

Desempeño juvenil de clones de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Pococí de Limón, Costa Rica

Early performance of mahogany clones (*Swietenia macrophylla* King) at Pococí from Limón, Costa Rica

Carlos Ávila-Arias¹  • Wendy González-González²  • Orlando Chinchilla-Mora¹  • Víctor Meza-Picado¹ 

Recibido: 10/11/2022

Aceptado: 18/07/2023

Abstract

In Costa Rica, reforestation for commercial purposes using native species of high market value has not been developed with the potential that the country has, mainly because of the lack of suitable genetic material for each of the productive regions. To achieve successful production systems, genetic material identified as superior based on its performance under different site conditions is required. The objective of this study was to evaluate the dasometric performance at early age of mahogany genotypes developing under the conditions of the Guápiles site, with the purpose of improving the package of intensive and site-specific forestry production for this species. For this, a clonal trial was evaluated for nine years, to know the performance of the different genotypes evaluated. An average normal diameter of 16.3 cm tree⁻¹ was recorded at the end of 108 months, which represents an AMI of 1.81 cm tree⁻¹ year⁻¹. Clones 207, 233, 194, 227, 57, 52, 21, 126, 201, 61, 56, 72, 199, 97, 191, 16, 187, 217, 276, 183, 173, 40, 3, 100, 193, 185, 177, 307, 1 and 237 were selected to continue genetic improvement for this site. Its use would generate an average volume of 0.2206 m³ tree⁻¹ at 9 years. The remaining clones should be discarded for commercial reforestation purposes and preserved for other later possible purposes.

Keywords: Growth, productivity, genetic material, selection.

1. Instituto de Investigación y Servicios Forestales, Universidad Nacional (INISEFOR - UNA); Heredia, Costa Rica.

carlos.avila.arias@una.ac.cr; orlando.chinchilla.mora@una.ac.cr; victor.meza.picado@una.ac.cr

2. Escuela de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional (EDECA – UNA); Heredia, Costa Rica. wengonz.steam@gmail.com

Resumen

En Costa Rica, la reforestación con fines comerciales utilizando especies nativas de alto valor de mercado no se ha desarrollado con el potencial que el país cuenta, ello como consecuencia, principalmente, de la falta de material genético adecuado para cada una de las regiones productivas, entre otras. Para lograr sistemas productivos exitosos se requiere material genético identificado como superior con base en su desempeño en distintas condiciones de sitio. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el desempeño dasométrico a temprana edad de genotipos de caoba desarrollándose bajo las condiciones propias del sitio Guápiles, con el propósito de mejorar el paquete de producción forestal intensiva y sitio – específica para la especie. Para esto se evaluó durante nueve años un ensayo clonal ubicado en dicho lugar, con el fin de conocer el desempeño que presentan los distintos genotipos evaluados. Se registró un diámetro normal promedio de 16,3 cm árb^{-1} a los 108 meses, lo que representa un IMA de 1,81 cm árb^{-1} año⁻¹. Los clones 207, 233, 194, 227, 57, 52, 21, 126, 201, 61, 56, 72, 199, 97, 191, 16, 187, 217, 276, 183, 173, 40, 3, 100, 193, 185, 177, 307, 1 y 237 fueron seleccionados para continuar el mejoramiento genético para este sitio. Su uso generaría un volumen promedio a los 9 años de 0,2206 m³ árb^{-1} . Los restantes clones deberían descartarse con fines de reforestación comercial y conservarse para eventuales objetivos futuros.

Palabras clave: Crecimiento, productividad, material genético, selección.

Introducción

En Costa Rica, pese a que se ha venido trabajando la reforestación comercial por más de 30 años, actualmente se presentan dificultades para garantizar que la actividad sea sostenible [1], producto en gran medida de la inadecuada selección del material genético [2]. Además, la reforestación comercial, a partir de plantaciones en bloques puros, posee una baja competitividad al compararla en el mediano y largo plazo con usos de la tierra como la producción piñera, cultivos agrícolas de corto ciclo, palma aceitera, café, cacao y especies frutales [3], entre otras.

Sumado a lo anterior se conoce que en los último 5 000 años, la superficie forestal del mundo ha presentado una reducción de aproximadamente 1 800 000 000 hectáreas, causado entre otras razones, por el aumento en la demanda de tierras para la agricultura [4]. Por su parte, en Costa Rica se ha venido registrando una disminución en la tasa anual de reforestación con fines comerciales, generando una amenaza para el sector [5].

Ante dicho panorama, ha surgido la necesidad de crear mecanismos de producción agropecuaria compatibles con la cobertura forestal, como lo son los sistemas agroforestales, los cuales permiten el asocio de árboles de especies maderables comerciales con cultivos agrícolas. Estos sistemas brindan una amplia gama de beneficios, principalmente a pequeños productores, esto porque en terrenos pequeños se es capaz de obtener variedad de productos [6]. Sin embargo, para ello el punto de partida es la selección de especies y genotipos de alto valor comercial, como es el caso de la *Swietenia macrophylla* (caoba), pero que además hayan sido probados en diferentes condiciones de sitio y se conozca su desempeño en cada una de ellas.

La caoba, producto de las características de su madera y la fácil trabajabilidad, se ha catalogado como la especie maderable con más alta importancia económica en toda la región Neotropical [7]. Sin embargo, para desarrollar una adecuada rentabilidad, es necesario la implementación de un sistema bajo un adecuado manejo silvicultural [8]. El cual parta de la selección de material genético de calidad, basado en los árboles que registren mayor crecimiento, calidad y adaptabilidad a las condiciones edafo-climáticas [9].

Es, por tanto, que se han realizado diversos estudios enfocados en el desarrollo de variedades genéticas de la especie *S. macrophylla* alrededor de la región tropical. Al respecto, en México autores como [10] evaluaron la heredabilidad en cuanto a resistencia a plagas en individuos de caoba, obtenido a través de la colecta de semillas con polinización abierta. De igual manera, en Veracruz [9] realizó un estudio relacionado con el desarrollo de dos procedencias, a partir del establecimiento de una plantación de 8 familias diferentes, donde se buscó identificar la familia con mayor superioridad respecto al resto.

En Costa Rica, el Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR) de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA), ha desarrollado investigación en dicha especie por más de una década. Se cuenta con una red de experimentos de campo, la que ha sido la base para seleccionar genotipos superiores, los que deben continuar el proceso de selección genética. No obstante, es necesario evaluar dichos genotipos bajo distintas condiciones de sitio, lo que debe ser la base de una verdadera planificación y ordenamiento forestal, mediante el que se potencie el establecimiento y manejo intensivo de esta especie.

Con base en lo anteriormente mencionado, la presente investigación se planteó el objetivo de evaluar el crecimiento de genotipos de caoba en las condiciones de sitio propias de Guápiles, Pococí; con el propósito

Cuadro 1. Caracterización edafo-climática del sitio experimental.

Table 1. Edapho-climatic characterization of the experimental site.

Parámetros	
Altitud	215 m.s.n.m.
Topografía	Plana
Pendiente promedio	5 %
Precipitación promedio	4 500 mm
Temperatura promedio	24 °C
Profundidad efectiva promedio	60 cm
Presencia de rocas	Muy baja

de mejorar el paquete de producción forestal intensiva y sitio – específica para la especie.

Materiales y métodos

Descripción del sitio experimental

El ensayo de campo se estableció en una finca de propiedad privada, ubicada en la localidad llamada La Colonia, del distrito Guápiles, cantón Pococí, provincia Limón de Costa Rica, en las coordenadas geográficas 10,240595° N y 83,790587° O.

Se utilizó el método silvicultural recomendado por [12]. En cual incluye el control químico del barrenador de la familia Meliaceae, *Hypsipyla grandella*.

Descripción del diseño experimental

En el sitio, se llevó a cabo un experimento de campo para estudiar el comportamiento de diferentes clones en función de las condiciones in situ. El diseño experimental fue de Bloques Completos al Azar (BCA), con 5 bloques, los cuales contenían cinco árboles de cada uno de los 118 genotipos incluidos en este estudio; es decir, se le dio seguimiento en el tiempo a 2950 individuos establecidos a 5 m X 5 m.

VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Para la presente investigación se consideran como variables independientes:

- Sitio: la expresión de esta variable podría condicionar los resultados obtenidos producto de su interacción con los genotipos, incluso a nivel de micro-sitio. Lo anterior justifica la creación de bloques realizados con base en las características del área experimental total, para así, minimizar la variabilidad del sitio

dentro de cada bloque, con lo que se anularía su efecto en los resultados.

- Clones: se evaluaron un total de 118 genotipos en el sitio experimental. Donde se seleccionaron los de desempeño superior según las variables dependientes. El conjunto clonal evaluado pertenece a la base genética de la especie multiplicada en el Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional (INISEFOR – UNA).

Por su parte, se seleccionaron como variables dependientes:

- DN (cm): Diámetro normal, medido a 1,3 m de altura desde el suelo en cada árbol, con la utilización de una cinta diamétrica de lona.
- Altura Total (m): medida a mediante una vara telescópica de 15 m.
- Volumen Total: determinado mediante la siguiente fórmula:

$$Vol. Tot. = ((DN/100)^2) * 0,7854 * Alt. Tot. * 0,55 \quad (1)$$

Análisis de la información

Los análisis estadísticos se realizaron con la utilización del software InfoStat. Para el conjunto clonal establecido se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) para datos no balanceados sobre las variables dependientes descritas previamente. Se tomó como variable de clasificación el clon. Posteriormente se aplicó la prueba de medias de Tukey ($\alpha = 0,05$) como comparador múltiple, lo que permitió identificar dónde se presentaban las diferencias significativas entre los clones.

De igual manera, se determinó el porcentaje de superioridad (o inferioridad en caso de ser negativo) en el desempeño de cada clon, a partir de la media poblacional para las variables dependientes estudiadas. Seguidamente, se ordenaron los clones de cada conjunto genético en forma descendente.

Finalmente, para determinar la superioridad del conjunto genético, se establecieron dos niveles de selección basado en la metodología utilizada por [3]:

1. Los genotipos que presentaron una superioridad de 10 %, comparado con la media poblacional, en cuanto al volumen total registrado en la última evaluación, fueron identificados como los candidatos para continuar con la multiplicación y, por tanto,

utilizarlos en sistemas productivos o proyectos de reforestación comercial.

2. Aquellos genotipos que superaron en al menos un 15 % a la media para la misma variable y momento de medición, fueron los recomendados para utilizarse en proyectos de producción forestal comercial, de igual forma para continuar en el proceso de mejoramiento genético, así como posibles cruces para la obtención de individuos mejorados.

El material clonal que no cumpliera con alguno de los mencionados niveles de selección deberá sacarse de la multiplicación comercial y continuar formando parte de bancos genéticos para otros propósitos a futuro.

Resultados

En los cuadros 1a, 1b 2a, 2b, 3a y 3b se muestra la evolución a través del tiempo en las variables altura total, diámetro normal y volumen total. De igual forma, el porcentaje de superioridad o inferioridad fenotípica, a partir de la comparación de la media de cada genotipo con la poblacional. Los resultados obtenidos para dichos parámetros se presentan a una edad máxima de 108 meses (9 años). En dichos cuadros se incluyeron únicamente los clones que cumplieron con los niveles de selección establecidos en la metodología del estudio.

Se registró un promedio en altura total para el conjunto clonal de 5,98 m árb^{-1} , 8,78 m árb^{-1} , 11,85 m árb^{-1} y 13,54 m árb^{-1} a los 36, 60, 84 y 108 meses, respectivamente (Cuadro 1a y 1b). Donde, con base en la última medición evaluada, se calculó un Incremento Medio Anual (IMA) para dicha variable de 1,50 m árb^{-1} año^{-1} .

A partir de la prueba de medias realizada entre los clones para la variable altura total se evidenció que, conforme avanza la edad se disminuyen las diferencias significativas entre los genotipos. Sin embargo, en términos generales se encuentran en todas las mediciones grandes diferencias estadísticas. Donde a los 36 y 60 meses de evaluación se tiene una mayor heterogeneidad en el desempeño de los clones. Además, dentro de todo el rango de evaluación se presentó el mayor porcentaje de superioridad (38 %) para el clon número 201 a los 36 meses de edad (Cuadro 1).

Si la selección de genotipo se basará en el desempeño de esta variable a los 108 meses, y siguiendo los criterios ya definidos, se considerarían a los clones 194, 233, 21, 152, 40 y 57 como los candidatos a permanecer en el programa de mejoramiento genético. Además de los ya mencionados, se suman los genotipos 201, 3, 16, 52,

183, 191, 193, 190, 61, 96, 185, 227 y 97 como parte de la selección para continuar multiplicándose con fines de reforestación comercial en sitios con presencia de condiciones similares a las aquí presentadas.

Por su parte, el desempeño en diámetro normal para el conjunto genético muestra un patrón de evolución similar al que se presenta en la altura total. Sin embargo, en este caso en el último momento de medición (108 meses) se tiene una importante disminución de la diferencia estadística significativa, además en este momento se encuentra el clon 233 como el que posee la mayor superioridad sobre el promedio con 17,2 %.

Se registró un promedio en diámetro normal para el conjunto clonal de 8,0 cm árb^{-1} , 11,4 cm árb^{-1} , 13,8 cm árb^{-1} y 16,3 cm árb^{-1} a los 36, 60, 84 y 108 meses, respectivamente (Cuadro 2a y 2b). Donde, con base en la última medición evaluada, se calculó un IMA para dicha variable de 1,81 cm árb^{-1} año^{-1} .

Si basáramos la selección genotípica en esta variable a los 108 meses, se identificaría a los clones 233, 207, 72 y 194 como candidatos para permanecer en el programa de mejoramiento genético. Mientras que, si queremos identificar los genotipos con aptitud para continuar la multiplicación con fines comerciales en sitios de similares condiciones, se deben agregar a los ya mencionados, los clones 52, 201, 276, 217, 61, 56, 97, 199 y 57.

Producto de la interacción entre las variables anteriores (altura total y diámetro normal), el volumen total presentó una tendencia similar en el desempeño del diámetro normal, esto porque las mayores diferencias significativas entre los genotipos se encontraron en las evaluaciones de menor edad (Cuadro 3a y 3b). Por lo cual, los clones 207, 233, 194, 227, 57, 52, 21, 126, 201, 61, 56, 72, 199, 97, 191, 16, 187, 217, 276, 183, 173, 40, 3, 100, 193, 185, 177, 307, 1 y 237 fueron los seleccionados para continuar el proceso de mejoramiento genético, a razón del buen desempeño presentado en el sitio. Encontrándose además de estos los genotipos 211, 190, 136, 66, 96 y 85 como candidatos para multiplicarse y ser utilizados en sistemas de producción comercial.

Es importante rescatar que el clon 207 corresponde al de mayor superioridad sobre el promedio, a excepción de la primera evaluación (36 meses). A los 108 meses el valor alcanzado fue de 57,8 % sobre la media poblacional.

Si se utilizaran únicamente los clones seleccionados, el volumen promedio que se obtendría a los 108 meses sería de 0,2206 m³ árb^{-1} , es decir una superioridad promedio de 28,9 % sobre todo el conjunto genético. Utilizar solamente dichos clones representaría un volumen total de aproximadamente 88,24 m³ ha^{-1} a los 108 meses

Cuadro 1a. Ganancia fenotípica en altura total a los 36 y 60 meses para una colección de clones de caoba establecidos en Sitio Guápiles, Costa Rica.

Table 1a. Phenotypic gain in total height at 36 and 60 months for a set of mahogany clones established at Sitio Guápiles, Costa Rica.

Clon	Alt.Tot. 36 meses (m árb ⁻¹)	Superioridad (%)	Clon	Alt.Tot. 60 meses (m árb ⁻¹)	Superioridad (%)
201	8,25 A	38,0	233	11,22 A	27,8
200	7,52 A B	25,8	227	10,51 A B	19,8
233	7,34 A B C	22,7	211	10,47 A B C	19,3
132	7,30 A B C D	22,1	194	10,32 A B C D	17,6
190	7,24 A B C D E	21,1	201	10,28 A B C D E	17,1
211	7,18 A B C D E F	20,1	216	10,22 A B C D E F	16,4
183	7,15 A B C D E F G	19,6	57	10,17 A B C D E F G	15,9
96	7,10 A B C D E F G H	18,7	190	10,04 A B C D E F G H	14,4
288	6,98 A B C D E F G H I	16,7	63	10,01 A B C D E F G H	14,1
121	6,94 A B C D E F G H I J	16,1	61	9,98 A B C D E F G H I	13,7
177	6,92 A B C D E F G H I J K	15,7	66	9,97 A B C D E F G H I J	13,6
210	6,89 A B C D E F G H I J K L	15,2	207	9,90 A B C D E F G H I J	12,8
124	6,87 A B C D E F G H I J K L	14,9	276	9,85 A B C D E F G H I J K	12,2
276	6,83 A B C D E F G H I J K L M	14,2	215	9,83 A B C D E F G H I J K L	12,0
227	6,80 A B C D E F G H I J K L M	13,7	193	9,82 A B C D E F G H I J K L	11,9
97	6,76 A B C D E F G H I J K L M N	13,0	121	9,81 A B C D E F G H I J K L M	11,8
193	6,73 A B C D E F G H I J K L M N	12,5	187	9,76 A B C D E F G H I J K L M	11,2
136	6,73 A B C D E F G H I J K L M N	12,5	72	9,73 A B C D E F G H I J K L M	10,9
194	6,72 A B C D E F G H I J K L M N	12,4	177	9,70 A B C D E F G H I J K L M N	10,5
187	6,70 A B C D E F G H I J K L M N	12,0	73	9,66 A B C D E F G H I J K L M N O	10,1
180	6,70 A B C D E F G H I J K L M N	12,0	81	9,65 A B C D E F G H I J K L M N O P	10,0
Promedio	5,98			8,78	

Letras distintas representan diferencias estadísticamente significativas ($\alpha=0,05$)

Cuadro 1b. Ganancia fenotípica en altura total a los 84 y 108 meses para una colección de clones de caoba establecidos en Sitio Guápiles, Costa Rica.

Table 1b. Phenotypic gain in total height at 84 and 108 months for a set of mahogany clones established at Sitio Guápiles, Costa Rica.

Clon	Alt.Tot. 84 meses (m árb ⁻¹)			Superioridad (%)	Clon	Alt.Tot. 108 meses (m árb ⁻¹)			Superioridad (%)														
57	14,74	A		24,4	194	16,10	A		18,9														
194	14,34	A	B	21,1	233	15,99	A		18,1														
233	14,24	A	B	C	21	15,82	A	B	16,8														
56	14,07	A	B	C	D	152	15,77	A	B	16,5													
152	14,02	A	B	C	D	40	15,64	A	B	C	15,5												
21	13,90	A	B	C	D	E	57	15,63	A	B	C	15,4											
40	13,87	A	B	C	D	E	F	201	15,56	A	B	C	D	14,9									
52	13,85	A	B	C	D	E	F	3	15,53	A	B	C	D	14,7									
61	13,83	A	B	C	D	E	F	G	16	15,53	A	B	C	D	E	14,7							
201	13,82	A	B	C	D	E	F	G	52	15,50	A	B	C	D	E	F	14,5						
183	13,48	A	B	C	D	E	F	G	H	183	15,21	A	B	C	D	E	F	G	12,3				
16	13,42	A	B	C	D	E	F	G	H	I	191	15,11	A	B	C	D	E	F	G	H	11,6		
191	13,39	A	B	C	D	E	F	G	H	I	193	15,10	A	B	C	D	E	F	G	H	11,5		
193	13,38	A	B	C	D	E	F	G	H	I	190	15,07	A	B	C	D	E	F	G	H	11,3		
190	13,35	A	B	C	D	E	F	G	H	I	61	15,05	A	B	C	D	E	F	G	H	I	11,1	
96	13,24	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	96	14,95	A	B	C	D	E	F	G	H	I	10,4
185	13,24	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	185	14,95	A	B	C	D	E	F	G	H	I	10,4
227	13,23	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	227	14,94	A	B	C	D	E	F	G	H	I	10,3
97	13,18	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	97	14,89	A	B	C	D	E	F	G	H	I	10,0
207	13,08	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J											10,4	
124	13,06	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J											10,3	
76	13,03	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J											10,0	
Promedio	11,85																					13,54	

Letras distintas representan diferencias estadísticamente significativas (α=0,05)

Cuadro 2a. Ganancia fenotípica en diámetro normal a los 36 y 60 meses para una colección de clones de caoba establecidos en Sitio Guápiles, Costa Rica.

Table 2a. Phenotypic gain in normal diameter at 36 and 60 months for a set of mahogany clones established at Sitio Guápiles, Costa Rica.

Clon	DN 36 meses (cm árb ⁻¹)			Superioridad (%)	Clon	DN 60 meses (cm árb ⁻¹)			Superioridad (%)												
141	9,7	A		21,1	207	13,8	A		21,6												
190	9,6	A	B	19,7	194	13,8	A		21,5												
136	9,6	A	B	19,0	201	13,6	A	B	19,9												
201	9,5	A	B	C	217	13,4	A	B	C	17,5											
211	9,4	A	B	C	233	13,4	A	B	C	17,4											
132	9,4	A	B	C	61	13,3	A	B	C	16,8											
124	9,3	A	B	C	D	57	13,2	A	B	C	D	16,3									
217	9,3	A	B	C	D	E	56	13,2	A	B	C	D	E	15,8							
187	9,2	A	B	C	D	E	F	211	12,8	A	B	C	D	E	F	12,8					
121	9,2	A	B	C	D	E	F	G	190	12,8	A	B	C	D	E	F	G	12,1			
210	9,1	A	B	C	D	E	F	G	H	216	12,7	A	B	C	D	E	F	G	11,5		
97	9,1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	187	12,6	A	B	C	D	E	F	G	10,3	
233	9,1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	136	12,5	A	B	C	D	E	F	G	10,0	
163	9,0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J										
194	9,0	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J										
177	8,9	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K									
218	8,9	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L								
Promedio	8,0																				11,4

Letras distintas representan diferencias estadísticamente significativas ($\alpha=0,05$)

Cuadro 2b. Ganancia fenotípica en diámetro normal a los 84 y 108 meses para una colección de clones de caoba establecidos en Sitio Guápiles, Costa Rica.

Table 2b. Phenotypic gain in normal diameter at 84 and 108 months for a set of mahogany clones established at Sitio Guápiles, Costa Rica.

Clon	DN 36 meses (cm árbol ⁻¹)					Superioridad (%)	Clon	DN 60 meses (m árbol ⁻¹)		Superioridad (%)		
194	16,3	A	B			17,9	233	18,97	A	17,2		
233	16,2	A	B	C		17,1	207	18,8	A	B	16,1	
207	16,1	A	B	C	D	16,6	72	18,65	A	B	15,2	
201	16,0	A	B	C	D	15,7	194	18,61	A	B	15,0	
61	16,0	A	B	C	D	15,6	52	18,53	A	B	14,5	
217	15,7	A	B	C	D	E	13,7	201	18,47	A	B	14,1
56	15,6	A	B	C	D	E	12,7	276	18,32	A	B	13,2
52	15,6	A	B	C	D	E	12,7	217	18,22	A	B	12,6
57	15,5	A	B	C	D	E	12,3	61	18,2	A	B	12,4
16	15,5	A	B	C	D	E	12,3	56	18,06	A	B	11,6
72	15,3	A	B	C	D	E	11,2	97	17,92	A	B	10,7
97	15,2	A	B	C	D	E	10,0	199	17,9	A	B	10,6
								57	17,9	A	B	10,6
Promedio	13,8							16,2				

Letras distintas representan diferencias estadísticamente significativas (α=0,05)

de edad, si se establecieran 400 árbol ha⁻¹ en sistemas agroforestales (SAF) con cultivos de ciclo corto, ó 137,88 m³ ha⁻¹ en el caso de SAF con cacao (625 árbol ha⁻¹).

Por otra parte, se presenta el desempeño del conjunto genético con respecto al volumen total a los 9 años, de manera gráfica (Figura 1). La línea roja paralela al eje "X" corresponde al promedio poblacional en volumen

por árbol (0,1700 m³ árbol⁻¹). Como se aprecia, existen clones con una gran amplitud en sus resultados para dicha variable; es decir, entre su valor mínimo y máximo registrado. Dichos clones no deberían ser seleccionados debido a la posible variabilidad en su desempeño en campo, esto para el volumen total. Por su parte, también se registraron genotipos con un rango en sus resultados muy pequeño. Adicionalmente, se aprecian fácil y

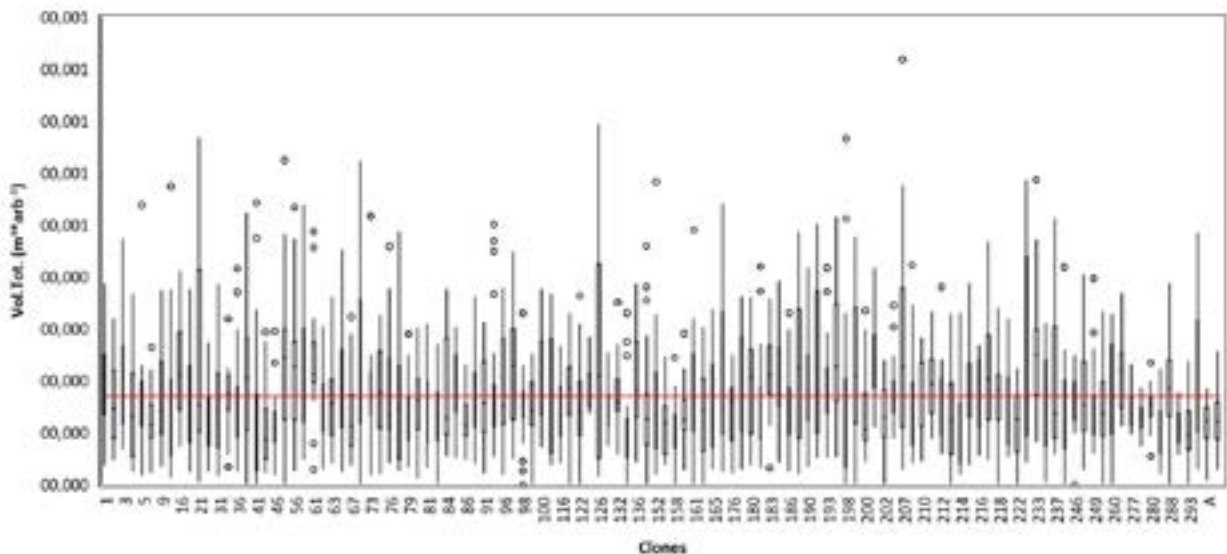


Figura 1. Variabilidad de genotipos de caoba del conjunto genético clonal en Sitio Guápiles.

Figure 1. Variability of mahogany genotypes from the clonal gene pool at Sitio Guápiles.

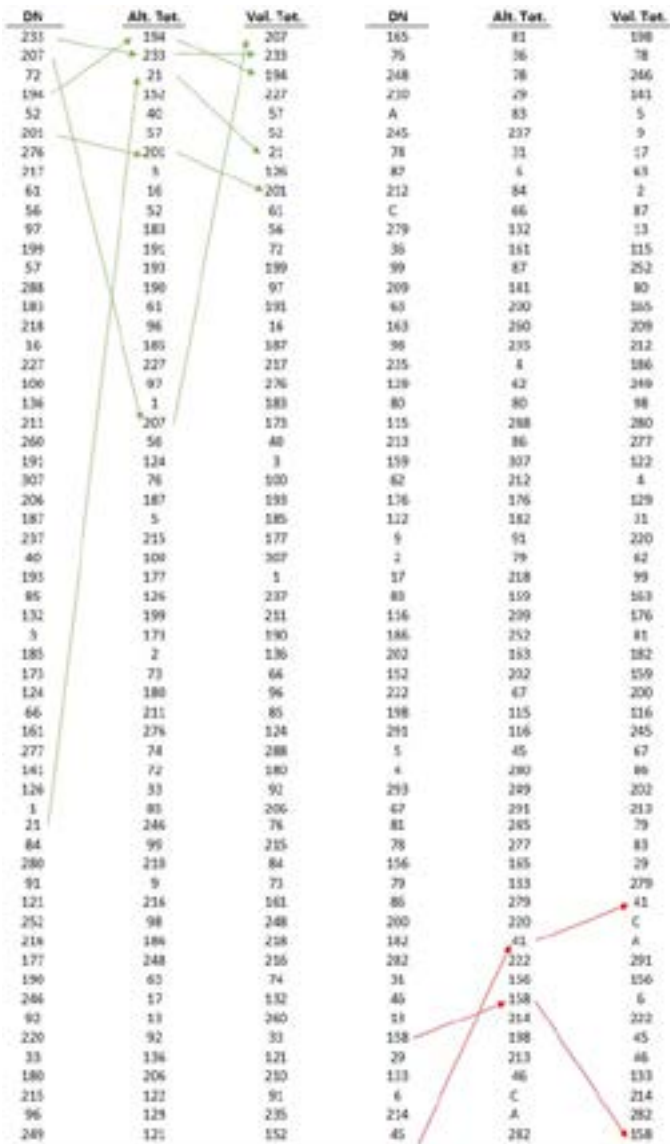


Figura 2. Jerarquización descendente de los clones evaluados en cuanto a diámetro normal (DN), altura total y volumen total a los 108 meses de edad, Sitio Guápiles.

Figure 2. Descendent ranking of clones based on normal diameter (ND) total height and total volume at 108 months old, Sitio Guapiles.

rápidamente los clones cuyos promedios se encuentran tanto por encima como por debajo del poblacional (Figura 1). Este simple gráfico brinda una primera idea de los clones que deberían o no ser seleccionados como superiores, para sitios con características similares a este.

Con la finalidad de obtener un alto grado de rigurosidad y por ende éxito en el mejoramiento genético, se realizan dos niveles de selección, siendo estos considerados a partir de la media poblacional. Por tanto, la figura 2 refleja la posición de los diferentes genotipos a los 108

meses en las tres variables evaluadas. En la última evaluación se evidenciaron los clones 233, 194, 52 y 201 como los que estuvieron en las primeras posiciones para las tres variables, además cumplieron con los criterios establecidos para la selección producto de la superioridad presentada sobre el promedio poblacional. Por su parte, otros clones como los 207 y 61 solo se encuentran categorizadas como las de mejor desempeño para diámetro normal y volumen total. En altura total, sobresalen los clones 152, 40, 3, 16, 21 y 57; los últimos dos destacándose además en volumen total (Figura 2).

Por otro lado, los clones con un menor desempeño durante la última evaluación y para la variable diámetro normal y volumen total, están dados principalmente por los genotipos 6, 45 y 133. Sin embargo, en las tres variables de estudio se identificaron los clones 158, 214, 46 en el ranking de menor desempeño. Para el caso de altura total, se identificaron los genotipos 198, 213, C, A, 156, 282 y 293; en el caso de los últimos tres, además se encuentran dentro del grupo de menor desempeño en volumen total (Figura 2).

Discusión

Altura total

En la investigación realizada en Honduras por [13], se identificaron valores en altura total de hasta 13 m árb^{-1} en 21 años en asocio con cultivos de café. Por su parte, en diferentes municipios de México se identificaron alturas dominantes de entre 8 m árb^{-1} y 15 m árb^{-1} a la misma edad [14]. Asimismo, en un estudio desarrollado en otras tres regiones de México, se obtuvieron al año 3 de edad alturas promedio 3,21 m árb^{-1} , 2,56 m árb^{-1} y 1,87 m árb^{-1} , respectivamente [15]; mientras que para el sitio Guápiles fue de 5,98 m árb^{-1} . Los resultados de dichos estudios, comparados con alturas totales de hasta 13,53 m árb^{-1} , registrada en el sitio de la presente investigación, evidencian un buen desarrollo en este sitio e incluso la superioridad sobre otras zonas.

De igual manera, lo anterior se puede ratificar al contrarrestar una investigación realizada en Venecia de San Carlos y Santa Lucía de Heredia, Costa Rica. En ella se registraron promedios en altura total de 7,01 m árb^{-1} y 4,35 m árb^{-1} , respectivamente para cada sitio [3], esto a los 3 años de plantado con clones mejorados provenientes del mismo banco genético que los del presente estudio.

Los anteriores resultados evidencian un claro efecto de la calidad de sitio sobre el crecimiento de la caoba, y desde luego también del conjunto genético aquí estudiado. En ese sentido, al analizar la gran cantidad de

Cuadro 3a. Ganancia fenotípica en volumen total a los 36 y 60 meses para una colección de clones de caoba establecidos en Sitio Guápiles, Costa Rica.

Table 3a. Phenotypic gain in total volume at 36 and 60 months for a set of mahogany clones established at Sitio Guápiles, Costa Rica.

Clon	Vol. Tot. 36 meses (m³ árb⁻¹)	Superioridad (%)	Clon	Vol. Tot. 60 meses (m³ árb⁻¹)	Superioridad (%)
201	0,0300 A	59,5	207	0,0900 A	65,9
190	0,0300 A B	59,5	233	0,0900 A B	65,9
211	0,0300 A B C	59,5	194	0,0900 A B C	65,9
132	0,0300 A B C D	59,5	201	0,0900 A B C D	65,9
136	0,0300 A B C D E	59,5	57	0,0800 A B C D E	47,5
233	0,0300 A B C D E F	59,5	61	0,0800 A B C D E F	47,5
210	0,0300 A B C D E F	59,5	56	0,0800 A B C D E F G	47,5
121	0,0300 A B C D E F G	59,5	217	0,0800 A B C D E F G H	47,5
124	0,0300 A B C D E F G	59,5	211	0,0800 A B C D E F G H I	47,5
200	0,0300 A B C D E F G H	59,5	227	0,0800 A B C D E F G H I J	47,5
187	0,0300 A B C D E F G H	59,5	237	0,0800 A B C D E F G H I J	47,5
141	0,0300 A B C D E F G H I	59,5	190	0,0700 A B C D E F G H I J K	29,1
97	0,0300 A B C D E F G H I J	59,5	216	0,0700 A B C D E F G H I J K L	29,1
194	0,0300 A B C D E F G H I J K	59,5	199	0,0700 A B C D E F G H I J K L M	29,1
177	0,0300 A B C D E F G H I J K	59,5	307	0,0700 A B C D E F G H I J K L M N	29,1
218	0,0300 A B C D E F G H I J K	59,5	187	0,0700 A B C D E F G H I J K L M N O	29,1
Promedio	0,0188		235	0,0700 A B C D E F G H I J K L M N O P	29,1
			215	0,0700 A B C D E F G H I J K L M N O P	29,1
			191	0,0700 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	29,1
			97	0,0700 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	29,1
			121	0,0700 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	29,1
			52	0,0700 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	29,1
			193	0,0700 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	29,1
			136	0,0700 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	29,1
			210	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			218	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			132	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			177	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			200	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			209	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			63	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			16	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			91	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			96	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			173	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			66	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			126	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			277	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			288	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			21	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			72	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			100	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			185	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			161	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			C	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			124	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			276	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			40	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			212	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			198	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			74	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			85	0,0600 A B C D E F G H I J K L M N O P Q	10,6
			Promedio	0,0542	

Letras distintas representan diferencias estadísticamente significativas (α=0,05)

Cuadro 3b. Ganancia fenotípica en volumen total a los 84 y 108 meses para una colección de clones de caoba establecidos en Sitio Guápiles, Costa Rica.

Table 3b. Phenotypic gain in total volume at 84 and 108 months for a set of mahogany clones established at Sitio Guápiles, Costa Rica.

Clon	Vol. Tot. 60 meses (m ³ árb ⁻¹)	Superioridad (%)	Clon	Vol. Tot. 60 meses (m ³ árb ⁻¹)	Superioridad (%)
194	0,1700 A	57,3	207	0,27 A	57,8
207	0,1700 A B	57,3	233	0,26 A B	52,0
233	0,1700 A B C	57,3	194	0,26 A B	52,0
57	0,1700 A B C D	57,3	227	0,25 A B C	46,1
61	0,1700 A B C D E	57,3	57	0,25 A B C D	46,1
56	0,1600 A B C D E	48,1	52	0,24 A B C D E	40,3
201	0,1600 A B C D E F	48,1	21	0,24 A B C D E	40,3
227	0,1500 A B C D E F G	38,8	126	0,24 A B C D E	40,3
52	0,1500 A B C D E F G H	38,8	201	0,24 A B C D E	40,3
16	0,1400 A B C D E F G H I	29,6	61	0,24 A B C D E	40,3
199	0,1400 A B C D E F G H I J	29,6	56	0,24 A B C D E	40,3
191	0,1400 A B C D E F G H I J	29,6	72	0,24 A B C D E	40,3
21	0,1400 A B C D E F G H I J	29,6	199	0,23 A B C D E	34,4
97	0,1400 A B C D E F G H I J	29,6	97	0,23 A B C D E	34,4
217	0,1400 A B C D E F G H I J	29,6	191	0,22 A B C D E	28,6
126	0,1400 A B C D E F G H I J	29,6	16	0,22 A B C D E	28,6
72	0,1400 A B C D E F G H I J	29,6	187	0,22 A B C D E	28,6
187	0,1400 A B C D E F G H I J	29,6	217	0,22 A B C D E	28,6
183	0,1300 A B C D E F G H I J	20,3	276	0,22 A B C D E	28,6
40	0,1300 A B C D E F G H I J	20,3	183	0,22 A B C D E	28,6
100	0,1300 A B C D E F G H I J	20,3	173	0,22 A B C D E	28,6
173	0,1300 A B C D E F G H I J	20,3	40	0,21 A B C D E	22,7
190	0,1300 A B C D E F G H I J	20,3	3	0,21 A B C D E	22,7
185	0,1300 A B C D E F G H I J	20,3	100	0,21 A B C D E	22,7
211	0,1300 A B C D E F G H I J	20,3	193	0,2 A B C D E	16,9
96	0,1300 A B C D E F G H I J	20,3	185	0,2 A B C D E	16,9
177	0,1300 A B C D E F G H I J	20,3	177	0,2 A B C D E	16,9
193	0,1200 A B C D E F G H I J	11,1	307	0,2 A B C D E	16,9
136	0,1200 A B C D E F G H I J	11,1	1	0,2 A B C D E	16,9
237	0,1200 A B C D E F G H I J	11,1	237	0,2 A B C D E	16,9
307	0,1200 A B C D E F G H I J	11,1	211	0,19 A B C D E	11,0
215	0,1200 A B C D E F G H I J	11,1	190	0,19 A B C D E	11,0
276	0,1200 A B C D E F G H I J	11,1	136	0,19 A B C D E	11,0
124	0,1200 A B C D E F G H I J	11,1	66	0,19 A B C D E	11,0
216	0,1200 A B C D E F G H I J	11,1	96	0,19 A B C D E	11,0
85	0,1200 A B C D E F G H I J	11,1	85	0,19 A B C D E	11,0
180	0,1200 A B C D E F G H I J	11,1	0,1711		
210	0,1200 A B C D E F G H I J	11,1			
92	0,1200 A B C D E F G H I J	11,1			
66	0,1200 A B C D E F G H I J	11,1			
1	0,1200 A B C D E F G H I J	11,1			
3	0,1200 A B C D E F G H I J	11,1			
206	0,1200 A B C D E F G H I J	11,1			
74	0,1200 A B C D E F G H I J	11,1			
73	0,1200 A B C D E F G H I J	11,1			
Promedio	0,1081				

Letras distintas representan diferencias estadísticamente significativas (α=0,05)

diferencias estadísticas encontradas en el crecimiento de este conjunto clonal se puede deducir que las condiciones propias del sitio permitieron la expresión de cada genotipo.

Diámetro normal

En cuanto al promedio del diámetro normal, en un estudio realizado en Ecuador se encontró que a los 12 meses se alcanzaron $1,26 \text{ cm } \text{árb}^{-1}$ [16]; mientras que, en Sri Lanka, se reportaron diámetros oscilantes entre $12 \text{ cm } \text{árb}^{-1}$ y $14 \text{ cm } \text{árb}^{-1}$ a los 7 años [17], lo que demuestra una similitud con los valores obtenidos en la presente investigación. Por su parte, [3] utilizando en Venecia de San Carlos y Santa Lucía de Heredia el mismo material genético de la presente investigación, registraron promedios de diámetro normal a los 3 años de $9,3 \text{ cm } \text{árb}^{-1}$ y $5,4 \text{ cm } \text{árb}^{-1}$, respectivamente. Lo anterior en contraposición con los $8 \text{ cm } \text{árb}^{-1}$ alcanzados en el sitio Guápiles a la misma edad.

Asimismo, en un estudio desarrollado en México, se determinó que a los 9 años de establecida la plantación en tres sitios diferentes, se presentaron diámetros de $10 \text{ cm } \text{árb}^{-1}$, $13 \text{ cm } \text{árb}^{-1}$ y $15 \text{ cm } \text{árb}^{-1}$ [14]. A lo que se debe agregar el estudio desarrollado por [18] en Ecuador, quienes obtuvieron un diámetro normal promedio de $10,2 \text{ cm } \text{árb}^{-1}$ a los 12 años de plantados. Lo anterior demuestra una evidente superioridad por parte del sitio de Guápiles, ya que a los 9 años se alcanzó en promedio $16,3 \text{ cm } \text{árb}^{-1}$. A lo que se debe agregar las posibles diferencias en calidad genética de los materiales utilizados en cada investigación.

Volumen total

En lo que se refiere a esta variable de crecimiento, en un estudio desarrollado en fincas cafetaleras de diferentes edades ubicadas en Honduras, se identificó que la caoba logró obtener valores volumétricos de hasta $11,83 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, esto al tenerse un asocio de árboles de *S. macrophylla* con café y otras especies maderables como cedro [13]. Asimismo, en Honduras se identificó en tres plantaciones de caoba de 9 años un volumen promedio de $0,072 \text{ m}^3 \text{ árb}^{-1}$, $0,065 \text{ m}^3 \text{ árb}^{-1}$ y $0,143 \text{ m}^3 \text{ árb}^{-1}$, respectivamente [14]. Por su parte, en el sitio Guápiles a la misma edad, se identificó un volumen promedio de $0,1711 \text{ m}^3 \text{ árb}^{-1}$ mostrando una superioridad en esta variable para nuestro sitio en estudio, en comparación con los ya mencionados.

Es de suma importancia rescatar los resultados obtenidos en Venecia de San Carlos y Santa Lucía de Heredia en cuanto al volumen total [3]. En dicho estudio se utilizó material genético proveniente de la colección evaluada en el sitio Guápiles y obtuvieron un volumen

total promedio, a los 3 años de establecido, de $0,0309 \text{ m}^3 \text{ árb}^{-1}$ y $0,0066 \text{ m}^3 \text{ árb}^{-1}$, respectivamente. Mientras que, en el presente estudio y a los mismos 3 años de edad, se registró un volumen total promedio de $0,0188 \text{ m}^3 \text{ árb}^{-1}$. Es importante esta comparación por el hecho que, el material genético utilizado en el estudio de [3] fue una selección de los clones más sobresalientes, para ese momento, de los establecidos en el sitio de la presente investigación. Es decir, la base poblacional establecida y evaluada en Venecia de San Carlos y Santa Lucía de Heredia partió de la no inclusión de los clones que estaban registrando los crecimientos menores.

Conclusiones y recomendaciones

Se registró un promedio en diámetro normal para el conjunto clonal de $8 \text{ cm } \text{árb}^{-1}$, $11,4 \text{ cm } \text{árb}^{-1}$, $13,8 \text{ cm } \text{árb}^{-1}$ y $16,3 \text{ cm } \text{árb}^{-1}$ a los 36, 60, 84 y 108 meses, respectivamente. Donde, a partir de la evaluación realizada a los 108 meses se calculó un IMA de $1,81 \text{ cm } \text{árb}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Los clones 207, 233, 194, 227, 57, 52, 21, 126, 201, 61, 56, 72, 199, 97, 191, 16, 187, 217, 276, 183, 173, 40, 3, 100, 193, 185, 177, 307, 1 y 237 fueron los seleccionados para continuar el proceso de mejoramiento genético, con base en los parámetros establecidos para tal fin. Encontrándose además de estos los genotipos 211, 190, 136, 66, 96 y 85 como candidatos para multiplicarse y ser utilizados en sistemas de producción comercial.

Si se utilizaran únicamente los clones seleccionados, el volumen promedio que se obtendría a los 108 meses sería de $0,2206 \text{ m}^3 \text{ árb}^{-1}$, es decir una superioridad promedio de 28,9 % sobre el volumen que se obtendría al utilizar todo el conjunto genético.

Los restantes clones deberían descartarse con fines de reforestación comercial y conservarse en bancos de germoplasma para objetivos futuros.

Referencias

- [1]. V. Meza, K. Alfaro, R. Bedoya, M. Romero, A. Valerio y P. Montenegro, (Eds.), "Reforestación comercial en Costa Rica: Regiones Huetar Atlántica, Huetar Norte y Chorotega", 1ed., Heredia, Costa Rica, INISEFOR – FONAFIFO, 61 p. 2019. https://www.fonafifo.go.cr/media/2976/reforestacion_comercial.pdf
- [2]. R. Keogh, "La teca y su importancia económica a nivel mundial", en Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades, R. Camino y J. P. Morales, Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 2013. (Pp. 8-29).

- [3]. E. Corea-Arias, O. Chinchilla-Mora, V. Meza-Picado y C. Ávila-Arias, "Selección temprana de clones de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en sistemas agroforestales", *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 17, no. 41, 78-93, 2020.
- [4]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, "El estado de los bosques del mundo. Los bosques y la agricultura desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra", Roma, 2016.
- [5]. G. Arias, "Análisis del impacto económico y social de las plantaciones forestales en Costa Rica", San José, 2004.
- [6]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, "Agroforestería. Conjunto de Herramientas para la Gestión Forestal Sostenible (GFS)", 2021. <https://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules-alternative/agroforestry/basic-knowledge/es/>
- [7]. M. Navarro, ("). Diagnóstico del estado actual de *Swietenia macrophylla* King (caoba) en los bosques manejados de Quintana Roo, México: perspectivas para su manejo", tesis de doctorado, Universidad Veracruzana, México, 2015.
- [8]. M. Román, A. Mora y G. González, "Sistemas agroforestales con especies de importancia maderable y no maderable en el trópico seco de México", *Avances en investigación agropecuaria*, vol. 20, no. 2, 53-72, 2016.
- [9]. J. Bernabe, "Evaluación de un ensayo de procedencias/progenie de *Swietenia macrophylla* King establecido en la Balsa, Veracruz", M. S. tesis, Universidad Veracruzana, México, 2018.
- [10]. K. Wightman, S. Ward, J. Haggar, B. Rodríguez y J. Cornelius, "Performance and genetic variation of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in provenance and progeny trials in the Yucatan Peninsula of Mexico", *Forest Ecology and Management*, vol. 255, 346-355, 2008.
- [11]. IMN, "Clima en Costa Rica: Clima de Costa Rica y variabilidad climática", Instituto Meteorológico Nacional, San José, 2019.
- [12]. E. Corea y O. Chinchilla, "El cultivo de caoba (*Swietenia macrophylla*) en los primeros cuatro años de crecimiento, Costa Rica", Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia, Costa Rica, 2015.
- [13]. N. Jiménez, "Producción de madera y almacenamiento de carbono en cafetales con cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en Honduras", M. S. tesis, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 2012.
- [14]. G. Pérez, M. Domínguez-Domínguez, P. Martínez-Zurimendi y J. Etcheveres, "Caracterización dasométrica e índice de sitio en plantaciones de caoba en Tabasco, México", *Madera y Bosque*, vol. 18, no. 1, 7-24, 2012.
- [15]. K. Wightman, B. Rodríguez, B. Ward y J. Cornelius, "Domesticación de cedro y caoba en la Península de Yucatán, México. Experiencias en el mejoramiento del germoplasma forestal", *Recursos Naturales y Ambiente*, vol. 44, 119-128, 2005.
- [16]. G. Quimis, "Influencia de espaciamientos en el crecimiento inicial de cuatro procedencias de *Swietenia macrophylla* King, Jipijapa, Ecuador", Trabajo de Titulación Bachillerato, Universidad Estatal del Sur de Manabí, 2019. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1923/1/UNESUM-ECU-FORESTAL-2019-23.pdf>
- [17]. W. Lakmali y S. Subasinghe, "Change of breast height diameter with age of *Swietenia macrophylla* (Mahogany) even-age monocultures", *Proceedings of International Forestry and Environment Symposium*, vol. 15, 297-302, 2010.
- [18]. A. Rueda, A. Gallegos, D. González, J. Ruíz, J. Benavides, E. López y M. Acosta, "Estimación de biomasa aérea en plantaciones de *Cedrela odorata* L. y *Swietenia macrophylla* King", *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, Vol. 5, no. 25, 8-17, 2014.