



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i69.938>

Artículo

Repetibilidad de características útiles como descriptores morfológicos en clones de *Cedrela odorata* L.

Repeatability of useful characteristics as morphological descriptors in *Cedrela odorata* L. clones.

Susana Olvera Moreno¹, Javier López Upton^{1*}, Vicente Sánchez Monsalvo²,
Marcos Jiménez Casas¹

Abstract

There are advances in the genetic improvement of *Cedrela odorata* in Mexico. The improved material must have distinguishable and stable characteristics when it grows in different places to obtain intellectual property. The objective of this study was to assess the repeatability of morphological descriptors in *C. odorata* clones whose vegetative reproduction has been more successful by grafting, as superior genotypes can be identified for the registration of their intellectual property. 90 clones produced by grafting at two contrasting evaluation sites (clonal trials) and in a clonal bank were assessed. 19 characters were selected: 12 quantitative and 7 qualitative; related to growth, stem, crown and leaves; only leaves were evaluated in the clonal bank. Most of the characters showed variation coefficients >20 %, which is a high level of phenotypic variability among clones. Principal Component Analysis revealed that the descriptors that contributed significantly and were consistent in the three sites were leaf length and width, petiole length and width of secondary leaflets; in the two trials diameter and straightness of the stem also contributed. The cluster analysis showed little relationship between the morphological characters with the groups of clones and provenances formed in each evaluation site. The clusters formed by the cluster analysis were distinctive at the three sites, and no clones could be consistently discriminated between sites. Genotype by environment interaction and the different rootstock in each ramet could reduce the possibility of repeatability in the characters and the registration of superior clones.

Key words: Clustering, principal component analysis, grafting, provenances, superior clones registration, intellectual property.

Resumen

En México hay avances en el mejoramiento genético de *Cedrela odorata*. El material mejorado debe tener características distinguibles, homogéneas y estables cuando crece en diferentes sitios para registrar la propiedad intelectual. El objetivo del presente estudio fue evaluar la repetibilidad de descriptores morfológicos en clones de *C. odorata* cuya reproducción vegetativa ha sido más exitosa por injertos, con el fin de identificar genotipos superiores para el registro de su propiedad intelectual. Se evaluaron 90 clones producidos por injerto en dos sitios contrastantes (ensayos clonales) y en un banco clonal. Se seleccionaron 19 caracteres: 12 cuantitativos y 7 cualitativos relacionados con crecimiento, fuste, copa y hojas; en el banco clonal solo se evaluaron hojas. La mayoría de los descriptores presentaron coeficientes de variación > 20 %, o alta variabilidad fenotípica entre clones. El Análisis de Componentes Principales reveló que los descriptores que contribuyeron significativamente y resultaron consistentes en los tres sitios de evaluación fueron longitud y ancho de hoja, longitud del peciolulo y ancho de folíolos secundarios. También, contribuyó el diámetro y la rectitud del fuste. El análisis de agrupamiento evidenció poca relación entre los descriptores morfológicos con los grupos de clones y procedencias en cada sitio de evaluación. Los grupos creados por el análisis de agrupamiento fueron distintos en los tres sitios, y ningún clon se discriminó de manera consistente entre sitios. La interacción genotipo x ambiente y el portainjerto diferente en cada rameto pudieran reducir la posibilidad de repetibilidad en los caracteres y el registro de clones superiores.

Palabras clave: Agrupamiento, Análisis de componentes principales, injertación, procedencias, registro de clones superiores, propiedad intelectual.

¹Posgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados. México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental San Martinito. México

*Autor por correspondencia; correo-e: uptonj@colpos.mx

Introducción

En el establecimiento de programas de mejoramiento genético es necesario realizar la descripción morfológica de los materiales sobresalientes y la determinación de la variabilidad de sus características (Núñez-Colín y Escobedo-López, 2011). El propósito de la caracterización morfológica es ponderar la consistencia y variabilidad de un grupo de estudio mediante rasgos definidos, fácilmente visibles y medibles (Franco e Hidalgo, 2003). Tanto en los árboles producidos por vía sexual, como en clones debe haber consistencia en las características morfológicas entre las progenies o los rametos en ambientes contrastantes. Se espera que en la propagación clonal exista mayor homogeneidad morfológica entre individuos y sea de fácil identificación (Bonga, 1982).

En las plantaciones forestales comerciales se requiere de germoplasma de calidad para tener una alta productividad (White *et al.*, 2007); lo cual se obtiene con programas de mejoramiento forestal. La caracterización morfológica es un paso importante en este sentido (Núñez-Colín y Escobedo-López, 2014), ya que los ciclos de mejoramiento en especies arbóreas incluyen largos periodos en función a su ciclo de vida, por lo que es importante la protección intelectual del material vegetal producto del mejoramiento (Bennadji, 2003). En especies sin descriptores morfológicos se deben elegir caracteres que permitan discriminar grupos (López-Santiago *et al.*, 2008), para lo cual se usan técnicas de agrupamiento y métodos estadísticos multivariados (Crossa y Franco, 2004).

Cuando se obtiene un material vegetal mejorado es posible registrarlo con fines de protección de la propiedad intelectual, ello lo faculta para ser usado legalmente por productores, plantadores e investigadores.

En México, el registro de genotipos sobresalientes se realiza ante el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), que está regulado por la Ley Federal de Variedades Vegetales (LFVV). Cabe señalar que en el país se carece

de registros de árboles forestales, probablemente por tratarse de materiales silvestres.

Cedrela odorata L. es un taxon forestal apreciada en México para plantaciones comerciales (Ramírez-García *et al.*, 2008); se han desarrollado clones de crecimiento superior propagados por injertos sin registro alguno, pero se han propuesto descriptores morfológicos para tal fin (Méndez y Sánchez, 2012). El SNICS y la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV) no tienen guías de descripción para especies forestales. Por tal motivo, el objetivo del presente estudio fue evaluar la repetibilidad de descriptores morfológicos en clones de *Cedrela odorata* cuya reproducción vegetativa ha sido más exitosa por medio de injertos, con el fin de identificar genotipos superiores para el registro de su propiedad intelectual. La hipótesis planteada fue, si existe repetibilidad en los descriptores morfológicos entre rametos del mismo clon, y a su vez, estos se distinguen de otros clones, y es posible identificar un clon superior con fines de propiedad intelectual.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en dos ensayos clonales con ambientes diferentes. El primero se localiza en terrenos de la empresa Agropecuaria Santa Genoveva, en San Francisco, Campeche (Ensayo 1) a 19°33'26.53" N, 90°01'33.96" O y a 82 msnm. El suelo es tipo Litosol, con textura arcillosa. La precipitación es de 1 300 mm anuales y la temperatura media anual de 23 °C. El segundo se estableció en una propiedad privada en el municipio Isla, Veracruz (Ensayo 2) a 18°04'50.21" N, 95°32'0.75" O y una altitud de 56 m; cuyo suelo es de tipo Cambisol, de textura arenosa; precipitación de 2 000 mm anuales y temperatura media anual de 25 °C (Sánchez-Monsalvo *et al.*, 2019).

Para comparar algunos caracteres, se usaron los mismos genotipos del banco clonal del Campo Experimental El Palmar del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en El Palmar, Tezonapa, Veracruz, a 18°30'19.29" N, 96°45'15.48" O y una altitud de 180 m. El tipo de suelo es Acrisol de textura franco arcillo arenosa, precipitación de 2 888 mm anual y temperatura media anual de 24.4 °C (Sánchez y Velázquez, 1998).

Diseño y establecimiento de los ensayos clonales

El material vegetal usado para establecer los ensayos clonales se propagó por injertación de genotipos sobresalientes de diferentes procedencias: Bacalar, Quintana Roo; Calakmul, Campeche; Cardel, Cárdenas y Teapa, Tabasco; Comalapa y Palenque, Chiapas; Misantla, Tezonapa, Tierra Blanca, Tinaja, Papantla, y Tuxtlas, Veracruz; Lombardo y Tuxtepec, Oaxaca; Yucatán; Zona Maya, Desconocida; sin precisar, México y Guatemala. Todos se determinaron por medio de ensayos de procedencias-progenies realizados por el INIFAP. Los dos ensayos clonales se establecieron en el año 2012 con un diseño experimental de bloques completos al azar con 90 clones y seis repeticiones; mientras que, el banco clonal en el año 2013, con 25 repeticiones por clon.

Variables evaluadas

Se utilizaron los descriptores morfológicos descritos por Méndez y Sánchez (2012). Cuatro hojas completas se recolectaron de la parte media de la copa. Una muestra por cada punto cardinal del árbol se evaluó y se promediaron los datos. Las variables de crecimiento y caracteres morfológicos de fuste y copa se midieron en los dos ensayos, pero no en el banco clonal; ya que los árboles son podados periódicamente para la obtención de estacas.

Caracteres cuantitativos

Se midió la altura total (m) con un altímetro marca *Haga* y el diámetro normal (a 1.3 m de altura) del fuste (cm) con cinta diamétrica *Jackson MS 283D/10M*. El volumen del fuste (dm^3) se estimó con la ecuación de Sánchez y García (2009):

$$VOL = (0.000065659) * (DIAM)^{1.768431077} * (ALT)^{1.137733502}$$

La rectitud del fuste (grados) se evaluó a partir de la desviación del fuste respecto a la línea vertical que debería seguir, para ello se usó la aplicación *Spirit level* de un teléfono móvil, colocado a 1.5 m de altura del árbol y la observación se expresó en grados. La longitud de la hoja (cm), su anchura (cm) y la longitud del peciolo (cm) se midieron con una cinta graduada *Truper TFC-30ME*; la longitud del peciolulo (mm), la longitud de los folíolos (mm) y la anchura de los folíolos secundarios (mm) se midieron con un calibrador Vernier *Digimatic D 6 P*. Además, se determinó el número de pares de folíolos secundarios y el índice de forma del folíolo secundario (relación entre largo/ancho).

Caracteres cualitativos

La forma del fuste a la altura de 1.30 m del suelo se categorizó en: semicircular (1), romboide (2), deltoide (3), elipsoide (4), ovada (5), pentagonal (6) y circular (7). El tipo de ramificación se clasificó en monopódica (1), simpódica (2), dicotómica (3) y policotómica (4). La orientación de folíolos secundarios fue hacia arriba (1), hacia afuera (2) y hacia abajo (3). El arreglo de folíolos secundarios se evaluó como alternos (1), opuestos (2) y alternos-opuestos (3). Las formas del folíolo secundario fueron falcada (1), lanceolada (2), ovada (3), elíptica (4) y oblonga (5). La forma de la base del folíolo se definió como: oblicua (1), redondeada (2) y atenuada (3). Finalmente, la forma del ápice del folíolo secundario se clasificó como agudo (1), mucronado (2), cuspidado (3), caudado (4) y aristado (5).

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron para cada ensayo, para los datos en conjunto de los dos ensayos y para el banco clonal con el paquete estadístico SAS (SAS, 2002). Con el fin de evaluar la repetibilidad de caracteres morfológicos, es decir, que sean homogéneos en tamaño y forma entre rametos de un clon y distintos entre clones, se llevaron a cabo los siguientes análisis: para los valores de los siete descriptores cualitativos se obtuvo la distribución de frecuencias, para los 12 caracteres cuantitativos se calculó la media, el valor máximo, mínimo y el coeficiente de variación. Para los 19 descriptores en conjunto se ejecutó el análisis de Componentes Principales (ACP) para determinar cuáles aportan mayor peso a la varianza; posteriormente, se excluyeron los descriptores que aportaban valores bajos a los componentes y se repitió el análisis con los siete descriptores cuantitativos con mayor contribución a los componentes en los ensayos clonales, y cuatro para el banco clonal. Con los siete descriptores de más peso en el ACP, se aplicó un análisis de agrupamiento con el método enlace promedio (*AVERAGE*). Para evitar problemas de multicolinealidad en el ACP se excluyó la variable volumen, dado que presentó alta correlación de *Pearson* con diámetro y altura. Lo mismo se hizo con la longitud de los folíolos secundarios, porque registró una alta correlación con el ancho de la hoja.

Resultados y Discusión

Los valores medios, máximos y los coeficientes de variación (CV) resultaron mayores en el ensayo 1, excepto la inclinación que fue superior en el ensayo 2, lo que indica que las condiciones ambientales fueron más favorables en el primero; por lo tanto, los individuos tuvieron mayor crecimiento. Bajo condiciones adecuadas de humedad y luz, las plántulas presentan un desarrollo inicial rápido (Hernández-Zaragoza *et al.*, 2019). En general, los valores de los caracteres morfológicos fueron más altos en el banco clonal y menores en el ensayo clonal 2 (Cuadro 1). Los

coeficientes de Variación destacados sugieren que el ensayo 1 es más heterogéneo en todas las variables, excepto en la longitud del peciolulo que fue mayor en el banco clonal. No se observó repetibilidad en los caracteres morfológicos evaluados dentro de los rametos de cada clon; de tal manera que no fue posible distinguir un clon por medio de los descriptores.

Cuadro 1. Valores medios, mínimos, máximos y coeficientes de variación para los caracteres cuantitativos en dos ensayos y un banco clonal de *Cedrela odorata* L.

Caracter	Ensayo clonal 1				Ensayo clonal 2				Banco clonal			
	Media	Mín.	Máx.	CV	Media	Mín.	Máx.	CV	Media	Mín.	Máx.	CV
DIÁMETRO	16.0	6.7	26.3	23.6	11.1	3.3	18.4	22.6	-	-	-	-
ALTURA	8.5	4.0	12.0	19.1	6.3	3.0	10.0	17.9	-	-	-	-
VOLUMEN	110.1	10.1	320.6	55.7	40.4	1.9	236.6	55.1	-	-	-	-
RECTITUD	86.5	59.6	89.5	70.9	80.3	51.5	89.5	8.3	-	-	-	-
LHOJA	35.3	21.5	51.1	15.2	31.1	18.9	51.8	15.9	34.8	19.4	54.0	15.4
AHOJA	16.5	11.5	22.6	12.4	16.9	10.6	23.5	11.6	18.4	12.8	26.3	11.8
LPEC	6.2	3.2	9.8	20.5	6.4	3.8	9.5	16.4	6.7	3.3	11.7	19.2
LPU	8.3	2.7	18.4	32.7	7.5	2.5	16.1	30.0	5.6	1.4	12.4	34.6
NPFS	8.1	5.0	12.0	13.4	8.4	5.8	12.5	12.6	8.6	5.5	11.8	12.1
LFS	87.5	58.2	115.7	12.2	82.1	52.1	157.6	12.7	92.2	62.1	178.4	12.2
AFS	31.7	20.1	57.7	15.1	30.9	17.2	46.3	14.6	31.5	17.4	52.0	15.1
IFFS	2.8	1.5	3.8	12.7	2.7	1.7	4.0	13.2	3.0	1.8	5.1	13.0

Diámetro (cm), Altura (m), Volumen (dm³), Rectitud (grados), LHOJA y AHOJA = Largo y ancho de la hoja (cm); LPEC y LPU = Longitud del peciolo (cm) y peciolulo (mm); NPFS, LFS, AFS e IFFS = Número de pares, longitud, ancho e índice de forma del foliolo secundario (mm).



Frecuencias de descriptores cualitativos

Los descriptores predominantes en los ensayos clonales 1 y 2 fueron la forma del fuste circular, que es la forma más deseable (42 y 41 %) y el tipo de ramificación simpódica (63 y 72 %). El tipo de ramificación deseable es la monopódica, misma que registró frecuencia baja en ambos sitios de evaluación (<19 %).

Los descriptores morfológicos con mayor frecuencia en los ensayos 1, 2 y banco clonal fueron: el arreglo de folíolos secundarios alternos (61.6, 65 y 69 %), la forma lanceolada del folíolo secundario (95, 98 y 94 %), la forma oblicua de la base del folíolo secundario (75, 67 y 70 %) y la forma mucronada del ápice del folíolo secundario (75, 69 y 69 %). La orientación de los folíolos secundarios fue predominantemente hacia afuera en el ensayo 1 y en el banco clonal (38 y 56 %); en tanto que, en el ensayo 2 predominó la orientación hacia abajo (54 %) (Cuadro 2).



Cuadro 2. Porcentaje de frecuencias de caracteres cualitativos evaluados en dos ensayos y un banco clonal de *Cedrela odorata* L.

Carácter	Categoría	Niveles de expresión	Frecuencias (%)		
			Ensayo 1	Ensayo 2	Banco clonal
Forma del fuste	1	Semicircular	23.6	27.1	-
	2	Romboide	4.2	0.9	-
	3	Deltoide	13.4	5.7	-
	4	Elipsoide	9.0	13.1	-
	5	Ovada	7.5	11.9	-
	6	Pentagonal	0.3	0.0	-
	7	Circular	42.0	41.2	-
Tipo de ramificación	1	Monopódica	18.7	12.5	-
	2	Simpódica	62.9	72.4	-
	3	Dicotómica	1.5	0.0	-
	4	Policotómica	16.9	15.1	-
Orientación de foliolos secundarios	1	Hacia arriba	33.5	9.4	15.4
	2	Hacia afuera	37.6	37.1	55.9
	3	Hacia abajo	28.9	53.5	28.7
Arreglo de foliolos secundarios	1	Alternos	61.6	65.2	69.2
	2	Opuestos	31.2	23.2	19.7
	3	Alternos-opuestos	7.2	11.6	11.1
Forma del foliolo secundario	1	Falcada	1.8	0.9	0.4
	2	Lanceolada	95.2	97.7	94.3
	3	Ovada	0.2	0.1	0.1
	4	Elíptica	0.8	0.3	0.1
	5	Oblonga	2.0	1.0	5.1
Forma de la base del foliolo	1	Oblicua	75.3	67.4	70.1
	2	Redondeada	13.4	19.3	11.0
	3	Atenuada	11.3	13.3	18.9
Forma del ápice del foliolo secundario	1	Agudo	14.6	22.3	10.0
	2	Mucronado	75.3	69.2	68.7
	3	Cuspidado	7.7	5.8	13.1
	4	Caudado	1.1	0.6	1.7
	5	Aristado	1.3	2.1	6.5

Análisis de Componentes Principales

En el Análisis de Componentes Principales realizado con base en la matriz de correlación de siete caracteres cuantitativos en los ensayos clonales y cuatro en el banco clonal, los tres primeros componentes explicaron 77 % de la varianza en el ensayo 1, 85 % en el ensayo 2, 82 % en el análisis conjunto de los dos ensayos clonales, y 95 % en el banco clonal (Cuadro 3).

Cuadro 3. Proporción y varianza acumulada en el Análisis de Componentes Principales de caracteres morfológicos evaluados en dos ensayos y un banco clonal de *Cedrela odorata* L.

Sitio	Componente principal	Proporción de varianza	Varianza acumulada
Ensayo clonal 1	1	0.3646	0.3646
	2	0.2263	0.5909
	3	0.1840	0.7750
Ensayo clonal 2	1	0.4569	0.4569
	2	0.2714	0.7284
	3	0.1284	0.8567
Análisis conjunto (ensayos clonales)	1	0.4291	0.4291
	2	0.2521	0.6813
	3	0.1437	0.8250
Banco clonal	1	0.6130	0.6130
	2	0.2709	0.8840
	3	0.0736	0.9576

En el ensayo 1 el componente uno aportó 36.4% de la varianza total. Los caracteres que contribuyen significativamente fueron longitud de hoja, ancho de foliolos secundarios, ancho de hoja, longitud del peciolulo; el último componente se asocia con hojas y foliolos secundarios. El componente dos aportó 22.6 % a la varianza y los caracteres con más peso fueron la rectitud del fuste, el diámetro, la longitud de

la hoja y la altura del árbol; este componente se asocia con crecimiento. El componente tres aportó 18.4 %, y los caracteres con mayor peso fueron la longitud de la hoja y el ancho de los folíolos secundarios (Cuadro 4).

Cuadro 4. Vectores propios de caracteres morfológicos en los dos primeros componentes para dos ensayos clonales, su análisis conjunto y un banco clonal de *Cedrela odorata* L.

Carácter	Ensayo 1			Ensayo 2			Análisis conjunto			Banco Clonal		
	Prin1	Prin2	Prin3	Prin1	Prin2	Prin3	Prin1	Prin2	Prin3	Prin1	Prin2	Prin3
DIÁMETRO	-0.05	0.49	-0.05	-0.04	0.19	-0.28	-0.08	0.29	-0.20	-	-	-
ALTURA	0.01	0.20	0.04	-0.02	0.09	-0.05	-0.04	0.14	-0.07	-	-	-
RECTITUD	-0.28	0.79	-0.11	-0.53	0.80	0.23	-0.46	0.78	0.32	-	-	-
LHOJA	0.71	0.25	0.61	0.40	0.42	-0.71	0.43	0.42	-0.70	0.79	-0.59	-0.14
AHOJA	0.24	0.09	-0.01	0.20	0.13	-0.08	0.20	0.15	-0.08	0.23	0.14	0.62
LPU	0.14	0.15	-0.22	0.16	0.17	-0.03	0.17	0.22	0.07	0.15	0.05	0.73
AFS	0.58	0.03	-0.75	0.70	0.31	0.60	0.73	0.19	0.59	0.54	0.79	-0.26

LHOJA = Longitud de la hoja; AHOJA = Ancho de la hoja; LPU = Longitud del peciolulo; AFS = Ancho del foliolo secundario.

En el ensayo 2 el componente uno contribuyó con 45.6 % de la varianza total. Los caracteres con más peso fueron el ancho de los folíolos secundarios, la longitud de la hoja, el ancho de la hoja y la rectitud del fuste. Al igual que en el sitio 1 el componente se asoció con la hoja y los folíolos secundarios con peso negativo en la rectitud del fuste. El componente dos aportó 27.1 % a la varianza, en el cual la rectitud del fuste, la longitud de la hoja y el ancho de los folíolos secundarios fueron las características más determinantes; a diferencia del sitio 1; el diámetro y la altura contribuyeron en menor medida. El componente tres aportó 12.8 % a la varianza y los caracteres con mayor peso fueron la longitud de la hoja y el ancho de los folíolos secundarios, al igual que en el ensayo 1 (Cuadro 4).

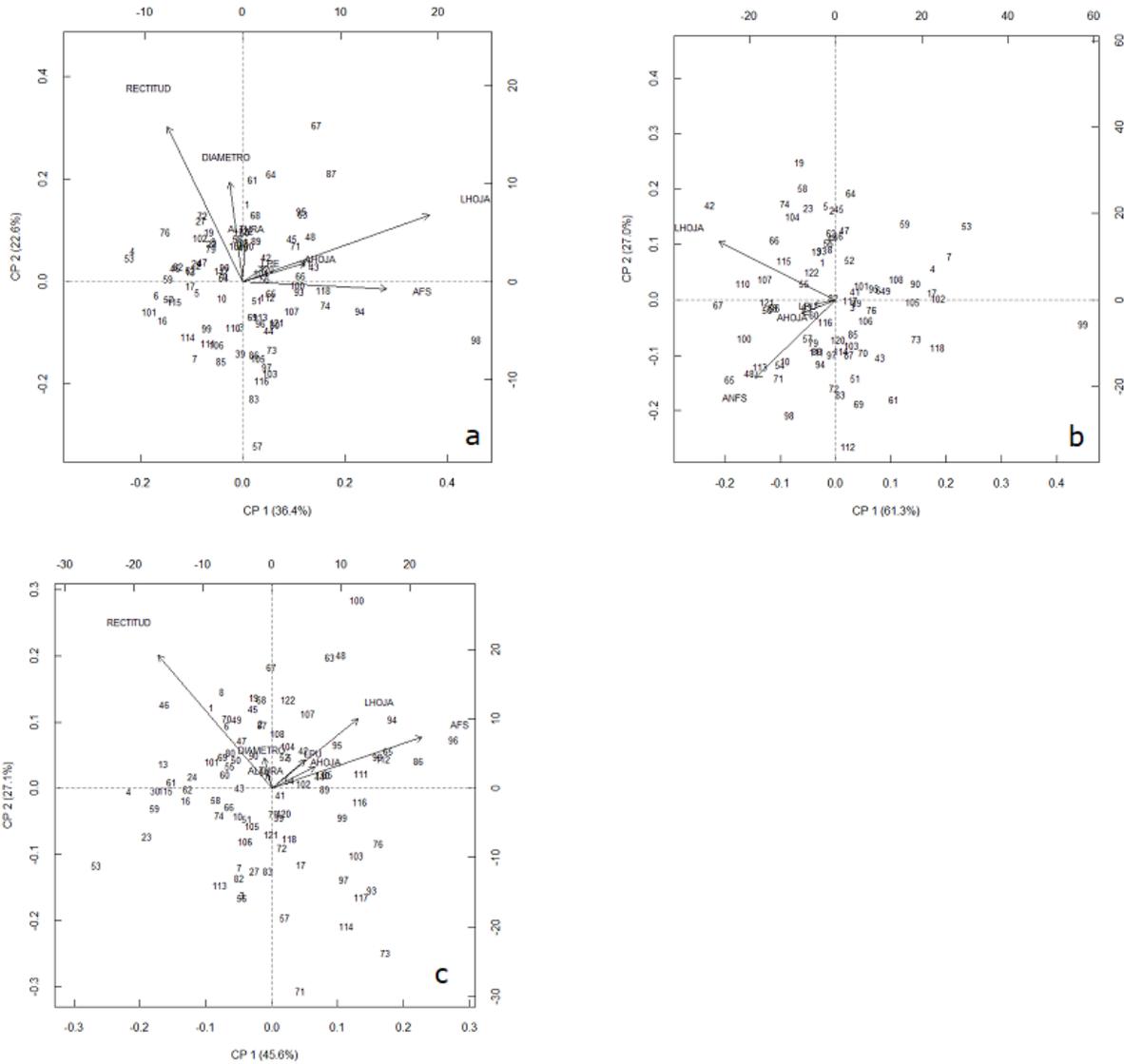
En el análisis conjunto de los dos ensayos clonales, el componente uno aportó 42.9 % de la varianza, el ancho de los folíolos secundarios, la longitud de la hoja y el ancho

de la hoja y la rectitud del fuste fueron las variables que más influyeron. El componente dos aportó 25.2 % a la varianza, los caracteres con mayor peso fueron la rectitud del fuste, la longitud de la hoja, el diámetro, la longitud del peciolulo y la altura. El componente tres aportó 14.3 % a la varianza, en el cual, los caracteres más determinantes también fueron rectitud, ancho de folíolos secundarios y longitud de hoja (Cuadro 4).

En el banco clonal, el componente uno contribuyó con 61.3 % de la varianza total. Los caracteres con más influencia fueron la longitud de la hoja, el ancho de folíolos secundarios, y ancho de hoja. El componente dos aportó 27 % a la varianza y los caracteres con más peso resultaron ser el ancho de los folíolos secundarios y la longitud de la hoja. El componente tres aportó 7 % a la varianza, el ancho de la hoja y la longitud del peciolulo resultaron los caracteres determinantes (Cuadro 4).

Los resultados anteriores indican que los aportes de los caracteres a los componentes principales para cada sitio con mayor peso (ensayos 1 y 2, su análisis conjunto y el banco clonal), a partir de los tres primeros componentes, son la rectitud del fuste, la longitud de la hoja y el ancho de los folíolos secundarios; por lo que existe estabilidad en los caracteres de estos componentes entre los sitios. También coincide la relación positiva entre la rectitud del fuste y el diámetro, así como entre la longitud de la hoja y el ancho de los folíolos secundarios, de acuerdo con el diagrama *Biplot* (Figura 1).





(a) ensayo clonal en Santa Genoveva, Campeche; (b) ensayo clonal en Isla, Veracruz; (c) banco clonal en el Palmar, Veracruz de acuerdo con los dos primeros componentes principales.

Figura 1. Diagrama de dispersión de los 90 clones de *Cedrela odorata* L.

Otros estudios también han demostrado la importancia de las variables cuantitativas de la hoja, como la longitud, el ancho y el área (Said *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2012; Toili *et al.*, 2016;). Sin embargo, los resultados obtenidos difieren con lo registrado por Chimello *et al.* (2017), quienes describieron que las variables con mayor variación fueron la forma de la hoja, la forma del ápice de la hoja y la presencia o la ausencia del peciolo en *Tectona grandis* L.

Análisis de agrupamiento

Los clones que integran cada grupo no presentan características morfológicas similares o distintivas para un clon en particular ni son de las mismas procedencias, pero sí tienen similitudes entre grupos, en características de crecimiento y existe una relación positiva entre los árboles con buen desempeño en crecimiento y rectitud (Cuadro 5).

Cuadro 5. Clones que integran los grupos formados por el dendrograma por similitud para dos ensayos clonales, su análisis conjunto y un banco clonal de *Cedrela odorata* L.

Ensayo 1	Ensayo 2	Análisis conjunto	Banco clonal
1, 30, 42, 49, 50, 55, 58, 60, 61, 64, 68, 89, 108, 120, 122 (Grupo 1)	1, 2, 6, 8, 19, 45, 47, 49, 50, 55, 60, 64, 67, 68, 69, 70, 80, 87, 90, 101, 107, 108, 122 (Grupo 1)	1, 2, 8, 19, 30, 45, 47, 49, 50, 55, 58, 60, 61, 64, 68, 70, 122 (Grupo 1)	55, 57, 60, 63, 79, 82, 86, 94, 111, 116, 122 (Grupo 4)
2, 5, 8, 10, 13, 17, 19, 23, 24, 27, 47, 54, 62, 70, 72, 79, 82, 90, 102, 117 (Grupo 2)	5, 41, 42, 44, 52, 54, 85, 89, 95, 102, 104, 110 (Grupo 2)	5, 10, 27, 41, 42, 43, 51, 52, 54, 66, 69, 72, 74, 76, 79, 80, 89, 90, 102, 104, 107, 108, 120 (Grupo 2)	1, 2, 5, 8, 13, 19, 23, 44, 45, 46, 47, 52, 56, 58, 62, 64, 74, 93, 104 (Grupo 1)
3, 51, 56, 65, 69, 96, 104, 107, 110, 112, 113, 121 (Grupo 5)	3, 7, 27, 56, 57, 82, 83, 113 (Grupo 3)	3, 7, 17, 56, 105, 106, 113 (Grupo 3)	3, 6, 41, 49, 76, 89, 95, 101, 106, 108, 117 (Grupo 2)
6, 16, 46, 52, 59, 101, 115 (Grupo 4)	4, 13, 16, 23, 24, 30, 59, 61, 62, 115 (Grupo 5)	6, 13, 16, 24, 46, 53, 62, 82, 101, 115 (Grupo 7)	50, 66, 67, 68, 96, 107, 110, 115, 121 (Grupo 7)
57, 83 (Grupo 8)	73, 114 (Grupo 12)	57, 73, 83, 114 (Grupo 5)	
39, 44, 73, 80, 86, 97, 103, 105, 116 (Grupo 6)	76, 93, 97, 99, 103, 114, 116, 117 (Grupo 13)	86, 93, 97, 103, 116 (Grupo 12)	43, 51, 61, 69, 70, 72, 83, 85, 87, 97, 103, 114, 120 (Grupo 3)
4, 53, 76 (Grupo 3)	53 (Grupo 7)	4, 53, 59 (Grupo 6)	53 (Grupo 10)
41, 43, 45, 48, 63, 66, 71, 74, 93, 100, 118 (Grupo 9)	10, 17, 39, 43, 51, 58, 66, 72, 74, 79, 105, 106, 118, 120, 121 (Grupo 4)	39, 44, 71, 85, 99, 110, 111, 117, 121 (Grupo 4)	10, 48, 54, 65, 71, 98, 100, 113 (Grupo 6)
7, 85, 99, 106, 111, 114 (Grupo 7)	65, 94, 98, 111, 112 (Grupo 9)	64, 112, 118 (Grupo 10)	4, 7, 17, 73, 90, 102, 105, 118 (Grupo 8)
98 (Grupo 12)	86, 96 (Grupo 10)	98 (Grupo 13)	99 (Grupo 12)
94 (Grupo 10)	71 (Grupo 11)	94, 96 (Grupo 11)	112 (Grupo 5)
67, 87, 95 (Grupo 11)	48, 63, 100 (Grupo 8)	48, 95, 100 (Grupo 8)	59 (Grupo 9)
	46 (Grupo 6)	63, 67, 87 (Grupo 9)	42 (Grupo 11)

En el ensayo 1, el grupo 11 compuesto por tres clones mostró valores promedio en volumen de 170 dm³ y rectitud del fuste de 86°; en este grupo se ubican dos de los

18 clones con mayor volumen y mayor rectitud (67 y 95). El grupo 1 fue el segundo con mayor desempeño promedio en volumen, está compuesto por 15 clones y se caracterizó por tener clones de volumen promedio de 128 dm³ y rectitud de 85°; el grupo incluye a los clones 1, 60, 61, 64, 68, 89 y 108, los que forman parte de los 18 con mayor volumen promedio en el sitio.

El grupo 12 formado solo por el clon 98 registró el volumen promedio más bajo (70 dm³) y el menor valor de rectitud del fuste (78°); además es uno de los clones caracterizado por su desempeño más reducido. Otros grupos con valor promedio bajo de volumen y rectitud fueron el grupo 8, con volumen promedio de 82 dm³ y rectitud de 76°; en el cual se reúnen los clones 57 y 83; el primero de ellos (57) es uno de los de menor desempeño promedio en volumen. El grupo 6 que tuvo un valor promedio de volumen de 89 dm³ y un valor de rectitud de 80°, tiene nueve clones y ocho de ellos se ubican entre los valores más bajos de la jerarquización de volumen del sitio (39, 73, 80, 86, 97, 103, 105, 116) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Valores promedio de caracteres morfológicos discriminantes de los grupos formados por los dendrogramas por similitud de dos ensayos y un banco clonal de *Cedrela odorata* L.



Sitio	Grupo	DIAM	ALT	VOL	REC	LHOJA	AHOJA	LPU	AFS
Ensayo 1	1	17.0	8.9	127.9	85.3	36.7	17.0	8.9	31.8
	2	16.4	8.5	116.2	85.2	33.9	15.9	8.5	30.7
	3	16.6	8.9	117.7	87.0	31.2	15.3	6.9	28.3
	4	15.2	8.3	101.2	84.4	32.0	15.2	7.5	28.3
	5	15.3	8.2	97.4	82.3	35.5	16.5	8.9	33.2
	6	14.8	7.9	88.7	79.5	35.5	16.3	7.2	32.0
	7	14.7	7.6	83.9	81.6	32.5	16.1	6.9	30.5
	8	14.2	7.6	82.1	75.8	34.7	16.0	9.6	30.2
	9	16.2	8.6	113.5	82.9	38.6	17.9	8.7	33.9
	10	14.4	8.6	85.4	79.9	40.9	18.6	10.3	34.5
	11	19.1	9.9	170.3	86.1	40.3	18.2	8.8	34.6
	12	12.9	8.3	70.2	77.7	44.6	19.5	7.6	41.9
Ensayo 2	1	12.0	6.7	49.1	83.0	32.3	17.1	7.8	30.1
	2	11.0	6.3	39.7	80.0	32.1	17.6	8.0	32.6
	3	10.6	6.0	35.8	77.6	28.4	15.9	6.5	28.9
	4	10.5	6.1	36.4	79.6	30.0	16.5	7.4	29.8
	5	10.8	6.4	39.7	83.8	27.8	15.5	6.4	27.1
	6	13.3	6.8	57.2	86.0	31.6	16.3	9.0	25.8
	7	9.9	6.0	29.5	83.3	24.9	15.2	4.8	22.9
	8	12.0	6.8	49.1	83.9	34.4	19.1	8.9	36.9
	9	10.1	6.1	33.5	78.8	33.1	18.1	8.7	37.1
	10	11.4	6.3	41.3	76.4	36.0	18.4	9.5	38.1
	11	10.2	5.8	30.4	71.4	29.3	16.6	7.4	27.7
	12	9.9	5.4	27.4	71.5	31.6	18.1	8.0	31.3
	13	10.0	5.7	30.3	74.4	32.0	17.7	7.2	33.1
Banco clonal	1	-	-	-	-	38.3	17.8	5.2	29.3
	2	-	-	-	-	33.3	17.9	5.5	30.2
	3	-	-	-	-	32.7	18.6	5.8	33.4
	4	-	-	-	-	35.7	19.8	5.9	33.3
	5	-	-	-	-	30.1	18.2	6.4	37.4
	6	-	-	-	-	37.5	19.8	5.3	37.9
	7	-	-	-	-	40.0	19.6	6.9	34.3
	8	-	-	-	-	29.5	17.0	4.3	27.7
	9	-	-	-	-	33.3	16.9	4.3	25.7
	10	-	-	-	-	29.5	16.1	2.7	23.2
	11	-	-	-	-	45.8	19.7	7.6	33.2
	12	-	-	-	-	19.6	12.6	1.5	22.9

DIAM = Diámetro (cm); ALT = Altura (m); VOL = Volumen (dm³); REC = Rectitud (grados); LH = Largo de la hoja (cm); LPU = Longitud del peciolulo (mm);
AFS = Ancho del foliolo secundario (mm).

En el ensayo 2, el grupo 6 presentó mayor volumen (57 dm³) integrado por un solo clon (46), y se identifica entre los 18 clones con mayor volumen y con valor de rectitud del fuste de 84°. El segundo grupo de mejor desempeño fue el 8 formado por tres clones, en el cual se incluyen dos de los clones (48 y 63) con mayor volumen (promedio 49 dm³) y rectitud del fuste de 84°. El grupo 12 registró el volumen más bajo (27 dm³) y rectitud del fuste menor (72°), formado por dos clones. Otro grupo con volumen bajo fue el 7 (30 dm³), pero con un mayor valor de rectitud del fuste (83°) y está integrado por un solo clon (Cuadro 6).

En el banco clonal, el grupo 7 formado por nueve clones tuvo mayor longitud de hoja (40 cm), pero el de mayor valor del ancho de los foliolos secundarios fue el grupo 6 (38 mm). El grupo 12 incluyó un solo clon, con longitud de hoja de 19.6 cm y ancho de foliolos secundarios de 23 mm (Cuadro 6).

No se observó agrupamiento entre clones de la misma procedencia. Los resultados coinciden con la falta de agrupamiento de nueve procedencias de *Tectona grandis* L. en el sur de la India, y sin relación con variables morfológicas en un análisis multivariado (Sreekanth *et al.*, 2014).

Se han determinado agrupamientos entre individuos de la misma procedencia en materiales silvestres y cultivados o accesiones con características específicas (Bayramzadeh *et al.*, 2012; Said *et al.*, 2013; Baldanzi *et al.*, 2015; Toili *et al.*, 2016; Anushka *et al.*, 2017; Lo Bianco y Mirabella, 2018). Kjær (1996) consignó la agrupación de *T. grandis* entre las procedencias de acuerdo al origen geográfico de las familias. Asimismo, se ha confirmado la correlación entre el agrupamiento y el origen geográfico de seis poblaciones con individuos muestreados en poblaciones naturales de *Adansonia digitata* L., cuyas diferencias morfométricas se correlacionan

con factores ambientales (Assogbadjo *et al.*, 2006). En estos estudios, el análisis se hizo en un solo sitio, sin considerar el efecto de la interacción genotipo x ambiente.

La variación morfológica está influida por la genética y el ambiente que actúa de manera específica sobre cada genotipo, lo que da lugar a la adaptación y, con ello, a la plasticidad fenotípica (Galván *et al.*, 2018). El diámetro, la altura y la rectitud del fuste, así como el ancho y largo de la hoja están bajo control genético, pero también por el ambiente local; por lo que, el efecto del sitio y su interacción con el genotipo podrían explicar la falta de agrupación entre clones o sus procedencias (Hovenden y Vander, 2003).

Cedrela odorata presenta valores altos de diferenciación genética entre poblaciones, así como variabilidad morfológica alta debido a que su distribución natural ambiental es diversa (Navarro *et al.*, 2004). Por otro lado, la fragmentación y la reducción de las poblaciones naturales a causa de la sobreexplotación y la selección disgénica que presenta la especie pueden ser las razones por las cuales se verifica la alta diferenciación entre poblaciones, cuestión que impide el flujo genético entre poblaciones (De la Torre, 2013). Asimismo, la especie es capaz de desarrollarse en ambientes con diferentes condiciones ambientales (Pennington y Sarukhán, 2005), lo que produce adaptación diferencial de los clones a distintos ambientes. Lo anterior explicaría, en parte, la falta de consistencia en los caracteres morfológicos dentro de los clones probados en el presente estudio.

Una de las posibles causas por las que rametos del mismo clon presentaron diferencias en sus características morfológicas es que el portainjerto afecta el desarrollo de los rametos, ya que cada una de estas plantas es un genotipo diferente, lo que genera una respuesta distinta en cada clon (Schmutz y Lüdders, 1999). El portainjerto ejerce influencia sobre la adaptabilidad, el vigor y el crecimiento en cada rameto (Hernández *et al.*, 2014), ya que se establece una interacción entre dos individuos genéticamente distintos, que incluso pueden ser incompatibles (Forner, 1984); lo que ocasiona heterogeneidad entre rametos del mismo clon (Darrouy *et al.*, 2010). Por otro lado, a la fecha no se tienen estudios en

los que se estime la correlación edad-edad, por lo que se desconoce si en alguna otra etapa de los individuos evaluados es posible identificar repetibilidad en los caracteres evaluados. También, existe el efecto del cultivo (efecto C), el cual hace que miembros de un grupo de parientes, como un clon o una familia, presenten diferencias entre ellos. Los efectos C resultan por la ubicación del corte de la vareta en el orteto o la situación ambiental del momento cuando se injertó (Forner *et al.*, 1984).

Por ejemplo, los análisis de la caracterización morfológica no fueron útiles para obtener variables importantes en la definición de descriptores de tejocote (*Crataegus* spp.) en un banco de germoplasma, cuyo material genético se obtuvo de procedencias del Estado de México, Puebla y Chiapas, y se produjeron por injertación (López-Santiago *et al.*, 2008).

La reducción de variables con el Análisis de Componentes Principales fue conveniente, ya que las dos primeras componentes permiten comprender 59 y 72 % de la variación en cada uno de los sitios evaluados. Las características cuantitativas fueron de mayor relevancia que las cualitativas para el Análisis de Componentes Principales, al aportar mayor peso en los primeros dos componentes.

A pesar de la estabilidad en el peso que proporcionan a los componentes principales, los caracteres morfológicos evaluados no presentaron repetibilidad entre los clones. Debido a esta falta de repetición de los valores de los caracteres evaluados de los rametos de un mismo clon, no fue posible distinguir por medio de esos descriptores morfológicos un clon en particular, ni los clones superiores que son los de mayor interés para su distinción. Por lo tanto, no es suficientemente recomendable usar estos caracteres como descriptores para solicitar el registro de la propiedad intelectual de tales clones.

Cabe mencionar que en estudios futuros será necesario llevar a cabo las pruebas de distinción, homogeneidad y estabilidad (DHE) que solicita el SNICS (Sagarpa, 1996), únicamente con los clones sobresalientes que son de interés para el registro

y uso de su germoplasma. Asimismo se requiere continuar con la exploración de otras alternativas, como los marcadores moleculares (SNICS, 2014).

Sin embargo, se debe considerar que los materiales evaluados son silvestres, que han sido seleccionados por su desempeño en otros ensayos, pero no son materiales que estén en un proceso de domesticación avanzado, como ocurre en los cultivos agrícolas, y por tanto, no se tienen fijados caracteres que los distinguan plenamente. Por otro lado, el portainjerto debe ejercer influencia sobre el injerto, debido a que son genotipos diferentes y el rameto es resultado de la interacción entre ambos.

Actualmente, la propagación vegetativa de *C. odorata* se realiza por medio de injertación; pero, para obtener clones genéticamente iguales y mejorar la evaluación de caracteres morfológicos será necesario realizar enraizamiento de estacas; esto hace posible que se tenga un solo material genético por clon. El enraizamiento de estacas de *C. odorata* presenta buenos resultados en experimentos de tamaño pequeño (Sampayo *et al.*, 2019). Sin embargo, de manera operativa no existen trabajos de gran envergadura, pese a la importancia de la especie; por ello, se requiere más investigación al respecto. El presente estudio contribuye a la formación de bases en la caracterización morfológica de *C. odorata* y el registro de clones sobresalientes ante el SNICS, que hasta la fecha no existe en el país.

Conclusiones

El diámetro, la altura, la rectitud del fuste, el largo de la hoja, el ancho de la hoja y el ancho de los folíolos secundarios son las variables que mejor caracterizan a los clones de cedro rojo producidos por injertación, ya que aportan mayor peso a los componentes principales. No se confirma repetibilidad en el tamaño y la forma de los caracteres morfológicos evaluados, ya que no presentan consistencia entre rametos del mismo clon, ni se distinguen claramente de otros clones que crecen en el mismo sitio o entre diferentes sitios de plantación. Por lo tanto, no se identifican

clones en lo particular mediante los caracteres morfológicos evaluados, aunque sí se reconoce la formación de grupos de clones con similitudes morfológicas o de crecimiento y algunos mantuvieron su misma agrupación entre sitios, a pesar de los efectos de interacción con el ambiente. Por lo tanto, con estos resultados no es posible someterlos al registro de su propiedad intelectual ante el SNICS.

Se obtuvo escasa agrupación de los genotipos evaluados con las procedencias geográficas de origen de los clones. La formación de clones por medio de injertos no parece favorecer la existencia de características morfológicas que sean repetibles entre rametos y clones que se desarrollan en el mismo o en diferentes sitios.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento, a través de una beca de los estudios de Maestría en Ciencias de la primera autora.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Susana Olvera Moreno: levantamiento y análisis de datos, elaboración del manuscrito; Javier López Upton: análisis de datos y revisión del manuscrito; Vicente Sánchez Monsalvo: establecimiento de los experimentos, análisis de datos y revisión del manuscrito; Marcos Jiménez Casas: corrección de estilo y revisión del manuscrito.



Referencias

- Anushka, P. V. A., K. K. Liyanage, S. P. Withanage and B. W. Baddewithana. 2017. Analysis of phenotypic diversity of selected hevea accessions from irldb 1981 germplasm collection conserved in Sri Lanka. *International Proceedings of IRC 2017* 1(1): 203-212. Doi:10.22302/ppk.procirc2017.v1i1.452.
- Assogbadjo, A. E., T. Kyndt, B. Sinsin, G. Gheysen and P. van Damme. 2006. Patterns of genetic and morphometric diversity in baobab (*Adansonia digitata*) populations across different climatic zones of Benin (West Africa). *Annals of Botany* 97(5): 819-830. Doi:10.1093/aob/mcl043.
- Baldanzi, M., M. L. Myczkowski, M. Salvini and M. Macchia. 2015. Description of 90 inbred lines of castor plant (*Ricinus communis* L.). *Euphytica* 202(1): 13-33. Doi:10.1007/s10681-014-1196-z.
- Bayramzadeh, V., P. Attarod, M. T. Ahmadi, M. Ghadiri, R. Akbari, T. Safarkar and A. Shirvany. 2012. Variation of leaf morphological traits in natural populations of *Fagus orientalis* Lipsky in the Caspian forests of Northern Iran. *Annals of Forest Research* 55(1): 33-42. Doi:10.15287/afr.2012.73.
- Bennadji, Z. 2003. Legislación sobre recursos genéticos forestales en Latinoamérica. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 12(3): 135-143. https://www.researchgate.net/publication/28065690_Legislacion_sobre_recursos_geneticos_forestales_en_Latinoamerica
(17 de enero de 2020).
- Bonga, J. M. 1982. Vegetative propagation in relation to juvenility, maturity, and rejuvenation. *In: Bonga, J. M. and Durzan, D. J. (eds.). Tissue culture in forestry. Forestry Sciences* (5). Springer. Dordrecht, The Netherlands. pp. 387-412. Doi: 10.1007/978-94-017-3538-4_13.

Chimello, A. M., J. G. Jesus, P. E. Teodoro, A. A. B. Rossil, K. L. Araújol, T. N. Marostega, L. G. Neves and M. A. A. Barelli. 2017. Morphological descriptors and ISSR molecular markers in the evaluation of genetic variability of *Tectona grandis* genotypes. *Genetics and Molecular Research* 16(2): 1–16. Doi: 10.4238/gmr16029665.

Crossa, J. and J. Franco. 2004. Statistical methods for classifying genotypes. *Euphytica* 137: 19-37. Doi:10.1023/B:EUPH.0000040500.86428.e8.

Darrouy P., N., M. Castro V., R. Cautín M., L. Kort S. y R. Bozzolo A. 2010. Efecto de la posición de la yema y de la poda en plantas de aguacate destinadas a la clonación. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(3): 249-256. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802010000300009 (8 de enero de 2021).

De la Torre, A. 2013. Estructura poblacional, diversidad y flujo genético en poblaciones ribereñas de cedro (*Cedrela odorata* L.). *In: Antonio T., J. G. (ed.). Reporte Manu. San Diego Zoo Global Peru, SERNANP. Lima, Perú. pp. 80-107.*

Fornier V., J. B. 1984. Interacciones entre el injerto y el patrón en los agrios. Hoja divulgativa 9/84 HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentacion. Moncada, Valencia, España. 19 p.

Franco, T. L. y R. Hidalgo (eds.). 2003. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Boletín Técnico No. 8. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI). Cali, Colombia. 89 p.

Galván H., D. M., M. A. Macedo V., F. F. Núñez de C.G., A. Sánchez G. and P. Octavio A. 2018. Morphological variation of *Cedrela odorata* (Meliaceae): contrast between natural and managed populations. *Acta Botanica Mexicana* 125: 157-171. Doi: 10.21829/abm125.2018.1330.

Hernández G., Z., J. Sahagún C., P. Espinosa R., M. T. Colinas L. y J. E. Rodríguez P. 2014. Efecto del patrón en el rendimiento y tamaño de fruto en pepino injertado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37(1): 41-47. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802014000100007 (20 de octubre de 2020).

Hernández-Zaragoza, P., J. R. Valdez-Lazalde, A. Aldrete y T. Martínez-Trinidad. 2019. Evaluación multicriterio y multiobjetivo para optimizar la selección de áreas para establecer plantaciones forestales. *Madera y Bosques* 25:(2):e2521819. Doi: 10.21829/myb.2019.2521819.

Hovenden, M. J. and J. K. Vander S. 2003. Nature vs nurture in the leaf morphology of Southern beech, *Nothofagus cunninghamii* (Nothofagaceae). *New Phytologist* 161(2): 585-594. Doi: 10.1046/j.1469-8137.2003.00931.x.

Kjær, E. D., H. R. Siegismund and V. Suangtho. 1996. A multivariate study on genetic variation in teak (*Tectona grandis* (L.)). *Silvae Genetica* 45(5-6): 361-368. https://www.researchgate.net/publication/28065690_Legislacion_sobre_recursos_geneticos_forestales_en_Latinoamerica (20 de marzo de 2021).

Lo Bianco, R. and F. Mirabella. 2018. Use of leaf and fruit morphometric analysis to identify and classify white mulberry (*Morus alba* L.) genotypes. *Agriculture* 8(10): 157. Doi: 10.3390/agriculture8100157.

López-Santiago, J., R. Nieto-Ángel, A. F. Barrientos-Priego, E. Rodríguez-Pérez, M. T. Colinas-Leon, M. W. Borys y F. González-Andrés. 2008. Selección de variables morfológicas para la caracterización del tejocote (*Crataegus spp.*). *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 14(2): 97-111. <https://www.redalyc.org/pdf/609/60911556001.pdf> (20 de marzo de 2021).

Méndez E., C. y V. Sánchez M. 2012. Descriptores morfológicos de *Cedrela odorata* L. para México. Folleto Técnico No. 7. Cenid-Comef, INIFAP. México, D.F., México. 52 p.

Navarro, C., F. Montagnini and G. Hernández. 2004. Genetic variability of *Cedrela odorata* Linnaeus: results of early performance of provenances and families from Mesoamerica grown in association with coffee. *Forest, Ecology and Management* 92(2-3): 217-227. Doi: 10.1016/j.foreco.2004.01.037.

- Núñez-Colín, C. A. y D. Escobedo-López. 2011. Uso correcto del análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal. *Agronomía Mesoamericana* 22(2): 415–427. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-13212011000200018&script=sci_abstract&tlng=es (6 de marzo de 2021).
- Núñez-Colín, C. A. y D. Escobedo-López. 2014. Caracterización de germoplasma vegetal: la piedra angular en el estudio de los recursos fitogenéticos. *Acta Agrícola y Pecuaria* 1(1): 1–6. <http://aap.uaem.mx/index.php/aap/article/view/1> (4 de febrero de 2021).
- Pennington, T. D. y J. Sarukhán K. 2005. Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies. 3ª edición. Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica. México, D. F., México. 523 p.
- Ramírez-García, C., G. Vera-Castillo, F. Carrillo-Anzures and O. S. Magaña-Torres. 2008. El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) como alternativa de reconversión de terrenos agrícolas en el sur de Tamaulipas. *Agricultura Técnica en México* 34(2): 243-250. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172008000200011 (15 de febrero de 2021).
- Said A., A., A. Oukabli, F. Gaboun, M. H. Simard and C. El Modafar. 2013. Phenotypic biodiversity of an endemic wild pear, *Pyrus mamorensis* Trab., in North-Western Morocco using morphological descriptors. *Genetic Resources and Crop Evolution* 60(3): 927-938. Doi: 10.1007/s10722-012-9889-4.
- Sampayo M., S., J. López U., V. Sánchez M. and M. Jiménez C. 2019. Genetic parameters of growth, and resistance to the shoot borer, in young clones of the tree *Cedrela odorata* (Meliaceae). *Revista de Biología Tropical* 67(3): 554–561. Doi: 10.15517/RBT.V67I3.32053.
- Sánchez M., V. y C. Velázquez E. 1998. Evaluación de dos insecticidas biológicos en el control de *Hypsiphylia grandella* (Zeller), barrenador de brotes de las Meliaceas. *Ciencia Forestal en México* 23(83): 33-39. <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/961> (12 de marzo de 2021).

Sánchez M., V. y X. García C. 2009. Ecuaciones de volumen para plantaciones jóvenes de *Cedrela odorata* L. (Cedro rojo) en Tezonapa Veracruz. *In: Cueto, W., Prieto R., J. Á. y L. V. Macías G. (comps.). Memoria de la IVª. Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. Saltillo, Coah., México. p. 363.*

Sánchez M., V., J. A. Honorato S. y J. López U. 2019. Selección de clones de *Cedrela odorata* L. en el Golfo y Sureste de México. *In: Martínez H., J. y C. Hernández H. (comps.). Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Alimentaria. INIFAP. Huimanguillo, Tabs., México. Núm. 1. pp. 1003-1012.*

Santos, R. C., J. L. Pires and R. X. Correa. 2012. Morphological characterization of leaf, flower, fruit and seed traits among Brazilian *Theobroma* L. species. *Genetic Resources and Crop Evolution* 59(3): 327-345. Doi: 10.1007/s10722-011-9685-6.

Statistical Analysis System Institute (SAS). 2002. SAS/STAT Computer Software. Release 9.00. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. n/p.

Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). 2014. <https://www.gob.mx/snics/prensa/marcadores-moleculares-para-la-identificacion-de-variedades-vegetales> (20 de septiembre de 2020).

Schmutz, U. and P. Lüdders. 1999. Effect of NaCl salinity on growth, leaf gas exchange, and mineral composition of grafted mango rootstocks (var. '13-1' and 'Turpentine'). *Gartenbauwiss* 64(2): 60-64. <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=296160> (18 diciembre 2020).

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 1996. Ley Federal de Variedades Vegetales. 25 de octubre. Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Gobernación México, D. F., México. <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/ley-federal-de-variedades-vegetales-y-su-reglamento> (20 de agosto de 2021).

Sreekanth, P. M., M. Balasundaran and P. A. Nazeem. 2014. Genetic and morphological variation in natural teak (*Tectona grandis*) populations of the Western

Ghats in Southern India. *Journal of Forestry Research* 25(4): 805-812. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11676-014-0528-0>.

Toili, M. E. M., F. K. Rimberia, A. B. Nyende and D. Sila. 2016. Morphological diversity of mango germplasm from the Upper Athi River region of eastern Kenya: An analysis based on non-fruit descriptors. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development* 16(2): 10913-10935. Doi: 10.18697/ajfand.74.13755.

White, T. L., T. W. Adams and D. B. Neale. 2007. *Forest Genetics*. CAB International, Oxford, England. 682 p.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.