



Variabilidad fenotípica de la plantación de *Anacardium excelsum* en El Espinal, departamento del Tolima, Colombia

Phenotypic variability of *Anacardium excelsum* plantation in Espinal, Colombia

¹Sandra Liliana Castañeda-Garzón^{1*}, ²Diana Catalina Cervera Bonilla², ²Jhon Jairo Zuluaga-Peláez²,
²Jorge Humberto Argüelles-Cárdenas¹, ²Jessica Moreno-Barragán¹

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de investigación La Libertad, kilómetro 17 vía Puerto López-Meta, Villavicencio, Meta, Colombia

²Centro de Investigación Nataima, kilómetro 9 vía Espinal, Ibagué-Tolima, El Espinal, Colombia

RESUMEN: La especie nativa *Anacardium excelsum* Skeels tiene importancia económica y ecológica por su uso alimenticio, maderable y su aporte en la protección de recursos hídricos. Sin embargo, se desconocen los rasgos morfológicos de mayor aporte en la variabilidad fenotípica, aspecto clave para la selección de árboles sobresalientes e identificación de su potencial de uso. En la plantación del Centro de Investigación Nataima de AGROSAVIA en El Espinal, departamento de Tolima-Colombia, se evaluó la variabilidad fenotípica en 86 árboles empleando 32 descriptores cuantitativos y cualitativos de la planta. Los métodos estadísticos incluyeron análisis de frecuencias de descriptores cualitativos, análisis de correspondencias múltiples y componentes principales para descriptores cualitativos y cuantitativos respectivamente, complementado con un análisis de conglomerados. Se identificaron 14 descriptores de árbol (fuste y copa) que aportaron más información sobre la variabilidad fenotípica de la especie. Los individuos se caracterizaron por presentar forma predominantemente elipsoide, hábito extendido, fuste cilíndrico, sin bifurcaciones y con algunas curvaturas en más de un plano, ramificación acodillada, dominancia parcial del eje inicial sobre las ramas laterales, ángulo de inserción de ramas entre 31 y 60°, copa de forma ovoide en el perfil vertical y circular irregular en el perfil horizontal, densidad de copa intermedia y corteza lisa con surcos verticales. En la plantación de *A. excelsum* se identificaron individuos con potencial de uso maderable y sistemas silvopastoriles de árboles dispersos en potreros, cercas vivas o barreras rompevientos.

Palabras clave: hojas, fenotipos, madera tropical, morfología vegetal, recursos genéticos forestales.

ABSTRACT: The native species *Anacardium excelsum* Skeels has economic and ecological importance for its nutritional use, timber use, and for its contribution in the protection of water resources. However, the morphological traits with the greatest contribution to phenotypic variability are unknown, a key aspect for the selection of plus trees and identification of their potential for use. In the plantation of Nataima Research Center of AGROSAVIA in El Espinal, department of Tolima-Colombia, was evaluated the phenotypic variability in 86 trees by using 32 quantitative and qualitative plant descriptors. Statistical methods included frequency analysis of qualitative descriptors, multiple correspondence analysis, and principal components for qualitative and quantitative descriptors respectively, complemented by a cluster analysis. 14 tree descriptors (tree bole and tree crown) were identified that provide more information about the phenotypic variability of the species. The individuals were characterized by having a predominantly ellipsoid shape, an extent habit, a cylindrical shaft without deformations and some curvatures in more than one plane, angle ramification, partial dominance of the initial axis over the lateral branches, angle of insertion of branches between 31 and 60°, ovoid tree crown in the vertical profile and irregular circular in the horizontal profile, intermediate tree crown density and smooth bark with vertical lines. In the *A. excelsum* plantation, individual with timber potential of use and silvopastoral systems of scattered trees in pastures, living fences or windbreaks were identified.

Key Words: Forest genetic resources, leaves, plant morphology, phenotypes, tropical wood.

*Autor para correspondencia. slcastaneda@agrosavia.co

Recibido: 13/05/2024

Aceptado: 06/09/2024

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses

Contribución de los autores: Planificación y conceptualización de la investigación, definición de la metodología, curación de datos y elaboración del manuscrito- Sandra Liliana Castañeda-Garzón. Planificación y ejecución de actividades de campo, procesamiento de muestras, curación de datos, investigación y elaboración del manuscrito- Diana Catalina Cervera Bonilla. Gestión de recursos financieros del proyecto y elaboración del manuscrito- Jhon Jairo Zuluaga Peláez. Análisis formal de datos y elaboración del manuscrito- Jorge Humberto Argüelles Cárdenas. Procesamiento de muestras foliares y elaboración del manuscrito- Jessica Moreno-Barragán.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

Anacardium excelsum Skeels (caracolí) es una especie forestal nativa de la familia Anacardiaceae, de gran importancia maderable y ecológica. En Colombia, *A. excelsum* es una especie casi amenazada según su estado de conservación y se distribuye en la Llanura del Caribe, Orinoquia, Pacífico, Sierra Nevada de Santa Marta, Valle del Cauca y Valle del Magdalena (1). Habita en el bosque seco tropical (bs-T), el bosque húmedo tropical (bh-T), el bosque húmedo premontano (bh-PM) y el bosque muy húmedo premontano (bmh-PM) (2). Es una especie heliófita durable, empleada en restauración ecológica (3) y se ha reportado su presencia en fragmentos de bs-T, en paisajes de ganadería extensiva en el departamento de Córdoba, Colombia (4).

A. excelsum tiene madera liviana y de fácil trabajo, utilizada en la construcción (interiores), fabricación de cajas o guacales (5), botes, remos, muebles ordinarios, formaletas, bateas y pilones (6), canoas, cajones y comederos para el ganado, aisladores y enchapes en triplex porque es fácil de cepillar (2). También, como alimento humano (semillas tostadas), fabricación de barnices y lacas, insecticidas (7), utensilios y combustible (8). Como planta melífera es útil para la apicultura y se planta para proteger las riberas de los ríos, lagos y lagunas; sirve como sombra para plantas de café y cacao (2).

En especies forestales, los rasgos fenotípicos han sido objeto de interés en programas de mejoramiento y caracterización de recursos genéticos. Es así como se han evaluado parámetros genéticos de calidad de la madera, el crecimiento y la ramificación en *Pinus patula* (9), características fenotípicas de crecimiento y producción frutal en *Geoffroea decorticans* para la selección de árboles plus (10), variabilidad morfológica de frutos y semillas en *Caesalpinia spinosa* (11) y repetibilidad de variables de crecimiento y caracteres morfológicos de fuste y copa en *Cedrela odorata* (12). Se destaca también, la evaluación de la morfometría de la copa en *Prosopis alba* (13), así como fuste y copa en especies comerciales (14), la estimación del área de la hoja individual en *Swietenia macrophylla* (15), la morfología foliar en especies del género *Iryanthera* (16), la variación espacial en morfometría foliar en manglares (17), la morfología de órganos vegetativos y reproductivos en *Cinchona officinalis* (18) y rasgos foliares en *Cleome arborea*, *Weinmannia mariquitae*, *Viburnum triphyllum* y *Leandra subseriata* (19). En plantaciones forestales se han evaluado rasgos morfológicos de planta y hoja en *Simarouba amara*, *Cassia moschata*, *Mimosa trianae*, *Cavanillesia platanifolia* y *Alnus acuminata* (20-23).

En *A. excelsum* se destacan los estudios en interceptación de lluvia (24), morfología de semillas (25), propagación vegetal (26), descomposición de hojarasca (27) y dendrocronología (28). La importancia ecológica, cultural y económica de la especie, amerita los objetivos de este trabajo: identificar la variabilidad fenotípica y el potencial de uso de los individuos sobresalientes de la plantación de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, como fuente de material vegetal a futuro.

Los resultados del estudio aportan al conocimiento sobre la especie, en condiciones de monocultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y material genético

La plantación de las especies forestales del Centro de Investigación Nataima de AGROSAVIA se ubica en el Valle cálido del alto Magdalena en el municipio de El Espinal, departamento del Tolima, Colombia. El área corresponde a la zona de influencia del distrito de riego del río Coello (USOCOELLO), y de acuerdo con Holdridge, la zona de vida corresponde al bosque seco tropical (bs-T). Se ubica en las coordenadas 4°11'45" N y 74°58'00" W, a 376 msnm; en terreno plano, zona de planicie y pendiente inferior al 3 %. Las condiciones climáticas se caracterizan por temperatura media de 28,2 °C, precipitación media de 1275 mm y humedad relativa media de 69,40 %. Está conformada por 86 árboles de *A. excelsum*, sembrados a una distancia de 4x3 m. El material vegetal propagado por semilla se adquirió en vivero comercial, sin distinción de procedencia y progenie.

Procedimiento

Para la caracterización morfológica se evaluaron árboles de 5,3 años de edad, empleando 32 descriptores: altura del árbol, altura de copa, longitud de la copa (sentido norte-sur), longitud de la copa (sentido este-oeste), diámetro a la altura del pecho, volumen del tronco, diámetro de la copa, forma del árbol, hábito de crecimiento del árbol, forma del fuste, rectitud del fuste, ramificación del árbol, altura de la ramificación, altura de la bifurcación, dominancia en el eje principal, ángulo de inserción de las ramas, forma de la copa (perfil vertical), forma de la copa (perfil horizontal), densidad de la copa, tipo de corteza, color del tronco, forma de la hoja, borde de la hoja, ápice de la hoja, base de la hoja, longitud del peciolo, grosor del peciolo, longitud de la hoja, anchura de la hoja, área foliar, color de las hojas maduras en el haz, color de las hojas maduras en el envés (29).

Los descriptores de árbol se evaluaron en la plantación completa y los descriptores foliares se evaluaron en 38 árboles, en los cuales se recolectaron 10 hojas maduras simples por árbol, con láminas foliares completas y sin problemas fitosanitarios. La variable área foliar, fundamental en estudios fisiológicos (30), se calculó por medio del software libre ImageJ diseñado para el procesamiento de imágenes científicas (31). El volumen del árbol en pie (Vol_tronco) y el diámetro aproximado de copa (D_copa) (32), se calcularon a partir de las fórmulas (1 y 2):

$$Vol_tronco = \pi/4 * DAP^2 * HC * f \quad (1)$$

Donde *DAP* = diámetro a 1,3 m sobre el nivel del suelo (cm), *HC* = altura comercial (m), *F* = factor de forma (0,75)

$$D_copa = (LCNS + LCEW)/2 \quad (2)$$

Donde *LCNS* = longitud de la copa sentido norte - sur (m), *LCEW* = longitud de la copa sentido oriente - occidente (m)

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de frecuencias para las variables cualitativas y, para reducir la dimensionalidad del conjunto de datos, se realizó el análisis de correspondencia múltiple (ACM) para las variables cualitativas, mediante el procedimiento CORRESP (SAS Enterprise Guide V. 8.3) y el análisis de componentes principales (ACP) para las variables cuantitativas, utilizando el procedimiento PRINCOMP. Posteriormente, y con base en las dimensiones seleccionadas en los dos procedimientos estadísticos anteriores, se realizó un análisis de conglomerados (AC), con el propósito de clasificar los individuos en grupos homogéneos, mediante el uso del procedimiento CLUSTER (algoritmo de Ward) (33). Para cada uno de los grupos conformados, se generaron estadísticas básicas, que permitieron caracterizarlos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la plantación de *A. excelsum* se observó ramificación acodillada, copa de forma ovoide (perfil vertical) y circular irregular (perfil horizontal), densidad de copa intermedia y follaje de tonalidad verde (Tabla 1). Los árboles presentaron en promedio 14,6 m de altura total, 24,75 cm de DAP, Vol_tronco de 0,55 m³ y D_copa de 7,29 m (Tabla 2).

Tabla 1. Categorías predominantes en descriptores cualitativos evaluados en la colección de *A. excelsum* (El Espinal, Tolima)

Descriptor	Categoría predominante
FARB	Elipsoide (100 %)
HABARB	Extendido (96,51 %)
FFU	Cilíndrico (100 %)
RFU	Algunas curvaturas en más de un plano (44,19 %)
RAM	Acodillada (96,51 %)
HRAM	En el tercio inferior (80,23 %)
HB	No bifurcado (94,19 %)
DEP	Parcial del eje inicial sobre las ramas laterales (95,35 %)
AIR	≥ 31° y 60° (88,37 %)
FCV	Ovoide (86,05 %)
FCH	Circular irregular (65,12 %)
DNC	Intermedia (76,74 %)
TCORT	Lisa, surcada vertical (97,67 %)
CT	2.5Y6/2; 2.5Y5/2 (32,56 %)
FH	Oblanceolada (100 %)
BORH	Entero (100 %)
APH	Redondeado (38,79 %)
BH	Acuminada (100 %)
CHMHAZ	7.5GY (77,57 %)
CHMENV	5GY (75,73 %)

Donde: FARB (forma del árbol), HABARB (hábito de crecimiento del árbol), FFU (forma del fuste), RFU (rectitud del fuste), RAM (ramificación del árbol), HRAM (altura de ramificación), HB (altura de bifurcación), DEP (Dominancia en el eje principal), AIR (ángulo de inserción de las ramas), FCV (forma de la copa en el perfil vertical), FCH (forma de la copa en el perfil horizontal), DNC (densidad de la copa), TCORT (tipo de corteza), CT (color de tronco), FH (forma de la hoja), BORH (borde de la hoja), APH (ápice de la hoja), BH (base de la hoja), CHMHAZ (color de las hojas maduras en el haz) y CHMENV (color de las hojas maduras en el envés)

Tabla 2. Valores medios e intervalos de confianza para las variables cuantitativas evaluadas en *A. excelsum* (El Espinal, Tolima)

Descriptor	Media	LIC	LSC
HT (m)	14,60	14,31	14,88
HC (m)	11,46	11,17	11,74
LCNS (m)	7,44	7,15	7,73
LCEW (m)	7,15	6,90	7,40
DAP (cm)	24,75	23,88	25,62
Vol_Tronco (m ³)	0,55	0,51	0,59
D_Copa (m)	7,29	7,05	7,54
LPEC (mm)	17,92	17,05	18,80
GPEC (mm)	4,43	4,27	4,59
LH (cm)	22,49	21,66	23,34
ANH (cm)	8,21	7,94	8,47
AFOLIAR (cm ²)	153,91	133,63	174,19

Donde: HT (altura del árbol), HC (altura de copa), LCNS (longitud de la copa en sentido Norte-Sur), LCEW (longitud de la copa en sentido Este-Oeste), DAP (diámetro a la altura del pecho), Vol_Tronco (volumen de tronco), D_Copa (diámetro de copa), LPEC (longitud del peciolo), GPEC (grosor del peciolo), LH (longitud de la hoja), ANH (anchura de la hoja), AFOLIAR (área foliar), LIC (límite inferior del intervalo de confianza) y LSC (límite superior del intervalo de confianza)

Las variables cualitativas evaluadas en *A. excelsum* presentaron similitudes a las mencionadas por otros autores, complementando así la descripción de la especie: árboles de copa redonda, follaje denso y de color verde oscuro, ramas gruesas y abundantes (2), fuste recto y cilíndrico, con fisuras a veces verticales profundas (34). La plantación de 5,3 años de *A. excelsum* presentó árboles con una altura total promedio de 14,60 m, altura de copa de 11,46 m y DAP de 24,75 cm; hojas con peciolo de 17,92 mm de longitud (LPEC) y folíolos de 22,49 cm de longitud (LH) y 8,21 cm de ancho (ANH) (Tabla 2). Estos valores son similares a los reportados para la especie: hojas de “25 cm de largo por 7 cm de ancho” (2).

Por otra parte, en ausencia de reportes de área foliar para *A. excelsum*, la medición de 380 hojas maduras en la plantación arrojó un valor promedio de 153,91 ± 25,58 cm² (Tabla 2), empleando el procesamiento digital de imágenes. Este procedimiento se ha realizado en especies como *Anacardium occidentale* con el programa ImageJ, cuyos resultados le catalogan como hojas extra-grandes a aquellas con un valor promedio de 117,14 cm² (34). No obstante, para establecer categorías de tamaño en hojas de *A. excelsum* en la plantación, se requeriría evaluar el total de individuos presentes e incluir también hojas jóvenes, obteniendo así datos más completos que aporten a la descripción de la especie y la discriminación de grupos.

Producto del ACM de los descriptores cualitativos de árbol se seleccionaron para *A. excelsum* las primeras cinco dimensiones, que acumularon el 96,27 % de la variabilidad contenida (Tabla 3). El ACP, basado en la matriz de correlaciones, permitió seleccionar para *A. excelsum* los primeros cinco componentes principales (CP), que acumularon el 99,78 % de la variabilidad contenida en las variables cuantitativas originales. A partir de este análisis, se identificó que en *A. excelsum* las variables de mayor aporte en la discriminación de los árboles fueron DAP, Vol_tronco, D_copa, HT y HC.

A partir de las dimensiones o los componentes seleccionados en el ACM y en el ACP, se generó un conjunto de datos integrando estos dos tipos de variables sintéticas, para realizar el AC que permitió clasificar los individuos de *A. excelsum* en cinco grupos (Figura 1 y Tabla 3). En este último análisis, se incorporaron las 14 variables (descriptores de árbol) que aportaron información sobre la variabilidad fenotípica de *A. excelsum*: RFU (rectitud del fuste), HRAM (altura de ramificación), AIR (ángulo de inserción de las ramas), FCV (forma de la copa en el perfil vertical), FCH (forma de la copa en el perfil horizontal), DNC (densidad de la copa), CT (color del tronco), HT (altura del árbol), HC (altura de copa), LCNS (longitud de la copa en sentido NS), LCEW (longitud de la copa en sentido EW), DAP (diámetro a la altura del pecho), Vol_tronco (volumen del tronco) y D_copa (diámetro de copa).

En la plantación de *A. excelsum*, los árboles que conformaron los grupos 1 y 2 tienen potencial de uso en SSP, considerando sus características predominantes. El grupo 1 (11,63 %) lo conformaron individuos con valores medios e intermedios de HT, HC, DAP, Vol_tronco y D_copa (Tabla 3); fustes con algunas curvaturas en más de un plano, ramificación en el tercio inferior y sin bifurcaciones. Su porte intermedio favorece el uso en SSP como árboles dispersos en potreros, a una distancia mínima de siembra recomendada de 8 m (7).

El grupo 2 (32,56 %) reunió individuos de porte intermedio con respecto a las variables HT, HC, DAP y Vol_tronco, destacándose por menor D_copa (Tabla 3), fustes ligeramente torcidos o con algunas curvaturas en más de un plano, ramificación en el tercio inferior y sin bifurcaciones. Podrían emplearse en SSP como cercas

Tabla 3. Valores medios e intervalos de confianza por conglomerado, para las variables cuantitativas evaluadas en *A. excelsum* (El Espinal, Tolima)

Variable	Grupo 1 (n=10)			Grupo 2 (n=28)			Grupo 3 (n=17)			Grupo 4 (n=17)			Grupo 5 (n=14)		
	LIC	LSC	Media	LIC	LSC	Media	LIC	LSC	Media	LIC	LSC	Media	LIC	LSC	Media
HT (m)	13,71	14,61	14,16	14,79	15,13	14,96	13,98	15,07	14,52	15,75	16,37	16,06	11,86	13,11	12,48
HC (m)	10,67	12,25	11,46	11,11	12,04	11,57	11,33	12,34	11,84	11,95	12,89	12,42	9,16	10,04	9,6
LCNS (m)	7,61	8,47	8,04	6,49	7,01	6,75	8,83	9,87	9,35	6,64	7,45	7,05	5,86	7,22	6,54
LCEW (m)	7,32	7,92	8,62	6,24	6,65	6,44	8,38	9,1	8,74	6,3	7,3	6,8	6,06	7,37	6,71
DAP (cm)	23,64	25,51	24,58	23,07	24,74	23,9	27,52	29,64	28,58	26,74	28,77	27,75	16,53	20,04	18,29
VOL_TRONCO (m³)	0,46	0,55	0,51	0,47	0,55	0,51	0,64	0,77	0,71	0,68	0,78	0,73	0,21	0,3	0,25
D_COPA (m)	7,65	8,01	7,65	6,43	6,76	6,59	8,74	9,36	9,05	6,55	7,3	6,92	6	7,25	6,63

Donde: HT (altura del árbol), HC (altura de copa), LCNS (longitud de la copa en sentido Norte-Sur), LCEW (longitud de la copa en sentido Este-Oeste), DAP (diámetro a la altura del pecho), Vol_Tronco (volumen de tronco), D_Copa (diámetro de copa), LIC (límite inferior del intervalo de confianza) y LSC (límite superior del intervalo de confianza)

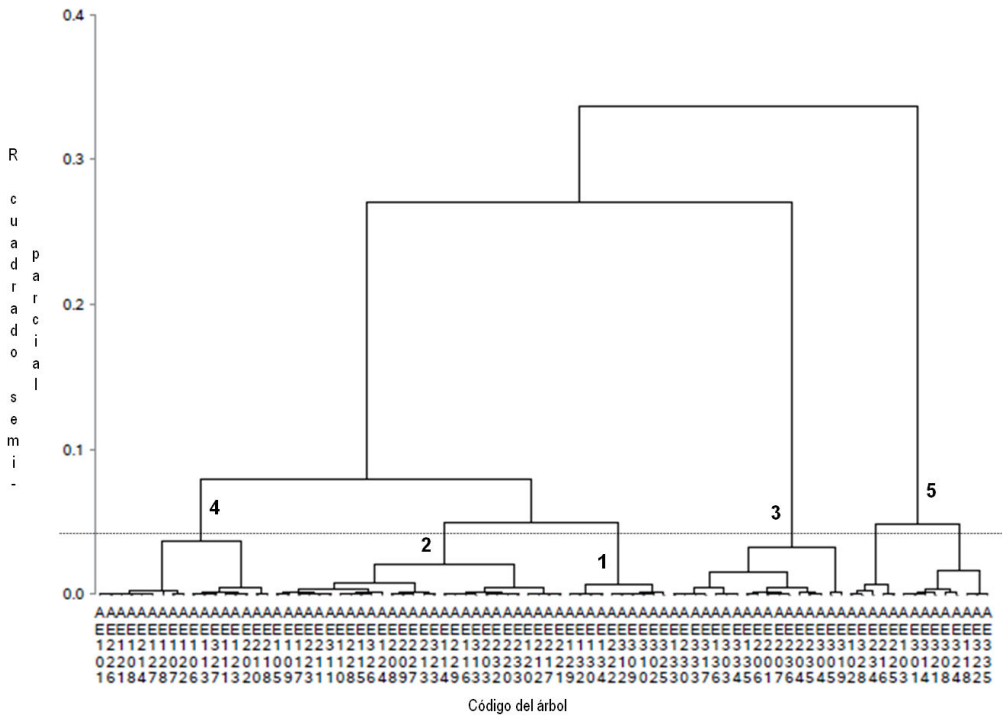


Figura 1. Dendrograma de la colección de 86 individuos de *A. excelsum*, a partir de 14 variables cuantitativas y cualitativas de árbol. Agrupamiento por el método Ward, distancia euclidiana

vivas (7) o barreras rompevientos (35), a una distancia mínima de siembra recomendada de 5 m (7). En el grupo 3 (19,77 %) se encontraron árboles de mayor DAP y D_copa, con fustes que presentaron algunas curvaturas en más de un plano, ramificación exclusiva en el tercio inferior y sin bifurcaciones en la mayoría de sus individuos. El potencial de uso es maderable y SSP como árboles dispersos en potreros favoreciendo el sombreado, a una distancia mínima de siembra de 8 m (7).

Al grupo 4 (19,77 %) lo conformaron individuos con los valores medios más altos para HT, HC y Vol_tronco (Tabla 3), fustes de rectitud variable (incluye rectos), ramificación en el tercio inferior y sin bifurcaciones en la mayoría de sus individuos. Su potencial de uso es principalmente maderable, atribuido al mayor porte en función de las variables HT, HC, DAP y Vol_tronco. Incluso, la producción de leña podría contemplarse una vez se aprovechen las trozas teniendo en cuenta que este uso (combustible) está reportado para la especie (7,8). "Para la producción de madera de alta calidad y volumen por árbol individual, se privilegian árboles con características cualitativas de fuste más exigentes" (36), por lo tanto, es importante evaluar caracteres cualitativos como rectitud del fuste y forma de la copa, al seleccionar árboles para la producción de biomasa.

En el grupo 5 (16,28 %) predominaron individuos de menor porte (HT, HC, DAP y Vol_tronco) (Tabla 3), fustes ligeramente torcidos, ramificación en el tercio inferior y sin bifurcaciones. Por las características de la especie y los servicios ambientales que puede prestar, su potencial de uso podría orientarse a la protección de fuentes de agua y conservación de los suelos (7), ornamental, recuperación de suelos y/o áreas degradadas (36).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la plantación de *A. excelsum* del Centro de Investigación Nataima de AGROSAVIA, se identificaron 14 descriptores cuantitativos y cualitativos de árbol (fuste y copa) que aportaron más información sobre la variabilidad fenotípica de la especie. Estos descriptores fueron útiles para identificar en los diferentes conglomerados obtenidos, árboles con potencial de uso maderable y árboles para sistemas silvopastoriles bajo arreglos en cercas vivas y árboles dispersos en lote.

Para identificar los individuos sobresalientes en los programas de mejora genética de *A. excelsum*, es importante determinar los parentales, establecer ensayos genéticos (progenie y procedencia), evaluar la heredabilidad de caracteres de mayor relevancia en producción de biomasa, sistemas silvopastoriles, madera de alta calidad, e incluso la interacción genotipo por ambiente. Al respecto, los descriptores altura de la copa, rectitud de fuste, volumen del tronco y tamaño de la copa empleados en el estudio, hacen parte de los caracteres evaluados para la selección e incorporación de árboles "plus" en programas de mejoramiento genético forestal.

Para implementar estrategias de conservación *ex situ* de la especie *A. excelsum* cuyo estado de conservación

es casi amenazada, es fundamental identificar y evaluar poblaciones, monitorear las fuentes de material vegetal y definir la estrategia de conservación, incluyendo la evaluación de la arquitectura de la copa, el potencial reproductivo y los rasgos funcionales foliares y de la madera. Una primera aproximación del estudio fue el uso de los descriptores altura del árbol y área foliar, que son algunos de los rasgos funcionales relacionados con la respuesta a la variabilidad ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Esta publicación se deriva de los resultados e información obtenidos en el desarrollo del proyecto "Evaluación de especies arbustivas y arbóreas para uso múltiple en diferentes agroecosistemas de Colombia", ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA y financiado con recursos públicos a través del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. A la Unidad de operaciones de campo del Centro de Investigación Nataima, por su apoyo en la recolección de material vegetal y procesamiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Bernal R, Gradstein SR, Celis M, editors. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia: Vol. I Capítulos introductorios-Líquenes a Lythraceae. Universidad Nacional de Colombia; 2016.
2. Mahecha Vega GE, Ovalle Escobar A, Camelo Salamanca D, Roza Fernández A, Barrero Barrero D. Vegetación del territorio CAR: 450 especies de sus llanuras y montañas. Bogotá: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR; 2012.
3. Torres-Rodríguez S, Díaz-Triana JE, Villota A, Gómez W, Avella-M. A. Material suplementario Artículo 71275. Diagnóstico ecológico, formulación e implementación de estrategias para la restauración de un bosque seco tropical interandino (Huila, Colombia). Caldasia. 2019;41(1):42-59. DOI: <https://doi.org/10.15446/caldas.v41n1.78099>
4. Ballesteros-Correa J, Morelo-García L, Pérez-Torres J. Composición y estructura vegetal de fragmentos de bosque seco tropical en paisajes de ganadería extensiva bajo manejo silvopastoril y convencional en Córdoba, Colombia. Caldasia. 2019;41(1):224-34. DOI: <https://doi.org/10.15446/caldas.v41n1.71320>
5. Morales G. Plan de manejo y conservación del Caracolí (*Anacardium excelsum*) en la jurisdicción CAR. [Internet]. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR; 2016.
6. Guzmán Zabala JF. Manual para la identificación de maderas de especies forestales comerciales de los municipios de Bogotá y Soacha, según características macroscópicas de la madera con lente 10X [Internet]. Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA; 2018 [cited. Available from: <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/4802>

7. López Camacho R, Bernal D, Palencia L, Barrero A, Consuegra C, Castillo B. 100 plantas del Caribe Usar para conservar aprendiendo de los habitantes del bosque seco [Internet]. Bogotá: Fondo Patrimonio Natural; 2016 [cited. Available from: https://www.researchgate.net/publication/326882449_100_plantas_del_Caribe_Usar_para_conservar_aprendiendo_de_los_habitantes_del_bosque_seco
8. Torres-Morales G, Flórez-Pulido M, Vargas N, Peña-Cañón R, Fernández-Lucero M. Especies de plantas y hongos útiles y de interés para las comunidades de tres lugares biodiversos de Colombia [Internet]. Reino Unido: Royal Botanic Gardens, Kew / Recursos Biológicos Alexander von Humboldt; 2022 [cited. Available from: <https://kew.iro.bl.uk/concern/books/b1707b17-c2ed-4cca-83b5-4fdc13dc69c5/edit?locale=en>
9. Escobar-Sandoval M, Vargas-Hernández J, López-Upton J, Espinosa-Zaragoza S, Borja-de la Rosa A. Parámetros genéticos de calidad de madera, crecimiento y ramificación en *Pinus patula* | Madera y Bosques. Madera Bosques. 2018;24(2):1-11. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421595>
10. Gutiérrez Caro B, Gacitúa Arias SE, Villalobos Volpi EL. Selección de árboles plus de Chañar *Geoffroea decorticans* (Gillies ex Hook. & Arn) Burkart en base a características fenotípicas de crecimiento y producción frutal. Cienc Investig For. 2018;24(1):21-32. DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2018.489>
11. Villena Velásquez JJ, Seminario Cunha JF, Valderrama Cabrera MA. Variabilidad morfológica de la "tara" *Caesalpinia spinosa* (Molina.) Kuntze (Fabaceae), en poblaciones naturales de Cajamarca: descriptores de fruto y semilla. Arnaldoa. 2019;26(2):555-74. DOI: <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26203>
12. Olvera Moreno S, López Upton J, Sánchez Monsalvo V, Jiménez Casas M. Repetibilidad de características útiles como descriptores morfológicos en clones de *Cedrela odorata* L. | Revista Mexicana de Ciencias Forestales. Rev Mex Cienc For. 2022;13(69):4-30. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i69.938>
13. Cisneros AB, Moglia JG, Álvarez JA. Morfometría de copa en *Prosopis alba* Griseb. Ciênc Florest. 2019;29(2):863-84. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509826846>
14. Valdés Y, Rodríguez J, Fernández R. Estructura morfométrica de las especies comerciales en el bosque de la estación experimental agroforestal Guisa. Rev Granmense Desarro Local. 2020;16:357-68.
15. Vale-Montilla C. Comparación de tres métodos de estimación del área de la hoja de caoba, *Swietenia macrophylla* King en vivero. Rev Acad. 2019;18(41):59-68.
16. Zárate-Gómez R, Reynel Rodríguez CA, Palacios Vega JJ, Ríos Paredes M, Pérez Romero MA, Cerón Villanueva JL. Guía para la identificación de las especies de cumala colorada (*Iryanthera* Warb., Myristicaceae) de la Amazonía peruana. Cienc Amaz Iquitos. 2019;7(1):1-19. DOI: <http://dx.doi.org/10.22386/ca.v7i1.261>
17. Ávila DD, Ramírez-Arrieta VM, Pérez-Lanyau RD. Variación espacial de la morfometría foliar en manglares de La Habana, Cuba. Rev Biol Trop. 2020;68(2):466-78. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i2.39133>
18. Guamán VHE, Serrano JAM, Torres GDC, Arévalo MY. Caracterización morfológica de los órganos vegetativos y reproductivos de *Cinchona officinalis* L. (Rubiaceae) en la provincia de Loja (Ecuador). CEDAMAZ Rev Cent Estud Desarro Amazon. 2021;11(1):13-21.
19. Bacca P, Burbano D, Córdoba S, López D. Rasgos morfológicos de especies nativas potenciales para procesos agroecológicos Alto Andinos, Nariño, Colombia. Rev Investig Altoandinas. 2022;24(2):101-10. DOI: <https://doi.org/10.18271/ria.2022.387>
20. Castañeda-Garzón SL, Argüelles JH, Zuluaga JJ, Moreno J. Evaluación de la variabilidad fenotípica en *Simarouba amara* Aubl., mediante descriptores cualitativos y cuantitativos. Orinoquia. 2021;25(1):67-77. DOI: <https://doi.org/10.22579/20112629.656>
21. Castañeda-Garzón SL, Moreno J, Argüelles JH, Camargo H, Zuluaga JJ. Caracterización morfológica y dasométrica de *Mimosa trianae* y *Cassia moschata* de la colección de AGROSAVIA. Temas Agrar. 2021;26(1):46-57. DOI: <https://doi.org/10.21897/rta.v26i1.2553>
22. Castañeda-Garzón SL, Arenas-Rubio I, Argüelles-Cárdenas JH, Montero-Cantillo YD, Gutiérrez-Berdugo IA, Zuluaga-Peláez JJ. Caracterización de una plantación juvenil de *Cavanillesia platanifolia* en la Zona Bananera Colombiana. Madera Bosques. 2023;29(2):e2922495-e2922495. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2023.2922495>
23. Obando-Enriquez BG, Castro-Rincón E, Castañeda-Garzón SL. Caracterización de *Alnus acuminata* (Kunth) en un arreglo silvopastoril, en la región altoandina colombiana. Rev Investig Altoandinas - J High Andean Res. 2023;25(3):129-39. DOI: <https://doi.org/10.18271/ria.2023.505>
24. Fernández-Aldana CA, Noriega-Ortega JE, Durán-Bautista EH, Suárez-Salazar JC. Interceptación de lluvia en diferentes especies en arreglos agroforestales en la Amazonia Colombiana. Momentos Cienc. 2014;11(1):28-34.
25. Espitia-Camacho M, Cardona-Ayala C, Araméndiz-Tatis H. Morfología y viabilidad de semillas de *Bombacopsis quinata* y *Anacardium excelsum*. Cultiv Trop. Ediciones INCA; 2017;38(4):75-83.
26. Salcedo L, Pérez Y, Millán E. Reproducción asexual, sexual y vigor en semillas de caracolí *Anacardium excelsum* (Bertero ex Kunth) Skeels en el departamento de Sucre. Rev Colomb Cienc Anim - RECIA. 2017;9(Supl 2):336-44. DOI: <https://doi.org/10.24188/recia.v9.n2.2017.605>
27. Fuentes N, Rodríguez J, Isenia S. Caída y descomposición de hojarasca en los bosques ribereños del manantial de Cañaverale, Guajira, Colombia. Acta Biológica Colomb. 2018;23(1):115-23. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v23n1.62342>
28. Briceño-J AM, Rangel-Ch JO. Series de clima en anillos de *Aspidosperma polyneuron* Müll.Arg. y *Anacardium excelsum* (Bertero ex Kunth) Skeels | Colombia

- forestal. Colomb For. 2021;24(2):52-64. DOI: <https://doi.org/10.14483/2256201X.16285>
29. Castañeda-Garzón SL, Moreno Barragán J, Argüelles-Cárdenas JH, Camargo-Tamayo H, Zuluaga-Peláez JJ. Caracterización morfológica y dasométrica de *Mimosa trianae* y *Cassia moschata* de la colección de AGROSAVIA. Temas Agrar. 2021;26(1):46-57. DOI: <https://doi.org/10.21897/rta.v26i1.2553>
30. Vale-Montilla C. Comparación de tres métodos de estimación del área de la hoja de caoba, *Swietenia macrophylla* King en vivero. Rev Acad. 2019;18(41):59-68.
31. Gonzalez A. Image J: una herramienta indispensable para medir el mundo biológico. Soc Argent Botánica Folium. 2018;1(9):1-17.
32. Castañeda-Garzón SL, Argüelles JH, Zuluaga JJ, Moreno J. Evaluación de la variabilidad fenotípica en *Simarouba amara* Aubl., mediante descriptores cualitativos y cuantitativos. Orinoquia. 2021;25(1):67-77. DOI: <https://doi.org/10.22579/20112629.656>
33. Castañeda-Garzón SL, Argüelles-Cárdenas JH, Zuluaga-Peláez JJ, Moreno Barragán J. Evaluación de la variabilidad fenotípica en *Simarouba amara* Aubl., mediante descriptores cualitativos y cuantitativos. Orinoquia. 2021;25(1):67-77. DOI: <https://doi.org/10.22579/20112629.656>
34. Jiménez JU, Espino C. KA. Guía de árboles y plantas arborescentes de la Universidad Tecnológica de Panamá, Extensión Tocumen [Internet]. Panamá: Universidad Tecnológica de Panamá; 2020 [cited 2022 Jul 22]. Available from: <https://rida2.utp.ac.pa/handle/123456789/11456>
35. Raiol Matos TJ, Quaresma Ramos G, Matos RS, Duarte da Fonseca Filho E. Medição da área foliar de *Anacardium occidentale* L. baseada em processamento digital de imagens. Sci Amazon. 2019;8(1):1-15.
36. Universidad EIA. Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá [Internet]. 2014. Caracolí (*Anacardium excelsum*) [cited 2022 Jul 22]. Available from: <https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/species/1>
37. Vallejos J, Badilla Y, Picado F, Murillo O. Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. Agron Costarric. 2010;34(1):105-19. DOI: [10.15517/rac.v34i1.6704](https://doi.org/10.15517/rac.v34i1.6704)