



ORINOQUIA

ISSN: 0121-3709

Instituto de Investigaciones de la Orinoquia Colombiana

Castañeda-Garzón, Sandra Liliana; Argüelles-Cárdenas, Jorge H.; Zuluaga-Peláez, Jhon J.; Moreno-Barragán, Jessica
Evaluación de la variabilidad fenotípica en *Simarouba amara*
Aubl., mediante descriptores cualitativos y cuantitativos
ORINOQUIA, núm. 1, 2021, Enero-Junio, pp. 67-77
Instituto de Investigaciones de la Orinoquia Colombiana

DOI: <https://doi.org/10.22579/20112629.656>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89669917006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](https://www.redalyc.org)



Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Evaluación de la variabilidad fenotípica en *Simarouba amara* Aubl., mediante descriptores cualitativos y cuantitativos

Assessment of phenotypic variability in *Simarouba amara* Aubl., through qualitative and quantitative descriptors

Avaliação da variabilidade fenotípica em *Simarouba amara* Aubl., usando descritores qualitativos e quantitativos

Recibido: 26 de noviembre de 2020

Aceptado: 09 de junio de 2021

Sandra Liliana Castañeda-Garzón¹,

Ing. Forest, MSc;

<https://orcid.org/0000-0003-1329-6317>

Jorge H. Argüelles-Cárdenas²,

Ing. Agron, MSc;

<https://orcid.org/0000-0003-2886-1542>

Jhon J. Zuluaga-Peláez³,

Ing. Forest, PhD;

<https://orcid.org/0000-0001-8302-5227>

Jessica Moreno-Barragán⁴,

Ing. Forest;

<https://orcid.org/0000-0001-6784-7626>

¹ Investigador PhD Corporación Colombiana De Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA,

Email: slcastaneda@agrosavia.co;

² Investigador Máster Senior Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA,

Email: jarguelles@agrosavia.co;

³ Investigador Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA,

Email: jzuluaga@agrosavia.co;

⁴ Profesional de apoyo a la investigación Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA,

Email: jmorenob@agrosavia.co



Este artículo se encuentra
bajo licencia: Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-
SinObraDerivada 4.0 Internacional

Orinoquia, Enero-Junio 2021;25(1): 67-77

ISSN electrónico

ISSN impreso

<https://doi.org/10.22579/20112629.656>

Resumen

Dentro de las estrategias de evaluación de especies forestales nativas por parte de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, se encuentra la caracterización fenotípica. Con el propósito de validar el uso de descriptores morfológicos y determinar la variabilidad fenotípica de la colección de trabajo del Centro de Investigación La Libertad ubicado en el piedemonte llanero (Villavicencio, Meta); se evaluaron 121 individuos de machaco (*Simarouba amara* Aubl.) de 6.2 años de edad, por medio de 34 descriptores de planta, hoja y fruto. Los datos cualitativos y cuantitativos se analizaron mediante análisis de correspondencias múltiples y análisis de componentes principales respectivamente, con el fin de reducir la dimensionalidad de los datos, seguido de análisis de conglomerados, utilizando el algoritmo de WARD para el agrupamiento de los individuos. Los resultados obtenidos permitieron identificar que el volumen de tronco presentó la mayor variabilidad (31.13%) y las variables cuantitativas asociadas al tamaño y diámetro de la copa, diámetro de fuste, volumen del tronco, longitud y ancho de la hoja, altura total y de copa presentaron las mayores correlaciones con los tres primeros componentes principales (57.82%). Se obtuvieron nueve conglomerados que reúnen el 95.73% de la variabilidad original y en los cuales se encontraron individuos potencialmente útiles con fines maderables, arboricultura y sistemas agroforestales. La forma del fuste, la altura de ramificación y de bifurcación, el tipo de corteza y el hábito de fructificación presentaron mínima variación en los individuos, contrario a la rectitud del fuste y la forma de la copa.

Palabras clave: Análisis de componentes principales, análisis de conglomerados, análisis de correspondencias múltiples, caracterización morfológica, machaco, recursos genéticos.

Abstract

Phenotyping is one of the strategies used by Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) for evaluating native forest species. One hundred and twenty-one 6.2 year-old mountain damson/stavewood/bitterwood/paradise trees (*Simarouba amara* Aubl. commonly known as machaco in Colombia) were evaluated using 34 plant, leaf and fruit descriptors to validate the use of morphological descriptors and determine the phenotype variability of AGROSAVIA's La Libertad Research Centre's working collection. The centre is located in the foothills of Colombia's eastern plains (Villavicencio, Meta). Multiple correspondence analysis (MCA) was used for analysing qualitative data and principal component analysis (PCA) for +data to reduce dataset dimensionality; this was followed by cluster analysis, using Ward's method (minimum variance method or Ward's minimum - agglomerative algorithm) for hierarchical

cluster analysis for grouping the trees. The results led to identifying that the wood volume descriptor had the greatest variability (31.13%) and the quantitative variables associated with crown size and diameter, stem diameter, trunk volume, leaf length and width, total and crown height had the greatest correlation with the first three components (57.82%). Nine clusters were obtained (accounting for 95.73% of original variability) and in which trees were found for timber, arboriculture and agroforestry system purposes. The trees' stem shape, branch height and bifurcation, the type of bark and fruiting habits had minimum variation, contrary to the that found regarding stem straightness and crown shape.

Keywords: cluster analysis, genetic resources, mountain damson/stavewood/bitterwood/paradise tree (machaco), morphological characterisation, multiple correspondence analysis, principal component analysis.

Resumo

Dentro das estratégias de avaliação de espécies florestais nativas pela Colombian Agricultural Research Corporation - AGROSAVIA, está a caracterização fenotípica. A fim de validar o uso de descritores morfológicos e determinar a variabilidade fenotípica da coleção de trabalhos do Centro de Pesquisa La Libertad localizado no sopé da planície, (Villavicencio, Meta); 121 indivíduos de machaco (*Simarouba amara* Aubl.) de 6,2 anos de idade foram avaliados por meio de 34 descritores de planta, folha e fruto. Os dados qualitativos e quantitativos foram analisados por meio da análise de correspondência múltipla e da análise de componentes principais, respectivamente, a fim de reduzir a dimensionalidade dos dados, seguida da análise de cluster, por meio do algoritmo WARD, para agrupamento dos indivíduos. Os resultados obtidos permitiram identificar que o volume do tronco apresentou a maior variabilidade (31,13%) e as variáveis quantitativas associadas ao tamanho e diâmetro da copa, diâmetro do caule, volume do tronco, comprimento e largura da folha, total a altura e a copa apresentaram as maiores correlações com os três primeiros componentes principais (57,82%). Foram obtidos nove aglomerados que atendem a 95,73% da variabilidade original e nos quais foram encontrados indivíduos potencialmente úteis para fins madeireiros, arboricultura e sistemas agroflorestais. O formato do caule, a altura da ramificação e bifurcação, o tipo de casca e o hábito de frutificação apresentaram variação mínima nos indivíduos, ao contrário da retidão do caule e do formato da copa.

Palabras chave: Análise de agrupamento, análise de componentes principais, análise de correspondência múltipla, caracterização morfológica, machaco, recursos genéticos.

Introducción

El machaco o marupá (*Simarouba amara* Aubl., familia Simaroubaceae) es una especie nativa, de hábito arbóreo. En Colombia se distribuye en las regiones biogeográficas Amazonia, Andes, Guayana y Serranía de La Macarena, Islas Caribeñas, Orinoquía, Pacífico y Valle del Magdalena, a una elevación entre 0-1850 msnm. Se distribuye desde Belice a Brasil y en las Antillas (Bernal *et al.*, 2019). Es una especie dioica (Rodríguez, 2000), de clima cálido de la cuenca del Orinoco, que crece en bosque de galerías (Acero, 2005). En la Amazonía colombiana crece en bosque húmedo de tierra firme, en áreas de afloramientos rocosos y sabanas. En las sabanas de La Fuga (Guaviare) crece en bosques de galería. En la serranía de La Macarena, se ha registrado en áreas de afloramiento rocoso y pequeñas “sabanetas” de Poaceas y Eriocaulaceas. En el medio Caquetá y en Tarapacá se desarrolla sobre Llanura aluvial y planos de inundación, frecuente en bosques maduros (López y Cárdenas, 2002).

Su uso es medicinal, ornamental y de interés folclórico, se emplea como insecticida, madera artesanal, madera para construcción y para la fabricación de instrumentos musicales (Acero, 2005), así como para carpintería, molduras y muebles, entre otros. Es fácil

de labrar con herramientas manuales y en todas las operaciones de maquinado, de excelente calidad al cepillado y moldurado, su densidad básica es de 0.36 g/cm³ (WWF-Colombia, 2013). Es de interés económico para extracción de madera, actividad que genera devastación de las áreas de bosque natural en la Amazonía Colombiana. En el departamento de Caquetá, su madera se extrae en los municipios de Curillo, San Vicente y Florencia (SINCHI, 2007); y en el departamento del Putumayo es empleada en labores de ebanistería (López y Cárdenas, 2002).

El proyecto de investigación “Evaluación de especies arbustivas y arbóreas para uso múltiple en diferentes agroecosistemas de Colombia” (código 1000507), en ejecución por parte de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria -AGROSAVIA, incluye la caracterización de las especies forestales presentes en las colecciones de campo por medio de descriptores de planta, con el objetivo de evaluar de la variabilidad genética presente en las colecciones de trabajo de los centros de investigación.

Un descriptor es una característica o atributo cuya expresión es fácil de medir, registrar o evaluar y que hace referencia a la forma, estructura o comportamiento de una accesión (Franco e Hidalgo, 2003). La carac-

terización fenotípica es una de las etapas clave para la posterior selección de árboles plus y su incorporación en programas de mejoramiento genético forestal. Entre las especies forestales evaluadas por medio de descriptores (crecimiento, calidad de madera o dendrológicos) se encuentran *Populus* sp. (Cortizo et al., 2015), *Alnus acuminata*, *Cedrela* sp. y *Nectandra* sp. (Oliva y Remachi, 2017), *Pinus patula* (Escobar-Sandoval et al., 2018), *Gmelina arborea* (Balcorta y Hernández, 2004), *Juglans pyriformis* (Acosta-Hernández et al., 2011; Ortiz et al., 2017), *Pinus oocarpa* (Gutiérrez et al., 2018) y *Cordia alliodora* (Aguirre-de los Ríos y Zevallos-Pollito, 2014); algunos descriptores de hojas se han evaluado en *Byrsonima crassifolia* (Martínez et al., 2010) y *Annona cherimola* (Andrés-Agustín et al., 2004). El presente reporte, es la primera aproximación de caracterización fenotípica de *S. amara* en la región de la Orinoquía, Colombia.

Materiales y métodos

Localización: la colección de trabajo se encuentra en Piedemonte llanero, en el Centro de Investigación de AGROSAVIA, La Libertad (Villavicencio, Meta, Colombia), con coordenadas 4°03'50" latitud norte y 7°32'53" longitud oeste, a 342 m de altitud. En terreno llano, en zona de planicie y en un entorno de llanura anivelada. La pendiente del terreno es plana (0-0.2%), la vegetación general en los alrededores es cultivo y bosque, y cuenta con buen drenaje. La plantación se encuentra en suelos de textura franco-arcillosa, pH fuerte a extremadamente ácido (4.57), contenido

de materia orgánica bajo (1.84 g/100g), carbono orgánico de 1.20 g/100g (0-15 cm). Las condiciones climáticas se caracterizan por un régimen monomodal con precipitaciones medias de 2896 mm, valores medios multianuales de temperatura de 26°C, humedad relativa media de 78.83% y velocidad media del viento de 42.43 km día⁻¹ (periodo 2010-2019).

Material genético y manejo del lote: la colección la conforman 121 árboles de *S. amara* sembrados en el año 2013, en sistema de monocultivo a una distancia de 4x4 m. El material vegetal propagado por semilla se adquirió en vivero comercial, sin distinción de procedencia o progenie. Las labores de manejo agronómico fueron fertilización periódica utilizando fuentes simples y compuestas, plateo y control de malezas (manual y mecanizada); en el lote no se realizaron labores de control o manejo fitosanitario.

Procedimientos: a partir de los descriptores de pasaporte para cultivos múltiples publicados por FAO y Bioversity (Alercia et al., 2015), se conformó un listado de 34 descriptores: 21 de planta, 12 de hoja y uno de fruto (Tabla 1). Las variables cuantitativas se midieron con pértega telescópica (Hastings M-40), cinta diamétrica (Lufkin), pie de rey digital (Mitutoyo), flexómetro (Stanley) y para el color se utilizó la tabla de colores de tejidos (Munsell). Se recolectaron cinco hojas maduras por árbol, completas y sin problemas fitosanitarios; se muestrearon cinco folíolos (por hoja) ubicados a los dos costados en la parte media. La evaluación se realizó una única vez para el total de individuos presentes en la colección de trabajo.

Tabla 1. Descriptores de planta para la evaluación de *S. amara*.

Descriptor	Sigla	Autor
Altura del árbol (m)	HT	7, 10
Altura de copa (m)	HC	7
Longitud de la copa (sentido NS) - m	LCNS	7, 9, 10
Longitud de la copa (sentido EW) - m	LCEW	7, 9, 10
Diámetro de la altura del pecho (cm)	DAP	10
Volumen de tronco (m ³)	VOL_TRONCO	6
Diámetro de copa (m)	D_COPA	3*
Forma del árbol	FARB	10
Hábito de crecimiento del árbol	HABARB	9, 10
Forma del fuste	FFU	3, 6

Descriptor	Sigla	Autor
Rectitud del fuste	RFU	1*
Ramificación del árbol	RAM	14
Altura de ramificación	HRAM	1*
Altura de bifurcación	HB	1*
Dominancia en el eje principal	DEP	1*
Ángulo de inserción de las ramas	AIR	1, 11
Forma de la copa (perfil vertical)	FCV	7*, 8*, 9*
Forma de la copa (perfil horizontal)	FCH	5
Densidad de la copa	DNC	8, 9, 12
Tipo de raíz	TRZ	4
Tipo de corteza	CORT	13*
Color del tronco	CT	9*
Número de folíolos por hoja	NFH	13*
Forma de la hoja	FH	4, 7, 10*
Borde de la hoja	BORH	4, 7, 10*
Ápice de la hoja	APH	4, 7, 10*
Base de la hoja	BH	4, 7, 10*
Longitud del peciolo (mm)	LPEC	4, 10*
Longitud del peciolo principal (mm)	LPECppal	2*
Longitud del raquis (mm)	LR	2*
Grosor del peciolo (mm)	GPEC	2
Longitud de la hoja (mm)	LH	2
Anchura de la hoja (mm)	ANH	2
Longitud del foliolo (mm)	LHF	2*
Anchura del foliolo (mm)	ANHF	2*
Color de las hojas maduras en el haz	CHMHAZ	10*
Color de las hojas maduras en el envés	CHMENV	10*
Hábito de fructificación	HABF	2

1 Acosta-Hernández *et al.*, (2011), 2 Bioversity International y CHERLA (2008), 3 Cancino (2006), 4 CAR (2012), 5 García *et al.*, (2011), 6 Gutiérrez *et al.*, (2013), 7 IPGRI (2000), 8 IPGRI (2002), 9 IPGRI (2006), 10 Kehlenbeck *et al.*, (2015), 11 Ortiz *et al.*, (2017), 12 Saavedra-Romero *et al.*, (2016), 13 Thirakul (1998), 14 Urbina (2001). * Adaptado de.

El volumen del árbol en pie (Vol_tronco) y el diámetro aproximado de copa (D_copa), se calcularon a partir de las fórmulas (1 y 2):

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

Donde:

DAP = Diámetro a 1.3 m sobre el nivel del suelo (cm)

HC = Altura comercial (m)

F = Factor de forma (0.75)

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

Donde:

LCNS = longitud de la copa sentido norte - sur (m)

LCEW = longitud de la copa sentido oriente - occidente (m)

Análisis estadístico: como en este estudio se consideraron descriptores cualitativos y cuantitativos, se utilizó para los primeros un análisis de correspondencias múltiples (ACM), mediante el procedimiento CORRESP del software SAS Enterprise Guide V.8.3 (2019-2020). Para las variables cuantitativas se realizó un análisis de componentes principales (ACP), mediante el procedimiento PRINCOMP del citado software. Posteriormente, con base en los componentes seleccionados en los

dos análisis mencionados (ACM y ACP) para los dos tipos de variables (cualitativas y cuantitativas), se generó un conjunto de datos y se realizó un análisis de conglomerados (AC) mediante el procedimiento CLUSTER utilizando el algoritmo de WARD, que permitió clasificar los individuos en grupos homogéneos.

Resultados

Para los individuos de *S. amara* el descriptor VOL_TRONCO presentó mayor variabilidad, mientras que las variables NFH y LR, mostraron una variabilidad intermedia. Los descriptores HT, HC, LCNS, LCEW, DAP, D_COPA, LPECppal, LPEC, GPEC, LH y ANH, presentaron una baja variabilidad (Tabla 2).

El ACM para las variables cualitativas de planta y hoja, permitió seleccionar los primeros seis factores (dimensiones), que acumularon el 73.1% de la variabilidad contenida en las variables cualitativas originales (Figura 1).

En los individuos de *S. amara* se observaron correlaciones muy altas y significativas ($P < 0.0001$) entre HT y HC (0.94), LCNS y D_COPA (0.84), LCEW y D_COPA (0.81), DAP y VOL_TRONCO (0.93)- Tabla 3.

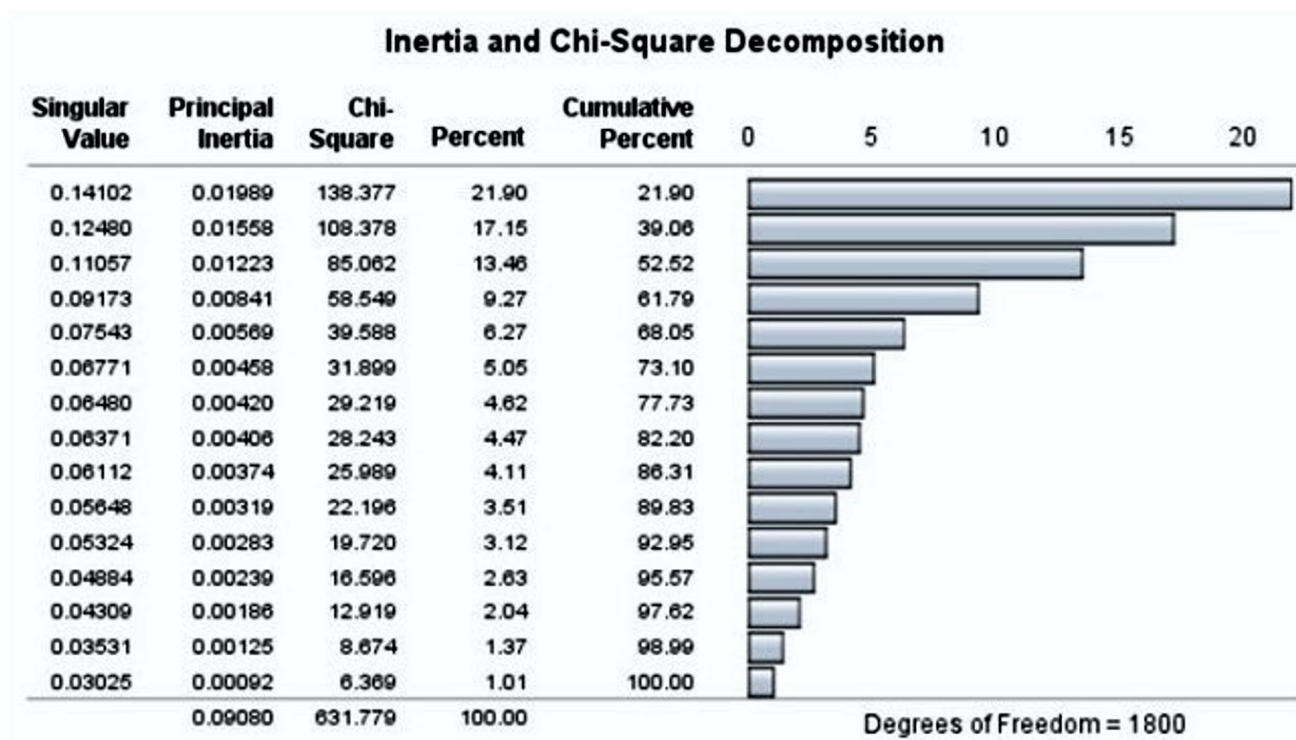


Figura 1. Valores singulares e inercia de cada una de las dimensiones (factores), para *S. amara*.

Tabla 2. Valores descriptivos de variables cuantitativas evaluados en *S. amara*.

Variable	Media	CV	IC (límite inferior)	IC (límite superior)
HT	10.02	10.01	9.84	10.2
HC	9.12	10.77	8.94	9.29
LCNS	5.13	15.61	4.98	5.27
LCEW	5.15	14.43	5.01	5.28
DAP	16.51	14.35	16.08	16.93
VOL_TRONCO	0.15	31.13	0.14	0.16
D_COPA	5.14	12.41	5.02	5.25
NFH	12.75	22.43	12.23	13.26
LR	188.68	24.99	180.19	197.16
LPECppal	64.54	15.86	62.7	66.38
LPEC	4.56	16.98	4.42	4.7
GPEC	1.68	13.15	1.64	1.72
LH	79.85	9.65	78.47	81.24
ANH	29.64	10.46	29.08	30.2

CV (Coeficiente de variación), IC (intervalo de confianza - C.C. 95%).

Tabla 3. Matriz de correlaciones para las variables cuantitativas evaluadas en *S. amara*.

	HT	HC	LCNS	LCEW	DAP	VOL_TRONCO	D_COPA	NFH	LR	LPECppal	LPEC	GPEC	LH	ANH
HT	1.00	0.94**	-0.04	-0.08	0.16	0.45**	-0.07	0.08	-0.10	0.02	0.13	-0.03	-0.01	-0.02
HC		1.00	-0.03	-0.08	0.14	0.47**	-0.07	0.05	-0.13	0.05	0.14	-0.02	0.04	-0.01
LCNS			1.00	0.36**	0.31	0.26	0.84**	0.09	0.00	-0.01	0.00	-0.16	-0.08	-0.16
LCEW				1.00	0.44**	0.37**	0.81**	-0.04	0.07	-0.04	-0.02	-0.12	-0.12	-0.19*
DAP					1.00	0.93**	0.45**	0.04	0.11	-0.04	-0.02	-0.06	-0.02	-0.18*
VOL_TRONCO						1.00	0.38**	0.03	0.04	-0.04	0.04	-0.05	-0.01	-0.16
D_COPA							1.00	0.03	0.04	-0.03	-0.01	-0.17	-0.12	-0.21*
NFH								1.00	0.67**	0.20*	-0.14	0.15	0.02	0.05
LR									1.00	0.56**	-0.29	0.18*	0.24*	0.10
LPECppal										1.00	-0.06	0.21*	0.33	0.35**
LPEC											1.00	0.43**	0.12	0.24*
GPEC												1.00	0.42**	0.45**
LH													1.00	0.53**
ANH														1.00

** significativo ($\alpha=0.05$), * significativo ($\alpha=0.01$)

El ACP basado en la matriz de correlaciones, permitió seleccionar los primeros cinco componentes principales (CP), que acumularon el 77.2% de la variabilidad contenida en las variables cuantitativas originales (Tabla 4).

Con respecto al primer CP, este presentó las mayores correlaciones con las variables LCNS, LCEW, DAP, VOL_TRONCO, D_COPA, el segundo CP se correlacionó con LR, LPECppal, GPEC, LH y ANH, el tercer componente con las variables HT y HC, el cuarto componente con LPEC y el quinto CP seleccionado se correlacionó con DAP (Tabla 5).

Con base en los factores seleccionados en el análisis de correspondencias múltiples (ACM) y en los componentes retenidos mediante el ACP, se realizó el análisis de conglomerados que permitió clasificar los individuos de *S. amara* en nueve grupos, acumulando el 95.73% de la variabilidad contenida en las variables incluidas en el nuevo conjunto de datos (Figura 2).

En general, en los individuos de *S. amara* de la colección, predominan árboles de fuste cilíndrico, ramifica-

Tabla 4. Valores propios de la matriz de correlación para descriptores de planta y hoja evaluados en *S. amara*.

	Valor propio	Diferencia	Proporción	Acumulado
1	3.34	0.87	0.24	0.239
2	2.47	0.18	0.18	0.415
3	2.29	0.59	0.16	0.578
4	1.70	0.69	0.12	0.700
5	1.01	0.09	0.07	0.772
6	0.91	0.26	0.07	0.837
7	0.65	0.09	0.05	0.884
8	0.56	0.09	0.04	0.924
9	0.47	0.09	0.03	0.958
10	0.38	0.23	0.03	0.984
11	0.15	0.08	0.01	0.995
12	0.07	0.06	0.00	1.000
13	0.01	0.01	0.00	1.000
14	0.00		0.00	1.000

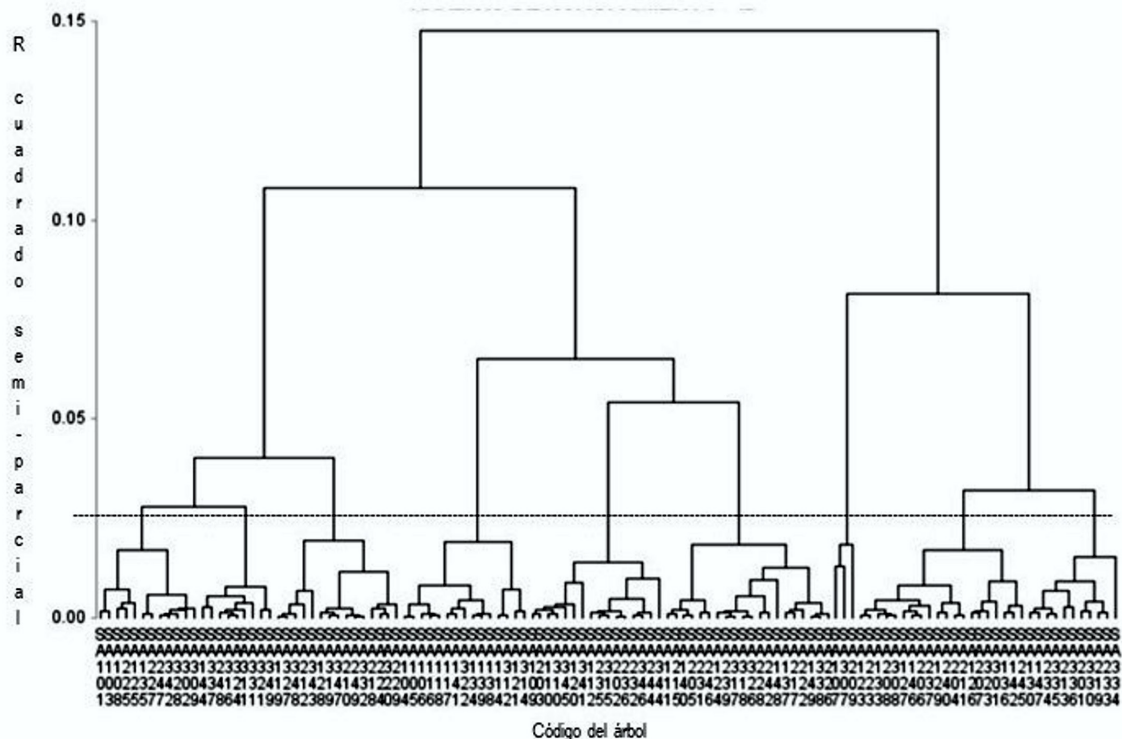


Figura 2. Dendrograma de la colección de 121 individuos de *S. amara*, a partir de variables cuantitativas y cualitativas. Agrupamiento por el método Ward.

Tabla 5. Contribución de cada una de las variables originales a los primeros componentes principales seleccionados para *S. amara*.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
HT	0.124	0.301	-0.485	-0.191	0.262
HC	0.121	0.308	-0.490	-0.165	0.255
LCNS	0.356	0.002	0.208	0.160	0.471
LCEW	0.385	0.001	0.215	0.189	0.001
DAP	0.413	0.205	-0.006	0.041	-0.515
VOL_TRONCO	0.409	0.278	-0.179	-0.004	-0.384
D_COPA	0.448	0.002	0.256	0.211	0.296
NFH	-0.004	0.283	0.244	-0.387	0.249
LR	-0.032	0.344	0.405	-0.353	-0.053
LPECPAL	-0.113	0.369	0.240	-0.110	0.096
LPEC	-0.055	0.132	-0.198	0.516	0.205
GPEC	-0.202	0.336	0.058	0.347	-0.042
LH	-0.178	0.364	0.099	0.251	-0.158
ANH	-0.258	0.319	0.064	0.304	0.033

do en el tercio inferior, corteza escamosa, color de tronco en tonalidades amarillo-rojizo (7.5YR, 5Y, 5YR) y hábito de fructificación en toda la copa. Foliolos de forma oblonga, ápice obtuso o mucronulado, base atenuada y hojas de tonalidades verde-amarillo en haz (5GY, 2.5GY) y envés (5GY). La rectitud del fuste (RFU) es variable y predomina la ramificación (RAM) erecta; se observa ausencia de bifurcación, con algunas excepciones en los grupos 1, 3 y 9. Se presenta con mayor frecuencia la dominancia parcial del eje inicial sobre las ramas laterales (DEP) y forma de copa ovoide (FCV) y circular irregular (FCH). En la colección de *S. amara*, la conformación de los conglomerados es variable, así como las características predominantes (Tabla 6).

Discusión

La evaluación fenotípica de especies forestales ha sido fundamental en el desarrollo de programas de mejoramiento genético y caracterización de recursos fitogenéticos. Características de interés económico como HT, DAP y VOL_TRONCO, RFU, D_COPA y AIR, entre otros, han sido útiles para caracterizar una plantación comercial de *Gmelina arborea* y seleccionar individuos fenotípicamente superiores (Balcorta-Martínez

y Vargas-Hernández, 2004). En *S. amara* el DAP y el VOL_TRONCO discriminan los grupos 5 y 7 por sus mayores valores, la HC el grupo 2 y el D_COPA el grupo 1; en contraste la RFU es variable y el AIR (31°-60°) es predominante en cinco grupos (1, 2, 3, 5 y 6).

Ortiz *et al.*, (2017) caracterizaron individuos de *J. pyriiformis* a partir de la valoración cualitativa de FFU, HB, DEP, AIR, forma de copa (FC) y D_COPA, e identificaron árboles con características sobresalientes, medias e indeseables. Por otra parte, para Acosta-Hernández *et al.*, (2011), la evaluación de una población natural de *J. pyriiformis* por medio de variables dasométricas (DAP y HT) y morfológicas (FFU, HB, DEP, AIR, FC y D_COPA), reveló la diferenciación de tres conglomerados. En *S. amara* los descriptores HT, HC, DAP y VOL_TRONCO, permiten identificar individuos con características maderables de interés en los grupos 2, 5 y 7. En cuanto a rasgos de interés en arboricultura se destacan los grupos 6 y 7 por su forma circular completa o irregular (FCH) y los grupos 6, 7 y 8 por su mayor densidad de copa (DNC). Con respecto al menor tamaño de la copa, de interés en sistemas agroforestales (Vallejos *et al.*, 2010), se observan árboles de forma elipsoide (grupos 3, 4, 6 y 8), hábito erecto (grupos 2 y 6) y menor D_COPA (grupos 4, 6 y 8). En contraste, en el grupo 9

Tabla 6. Características predominantes de los conglomerados obtenidos en la colección de *S. amara*.

Grupo	Descripción
Grupo 1 (15 individuos - 12.40%)	Menor HT, menor HC, mayor D_COPA, HB variable, AIR (61°-90°), DNC intermedio, menor NFH y menor tamaño de hojas
Grupo 2 (15 individuos - 12.40%)	Mayor HC, HABARB erecto, RFU torcido, AIR (61°-90°), FCH ovoide, menor NFH
Grupo 3 (20 individuos - 16.53%)	Menor HT, menor HC, menor DAP, menor VOL_TRONCO, FARB elipsoide, HB variable, AIR (61°-90°), DNC intermedio, menor NFH y tamaño de hojas
Grupo 4 (16 individuos - 13.22%)	D_COPA menor, FARB elipsoide, AIR (31°-60°), DNC intermedio
Grupo 5 (9 individuos - 7.44%)	Mayor DAP, mayor VOL_TRONCO, AIR (61°-90°), menor NFH y tamaño de hojas
Grupo 6 (20 individuos - 16.53%)	Menor DAP, menor VOL_TRONCO, FARB elipsoide, HABARB erecto, AIR (61°-90°), FCH circular completa y circular irregular, mayor DNC, menor D_COPA, menor NFH y tamaño de hojas variable, mayor DNC
Grupo 7 (12 individuos - 9.92%)	Menor HT, mayor DAP, VOL_TRONCO y D_COPA (mayor e intermedio), FCH circular irregular, mayor DNC, menor NFH y tamaño de hoja variable
Grupo 8 (11 individuos - 9.09%)	D_COPA menor, FARB elipsoide, RAM erecta, mayor DNC, menor NFH y tamaño de hoja variable
Grupo 9 (3 individuos - 2.48%)	Mayor HT, mayor HC, HB variable, RAM erecta, mayor NFH, mayor LR, LPECppal

se identifican individuos con mayor tamaño de hoja (NFH, LR y LPECppal).

Con respecto a los descriptores foliares, en *S. amara* las variables LR, LPECppal, GPEC, LH y ANH contribuyeron positivamente en el segundo CP (41.5% de la variabilidad total); así mismo, las variables NFH, LR y LPECppal permitieron la diferenciación del grupo 9 con respecto al mayor tamaño de hoja. Algunos de estos descriptores han sido de utilidad en la evaluación de *Byrsonima crassifolia* (Martínez *et al.*, 2010), al observar que la longitud del eje mayor y del eje menor del limbo (equivalentes a LH y ANH en *S. amara*) influyeron positivamente en los tres CP obtenidos (77.27% de la variación total), mientras que LPEC influyó negativamente en los dos primeros componentes.

Por otra parte, los caracteres morfométricos longitud del peciolo (LPEC), eje longitudinal y eje radial del limbo foliar (equivalentes a LH y ANH), fueron empleados por Andrés-Agustín *et al.*, (2004) para la caracterización de cultivares en *Annona chirimola*. En esta especie se observó una baja pero significativa correlación ($p \leq 0.05$ y 0.01) entre LPEC y LH (0.387), junto a una

baja y no significativa correlación con ANH (0.190). En *S. amara* estos descriptores revelaron una baja y no significativa correlación entre LPEC y LH (0.123), LPEC y ANH (0.237). Los resultados obtenidos para la especie son de utilidad para la identificación de descriptores útiles en la evaluación de recursos genéticos y diferenciación de conglomerados. No obstante, para el desarrollo de estudios en fisiología, será de utilidad la estimación del rasgo funcional área foliar.

En los individuos de *S. amara* las variables cuantitativas LCNS, LCEW, DAP, VOL_TRONCO, D_COPA, LR, LPECppal, GPEC, LH, ANH, HT y HC, influyen positivamente en los primeros tres componentes principales seleccionados (explican el 57.82% de la variabilidad total). Los descriptores FFU, HRAM, TCORT y HABF presentan mínima variación en los individuos de la especie, contrario a RFU, FCV y FCH. Caracteres cualitativos como rectitud del fuste y forma de la copa, son algunos de los rasgos importantes en la selección de árboles para producción de biomasa, “para la producción de madera de alta calidad y volumen por árbol individual, se privilegian árboles con características cualitativas de fuste más exigentes” (Vallejos *et al.*, 2010).

Para *S. amara* los descriptores HT, HC, DAP, VOL, TRONCO, FCH, DNC, HABARB, FARB y D_COPA son de utilidad para la identificación de individuos con potencial de uso maderable, en arboricultura y en sistemas agroforestales. Para la posterior selección de árboles sobresalientes y priorizar la mayor producción de volumen por árbol, es importante tener en cuenta que los caracteres asociados al “volumen del fuste registran normalmente una baja heredabilidad (control genético), debido a que el ambiente de la plantación, la densidad de siembra y la competencia entre árboles, influye en gran medida en su desarrollo” (Vallejos et al., 2010).

La metodología planteada para la caracterización por medio de descriptores morfológicos de planta, hoja y fruto permitió enriquecer los criterios para la identificación de las variables más importantes en la evaluación de la variabilidad fenotípica de *S. amara*. Esta información es de gran relevancia para la conservación *ex situ* y evaluación de sus recursos fitogenéticos, por cuanto es una especie característica de los bosques primarios y de zonas abiertas (Camacho y Cárdenas, 2002), de importancia en la región del Orinoco (Acero, 2005) y con potencial de uso maderable y no maderable.

Para la incorporación de árboles sobresalientes en programas de mejoramiento genético forestal, será necesario considerar y evaluar la heredabilidad de los caracteres más relevantes en arboricultura, sistemas agroforestales, producción de biomasa, madera de calidad y volumen por árbol individual. Los resultados obtenidos revelan el potencial de algunos rasgos cuantitativos y cualitativos de fuste y copa en ensayos genéticos (progenie y procedencia) e identificación de parentales para cruzamientos. No obstante, se requerirá de la evaluación del potencial reproductivo, así como de rasgos funcionales foliares y de la madera.

Agradecimientos

A AGROSAVIA y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, por el financiamiento del proyecto. Especialmente a Ángela Villa, Arnoldo Muñoz, Oscar Triana y Herbert Camargo, por su apoyo en la recolección de material vegetal y procesamiento.

Referencias

Acero L. 2005. Plantas útiles de la cuenca del Orinoco. BP Exploration Company. Bogotá, p. 510.

Acosta-Hernández CC, Luna-Rodríguez M, Noa-Carranza JC, Galindo-González J, Vázquez-Torres SM, Morales-Romero Z, Iglesias-Andreu LG. Caracterización morfológica y dasométrica de la especie amenazada *Juglans pyriformis* Liebm. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente. 2011; XVII (1): 59-67. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.03.015>

Aguirre de los Ríos F, Zevallos Pollito PA. Caracterización fenotípica, dendrológica y anatómica de los tipos morfológicos del *Cordia alliodora* (R.&P.) Oken procedentes de plantaciones realizadas en Jaén, Cajamarca - Perú. Ceprosimad. ;2(2):7-20. Recuperado a partir de <https://journal.ceprosimad.com/index.php/ceprosimad/article/view/15>

Alercia A, Diulgheroff S, Mackay M. 2015. Descriptores de pasaporte para cultivos múltiples FAO/BIOVERSITY V.2.1. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; Bioversity International; [13/07/2020] URL: https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/user_upload/FAO_Bioversity_MCPD_SPA_2015.pdf

Andrés-Agustín J, Nieto-Ángel R, Barrientos-Priego AF, Martínez-Damián MT, González-Andrés F, Gallegos-Vázquez C. Variación morfológica de la hoja del chirimollo. Revista Chapingo Serie Horticultura. ;X(2):103-110. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2003.10.065>

Balcorta-Martínez HC, Vargas-Hernández JJ. Variación fenotípica y selección de árboles en una plantación de melina (*Gmelina arborea* Linn., Roxb.) de tres años de edad. Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente. ;10(1): 13-19.

Bernal R, Gradstein S, Celis M (eds.). 2019. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá; [16/10/2020] URL: <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>

Bioversity International y CHERLA. 2008. Descriptores para chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.). Bioversity International, Roma, Italia; Proyecto CHERLA, Málaga, España; [15/07/2020] URL: https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/Chirimoyo_1295.pdf

Camacho R y Cárdenas D. 2002. Manual de identificación de especies maderables objeto de comercio en la Amazonia colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas -SINCHI. Bogotá, p. 62.

Cancino J. 2006. Dendrometría básica. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente. Concepción, Chile. [19/08/2020] URL: https://www.academia.edu/28227634/UDEC_Dendrometria_Basica

CAR - Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. 2012. Vegetación del Territorio CAR. 450 especies de sus llanuras y montañas. 2° edición. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia, p. 808.

Cortizo S, Cerrillo T, Thomas E, Monteverde S. 2015. Subprograma Salicáceas (*Salix* y *Populus*). En: Domesticación y mejoramiento de especies forestales. Argentina: UCAR – INTA; [26/08/2020] URL: <http://forestoindustria.magyp.gob.ar/archivos/biblioteca>

- [forestal/domesticacion-y-mejoramiento-de-especies-forestales.pdf](#)
- Escobar-Sandoval MC, Vargas-Hernández JJ, 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. ;24(2):1-11. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421595>
- Franco T e Hidalgo R. (eds.). 2003. Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos -IPGRI; [16/09/2020] URL: https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/migrated/uploads/tx_news/An%C3%A1lisisestad%C3%ADstico_de_datos_de_caracterizaci%C3%B3nmorfol%C3%B3gica_de_recursos_fitogen%C3%A9ticos_894.pdf
- García F, Gutiérrez A, Pulido X. 2011. Evaluación del crecimiento y el desarrollo productivo de la especie *Anadenanthera peregrina* (yopo) para la producción comercial de leña en la Orinoquia Colombiana. Informe Técnico Final. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA. Villavicencio, Meta. 112p.
- Gutiérrez E, Moreno RD, Villota N. 2013. Guía de cubicación de la madera. Corporación Autónoma Regional del Risaralda – CARDER. Pereira, Colombia; [05/09/2020]. URL: https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidad-ServiciosEcosistemicos/pdf/Gobernanza_forestal_2/10_Gu%C3%ADadeCubicaci%C3%B3ndeMadera.pdf
- Gutiérrez B, Gómez M, Gutiérrez M, Mallén C. Variación fenotípica de poblaciones naturales de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schtdl. en Chiapas. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. ;4(19):46-61. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i19.378>
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI. 2007. Balance anual sobre el estado de los ecosistemas y el ambiente de la Amazonia colombiana 2006. Bogotá; [09/10/2020]. URL: <https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/balanceanual.pdf>
- IPGRI - Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. 2000. Descriptors for Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome; [03/09/2020] URL: https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/72703/Descriptors%20for%20jackfruit_369.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- IPGRI - Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. 2002. Descriptors for Litchi (*Litchi chinensis*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome; [03/09/2020] URL: https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/migrated/uploads/tx_news/Descriptors_for_litchi_Litchi_chinensis_848.pdf
- IPGRI - Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. 2006. Descriptors for Mango (*Mangifera indica* L.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome; [03/09/2020] URL: https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/user_upload/online_library/publications/pdfs/107.pdf
- Kehlenbeck K, Padulosi S, Alercia A. 2015. Descriptors for Baobab (*Adansonia digitata* L.). Biodiversity International, Rome, Italy and World Agroforestry Centre, Nairobi, Kenya; [07/08/2020] URL: http://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/user_upload/online_library/publications/pdfs/Descriptors_for_Baobab_Adansonia_digitata_L._1859.pdf
- López R, Cárdenas D. 2002. Manual de identificación de especies maderables objeto de comercio en la Amazonia colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI. Bogotá; [17/10/2020] URL: <https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/ManualMaderas.pdf>
- Martínez E, Corona T, Avitia-García E, Castillo AM, Terrazas T, Colinas LB, Lázaro E, Medina R. Caracterización morfológica de hojas de nanche (*Byrsonima crassifolia* (L.) H. B. K.). Revista Fitotecnia Mexicana. ;33(4):15-19.
- Oliva M, Rimachi Y. Phenotypic selection of trees plus three wood forest species in natural populations in the District of Molino Pampa (Amazonas). Revista de Investigación en Agroproducción Sustentable.;1(3):36-42. <http://dx.doi.org/10.25127/aps.20173.372>
- Ortiz E, Acosta C, Linares P, Morales Z, Rebolledo V. Selección de árboles semilleros de *Juglans pyriformis* Liebm. en poblaciones naturales de Coatepec y Coacoatzintla, Veracruz. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. ;7(38): 43-58. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i38.3>
- Rodríguez J. 2000. Producción de frutos de dos especies dióicas, *Virola koschnyi* Wardb y *Simarouba amara* Aubl., en un paisaje fragmentado de la zona norte de Costa Rica. Tesis de maestría en Educación para el Desarrollo y la Conservación. Centro Agronómico Tropical de Investigación y de Enseñanza – CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Saavedra-Romero L de L, Alvarado-Rosales D, Hernández-de la Rosa P, Martínez-Trinidad T, Mora-Aguilera G, Villa-Castillo J. Condición de copa, indicador de salud en árboles urbanos del Bosque San Juan de Aragón, Ciudad de México. Madera Bosques; ;22(2):15-27. <https://doi.org/10.21829/myb.2016.2221321>
- Thirakul S. 1998. Manual de Dendrología para 146 especies forestales del Litoral Atlántico de Honduras. Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal, AFE/COHDEFOR. Atlántida, Honduras, p. 9.
- Urbina V. 2001. Morfología y desarrollo vegetativo de los frutales. Monografías de fruticultura n° 5. Lleida, España; [12/11/2020]. URL: <https://repositori.udl.cat/bitstream/handle/10459.1/47019/006357%20%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vallejos J, Badilla Y, Picado F, Murillo O. Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. Agronomía Costarricense; 34(1):105-119.
- WWF-Colombia. 2013. Maderas de Colombia. WWF-Programa Subregional Amazonas Norte & Chocó Darién. Bogotá; [12/11/2020] URL: <https://www.wwf.org.co/?213040/Maderas-de-Colombia>