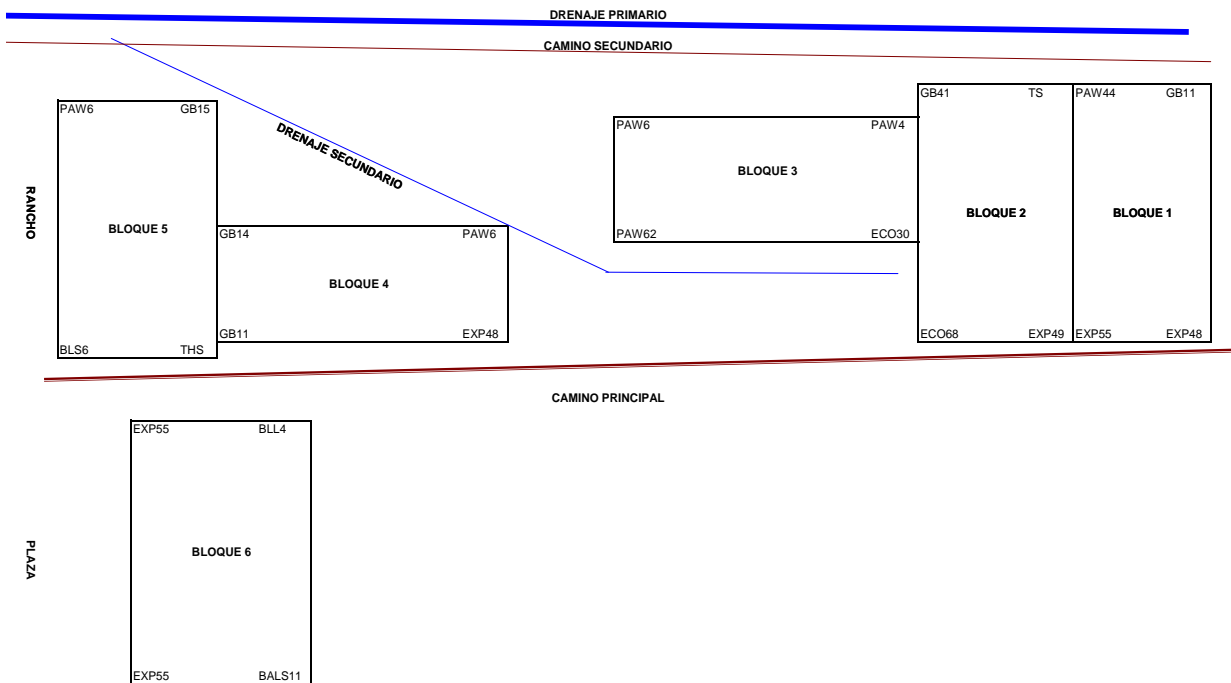


Figura 3 : Distribución espacial de los bloques del ensayo clonal de teca GENFORES, establecido en la zona de El Concho de Pocosol, San Carlos, zona norte de Costa Rica.

de distancia. El terreno fue preparado previamente con una rastra y luego con un subsolador.

El análisis de los datos del ensayo fue realizado empleando el modelo 2 del software SELEGEN-REML/BLUP (RESENDE, M.D.V. 2002. Software, SELEGEN-RML/BLUP. EMBRAPA, Colombo, Brasil) para el análisis de clones no emparentados, establecidos en una sola localidad. El modelo estadístico está dado por $y = Xr + Za + Wp + e$, donde "y" es el vector de datos; "r" es el vector de los efectos de repetición (asumidos como fijos) y sumados a la media general; "a" es el vector de los efectos genéticos aditivos individuales (asumidos como aleatorios); "p" es el vector de los efectos de parcela (asumidos como aleatorios); y "e" es el vector del término del error o residuos (aleatorio). Las letras mayúsculas representan las matrices de incidencia para los efectos referidos. Con la ayuda de este programa, los datos se analizaron estadísticamente para separar los efectos ambientales de los efectos genéticos, para finalmente obtener el ranking de los valores genéticos en cada uno de los 17 caracteres analizados en la base de datos. De estos 17 caracteres, se analizaron los 7 de mayor importancia económica, volumen comercial, calidad del fuste, presencia de gambas, presencia de bifurcaciones, presencia de ramas gruesas, presencia de dobladez del fuste (daño por viento) y finalmente, índice de calidad. Este índice se construyó a partir de la unificación de los caracteres Volumen comercial y Calidad del fuste. Para esto se procedió a estandarizar todos los datos previamente, luego se multiplicaron por un peso económico (60% para el volumen y 40% para la calidad). Finalmente se multiplicaron por la heredabilidad de cada uno de los dos caracteres (peso genético). Esta nueva variable, denominada Índice de selección, expresa entonces la unificación de los dos caracteres. Por tanto, permite elegir los individuos que sean simultáneamente superiores, tanto en volumen como en calidad.

Los datos fueron analizados de dos maneras. Primero, se organizó la base de datos agrupando todos los clones a la empresa que pertenecían. De esta manera resultó una nueva base de datos con 7 procedencias o empresas (5 empresas y 2 testigos). La segunda base de datos se conformó entonces en la base original, es decir, todos los clones ordenados a nivel individual.

Mediciones realizadas

Mediciones realizadas

Los parámetros medidos en campo los siguientes.

- Diámetro (DAP).

El diámetro de cada árbol fue tomado con una cinta métrica a 1'3 m. (altura normal) de la base del árbol en cm.

- Altura (h).

La altura total de cada árbol fue tomada con una pértiga, desplegada para cada uno de los ejemplares y expresada en metros (m.).

- Gambas (G).

Para cada uno de los ejemplares fue observada la base evaluando la posible formación de gambas en el futuro que devaluasen el valor del fuste. Se anotó presencia (1) ausencia (0) del defecto.

- Bifurcación (B).

La bifurcación de un árbol es una malformación que anula la utilidad del fuste, es por ello que su evaluación es drástica, dotando el valor de ese fuste con el menor valor (4). Se registró similar a la gamba, como una variable binomial (0= ausente; 1= presente).

La altura de la bifurcación se registró como B1=bifurcación en la troza 1; B2=bifurcación en la troza 2 ;...BN=bifurcación en la troza "n".

- Ramas gruesas (RG).

Las ramas gruesas se consideraban en dos situaciones;

e) La rama secundaria era de un grosor superior al 25% del fuste principal.

- f) El ángulo de inserción de las ramas con el fuste principal en su parte superior era superior a 30°.

En función del grosor y el grado de inclinación se daba un valor a la troza donde se encontraba la rama gruesa.

- Dobladura (D).

Se consideró dobladura al doblar/torcedura del fuste principal, causado principalmente por el efecto del viento. En función del ángulo de dobladura que formaba el fuste principal con el suelo y la cantidad del árbol doblado se le daba un valor a la troza.

- Torcedura (T).

La torcedura del fuste principal se presenta como una desviación del fuste principal de su eje vertical, hacia alguno de los lados de crecimiento. De este modo el fuste no se presenta recto, si no varía de un lado a otro.

Este efecto podía ser producido por dos razones:

e) Mal crecimiento del árbol.

f) Mal crecimiento debido a la fuerza ejercida por alguna cuerda con el fin de corregir la dobladura del árbol.

- Reiteración (R).

El efecto de la reiteración se produce principalmente cuando una rama gruesa (RG) se inserta en un ángulo muy agudo (< 45) y compite por la dominancia apical del árbol.

La altura de la reiteración se registró de la misma manera como se anotó la altura de bifurcación.

- Flores (F).

Existencia de flores.

- Semillas (S).

Existencia de semillas.

- Calidad.

Esta variable fue creada calificando las primeras cuatro trozas de 2.5m de largo del árbol.

Variables creadas.

- Volumen comercial.

$$\text{Volcom} = (\text{dap}/100)^2 * \pi I4 * \text{altura comercial} * \text{factor de conicidad}$$

RESULTADOS

Cuadro 9: Parámetros genéticos por carácter de clones teca procedentes de 5 empresas del Programa de mejoramiento genético GENFORES, evaluados a los 2,4 años de edad en Osa, Puntarenas, zona sur de Costa Rica

Carácter	H ²	Valor fenotípico promedio	Exactitud ¹	Desviación Estandar ²
Volum Comerc.	0,947	0,063 m ³ ± 0,004	0,973	0,0017
Calidad	0,450	84,0 ± 3,41	0,671	0,0085
Gambas	0,0026	3,35% ± 2,78	0,051	0,0012
Bifurcación	0,470	7,61% ± 4,07	0,691	0,0237
Rama Gruesa	0,284	29,4% ± 7,00	0,533	0,0321
Dobladez	0,267	29,8% ± 8,06	0,517	0,0319
Índice	0,735	1,86 ± 0,13	0,857	0,0801

1. Correlación entre el valor genético verdadero y el valor genético estimado = $\sqrt{H^2}$.

En el cuadro 1 se puede observar valores altos de heredabilidad en el sentido amplio para todos los caracteres, con excepción de las gambas. El volumen comercial aparece con el registro más alto de todos, indicando un control genético sumamente importante. El índice de selección registra un valor de heredabilidad también alto. La columna de valor fenotípico promedio registra una calidad muy alta de los materiales evaluados (84% de la calidad máxima posible). Así también, una ausencia casi total de gambas (3%) y de bifurcaciones (8%) a esta edad de medición. La presencia de ramas gruesas ya se registra en un 30% de los materiales.

La exactitud de los estimados de heredabilidad es muy alta para todos los caracteres, con excepción de las gambas. Finalmente, la desviación estándar de los parámetros exhibe valores sumamente bajos.

Cuadro 10: Ranking para los valores genéticos de los caracteres Volumen Comercial, Calidad del fuste e Índice de selección, en clones de teca agrupados por empresa, evaluados a los 2,4 años de edad en Osa, Puntarenas, zona sur de Costa Rica.

Ranking	Volumen Comercial (Vol.)	Calidad (Cal)	Índice ¹
1	Altamira (0,066)	Nandayure (84,7%)	Altamira (2,779)
2	El Concho (0,065)	Altamira (84,5%)	El Concho (2,763)
3	Parrita (0,064)	RS (84,2%)	Nandayure (2,745)
4	Nandayure (0,063)	HS (84,1%)	Parrita (2,642)
5	Los Chiles (0,059)	El Concho (83,7%)	Los Chiles (2,633)
6	HS (0,054*)	Los Chiles (83,5%)	HS (2,602)
7	RS (0,046*)	Parrita (82,7%)	RS (2,404*)
	DMS ² = 0,0069 m ³	3,3%	0,331

1. Índice = Vol.*0,6*H²_{VOL} + Cal*0,4*H²_{CALIDAD} (Valores estandarizados de Vol. y Cal)

2. DMS = Diferencia Mínima Significativa (basada en límites de confianza).

HS = Testigo, Huerto Semillero de Hojancha

RS = Testigo, Rodal Semillero de Hojancha

En el cuadro 2 se observa el ranking del valor genético de los materiales evaluados por empresa. Se posiciona con el mayor potencial en volumen comercial en este sitio a los clones procedentes de Altamira, seguido de los clones de El Concho, ambos de la zona norte del país. Mientras que claramente, los dos testigos se ubican en las últimas posiciones para este carácter.

De manera diferente, en el ranking del valor genético para la calidad del fuste, se ubican en las primeras posiciones los clones de la empresa de Nandayure, Guanacaste. Le siguen los clones procedentes de Altamira (zona norte), que repite en los primeros lugares para este carácter también. Los clones de Parrita se ubican como los de peor calidad de fuste, junto con los materiales procedentes de Los Chiles (zona norte), que repite en posiciones bajas. Para este carácter, los dos testigos se ubican en posición de privilegio.

Cuadro 11: Parámetros genéticos por carácter de 25 clones teca procedentes de 5 empresas del Programa de mejoramiento genético GENFORES, evaluados a los 2,4 años de edad en Osa, Puntarenas, zona sur de Costa Rica.

Carácter	H ²	Valor fenotípico promedio	Exactitud ¹	Desviación Estandar ²
Volum Comerc.	0,692	0,062 m ³ ± 0,002	0,832	0,003
Calidad	0,024	80,7% ± 1,73	0,157	0,003
Gambas	0,272	3,37 % ± 1,42	0,522	0,012
Bifurcación	0,452	7,52% ± 2,07	0,672	0,023
Rama Gruesa	0,297	28,89 % ± 3,56	0,545	0,033
Dobladez	0,505	29,8 % ± 3,59	0,711	0,042
Índice	0,691	0,95 ± 0,033	0,831	0,048

En el cuadro 3 se observan valores altos de heredabilidad en el sentido amplio, donde sobresalen estimados de hasta 0,69 para volumen comercial. El carácter calidad, sin embargo, registró una heredabilidad sumamente baja (2,4%). Los caracteres gambas y rama gruesa muestran también un débil control genético, con valores de heredabilidad relativamente bajos. De manera general, los valores de heredabilidad por clones individuales (cuadro 3) son menores a los valores obtenidos para los grupos de clones por empresa (cuadro 1). Con excepción del carácter gambas, que en este caso aumentó y en el carácter calidad, que registró un valor menor al colectivo por empresa.

La exactitud de los estimados muestra valores altos en los caracteres volumen comercial, dobladez (viento), bifurcación, rama gruesa y gambas. Nuevamente, para los estimados de calidad se registra una baja exactitud. Las desviaciones estándar aparecen nuevamente con valores sumamente bajos.

Cuadro 12: Ranking para los valores genéticos de los caracteres Volumen Comercial y Calidad del fuste, en clones de teca evaluados a los 2,4 años de edad en Osa, Puntarenas, zona sur de Costa Rica.

Ranking	Volumen Comercial (Vol.)	Calidad (Cal)	Índice ¹
1	N51 (0,0699)	N51 (83,88)	N51 (1,0651)
2	A8 (0,0689)	A48 (83,86)	A8 (1,0484)
3	A48 (0,0681)	N4 (83,85)	A48 (1,0378)
4	LCH31 (0,0673)	A8 (83,83)	LCH31 (1,0256)
5	P4 (0,0672)	A7 (83,83)	P4 (1,0222)
6	EC11 (0,067)	RS (83,83)	EC11 (1,0206)
7	EC14 (0,0669)	N6 (83,83)	EC14 (1,0201)
8	P14 (0,0659)	A55 (83,82)	P14 (1,0037)
9	EC41 (0,0648)	EC14 (83,82)	N4 (0,989)
10	N4 (0,0648)	HS (83,81)	EC41 (0,9875)
11	A7 (0,0647)	N44 (83,80)	A7 (0,9871)
12	P11 (0,0645)	EC15 (83,80)	P11 (0,9822)
13	N62 (0,0635)	LCH30 (83,80)	N62 (0,9691)
14	A49 (0,0626)	EC37 (83,80)	A49 (0,955)
15	EC15 (0,0622)	EC11 (83,79)	EC15 (0,95049)
16	EC37 (0,0621)	LCH31 (83,79)	EC37 (0,9488)
17	A55 (0,0611)	LCH31CM(83,79)	A55 (0,9337)
18	LCH68 (0,061)	N62 (83,79)	LCH68 (0,9323)
19	N44 (0,0606)	P6 (83,77)	N44 (0,9257)
20	P6 (0,0605)	LCH68 (83,76)	P6 (0,9228)
21	P2 (0,0604)	A49 (83,76)	P2 (0,9222)
22	LCH31CM (0,0596)	P11 (83,75)	LCH31CM (0,91)
23	LCH30 (0,0579)	P4 (83,75)	LCH30 (0,8872)
24	LCH1 (0,0564)	P14 (83,75)	LCH1 (0,8632)
25	N62 (0,056)	LCH1 (83,74)	N6 (0,8596)
26	HS (0,0558)	EC41 (83,73)	HS (0,8568)
27	RS (0,0496)	P2 (83,70)	RS (0,7637)
DMS	0.0128 m ³	1,25%	0,189

1. Índice = Vol.*0,6*H²_{VOL} + Cal*0,4*H²_{CALIDAD} (Valores estandarizados de Vol. y Cal)

2. DMS = Diferencia Mínima Significativa (basada en límites de confianza).

HS = Testigo, Huerto Semillero de Hojanca.

RS = Testigo, Rodal Semillero de Hojanca.

En el cuadro 4 se puede observar, para el ranking genético del carácter volumen comercial, una distribución de clones procedentes de diferentes empresas. Sin

embargo, se puede distinguir una tendencia a posicionarse en los primeros lugares a los clones procedentes de la zona norte del país, con excepción del clon 51 (Nandayure, Guanacaste) que se ubica en la primera posición. De manera importante, los dos testigos se posicionan en los dos últimos lugares, por debajo de todos los clones.

Para el carácter calidad del fuste, el ranking genético varía considerablemente. El mismo clon 51 (Nandayure) se vuelve a posicionar en el primer lugar, seguido por varios clones procedentes de Altamira. Importante de señalar, es ahora la presencia del Rodal Semillero en la posición 6 y el Huerto Semillero en la posición 10. En los peores lugares se ubican varios de los clones de Parrita y Zona norte (Los Chiles y El Concho). En esta oportunidad, los dos testigos se ubican por encima del promedio global de todos los clones evaluados.

DISCUSIÓN

Valores de heredabilidad altos para caracteres de volumen son poco usuales. Sin embargo, estos ensayos GENFORES fueron establecidos con $n = 8$ plantas por clon en cada bloque, con 6 bloques, para sumar 48 plantas (rametos) por clon por ensayo. Esta cantidad de rametos por clon por ensayo es sumamente alta y podría explicar los buenos estimados para los caracteres de crecimiento (Resende, 1995). El carácter calidad registra valores de heredabilidad altos pero significativamente inferiores a volumen. Debe recordarse que la calidad es una variable compuesta que agrupa todos los caracteres cualitativos, donde algunos de ellos expresan con mayor fuerza los efectos ambientales en el árbol. Como por ejemplo, la inclinación del árbol, la bifurcación del eje dominante, el grosor de las ramas, etc. Otra posible explicación, puede atribuirse al aspecto subjetivo que siempre estará asociado a la calificación cualitativa de varios caracteres. A pesar de que el ensayo y todos los árboles fueron evaluados por la misma persona, existe un sesgo natural en algunos de los caracteres, que posibilitan la aparición de pequeñas discrepancias, que se podrían acumular. Esta situación podría dar como resultado, que una persona sin el entrenamiento adecuado, podría calificar una troza como calidad "2", cuando podría mejor calificarse como de calidad "3".

El índice de selección muestra valores muy altos de heredabilidad como se esperaría. Este índice está basado en un peso económico de un 60% para el volumen y un 40% para la calidad. Por tanto, al registrar el volumen una heredabilidad tan alta, el índice lo hará también. Por otra parte, los caracteres cualitativos gambas, bifurcación, rama gruesa y dobladez, registraron todos valores bajos a muy bajos (gamba) de heredabilidad. Sin embargo, determinan la existencia de un control genético moderado para estos caracteres. La bifurcación por ejemplo, es un carácter de decisiva importancia económica, por tanto, una heredabilidad cercana al 50% debe considerarse como un resultado de suma importancia. La dobladez causada por el viento, a pesar de registrar una heredabilidad baja ($H^2 = 0,27$), implica un importante potencial para contribuir a disminuir los efectos del viento en plantaciones de teca.

Del ranking genético para el volumen comercial (cuadro 2), puede observarse que todas las procedencias (empresas) superaron significativamente a la semilla del rodal semillero (RS). Mientras que todas las procedencias, excepto Los Chiles, significativamente superaron también a la semilla del Huerto Semillero (HS). Estos resultados son esperados, dado que reflejan una muy buena selección de los

materiales (clones) en función de una superioridad en volumen o crecimiento. Sin embargo, debe recordarse que estos ensayos se realizaron en la zona norte y en la zona sur del país, ambientes muy diferentes de donde fueron seleccionados los materiales del Rodal Semillero y del Huerto Semillero de Hojancha , Guanacaste. Estos resultados podrían entonces indicar, que existe un posible comportamiento inferior en la semilla de la teca, al plantarse fuera de su zona de selección (interacción genotipo x ambiente).

En cuanto a calidad se registra un fenómeno diferente. Ahora los clones de Nandayure destacan en la primera posición, junto con Altamira que repite. La semilla testigo (RS y HS) ahora aparece en posiciones de privilegio. Sin embargo, si se utiliza la Diferencia Mínima Significativa (DMS), se puede determinar que no hay tales diferencias entre ninguno de los materiales para este carácter. El Índice de selección, viene a resolver esta controversia. Puede observarse que únicamente la semilla del Rodal Semillero se ubica como significativamente inferior al resto de los materiales. La semilla del huerto semillero, aunque en la segunda peor posición del ranking, se localiza dentro de los límites de confianza de las demás procedencias.

Si se analizan los resultados al nivel del clon individual (cuadro 3 y 4), puede observarse un patrón de disminución de los valores de heredabilidad, que es dramático al nivel del carácter calidad. Debe recordarse que este carácter involucra criterios que no tienen control genético, sino que son casi exclusivamente producidos por efectos ambientales a saber: árboles inclinados, conicidad del fuste, aumento en el número y diámetro de ramas, la bifurcación en la mayoría de los casos, entre otros. Por tanto, al nivel de empresa, los valores de heredabilidad pudieron sufrir el efecto positivo del redondeo y del promedio, con una menor variabilidad, que se produce al utilizar valores promedio en vez de valores individuales.

El cuadro 4 muestra ahora un mayor detalle del ranking por clones individuales. Sin embargo, para el carácter volumen comercial, vuelve a posicionarse la semilla de Hojancha (testigo 1 y 2) en los peores lugares. Todos los clones registran nuevamente diferencias significativas con respecto a la semilla de rodal semillero, mientras que la mayoría de los clones lo hacen también con la semilla del huerto semillero. Estos resultados corroboran la alta calidad de los materiales clonales y su adaptación a los sitios donde fueron evaluados (zona norte y zona sur del país).

Si se analiza el ranking de calidad, la semilla testigo se localizan en las posiciones 6 y 10. Sin embargo, las diferencias entre los materiales son sumamente bajas y no significativas. Estos resultados concuerdan con el bajo valor de heredabilidad ($H^2 = 0,024$ ó 2,4% de control genético) registrado para este carácter al nivel de clon individual (cuadro 3). Podría decirse entonces, que para el carácter calidad, no hay posibilidad de progreso genético en esta población de mejoramiento.

CONCLUSIONES

Para esta población de clones de teca, establecidos en la región de Salamá, Osa, zona sur del país, hay una buena posibilidad de progreso genético del volumen comercial. Los clones de todas las empresas superaron significativamente a la semilla del rodal semillero en cuanto al volumen comercial. La mayoría de los clones superaron significativamente a la semilla mejorada del huerto semillero de Hojancha, Guanacaste.

Para el carácter calidad, no hay posibilidad de progreso genético en esta población de mejoramiento en esta zona del país.

La presencia de gambas se registró en un 3,5% de los individuos del programa. Lo cual refleja un fuerte efecto de la selección de los árboles en contra de este carácter. La bifurcación registró también un valor bajo (menor al 8% de los individuos de la población), lo cual augura un buen desempeño de la población en cuanto a este defecto de alto impacto económico (altura comercial).

CAPÍTULO IV

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CLONES DE TECA (*Tectona grandis* *L.f*) EN COSTA RICA

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo genético consistió en un diseño experimental de bloques completos al azar, con 6 bloques o repeticiones en cada uno de dos sitios. Se plantó en la zona de El Concho de Pocosol, cantón de San Carlos, Alajuela, zona norte del país. El segundo ensayo se estableció en finca Salamá, Osa, Puntarenas, zona sur del país. En estos dos ensayos se evaluaron 25 clones (tratamientos) de teca, procedentes de 5 empresas reforestadoras del Programa de mejoramiento genético GENFORES, dirigido por la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Como parte del ensayo, se establecieron dos materiales testigo o control: a) semilla mejorada genéticamente, procedente del huerto semillero del Centro Agrícola Cantonal de Hojancha (CACH), identificado con las letras HS; b) semilla mejorada procedente del rodal semillero de la misma organización CACH, identificado con las letras RS. De cada clon (tratamiento) se plantaron 8 rametos por bloque, distribuidos aleatoriamente dentro del bloque en 4 parejas, con la restricción de que dos parejas de un mismo clon no quedaran a menos de 5 plantas de distancia. En total, cada clon estuvo representado por 6 bloques x 8 plantas = 48 plantas en cada uno de los dos sitios. Todos los árboles fueron plantados a 3 x 3 m de distancia. El terreno fue preparado previamente con una rastra y luego con un subsolador.

Los análisis conjuntos de los dos ensayos fueron realizados empleando el modelo 3 del software SELEGEN-REML/BLUP (Resende...), para el análisis de clones no emparentados y evaluado en varias localidades. El modelo estadístico está dado por $y = Xr + Za + Wp + Ti + e$, donde "y" es el vector de datos; "r" es el vector de los efectos de repetición (asumidos como fijos) y sumados a la media general; "a" es el vector de los efectos genéticos aditivos individuales (asumidos como aleatorios); "p" es el factor de los efectos de parcela (asumidos como aleatorios); "i" es el vector de los efectos de la interacción genotipo x ambiente (aleatorios); y "e" es el vector del término del error o residuos (aleatorio). Las letras mayúsculas representan las matrices de incidencia para los efectos referidos. El vector "r" contempla todas las repeticiones de las dos localidades (ajusta las combinaciones repetición-localidad). En este caso, el vector contempla los efectos de localidades y de repeticiones dentro de localidades. Con la ayuda de este programa, los datos se analizaron estadísticamente para separar los efectos ambientales de los efectos genéticos, para finalmente obtener el ranking de los valores genéticos en cada uno de los 17 caracteres analizados en la base de

datos. De estos 17 caracteres, se analizaron los 7 de mayor importancia económica, volumen comercial, calidad del fuste, presencia de gambas, presencia de bifurcaciones, presencia de ramas gruesas, presencia de dobladez del fuste (daño por viento) y finalmente, índice de calidad. Este índice se construyó a partir de la unificación de los caracteres Volumen comercial y Calidad del fuste. Para esto se procedió a estandarizar todos los datos previamente, luego se multiplicaron por un peso económico (60% para el volumen y 40% para la calidad). Finalmente se multiplicaron por la heredabilidad de cada uno de los dos caracteres (peso genético). Esta nueva variable, denominada Índice de selección, expresa entonces la unificación de los dos caracteres. Por tanto, permite elegir los individuos que sean simultáneamente superiores, tanto en volumen como en calidad.

Los datos fueron analizados de dos maneras. Primero, se organizó la base de datos agrupando todos los clones a la empresa que pertenecían. De esta manera resultó una nueva base de datos con 7 procedencias o empresas (5 empresas y 2 testigos). La segunda base de datos fue la base original, es decir, todos los 25 clones ordenados a nivel individual, sin ser agrupados por empresa.

RESULTADOS

Cuadro 13: Parámetros genéticos de siete caracteres en clones de teca procedentes de 5 empresas del Programa de mejoramiento genético GENFORES, evaluados a los 2,4 años de edad en El Concho (Pocosol, San Carlos) y Salamá (Osa, Puntarenas) de Costa Rica.

Carácter	H ²	Valor fenotípico promedio	Exactitud ¹	Desviación Estandar ²	Correlación entre sitios
Volum Comerc.	0,94	0,046± 0,002	0,969	0,016	0,93
Calidad	0,78	87,03 ±0,009	0,885	0,083	0,96
Gambas	0,08	42,72% ±0,045	0,282	0,410	0,059
Bifurcación	0,02	47,6% ±0,049	0,151	0,453	0,015
Rama Gruesa	0,04	38,9% ±0,0195	0,199	0,178	0,026
Dobladez	0,28	39,8% ±0,036	0,525	0,333	0,45
Índice	0,95	2,58± 0,030	0,976	0,273	0,98

En el cuadro 1 se muestran los parámetros genéticos para siete caracteres de importancia económica en teca. Estos valores corresponden a la base de datos organizada por empresa, donde cada organización aportó cinco clones, que junto con los dos testigos (Huerto semillero de Hojancha y Rodal semillero de Hojancha) conformaron un total de 25 clones y 2 testigos para estos ensayos denominados GENFORES. En este análisis los datos corresponden con las mediciones de dos ensayos establecidos en dos sitios con ambientes contrastantes (El Concho de Pocosol, San Carlos, zona norte y, Salamá de Osa, Puntarenas, Pacífico sur del país). Los cinco clones pertenecientes a cada empresa, fueron agrupados colectivamente bajo el nombre de la empresa a semejanza de una procedencia. Los valores que se reportan por tanto, corresponden a un análisis de procedencias.

Puede notarse en el cuadro 1, que los valores de heredabilidad reportados son muy altos para los caracteres volumen comercial, calidad e índice de selección. Para los demás caracteres cualitativos, los valores de heredabilidad determinados son

sumamente bajos, excepto para la dobladez o torcedura por viento, que registró un leve control genético ($H^2 > 0,25$). La exactitud de los estimados registra valores elevados para los caracteres volumen comercial, calidad e índice, que aseguran una alta confiabilidad en los datos. La exactitud disminuye sin embargo, en los demás caracteres cualitativos, con excepción de la dobladez, que supera levemente el 50%.

Las correlaciones genéticas entre los dos ambientes es un reflejo del grado de estabilidad del ranking genotípico para los dos sitios en cada uno de los caracteres analizados. Puede notarse nuevamente, que para el volumen comercial, la calidad y el índice de selección (los tres caracteres de mayor importancia económica), las correlaciones genéticas son todas superiores al 93%. Todos los caracteres cualitativos registran, en contraste, correlaciones genéticas sumamente bajas, con la ligera excepción del carácter dobladez.

Cuadro 14: Ranking para los valores genéticos de los caracteres Volumen Comercial, Calidad del fuste e Índice de selección, en clones de teca agrupados por empresa, evaluados a los 2,4 años de edad, evaluados en El Concho (Pocosol, San Carlos) y Salamá (Osa, Puntarenas) de Costa Rica.

Ranking	Volumen Comercial (Vol.)	Calidad (Cal)	Índice ¹
1	Altamira (0,052)	Nandayure(88,1%)	Altamira (2,77)
2	El Concho (0,051)	RS (87,8%)	El Concho (2,71)
3	Parrita (0,049)	HS (87,8%)	Nandayure (2,66)
4	Nandayure (0,048)	Altamira (87,8%)	Parrita (2,59)
5	Los Chiles (0,046)	El Concho(86,6%)	Los Chiles (2,58)
6	HS (0,041)	Los Chiles (86,6%)	HS (2,47)
7	RS (0,037)	Parrita (84,5%)	RS (2,29)
	DMS ² = 0,0038m ³	2,64%	0,129

1. Índice = Vol.*0,6*H²_{VOL} + Cal*0,4*H²_{CALIDAD} (Valores estandarizados de Vol. y Cal).

2. DMS = Diferencia Mínima Significativa (basada en límites de confianza).

HS = Testigo, Huerto Semillero de Hojancha, Guanacaste.

RS = Testigo, Rodal Semillero de Hojancha, Guanacaste.

El ranking de las procedencias (empresas) muestra cambios notables según el carácter evaluado. Para el volumen comercial, los dos testigos se ubican en las posiciones inferiores del ranking, cuyas diferencias son significativas (ver el valor de DMS). Inclusive, se determinan diferencias significativas del Huerto Semillero al Rodal Semillero, así como de todas las procedencias con respecto al Huerto Semillero. Para el carácter calidad, los dos testigos se ubican ahora en las posiciones 2 y 3 del ranking de los valores genéticos. Los clones procedentes de Altamira (mejor en volumen) se localizan ahora en posiciones intermedias para la calidad. Los clones procedentes de Los Chiles se localizan sistemáticamente, en las posiciones inferiores para ambos caracteres. Sin embargo, no se registran diferencias estadísticamente significativas entre ninguna de las procedencias y los dos testigos, con la excepción de los materiales procedentes de Parrita (última posición). El Índice de selección resuelve las diferencias entre ambos caracteres y muestra una ubicación en el ranking genético más confiable. La procedencia Altamira se ubica ahora en la mejor posición y Los Chiles en la peor posición. Los dos materiales testigos se localizan por debajo de todas las procedencias. Como puede observarse, la diferencia mínima significativa entre los valores es sumamente alta.

Cuadro 15: Parámetros genéticos por carácter de 25 clones teca procedentes de 5 empresas del Programa de mejoramiento genético GENFORES, evaluados a los 2,4 años de edad en El Concho (Pocosol, San Carlos) y Salamá (Osa, Puntarenas) de Costa Rica.

Carácter	H ²	Valor fenotípico promedio	Exactitud ¹	Desviación Estandar ²	Correlación entre sitios
Volum Comerc.	0,266	0,048 ±0,0015	0,516	0,026	0,64
Calidad	0,566	86,8%± 0,10	0,752	0,180	0,96
Gambas	0,259	10,6% ± 2,74	0,509	0,308	0,30
Bifurcación	0,351	5,1% ± 2,78	0,592	0,222	0,46
Rama Gruesa	0,231	59,8% ± 2,71	0,480	0,490	0,29
Dobladez	0,077	19,7% ± 2,73	0,279	0,398	0,09
Índice	0,481	1,215±0,039	0,694	0,230	0,83

En el cuadro 3 se reportan ahora los valores de los parámetros genéticos, pero a nivel del clon individual, sin tomar en cuenta su procedencia (empresa). Los valores de heredabilidad para el volumen comercial, registran un descenso notable, de 0,94 hasta 0,27. Similar pero no tan radical, el carácter calidad disminuye desde 0,78 hasta 0,57. Interesante notar, que ahora todos los demás caracteres cualitativos aumentan notablemente hasta alcanzar valores moderados de control genético, con excepción de la dobladez. En síntesis, los resultados a nivel de clon individual son inversamente proporcionales a los resultados registrados a nivel colectivo o de procedencia (empresa).

Al nivel de clones individuales, la correlación genética entre ambos sitios sigue registrando valores altos para los caracteres de mayor importancia económica (volumen comercial; calidad y el índice de selección). Los caracteres cualitativos mejoraron sensiblemente la correlación genética, en relación con el valor obtenido a nivel de procedencia (empresa).

Cuadro 16: Ranking para los valores genéticos (en paréntesis) de los caracteres Volumen Comercial, Calidad del fuste e Índice de selección, en clones de teca evaluados a los 2,4 años de edad en El Concho (Pocosol, San Carlos) y Salamá (Osa, Puntarenas) de Costa Rica.

Ranking	Volumen Comercial (Vol.)	Calidad (Cal)	Índice ¹
1	N62 (0.0496)	A7 (87.98)	A48 (1.2402)
2	N44 (0.0493)	N4 (87.91)	N4 (1.2325)
3	P4 (0.0493)	A48 (87.89)	N44 (1.2315)
4	A55 (0.0493)	RS (87.74)	N51 (1.2299)
5	A48 (0.0492)	N44 (87.73)	HS (1.2298)
6	EC (150.0491)	HS (87.69)	LCH30 (1.2291)
7	LCH68 (0.0491)	N6 (87.67)	A55 (1.2281)
8	P14 (0.049)	N51 (87.66)	N62 (1.2273)
9	LCH31 (0.0489)	LCH30 (87.5)	EC15 (1.227)
10	N4 (0.0488)	A55 (87.49)	LCH31 (1.2254)
11	N51 (0.0488)	EC14 (87.34)	LCH68 (1.2231)
12	HS (0.0488)	A8 (87.31)	EC14 (1.222)
13	LCH31CM (0.0486)	EC37 (87.17)	EC37 (1.2194)
14	P11 (0.0485)	N62 (87.07)	N6 (1.2181)
15	P6 (0.0485)	EC15 (87.04)	A8 (1.2164)
16	LCH30 (0.0484)	EC11 (86.96)	P14 (1.2135)
17	P2 (0.0484)	LCH31 (86.65)	A7 (1.2133)
18	EC14 (0.0483)	LCH31CM (86.57)	EC11 (1.2098)
19	EC41 (0.0483)	A49 (86.42)	A49 (1.2057)
20	A8 (0.0482)	LCH1 (86.3)	LCH31CM (1.2043)
21	RS (0.0479)	LCH68 (86.23)	P4 (1.2028)
22	EC37 (0.0477)	P4 (86.23)	EC41 (1.1982)
23	A7 (0.0477)	P14 (86.16)	RS (1.1961)
24	N6 (0.0477)	P11 (85.18)	P11 (1.1953)
25	A49 (0.0475)	P6 (84.95)	P2 (1.1924)
26	EC11 (0.0474)	EC41 (84.85)	LCH1 (1.1902)
27	LCH1 (0.0474)	P2 (84.14)	P6 (1.1885)
DMS²	0,0045m³	1,87 %	0,063

En el cuadro 4 se registra el ranking genético de los 25 clones evaluados y los 2 materiales testigo (HS = Huerto Semillero de Hojancha y RS = Rodal Semillero de Hojancha). Puede observarse un cambio dramático en el ranking genético de los materiales del volumen comercial a la calidad. Sin embargo, entre las primeras cinco

posiciones repiten los clones N44, y A48. Si se revisan las peores cinco posiciones, ninguno de los clones repite en el ranking de ambos caracteres. El índice de selección viene a solventar y a armonizar ambos caracteres, de manera que permite determinar cuáles son los mejores materiales tanto en volumen comercial como en calidad. Puede observarse que el clon A48 (Altamira) se ubica en la primera posición, seguido de los clones N4, N44, N51 (todos de Nandayure) y el Huerto Semillero de Hojanca (HS). En las cinco peores posiciones se ubican los clones P6 (Parrita), LCH1 (Los Chiles), P2, P11 (ambos de Parrita) y el Rodal Semillero de Hojanca (RS). Sin embargo, las diferencias no son estadísticamente significativas entre ninguno de los clones en el Ranking para el Índice de selección. Solamente para el carácter calidad se registran diferencias estadísticamente significativas, donde la semilla del Rodal Semillero y del Huerto Semillero de Hojanca, aparecen en el 4to. y 6to lugar del ranking de calidad respectivamente.

DISCUSIÓN

Valores altos de heredabilidad pueden ser causados por diferencias genéticas de gran magnitud entre los materiales evaluados y por un error experimental pequeño (efecto ambiental). Debe recordarse también, que cuando se utilizan clones, se logra la captura del 100% de la información genética, es decir, de la varianza genética aditiva y la no aditiva. Otra posible causa de estos valores altos es la existencia de muy buenas condiciones experimentales de los ensayos genéticos en campo. Buena experimentación logra reducir los efectos ambientales. El ensayo fue repetido en dos condiciones ambientalmente muy diferentes. En cada sitio, cada clon fue evaluado con 48 rametos (6 bloques * 8 rametos/bloque) en cada uno de los ensayos. Por lo general, en ensayos clonales se utilizan poco más de 20 individuos (Resende, 1995). En particular, como sucedió en este caso, donde la correlación genética entre sitios superó el valor de $r_{gg} > 0,90$.

En el caso de los caracteres cualitativos, las heredabilidades registraron valores sumamente bajos y no esperados. Por lo general, se estima que este tipo de caracteres están codificados por un número reducido de loci, por tanto, con valores de control genético más altos que los caracteres cuantitativos (Zobel y Talbert, 1984). Por tanto, una posible explicación es simplemente el bajo o nulo control genético de estos caracteres (presencia de gambas, bifurcaciones, ramas gruesas y dobladez del fuste por el viento u otros).

El ranking del Índice de selección ubica a los dos testigos en las últimas posiciones, tal y como se espera de un programa con un muy buen trabajo de selección de árboles plus. Todas las procedencias (empresas) registraron en promedio de sus cinco clones, valores significativamente superiores a la semilla mejorada del huerto semillero y a la semilla del rodal semillero. Estos resultados son esperanzadores para el programa de mejoramiento genético de teca desarrollado por GENFORES en Costa Rica. La ganancia genética esperada supera el 11% al comparar la superioridad de los cinco clones de Altamira con respecto al Huerto Semillero. Si la comparación es contra la semilla de Rodales Semilleros, la ganancia genética esperada será de un 20%. Debe recordarse que el Índice de selección, es meramente un procedimiento analítico que permite seleccionar a favor de dos criterios a la vez ("culling levels"), volumen comercial y calidad de fustes. Por tanto, reduce ligeramente uno de los dos caracteres y aumenta ligeramente al otro.

Si se repite el mismo análisis, pero esta vez con el volumen comercial, se determina que los materiales procedentes de Altamira superan ya en un 25% a la semilla mejorada del huerto semillero. Mientras que la ganancia genética con respecto a la semilla del Rodal Semillero es de un 40%. Estos resultados son sumamente alentadores, en especial si se observa que se registran antes de los 3 años de edad.

Importante de observar es que la semilla mejorada procedente del huerto semillero de Hojancha (HS), ha sido determinada como de alta calidad y valor genético, superando en una proporción alta a los materiales testigos en los ensayos de progenie (Murillo y Badilla, 2004; Leandro *et al.*, 2003). Sin embargo, estos materiales fueron seleccionados y evaluados en el Pacífico seco de Costa Rica. Mientras que en estos dos ensayos, la semilla del huerto semillero compite con los mejores clones seleccionados en esas localidades (zona norte y Pacífico central). Podría entonces interpretarse, que la semilla mejorada está siendo evaluada en un sitio fuera de su ambiente de selección. Si vemos el desempeño de la semilla mejorada (HS) a nivel del clon individual (cuadro 4), puede apreciarse que en volumen comercial se ubica en la posición 12 de 27 del ranking de los valores genéticos, mientras que la semilla del Rodal Semillero (RS) se ubica en la posición 21 en ese mismo Ranking.

La semilla procedente de las selecciones de la zona de Altamira de San Carlos, seguida de cerca por la seleccionada en la zona de El Concho de Pocosol, San Carlos, se ubican en las mejores posiciones en cuanto al volumen comercial a esta edad. Estas dos zonas son reconocidas por la presencia de suelos ácidos, de poca profundidad y baja fertilidad. Dado que uno de los ensayos está establecido precisamente en la zona de El Concho, pudo haber favorecido a los materiales seleccionados localmente. Al nivel de clones individuales, los materiales procedentes de las zonas de Altamira (letra A), El Concho de Pocosol (letras EC) y de la zona de Los Chiles de Alajuela (LCH) ubican 5 de sus clones en los 10 mejores puestos. Pero también ubican 8 de sus clones en los peores 10 lugares del Ranking. Estos resultados explican, que en el caso del volumen comercial al nivel de clones individuales, no se obtuvieron diferencias significativas entre ninguno de los clones.

En cuanto a la calidad del fuste se registraron diferencias altamente significativas entre las empresas (procedencias). Los materiales procedentes de la zona de Nandayure (letra N) se ubican en la primera posición, pero no significativamente superiores a la semilla del Rodal Semillero ni a la del Huerto Semillero. Estas tres fuentes semilleras son todas precisamente provenientes de la zona del Pacífico seco

de Costa Rica. Lo que sugiere un muy buen trabajo de selección de los árboles en función de caracteres de la calidad industrial del fuste. Posiblemente, la selección de los árboles plus de las otras regiones del país (San Carlos y Pacífico central), no tuvo el mismo grado de rigurosidad para estos caracteres cualitativos. Sin embargo, si se observa en detalle, todos los materiales registran valores altos de calidad, superiores al 84% de un máximo posible de 100%. Estos resultados indican un excelente trabajo global de selección para la calidad y un espacio pequeño de mejoramiento genético para este carácter a futuro.

CONCLUSIONES

Los ensayos genéticos muestran una alta eficiencia y buen control de los efectos ambientales en los datos, lo que permite obtener estimados de los parámetros genéticos con errores bajos y alta confiabilidad.

Se determinó una importante ganancia genética inicial en el volumen comercial con respecto a la semilla mejorada del huerto semillero (25%) y de un 40% con respecto a la semilla procedente del rodal semillero.

La semilla seleccionada en las zonas de Altamira y en El Concho de Pocosol, ambas de San Carlos, se ubican en las mejores posiciones en volumen comercial. Estos materiales registran un alto potencial de mejoramiento genético, especialmente en suelos ácidos, de baja fertilidad y de altas precipitaciones.

En calidad del fuste, los materiales seleccionados en la zona de Guanacaste, superan significativamente a las selecciones de la zona norte y del Pacífico central del país. Sin embargo, dado el efecto global positivo logrado con esta primera selección en calidad, se concluye que habrá poca opción de mejoramiento genético para estos caracteres en las próximas generaciones.

Los resultados obtenidos son muy promisorios para el mejoramiento genético, en especial en cuanto al volumen comercial. Se espera que a mayor edad, la expresión de las diferencias genéticas proyecten aún más las ganancias genéticas esperadas.

BIBLIOGRAFIA

RESENDE, M. D. V. de. Delineamento de experimentos de seleção para a maximização da acurácia seletiva e progresso genético. **Revista Árvore**, v. 19, n. 4, p. 479-500, out./dez. 1995.

Murillo, O y Badilla, Y. 2004. Breeding teak in Costa Rica. En: IUFRO Meeting. Forest Genetics and Genomics. 1 – 5 de noviembre. Charleston, South Carolina, USA. www.ncsu.edu/feop/iufro_genetics2004/proceedings.pdf

Leandro, L.; Garzón, D. y Murillo, O. 2003. Potencial de mejoramiento genético de propiedades de la madera de teca. En: Simposio sobre la teca. 26-28 noviembre del 2003. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. CD.

Manual productores de teca (*Tectona grandis L.f.*) en Costa Rica, 2004

Tesis de Vallejos, 2007