



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

TESIS DOCTORAL

**Evaluación genética y producción de planta
para el manejo agroforestal de *Dalbergia palo-escrito*
Rzed. & Guridi-Gómez en Hidalgo, México**

Para obtener el grado de
Doctor en Ciencias Agropecuarias

PRESENTA

M. en C. Cuauhtémoc Alain Rubio Tobón

Director

Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

Codirector

Dr. Alfonso Suárez Islas

Tulancingo de Bravo, Hgo., México., enero de 2025



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

TESIS DOCTORAL

**Evaluación genética y producción de planta
para el manejo agroforestal de *Dalbergia palo-escrito*
Rzed. & Guridi-Gómez en Hidalgo, México**

Para obtener el grado de
Doctor en Ciencias Agropecuarias

PRESENTA

M. en C. Cuauhtémoc Alain Rubio Tobón

Director

Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

Codirector

Dr. Alfonso Suárez Islas

Asesores

Dr. Juan Capulín Grande

Dr. Pablo Octavio Aguilar

Tulancingo de Bravo, Hgo., México., enero de 2025

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
Directora de Administración Escolar
Presente.


El Comité Tutorial de la **TESIS** del programa educativo de posgrado titulado **"Evaluación genética y producción de planta para el manejo agroforestal de *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez en Hidalgo, México"**, realizado por el/la sustentante **Cuauhtémoc Alain Rubio Tobón** con **número de cuenta: 222400** perteneciente al programa de **Doctorado en Ciencias Agropecuarias**, una vez que ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 110 del Reglamento de Estudios de Posgrado, tiene a bien extender la presente:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

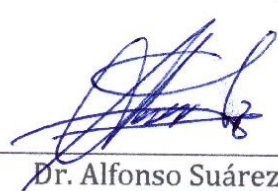
Por lo que el/la sustentante deberá cumplir los requisitos del Reglamento de Estudios de Posgrado y con lo establecido en el proceso de grado vigente.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"
Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 29 de noviembre de 2024


El Comité Tutorial




Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna
Director



Dr. Alfonso Suárez Islas
Codirector



Dr. Juan Capulín Grande



Dr. Pablo Octavio Aguilar

Comienza haciendo lo necesario; luego haz lo posible y de repente estarás haciendo lo imposible.

San Francisco de Asís

DEDICATORIA

“Caminando en línea recta no puede uno llegar muy lejos”

El Principito de Antoine de Saint-Exupéry



Quisiera dedicar esta tesis a mi familia entera, por siempre estar para mí en todo momento.

A mis hijos quienes han sido mi mayor logro y mi mayor responsabilidad, espero que esta tesis les inspire a seguir adelante y a alcanzar todas sus metas.

A mi pareja, por su amor, su paciencia y su comprensión.

A quienes me inspiraron y a quienes me ayudaron a llegar donde he llegado.

Infinitas gracias...

AGRADECIMIENTOS



A el **Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología** (CONAHCYT) por la beca otorgada con número de CVU 822117.

A la **Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo**, al **Instituto de Ciencias Agropecuarias** y al **Centro de Investigaciones Biológicas** (UAEH-ICAp-CIB) por el espacio brindado durante mi estancia doctoral.

A mi **comité tutorial de Doctorado** por sus aportaciones para la realización de este proyecto, por lo que externo mis más sinceros agradecimientos al:

- **Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna:** Por su apoyo, experiencia, comprensión y paciencia en la dirigencia de este trabajo. Su confianza en mi capacidad y su ayuda oportuna han sido los pilares de esta investigación que contribuyeron a mi experiencia en el complejo y gratificante camino de la investigación. Gracias por todo.
- **Dr. Alfonso Suárez Islas:** Por sus aportaciones, orientación, experiencia, observaciones y asesorías. Además de su imprescindible conocimiento que aportó en la realización de este proyecto. Su mentoría ha dejado una impresión duradera en mi carrera académica. Gracias por todo.
- **Dr. Juan Capulín Grande:** Por sus observaciones y asesorías que fueron fundamentales en la realización de este proyecto. Su meticulosa atención al detalle y su apoyo enriquecieron enormemente esta investigación. Gracias por todo.
- **Dr. Pablo Octavio Aguilar:** Gracias por la oportunidad y confianza nuevamente brinda en mí para llevar a cabo este proyecto. Debo reconocer su gran dedicación, esmero y tiempo que me dedico durante toda mi formación académica. Por último, agradezco sinceramente sus perspicaces comentarios y su incansable búsqueda de la excelencia, fueron un faro de luz en el proceso de investigación. Ha sido un honor y un privilegio aprender bajo su tutela. Gracias por todo.

A la **Dra. Dulce María Galván Hernández:** Por el espacio brindado en el laboratorio de Micología Aplicada.

Al **M. en. C. Mario Adolfo García Montes:** Por su imprescindible apoyo en el laboratorio de genética.

A la **Dra. Griselda Nallely Hernández Rico**: Por estar siempre ahí.

A **mis hijos** Zeltzin, Tonantzin y Quinatzin: por ser la razón por la cual me hice más fuerte... pero siguen siendo mi debilidad.

A **mi familia**: Por todo su apoyo incondicional durante este proceso. Su amor, apoyo y aliento han sido el motor que impulsó cada página de esta tesis.

Al **Ingeniero Industrial Edgar Padilla Hernández** y su esposa **Magali Hernández Ríos**: Por su grata amistad y apoyo incondicional. Muchas gracias.

¡No tengo más palabras para expresar mi gratitud a todos por su inmenso apoyo...!

Infinitas gracias

RESUMEN GENERAL

Dalbergia palo-escrito es un árbol considerado como de madera preciosa, la cual tiene un alto valor en el mercado y es empleada en laudería y ebanistería, por ello tiene una alta demanda y su aprovechamiento sin control pone en riesgo sus poblaciones naturales. Por otro lado, su adaptabilidad a zonas perturbadas y vegetación secundaria da indicios de ser susceptible al manejo, principalmente bajo sistemas agroforestales.

Por otro lado, su adaptabilidad a zonas perturbadas y vegetación secundaria da indicios de ser susceptible al manejo, principalmente bajo sistemas agroforestales. Para aportar bases científicas para la gestión sostenible de esta especie, en este trabajo se realizó un análisis de diversidad y estructura genética en una población de su área de distribución natural, empleando marcadores moleculares, para identificar categorías y caracteres susceptibles de manejo.

Además, se realizaron ensayos de propagación asexual utilizando esquejes, bajo el efecto del ácido indol-3-butírico (AIB), mediante el ANOVA factorial y un análisis de factores discriminantes generalizado (AFDG), para determinar las mejores condiciones de enraizamiento para su propagación en etapa de invernadero. Por último, se planteó el análisis de atributos dasométricos de palo escrito con relación al índice de perturbación (actividad humana, ganadera y deterioro del hábitat) en poblaciones naturales, mediante distancias Euclidianas y coordenadas principales, para explicar su adaptación a hábitats degradados y su potencial de aprovechamiento en los sitios donde crece esta especie.

Los resultados mostraron que la especie tiene niveles bajos de diversidad genética, sin embargo, las categorías analizadas, establecen que la progenie de árboles plus presentó la mayor diversidad genética. Esta categoría es potencialmente susceptible al manejo para la domesticación directa. Los análisis de propagación asexual expusieron que esquejes basales tienen mejores valores en crecimiento, particularmente en tamaño de la raíz en un periodo menor a 150 días bajo tratamiento. Por último, el análisis de perturbación demostró, que una perturbación intermedia favorece la densidad poblacional y la conformación morfológica de los árboles con fines de producción de madera.

En conclusión, la especie tiene el potencial para establecer estrategias de aprovechamiento y conservación tanto *in-situ* como *ex-situ*.

ABSTRACT

Dalbergia palo-escrito is a tree considered to be a precious wood, which has a high market value and is used in lute making and cabinet making, which is why it is in high demand and its uncontrolled exploitation puts its natural populations at risk. On the other hand, its adaptability to disturbed areas and secondary vegetation gives indications of being susceptible to management, mainly under agroforestry systems.

On the other hand, its adaptability to disturbed areas and secondary vegetation indicates that it is susceptible to management, mainly under agroforestry systems. In order to provide scientific bases for the sustainable management of this species, this work carried out an analysis of diversity and genetic structure in a population of its natural distribution area, using molecular markers, to identify categories and traits susceptible to management.

In addition, asexual propagation tests were carried out using cuttings, under the effect of indole-3-butyric acid (IBA), using factorial ANOVA and a generalized discriminant factor analysis (GDFA), to determine the best rooting conditions for its propagation in the greenhouse stage. Finally, the analysis of palo escrito's dasometric attributes in relation to the disturbance index (human activity, livestock and habitat deterioration) in natural populations was proposed, using Euclidean distances and principal coordinates, to explain its adaptation to degraded habitats and its potential for use in the sites where this species grows.

The results showed that the species has low levels of genetic diversity, however, the categories analyzed establish that the progeny of plus trees presented the greatest genetic diversity. This category is potentially susceptible to management for direct domestication. The asexual propagation analyses showed that basal cuttings presented the best growth values, particularly in root size in a period of less than 150 days under treatment. Finally, the disturbance analysis demonstrated that an intermediate disturbance favors population density and the morphological conformation of the trees for wood production purposes.

In conclusion, the species has the potential to establish strategies for use and conservation both *in-situ* and *ex-situ*.

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN GENERAL	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE	1
ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
CAPÍTULO 1: Introducción general	8
1.1 RESUMEN.....	8
1.2 INTRODUCCIÓN.....	9
1.3 ANTECEDENTES.....	11
1.3.1 Las dalbergias (Fabaceae).....	11
1.3.2 Propagación sexual y asexual en dalbergias.....	24
1.3.3. Recursos genéticos forestales.....	27
1.3.4 Recursos genéticos y conservación en dalbergias.....	28
1.3.5 Mejoramiento genético agroforestal en la domesticación.....	32
1.3.6 Producción de planta de calidad forestal en México.....	34
1.3.7 Sistemas agroforestales con dalbergias.....	35
1.3.8 Especie de estudio.....	36
1.4 HIPÓTESIS.....	46
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	47
1.6 OBJETIVO GENERAL.....	48
1.7 OBJETIVOS PARTICULARES.....	48
1.8 MATERIAL Y MÉTODOS.....	49
1.9 LITERATURA CITADA.....	52
CAPÍTULO 2: <i>Dalbergia palo-escrito</i>: Opportunities for their exploitation, conservation, and genetic improvement	72
2.1 ABSTRACT.....	72
2.1 RESUMEN.....	73
2.2 INTRODUCTION.....	74
2.3 MATERIALS AND METHODS.....	76
2.3.1 Study area.....	76
2.3.2 Collection of biological material.....	77
2.3.3 DNA extraction.....	78
2.3.4 DNA amplification.....	79
2.3.5 Statistical analysis.....	80

2.4 RESULTS.....	81
2.5 DISCUSSION	83
2.6 ACKNOWLEDGMENTS.....	88
2.7 REFERENCES.....	89
CAPÍTULO 3: Estandarización de propagación asexual para <i>Dalbergia palo-escrito</i>.....	96
3.1 RESUMEN.....	96
3.2 INTRODUCCIÓN	97
3.3 MATERIAL Y MÉTODOS	98
3.3.1 Área de estudio.....	98
3.3.2 Plantación	99
3.3.3 Análisis de datos.....	99
3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	101
3.4.1 Supervivencia	101
3.4.2 Crecimiento	101
3.4.3 Propagación	104
3.5 CONCLUSIÓN	107
3.6 AGRADECIMIENTOS	108
3.7 LITERATURA CITADA.....	109
CAPÍTULO 4: Influencia de la perturbación en atributos morfológicos y estructura poblacional de palo escrito (<i>Dalbergia palo-escrito</i> Rzed. & Guridi-Gómez) en Hidalgo	111
4.1 RESUMEN.....	111
4.1 ABSTRACT	112
4.3 MATERIAL Y MÉTODOS.....	115
4.3.1 Área de estudio.....	115
4.3.2 Muestreo	115
4.3.3 Análisis morfológico	118
4.3.4 Análisis de perturbación.....	119
4.3.5 Análisis de estructura espacial.....	119
4.3.6 Análisis de área basal e Índice de Shannon.....	120
4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	120
4.4.1 Estructura morfológica	120
4.4.2 Análisis de perturbación	122
4.4.3 Análisis de estructura espacial.....	124
<i>Análisis de área basal e Índice de Shannon.....</i>	<i>126</i>
4.5 CONCLUSIÓN.....	127
4.6 AGRADECIMIENTOS	128
4.7 CONFLICTO DE INTERESES.....	128
4.8 CONTRIBUCIÓN POR AUTOR	128
4.9 REFERENCIAS	129
ANEXOS	134

1. Protocolo para extracción de DNA Doyle & Doyle (1987), modificado para plantas con altos contenidos de compuestos fenólicos y metabolitos secundarios (Ajustado para <i>Dalbergia palo-escrito</i>).	134
2. Constancias de cursos, congresos, artículo y estancia	135

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1: Introducción general

- Figura 1. Distribución global de las especies de *Dalbergia* (Modificado de Vaglica, 2014)..... 12**
- Figura 2. Distribución geográfica de las especies mexicanas de *Dalbergia*. Se muestran las localidades tipo de las especies reportadas a la fecha. T: árbol, S: arbusto, L: liana. * Endémica de México. (Modificado de Cervantes-Maldonado et al., 2019)..... 18**
- Figura 3. Representación esquemática de las etapas de un programa de mejoramiento genético para especies forestales (Gálvez-López et al., 2020). 33**
- Figura 4. *Dalbergia palo-escrito* Rzedowski & Guridi-Gómez. A) Rama con flores; B) Rama con frutos; C) Cáliz; D) Pétalos, E) Androceo; F) Antera (Modificado de Rzedowski & Guridi-Gómez, 1988). 39**
- Figura 5. A) Corte transversal del tronco de un individuo joven y B) Corte longitudinal de *Dalbergia palo-escrito* utilizado en la laudería. A) Foto tomada de Rzedowski y Guridi-Gomez, 1988, B) Foto tomada de Suárez-Islas et al., 2020..... 41**
- Figura 6. A) Bosque mesófilo de montaña, hábitat natural de *D. palo-escrito* y B) Plántula afectada por actividad humana y ganadera en Tlahuiltepa, Hidalgo..... 43**
- Figura 7. Comparación morfológica de *D. palo-escrito* (A) y *D. tucurensis* (B). Fotos: CONABIO, Banco de Imágenes, Referencia: EP 020 *Dalbergia palo-escrito* y EP 003 *Dalbergia tucurensis*.45**

CAPÍTULO 2: *Dalbergia palo-escrito*: Opportunities for their exploitation, conservation, and genetic improvement

- Figure 1. Location of the study area in the northern region of Hidalgo, Mexico, for selecting trees (plus and non-plus) and the genetic diversity of *Dalbergia palo-escrito*..... 77**
- Figure 2. Ordination plot of the scores of the discriminant analysis of principal components for *Dalbergia palo-escrito*. EV: eigenvalue, Exp Var: explained variance, TNP: non-plus tree, TP: Plus tree, STNP: seedlings of non-plus tree, STP: seedlings of plus tree. 82**
- Figure 3. Genetic assignment analysis was generated using the STRUCTURE v.5.4 program. Graphic method of the natural logarithm of the probability of assignment of individuals to a given genetic group $\ln P(D)$ proposed by Evanno (2005). K = three genetic groups. TNP: non- plus tree, TP: plus tree, STNP: seedlings of non-plus tree, STP: seedlings of plus tree..... 83**

CAPÍTULO 3: Estandarización de propagación asexual para *Dalbergia palo-escrito*

- Figura 1. Comparación de la supervivencia de los tratamientos mediante el MLG bajo una distribución binomial. 1 = 0 ppm, 2 = 60 ppm, 3 = 1500 ppm, 4 = 5000 ppm, 5 = 10000 ppm de ácido indol-3-butírico..... 101
- Figura 2. Gráfica de dispersión sobre los factores de crecimiento obtenidos para cada tratamiento. 103
- Figura 3. Ordenamiento obtenido por el AFDG. T1: 60 ppm de ácido indol butírico, T2: 600 ppm de ácido indol butírico, T3: 1500 ppm de ácido indol butírico, T4: 60 ppm de ácido indol butírico + XP-amino, T5: 600 ppm de ácido indol butírico + XP amino, T6: 1500 ppm de ácido indol butírico + XP-amino, T7: XP-amino. A: esqueje apical, M: esqueje medio, B: esqueje basal..... 106

CAPÍTULO 4: Influencia de la perturbación en atributos morfológicos y estructura poblacional de palo escrito (*Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez) en Hidalgo

- Figura 1. Ubicación geográfica de poblaciones naturales de *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez en Tlahuiltepa, Hidalgo, México..... 116
- Figura 2. Distribución diamétrica en cuatro poblaciones naturales de *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez en el municipio Tlahuiltepa, Hidalgo, México..... 122
- Figura 3. Distribución espacial de árboles en poblaciones naturales de *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez en el municipio Tlahuiltepa, Hidalgo, México..... 125
- Figura 4. Distribución de área basal de especies arbóreas en cuatro poblaciones naturales de *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez en el municipio Tlahuiltepa, Hidalgo, México.127

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1: Introducción general

Tabla 1. Especies de Dalbergia incluidas en las Listas Rojas y los apéndices de la CITES. A (amenazado), Ap. II (Apéndice II), LC (menor preocupación), P (en peligro), Pr (protección especial), Vu (vulnerable); * (no enlistado). (Modificado de Cervantes-Maldonado et al., 2019).

..... 21

Tabla 2. Tratamientos de germinación de semillas en algunas dalbergias. PSP: pureza de semilla en porcentaje; TS: tamaño semillas; mm: milímetros; L: largo; A: ancho; G; grosor; SKP: semillas por kilogramo promedio; TG: tratamiento de germinación; EP: Emergencia de plántulas al 50% en días; PG: Porcentaje Germinación; T °C: temperatura en centígrados; * No reportado ... 26

Tabla 3. Estudios genéticos sobre la diversidad, estructura genética y rango geográfico de dalbergias. He: heterocigosis esperada; Ho: heterocigosis observada; FST/GST: índice de diferenciación genética entre poblaciones; M: Marcador; N.L: Número de Localidades; EC: Estatus de Conservación. 2-20km²: Restringida; >200 km²: Amplia. Se integran los indicadores de diversidad Promedio ± DE del género..... 31

Tabla 4. Especies de dalbergias bajo sistema agroforestal en America 36

CAPÍTULO 2: *Dalbergia palo-escrito*: Opportunities for their exploitation, conservation, and genetic improvement

Table 1. Variables and descriptors for the morphological characterization and selection of plus trees (TP) and non-plus trees (TNP) of *Dalbergia palo-escrito* (Modified from Acosta-Hernández et al., 2011b)..... 78

Table 2. Genetic diversity of the four evaluated categories of *Dalbergia palo-escrito*. Cat: category, TNP: non-plus tree, TP: plus tree, STNP: seedlings of non-plus trees, STP: seedlings of plus trees, N: analyzed individuals, Na: average number of alleles per locus, Ne: effective number of alleles per locus, I: Shannon index, Ho: observed heterozygosity, He: expected heterozygosity, F: inbreeding coefficient 81

Table 3. Genetic studies on genetic diversity, structure, and geographical range of *Dalbergia* species. HE: expected heterozygosity; HO: observed heterozygosity; FST/GST: genetic differentiation index between populations; M: marker; NL: number of locations. The diversity indicators average ± SD of the genus are given..... 86

CAPÍTULO 3: Estandarización de propagación asexual para *Dalbergia palo-escrito*

Tabla 1. Coeficientes estandarizados del AFDG para los atributos del crecimiento analizados a los cinco meses. R: Longitud de la raíz; #Br: número de brotes; #Fr: número de frondas; L: longitud del brote a los cinco meses. * Coeficientes significativos entre el atributo y la función obtenida.	102
Tabla 2. Descripción de los atributos de crecimiento por tratamiento hormonal (media ± DE).	103
Tabla 3. Promedios obtenidos para los indicadores de crecimiento con tratamientos de enraizamiento basados en aminoácidos y ácido indol butírico. T1: 60 ppm de ácido indol butírico, T2: 600 ppm de ácido indol butírico, T3: 1500 ppm de ácido indol butírico, T4: 60 ppm de ácido indol butírico + XP-amino, T5: 600 ppm de ácido indol butírico + XP amino, T6: 1500 ppm de ácido indol butírico + XP-amino, T7: XP-amino. Las letras indican diferencias significativas de acuerdo con el AFDG.....	104
Tabla 4. Análisis de Funciones Discriminantes Generalizado, se muestran los coeficientes de correlación estandarizados con respecto a los dos factores discriminantes que resultaron significativos para explicar la variación entre tratamientos.....	105
Tabla 5. Tratamientos de reproducción asexual reportados en dalbergias.....	107

CAPÍTULO 4: Influencia de la perturbación en atributos morfológicos y estructura poblacional de palo escrito (*Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez) en Hidalgo

Tabla 1. Poblaciones naturales evaluadas de <i>Dalbergia palo-escrito</i> Rzed. & Guridi-Gómez en el municipio Tlahuiltepa, Hidalgo.	116
Tabla 2. Clasificación de variables y descriptores para la caracterización morfológica en árboles de <i>Dalbergia palo-escrito</i> Rzed. & Guridi-Gómez.....	117
Tabla 3. Análisis de agrupamiento para descriptores morfológicos que indican características para la actividad maderable.....	121
Tabla 4. Perturbación de las poblaciones naturales de <i>Dalbergia palo-escrito</i> Rzed. & Guridi-Gómez en el municipio Tlahuiltepa, Hidalgo, México.....	123

CAPÍTULO 1: Introducción general

1.1 RESUMEN

El género *Dalbergia* se encuentra bajo una variedad de amenazas, como consecuencia de la tala ilegal que alimenta el mercado de las maderas preciosas o duras, se incluye la deforestación, la transformación de los bosques para la agricultura y el crecimiento urbano. Esto conlleva a la disminución drástica de poblaciones naturales al punto de incluir a este género en su mayoría de especies reportadas en alguna categoría de riesgo por autoridades nacionales e internacionales. Como medida para mitigar la presión sobre las poblaciones naturales de este género, las investigaciones se han enfocado en establecer estrategias de aprovechamiento sostenible y conservación.

Dalbergia palo-escrito, especie endémica de México y de mayor distribución en el estado de Hidalgo, la madera de esta especie se emplea en la laudería en la elaboración de instrumentos de cuerda, el principal problema que enfrenta es la tala ilegal y el cambio de usos de suelo con fines agrícolas, a pesar de esta problemática es apreciada por los propietarios en sus parcelas por los servicios ecosistémicos, principalmente se puede ver en potreros, sistemas agroforestales y vegetación secundaria.

Las características morfológicas que presenta esta especie llaman la atención en enfocar estudios respecto a su biología, ecología, usos, reproducción y propagación, identificación de diversidad y estructura genética para identificar caracteres de interés maderable. También para detectar fuentes de germoplasma viables y susceptibles de aprovechamiento, además de identificar bancos y fuentes semilleras. El presente trabajo contribuirá al conocimiento de las limitaciones sobre la presión que enfrentan las poblaciones naturales y elaborar propuestas de manejo y conservación, además que sirva como estudio preliminar del género *Dalbergia* en México.

1.2 INTRODUCCIÓN

La sobreexplotación de los recursos maderables pone en riesgo las poblaciones naturales, el incremento de la superficie para actividades agrícolas y la expansión de los asentamientos urbanos, amenazan los ecosistemas forestales en muchas regiones del mundo (Barelli et al., 2015). Estas amenazas causan múltiples alteraciones, como la modificación demográfica, la degradación del suelo, la pérdida de especies, la estructura del paisaje, entre otros. Estas actividades tienen mayor impacto en las especies endémicas y en el caso de las maderas preciosas al ser poblaciones relictas se intensifican la pérdida y modificación de diversidad y estructura genética por la eliminación de los individuos con fustes mejor conformados y eliminando genotipos únicos dentro de las poblaciones, reduce el tamaño poblacional al eliminar a los adultos y aumenta la diferenciación entre poblaciones y en cada localidad, dejando pocos individuos sin relación genética aparente (Zhang et al., 2012, Breed et al., 2013).

El género *Dalbergia* está disminuyendo como resultado de la excesiva extracción en bosques debido a su madera valiosa (tráfico, tala clandestina y cambio de uso de suelo), esto se asocia a su rareza en el medio silvestre, hacen que su valor monetario sea alto, incluso superior al de otras maderas preciosas como la caoba (*Swietenia macrophylla*) o el cedro rojo (*Cedrela odorata*) (Blanco-Romero, 2019).

El género *Dalbergia* en México está conformado por 20 especies, de las cuales cinco (20%) son endémicas, de acuerdo a la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) se determinó que todas las especies maderables nativas mexicanas de *Dalbergia* califican bajo alguna categoría de riesgo (Cervantes-Maldonado et al., 2019), siendo el cambio de uso de suelo y la tala clandestina el mayor problema en la disminución de sus poblaciones naturales. *Dalbergia palo-escrito* como especie de interés antropogénico, agroforestal y de interés cultural dentro de su área de distribución natural, siendo el estado de Hidalgo con el mayor rango de distribución, principalmente en los bosques mesófilo de montaña dentro de la Sierra Madre Oriental. Se establece en

zonas perturbadas y con vegetación secundaria, siendo esta especie una alternativa para la implementación de sistemas agroforestales, como café bajo sombra diversificada (Suárez-Islas et al., 2020). El duramen de *D. palo-escrito* es apreciada por artesanos dedicados a la laudería, dada por sus notables propiedades acústicas es empleada en instrumentos de cuerda y en la ebanistería por su destacado veteado, es catalogada como madera preciosa, por estas características su demanda en el mercado tanto nacional como internacional pone en riesgo sus poblaciones naturales.

Para mitigar la presión de este recurso sobre sus poblaciones naturales, es necesario conocer la variación genética y por ello se ha desarrollado investigación a nivel molecular, con el desarrollo de marcadores moleculares principalmente con Secuencias de Repeticiones Simples (SSR) para el género *Dalbergia* (Du Puy, 1998; Fraveau et al., 2007; Andrianoelina et al., 2009;) que ha permitido identificar eventos puntuales, como la variación de las poblaciones, viabilidad de las mismas y la evolución de las especies. En cuanto a planes de manejo y de conservación permite identificar fuentes de germoplasma viables para su aprovechamiento tanto *ex-situ* e *in-situ*.

El manejo sostenible de recursos forestales requiere establecer bancos y fuentes de germoplasma para implementar estrategias de conservación y aprovechamiento, además de establecer técnicas de propagación (sexual y asexual), identificación de germoplasma deseable en la selección de árboles elite y obtención de planta de calidad de acuerdo a las necesidades del productor o confines de conservación. En síntesis, *Dalbergia palo-escrito*, al ser una especie de interés ecológico y socio-ecológico, es importante estudiar su estado actual, que sume información necesaria para la toma de decisiones y criterios técnicos del manejo forestal y agroforestal que contribuya hacia su conservación y restauración en su área de distribución dentro del estado de Hidalgo.

1.3 ANTECEDENTES

1.3.1 *Las dalbergias (Fabaceae)*

Las especies del género *Dalbergia* pertenecen a la familia Leguminosae (Fabaceae) Juss, la cual es una de las familias más grandes de plantas con flores, que consta de 730 géneros y más de 19,400 especies (Stevens, 2008). El género *Dalbergia* incluye árboles, arbustos y enredaderas (Mabberley, 2008), se ubica dentro de la subfamilia Faboideae que contiene 317 especies aceptadas por el Servicio Internacional de Base de Datos e Información sobre Leguminosas (ILDIS) y 304 especies aceptadas por The Plant List (2013). Este género tiene amplia distribución en los trópicos (Linares y Sousa, 2007), con elevada diversidad de especies en Asia (119 especies), en África (116 especies) y en Latino-américa y el Caribe (80 especies) (Vatanparast et al., 2013); de acuerdo a Vaglica (2014) se distribuye en 102 países (Figura 1). Las especies de este género tiene amplia adaptabilidad a diferentes ecosistemas desde bosques húmedos perennes, bosques semidecíduos, bosques riparios, selvas tropicales secas, bosques secos y subáridos, sabanas, pastizales y matorrales. Se encuentran en áreas con características completamente diferentes, como áreas planas, sitios rocosos secos, áreas con riesgo de inundación durante las temporadas de lluvias, suelos fértiles arcillosos y en suelos calcáreos. En altitud pueden encontrarse a partir del nivel de mar hasta 1700 metros. (Stevens et al., 2001; Linares y Sousa, 2007; Lemmens 2008).

Las especies de *Dalbergia* se encuentran con alta variedad de amenazas, incluida la deforestación, la transformación de los bosques para la agricultura y el desarrollo humano y la tala legal e ilegal para abastecer los mercados internacionales y nacionales (Winfield et al., 2016).

El género *Dalbergia* esta conformado por árboles, arbustos, enredaderas leñosas y lianas, presentan hojas compuestas alternadas imparipinadas; estípulas generalmente pequeñas; hojas alternadas y glabras raramente sub-opuestas (Saha et al., 2013).

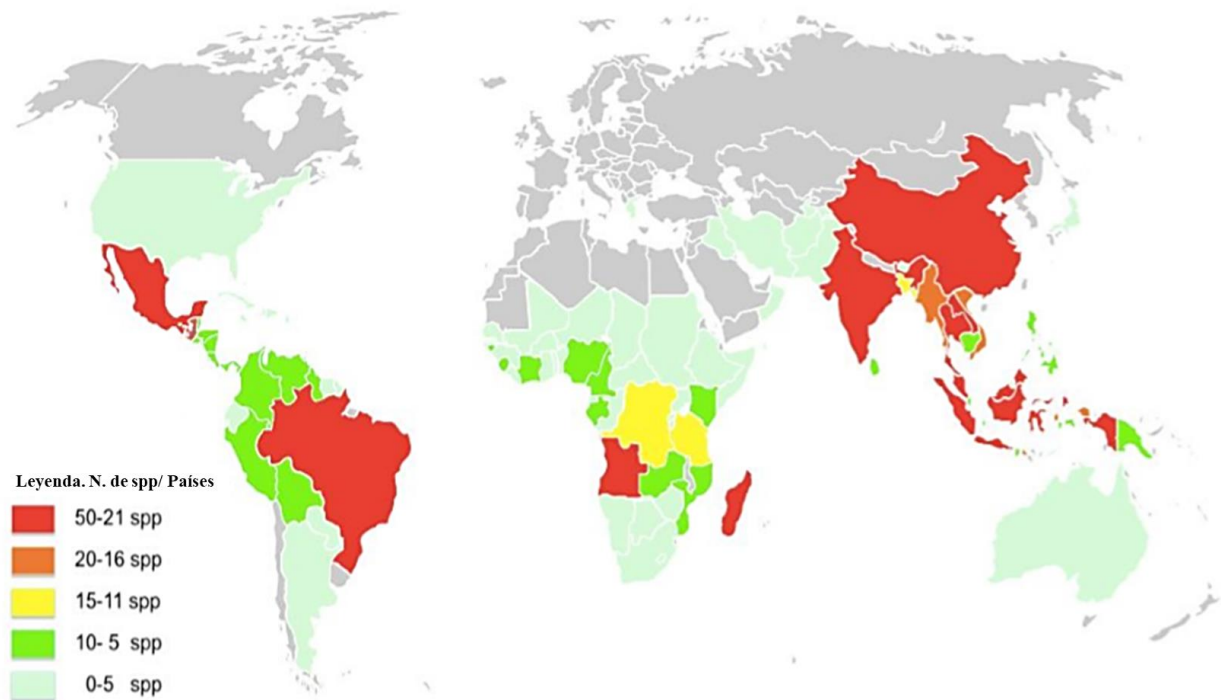


Figura 1. Distribución global de las especies de *Dalbergia* (Modificado de Vaglica, 2014)

La altura de los fustes de los arbustos y árboles varía de dos a 30 metros. Son plantas de reproducción sexual y asexual. Las flores se disponen en racimos (forma de mariposa), miden unos dos centímetros de largo, corola pequeña (papilionoidea), raramente fragante y a menudo son blancas, amarillo-pálido o morada, con área verde intenso a claro en el centro del vexilo, inflorescencias axilares o terminales, panículas o racimos, con flores numerosas; bractéolas y brácteas pequeñas, algunas veces corimbiformes o escorpioides. La mayor parte florece durante un periodo corto en la primavera; algunas pierden las hojas en la época de secas y es entonces cuando florecen (FAUSAC-FNPV, 2015; Cervantes-Maldonado, 2016; Cervantes-Maldonado et al., 2019).

El fruto es una vaina oblonga, estriada, alada, ligulada y elíptica (Carvalho, 1997; Shu, 2010). Los frutos con semillas son esparcidos por viento (Bawa y Webb, 1984). Los frutos de estas especies tienen entre uno y tres semillas (FAUSAC-FNPV, 2015).

Las maderas de este género, son ampliamente utilizadas y consideradas preciosas por su color, durabilidad, dureza, textura vetada, rareza, durabilidad, pesada, fuerte, consistente, disponibilidad limitada y colores específicos para cada especie (Chopra et al., 1980; Condit y Pérez 2002; Lemmens, 2008; Jenkins et al., 2012). En cuanto a sustancias químicas de la madera, presenta altos contenidos en pigmentos y alcaloides, haciendo este tipo de maderas fragantes. Asimismo, contienen metabolitos antimicrobianos, antifúngicos (Barragán-Huerta et al., 2004; Rutiaga-Quñones et al., 2010), antibióticos, antioxidantes y citotóxicos (Lianhe et al., 2011; Pérez-Gutiérrez y García-Baez, 2013). Estas características varían entre especies y dentro de especies, las condiciones del hábitat y la edad del árbol (FAUSAC-FNPV, 2015). Asociadas a su rareza en el ambiente silvestre, hacen que su valor monetario sea alto, superior al de otras maderas preciosas como el cedro rojo y la caoba (Blanco-Romero, 2019).

Las dalbergias maderables alcanzan valores altos en el mercado, por sus características ya antes mencionadas, la madera es utilizada para la elaboración de objetos suntuarios, muebles, instrumentos musicales, chapas de madera, artesanías, construcción de viviendas, entre otros (Harris, 2004; Jenkins et al., 2012; Grandtner y Chrevette, 2013; INAB-SEINEF, 2015; ILDIS, 2020).

Varias especies se cultivan comercialmente por su madera de color utilizadas en fabricas de muebles, entre ellas: *D. latifolia*, *D. sisso* y *D. retusa* (Serrano-Montero y Moya-Roque, 2011; Aggarwal et al., 2013).

Como consecuencia de los aumentos significativos en la demanda de madera y productos de madera, particularmente en economías emergentes como Brasil, China, India y Sudáfrica, está afectando fuertemente a los bosques naturales (Fonseka y Wickramaarachchi, 2018). Por ejemplo, en China, las importaciones totales de productos forestales aumentaron de 40 millones de metros cúbicos (m³) a casi 150 millones de m³ entre 1997 y 2005 (Winfield et al., 2016).

1.3.1.1 Ecología

Las *Dalbergia* son heliófilas y forman parte del sub-dosel de los bosques, aunque también se desarrollan en zonas abiertas. Diversos trabajos mencionan la depredación de las semillas por escarabajos y se han registrado altos niveles de aborto de las semillas en algunas especies, lo que repercute en baja regeneración en las poblaciones naturales (Cervantes-Maldonado, 2016). Otras interacciones que establecen estas especies son las relaciones mutualistas en las raíces con bacterias fijadoras de nitrógeno (*Aeschynomenoide*). Las especies de *Dalbergia* juegan un papel importante en el ecosistema forestal natural, principalmente por enriquecer la fertilidad (resultado de la simbiosis fijadora de nitrógeno) y mejoran la calidad de los suelos. La polinización para este género es por abejas, mariposas y escarabajos que realizan la polinización cruzada (Rasolomampianina et al., 2005; Vasudeva y Sareen, 2009; FAUSAC-FNPV, 2015).

Para el género *Dalbergia*, las recientes investigaciones se basan principalmente en sistemas de reproducción; se han observado altos niveles de aborto de semillas en *D. retusa*, el polen lo dispersan las abejas en *D. glomerata*, *D. stevensonii* y *D. retusa*, las semillas se dispersan por agua o por viento en *D. retusa* y *D. stevensonii* (Bawa y Webb, 1984; Frankie et al., 2002; Marín y Flores, 2003). Además, la regeneración natural es escasa y específica para algunas especies, como *D. retusa*, *D. cochinchinensis*, *D. stevensonii* y *D. sissoo*, pese a, los brotes y juveniles son numerosos en sitios expuestos habitualmente al fuego (Marín y Flores, 2003; FAUSAC-FNPV, 2015).

Las flores de las *dalbergias* representan importante fuente de alimento (néctar y polen) para abejas, abejorros, avispas, mariposas, escarabajos y otros invertebrados (Cho y Quiroz, 2005; Vasudeva y Sareen, 2009; FAUSAC-FNPV, 2015). Las hojas presentan un alto contenido en proteína, fuente de alimento para algunos mamíferos tales como la Martucha (*Potos flavus*), roedores y animales de traspatio (Cerón, 2002), frecuentemente se observan diversas aves en las coronas de los árboles como la garza cucharón (*Cochlearius cochlearius*) (López-Contreras et al., 2014). En el tronco principal y en las ramas

de los árboles viven especies epífitas, como helechos, orquídeas, líquenes, bromelias, aroide, peperomias, plantas trepadoras y hemiparásitas como los muérdagos verdaderos, muérdago (*Loranthaceae*) este último resulta perjudicial para el árbol, al grado de eliminarlo (FAUSAC-FNPV, 2015).

1.3.1.2 Amenazas a nivel mundial

El género *Dalbergia* está disminuyendo como resultado de la sobreexplotación de especies maderables debido a su madera valiosa. Estas maderas son de importancia cultural y tradicional en la elaboración de instrumentos musicales (guitarras y marimbas) y en la ebanistería en la elaboración de muebles de lujo, por consecuencia de estas actividades las 61 especies de *Dalbergia* incluidas en CITES, se encuentran bajo una categoría de protección espacial (Lemmens, 2008, Jenkins et al., 2012),

El hábitat de las poblaciones de *Dalbergia* son afectadas por cambio hacia la agricultura, extracción ilegal, leña, incendios forestales y la sobre explotación de especies con alto valor en el mercado, esto representa mas de un 90% de la tasa de deforestación, aunado a las amenazas intrínsecas a su biología como su escasez natural, lento crecimiento y bajo reclutamiento (Vivero et al., 2006; IARNA-URL, 2009, Cervantes-Maldonado, 2016).

La IUCN (2016) ha evaluado al género *Dalbergia* y ha clasificado a 83 de las 304 especies en la clasificación siguiente: una especie En Peligro Crítico; 29 especies En Peligro; 26 especies como Vulnerable; tres especies como Casi Amenazadas; cinco especies como Riesgo Bajo; 12 especies como De Menor Preocupación; una especie en Riesgo Bajo; seis especies como Datos Deficientes.

En diferentes partes del mundo, el cambio de uso de suelo y la tasa de deforestación (Dewees et al., 2011), ha tenido un aumento significativo, a tal grado de poner en peligro de extinción a varias especies del genero *Dalbergia*, por ejemplo *D. cochinchinensis* en Tailandia (Butler, 2016), *D. melanoxyton* en Angola y la República Democrática del Congo (Lemmens, 2008; Dewees et al., 2011).

Por otro lado, el comercio ilícito afecta más a las poblaciones naturales, ya que carecen de regulación o plan de manejo que garantice la procedencia legítima de la madera de estas especies. A pesar de estas disposiciones, el comercio y mercado de madera aserrada es innegable en el continente asiático y la tala ilegal transfronteriza, siendo China el principal importador. La tala ilegal es un problema prevaeciente prevalente en América Central (EIA, 2016). Además, el tráfico ilegal extensivo en dalbergias, causa preocupaciones de su incremento en años recientes. Por otro lado, Guatemala se ha convertido en el puente principal de exportación de madera de dalbergias provenientes de México (*D. granadillo*), Panamá (*D. retusa*) y Belice (*D. stevensonii*) (Jenkins et al., 2012).

En el 2009 Madagascar experimento niveles altos de tala ilegal en comparacion con otros años de *Dalbergia baronii* (100-200 árboles por día) proveniente de las selvas tropicales, con valor de hasta US\$460,000/día, alcanzando cientos de millones de dólares al año, siendo el mercado de Asia el principal comprador, para manufactura de muebles de lujo (Jenkins et al., 2012). Para el 2010, Madagascar restringió el comercio ilegal de *D. baronii*, por lo tanto, el mercado asiático, promovió la demanda de maderas de *Dalbergia* de América, ocasionando un aumento en la tala ilegal de estas especies y ejerciendo el tráfico ilegal hacia ese continente (Jenkins et al., 2012).

Además, los traficantes han tomado algunas ventajas por aquellas especies que no se encuentran incluidas en el CITES, y las hacen pasar como especies legales por su similitud, por ejemplo, de *D. retusa* en Guatemala que es legal, mientras que *D. bariensis* se encuentra bajo protección especial (EIA, 2016). En México, el duramen de *D. granadillo* es contrabandeado con otras especeies similares para disfrazar el cargamento de las leyes o autoridades (PROCESO, 2014), ya que no existen permisos para el aprovechamiento de estas especies protegidas.

1.3.1.3 *Las dalbergias mexicanas*

El género *Dalbergia* en México está conformado por 20 especies, de las cuales 5 (25%) son endémicas. La mayoría de las especies son árboles que alcanzan cinco metros o más; cuatro especies son arbustos o lianas (*D. monetaria*, *D. tabascana*, *D. brownei* y *D. ecastaphyllum*) (Sousa et al., 2001; Linares y Sousa, 2007). *Dalbergia glabra* es la única que puede ser una liana, arbusto o árbol de menos de cinco metros de altura y con ramas ascendentes (Ricker et al., 2013; Cervantes-Maldonado et al., 2019) (Figura 2). En México, varias especies se han utilizado tradicionalmente para hacer muebles, instrumentos musicales, artesanías y otros objetos (Díaz-Gómez y Huerta-Crespo, 1986; Guridi y García-López, 1996).

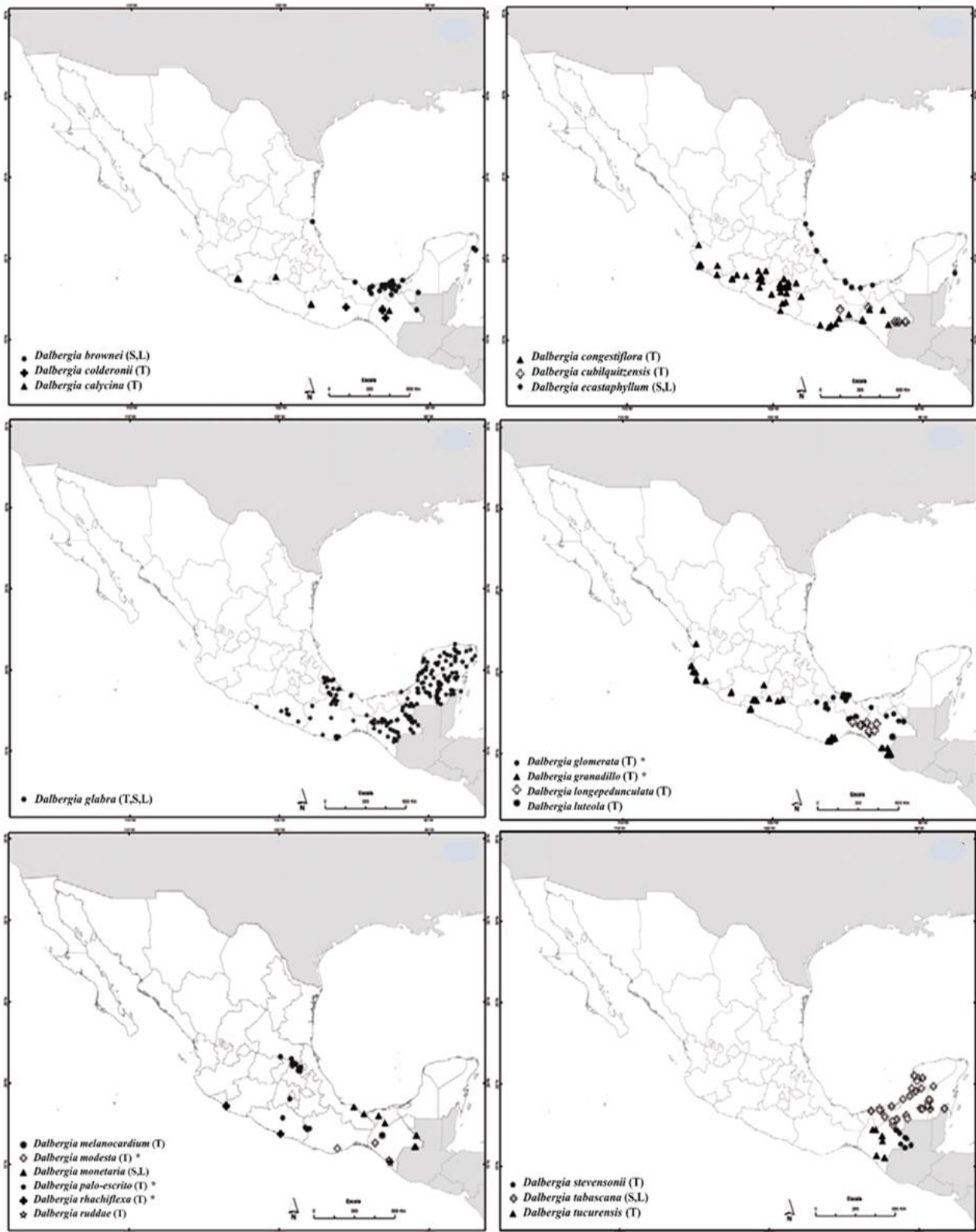


Figura 2. Distribución geográfica de las especies mexicanas de *Dalbergia*. Se muestran las localidades tipo de las especies reportadas a la fecha. T: árbol, S: arbusto, L: liana. * Endémica de México. (Modificado de Cervantes-Maldonado et al., 2019).

1.3.1.4 Amenazas en México

La demanda de dalbergias como fuente de madera aumentó en todo el mundo, en el 2010 se registró la mayor importación, impulsada principalmente por la expansión del mercado chino (Basik, 2015). Como consecuencia, enormes cantidades de madera han sido extraídas ilegalmente de la naturaleza, impactando seriamente a las poblaciones naturales (Cervantes-Maldonado, 2016; Cervantes-Maldonado et al., 2019). De acuerdo a la Convención sobre el Comercio Nacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), entre 2007 y 2012, China importó un total de 10,662 m³ de palo de rosa (género *Dalbergia*) de México (CITES, 2013), sobre lo que se tiene reportado, además, esta cifra puede ser mayor, si se incluye el mercado ilegal, la similitud con otras maderas legales y los filtros de control en las aduanas. Por ejemplo, *D. granadillo* endémica de México, empezó a ser talada en los ecosistemas donde crece, en Michoacán, alcanzando en 2012 un valor de venta en US\$2,500 por m³, siendo el principal comprador el mercado asiático y europeo (PROCESO, 2014). En México las confiscaciones de duramen de *D. granadillo* destinados al comercio asiáticos se duplicó de 318.1 m³ en 2012 a 727.7 m³ en 2014 (PROFEPA, 2014).

Con base en la demanda y sobreexplotación de estas especies en México, se pone en riesgo a los ecosistemas donde crecen, principalmente los bosques tropicales caducifolios, bosques tropicales subdeciduos, bosques tropicales de hoja perenne y bosques nubosos, siendo los ecosistemas más amenazados del país, donde además se realizan actividades de cambio de uso de suelo, principalmente para establecer campos agrícolas y ganaderos (Hughes et al., 2000; Miles et al., 2006; Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2014). Se ha reportado que la perturbación altera la estructura de los ecosistemas cambiando el medio físico y la disposición de los recursos (White y Walker, 1997). La fragmentación disminuye la conectividad entre las poblaciones y el tamaño, causando deterioro general (Berglund y Jonsson, 2003; Hobbs y Yates, 2003) y, por ende, presión de selección particular sobre las categorías menos adaptadas dentro de las poblaciones. Esto induce a cambios demográficos que incrementan el

riesgo de extinción local (Barrett y Kohn, 1991), lo que se ha asociado con la disminución en el tamaño poblacional (Vergeer et al., 2003; Kolb y Lindhorst, 2006), alteraciones en la estructura y composición demográfica (Jules, 1998; Bruna y Kress, 2002), bajo reclutamiento (Kery et al., 2000; Jacquemyn et al., 2003), reducción de la fecundidad (Oostermeijer et al., 1998), así como densidad baja y pérdida del potencial evolutivo (Gram y Sork, 1999).

Actualmente, tres especies distribuidas en México han sido evaluadas por la Lista Roja de la UICN: *D. calycina* Benth. (LC, preocupación menor), *D. monetaria* L. f. (LC, preocupación menor), y *D. glomerata* (Vu, Vulnerable), por otro lado, son las más afectadas por la extracción de madera y la pérdida de hábitat debido a prácticas agrícolas (Groom, 2012). Además, dos especies, *D. granadillo* y *D. congestiflora*, están incluidas en la Lista Roja Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010), la única lista que tiene legitimación legal en el país. Además, hasta 2016, solo *D. granadillo* y *D. stevensonii*, ambas distribuidas en México, se incluyeron en los apéndices de los datos de la Convención sobre el Comercio Nacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) (Tabla 1).

Por último, con base en el Método de Evaluación de Riesgos (MER) de la Norma Mexicana 059 (NOM-059 SEMARNAT-2010), que consiste en evaluar la distribución, el hábitat, la vulnerabilidad biológica intrínseca y el impacto antropogénico sobre las especies, se determinó que todas las especies maderables nativas mexicanas de *Dalbergia* califican bajo alguna categoría de riesgo, quedando bajo protección por el CITES y autoridades mexicanas competentes (Cervantes-Maldonado et al., 2019).

Tabla 1. Especies de Dalbergia incluidas en las Listas Rojas y los apéndices de la CITES. A (amenazado), Ap. II (Apéndice II), LC (menor preocupación), P (en peligro), Pr (protección especial), Vu (vulnerable); * (no enlistado). (Modificado de Cervantes-Maldonado et al., 2019).

Especies mexicanas	Actual 059- SEMARNAT- 2010	NOM- Categorías para maderables SEMARNAT-2010	propuestas especies NOM-059- SEMARNAT-2010	IUCN	CITES
<i>D. brownei</i>	*		*	*	*
<i>D. calderonii</i>	*		P	*	Ap. II
<i>D. calycina</i>	*		A	LC	Ap. II
<i>D. congestiflora</i>	P		*	*	Ap. II
<i>D. cubilquitzensis</i>	*		P	*	Ap. II
<i>D. ecastaphyllum</i>	*		*	*	*
<i>D. glabra</i>	*		*	*	*
<i>D. glomerata</i>	*		Pr	Vu	Ap. II
<i>D. granadillo</i>	P		*	*	Ap. II
<i>D. longepedunculata</i>	*		P	*	Ap. II
<i>D. luteola</i>	*		P	*	Ap. II
<i>D. melanocardium</i>	*		P	*	Ap. II
<i>D. modesta</i>	*		*	*	Ap. II
<i>D. monetarla</i>	*		*	LC	*
<i>D. palo-escrito</i>	*		A	*	Ap. II
<i>D. rhachiflexa</i>	*		A	*	Ap. II
<i>D. ruddae</i>	*		P	*	Ap. II
<i>D. stevensonii</i>	*		P	*	Ap. II
<i>D. tabascana</i>	*		*	*	*
<i>D. tucurensis</i>	*		P	*	Ap. II

1.3.1.5 Conservación in-situ y ex-situ de dalbergias de México

La diversidad genética es una de las bases de la adaptación a largo plazo. Constituye el elemento primario de la selección natural y su generación es vital para mantener la viabilidad de las especies frente a la diversidad de ambientes que se presentan en tiempo y espacio. Por el contrario, el cultivo representa simplificación y control del ambiente tales que posibilitan colectivos mucho más uniformes, adaptados a las características particulares del sistema productivo y de la cadena de valor.

Toda la información presentada manifiesta la urgencia de iniciar con actividades enfocadas al manejo y conservación de las dalbergias en México. Al respecto, la tendencia actual para la conservación de flora amenazada consiste en la integración de los enfoques *in situ* y *ex situ* de manera complementaria,

así como la utilización de técnicas convencionales y modernas disponibles que garanticen la disponibilidad de germoplasma (García et al., 2001). Las estrategias de conservación *ex situ* se llevan a cabo fuera de estos contextos evolutivos e incluyen: jardines botánicos, colecciones de propágulos vegetativos, cultivo de tejidos *in vitro*, bancos de germoplasma usando técnicas de crio-conservación de semillas a bajas temperaturas y colecciones particulares. Por el contrario, la conservación *in situ* establece estrategias de manejo para mantener la diversidad de recursos genéticos en los sitios donde suceden los procesos evolutivos que determinan su diversificación: las áreas naturales en el caso de los recursos forestales maderables, no maderables y la fauna sujeta a cacería o recolección; campos agrícolas y unidades de producción rural que manejan y guían los procesos de manejo y domesticación (Primack, 2000; Casas et al., 2016).

Reflexionando en ambos enfoques y con el propósito de mitigar la presión sobre las poblaciones naturales. La Comisión para la Cooperación Ambiental a incluido a las *Dalbergias* como especies maderables prioritarias para su protección y conservación dentro del Plan de acción de América del Norte para un comercio sustentable de especies maderables (CCA, 2017), teniendo como algunos objetivos de conservación *in-situ* en México:

- La producción sustentable de las especies *Swietenia* y *Dalbergia* en México, mediante la evaluación de plantación mixta y certificación forestal.
- Apoyar la conservación y el comercio sustentable de especies maderables prioritarias mediante investigación de campo y análisis, actualmente con protocolos sobre dictámenes de extracción no perjudicial para *Dalbergia stevensonii* y *D. granadillo*.
- Crear mayor conciencia en las comunidades respecto el valor y conservación de los bosques, a fin de apoyar el comercio sustentable y la explotación de especies maderables en México mediante la estrategia mexicana de comunicación y difusión.

En cuanto acciones para frenar el comercio ilegal de maderas de *Dalbergia* en México y América Central, en un comienzo se emplearon estudios físico-químicos y citológicos para la identificación de duramen en las aduanas. Estas pruebas resultaron ser eficientes en la clasificación inter-genérica en combinación con características exomórficas para el género formando clados (Richter et al., 1996). Dada la complejidad en la descripción en las propiedades físico-químicas de este género, se ha migrado a técnicas de espectrometría de masas que han sido de mayor utilidad en la identificación de especies de *Dalbergia* (Espinoza et al., 2015).

Por otra parte, algunos ejemplos de conservación *ex situ* se encuentra en el estado de Hidalgo, como en Tenango de Doria, con la especie *Dalbergia palo-escrito*, donde se ha establecido un sistema agroforestal con cafetal, como alternativa de conservación y aprovechamiento a mediano y largo plazo. Siendo una oportunidad para promover a esta especie y contribuir a la diversificación de agroecosistemas con cafetales en la región (Suárez-Islas et al., 2020). De igual manera, en Huatusco, Veracruz, en la cooperativa Las Cañadas, esta especie se comenzó a utilizar en sistemas agroforestales bajo otras prácticas como silvopastoriles y permacultura (Suárez-Islas et al., 2020año). En Jopala en el estado de Puebla, se han establecido algunas plantaciones mixtas con *Acacia magium*, *Dalbergia retusa* y *Astronium graveolens* con fines de explotación forestal (Fierros, 2012). Para el estado de Jalisco en el poblado El Tequesquite existen plantaciones de *Dalbergia congestiflora* con otras especies consideradas para forraje con fines silvopastoriles (Roman-Miranda et al., 2016). En Puerto Escondido y Chepilme, en la Región Costa de Oaxaca en conjunto con la Universidad del Mar, en sus jardines botánicos se ha establecido como prioridad la conservación *ex-situ* de la Familia Fabaceae incluyendo a *D. congestiflora* (Blanco-Romero, 2019).

1.3.2 Propagación sexual y asexual en dalbergias

El bajo reclutamiento de nuevos individuos a las poblaciones naturales, característica de este género y la alta demanda de este recurso, se ha generado investigación en la reproducción asexual y sexual de estas especies. En México, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo ha desarrollado investigación con *D. congetiflora* en la evaluación de germinación de semillas con micorrizas comerciales (López-Antonio, 2018) y propagación de estacas con auxinas como ácido Indolbutírico (AIB) a diferentes concentraciones (Hernández-García et al., 2016). En Asia y África se han propagado por esquejes de raíces y estacas de tallo con las especies de *D. latifolia* (Lemmens, 2008), *D. sissoo* (Singh, 2001; Khan et al., 2012) y *D. melanoxylon* (Amri et al., 2010) y en Costa Rica con *D. retusa* han desarrollado micro propagación, propagación por estaca y acodos (Valverde y Alvarado, 2004). Con base en lo reportado, la propagación vegetativa para este grupo de plantas, resulta ser una alternativa para enfrentar la recuperación y manejo de estos recursos en un menor tiempo y además de conservar la potencialidad del material seleccionado.

La propagación por semilla en condiciones naturales en este género es baja por diversos factores como la baja fertilidad y el ataque a las semillas por escarabajos (*Curculionoidea*), sin embargo, la poca semilla viable o sana resulta tener alta probabilidad para germinar. Se han realizado diversos tratamientos germinativos en algunas dalbergias (Tabla 2), donde se ha comprobado que diversos factores en relación a la característica de la semilla, influyen en la capacidad germinativa como en *D. tonkinensis*, que presenta correlación negativa significativa entre mayor es el tamaño de la semilla, menor es el tiempo de germinación (Nguyen et al., 2020). Al igual con *D. cochichinensis*, la madurez de las semillas está en función del color del fruto, esto influye en la germinación, donde consideran que las semillas de frutos de madurez intermedia son más aptas para germinar en comparación a frutos tiernos o viejos, por lo tanto, el tiempo de almacenamiento si influye en la tasa de germinación (Hung, 2003). Por lo tanto, se deduce

que las semillas de las dalbergias para germinar requieren una estratificación física y química para activar los procesos enzimáticos, además de escarificación mecánica para tener mayor probabilidad de germinación. La temperatura de germinación promedio para las dalbergias es de 20-35 °C, puede deberse a la amplia adaptabilidad a diferentes ecosistemas (Linares y Sousa, 2007).

Tabla 2. Tratamientos de germinación de semillas en algunas dalbergias. PSP: pureza de semilla en porcentaje; TS: tamaño semillas; mm: milímetros; L: largo; A: ancho; G; grosor; SKP: semillas por kilogramo promedio; TG: tratamiento de germinación; EP: Emergencia de plántulas al 50% en días; PG: Porcentaje Germinación; T °C: temperatura en centígrados; * No reportado

Dalbergias	PSP	TS mm			SKP	TG	EP	PG	T °C	País	Referencia
		L	A	G							
<i>D. palo-escrito</i>	90	8.4	5.1	2.3	19075	Remojo	32	≤70	25	México	Rodríguez-Laguna, Com. Per.
						Sin remojo	26				
<i>D. congestiflora</i>	80	*	*	*	24485	Luz/Oscuridad	3	≥95	30	México	González-Vélez et al., 2020
<i>D. nigra</i>	*	9.1	5.1	1.7	13880	Diferentes sustratos	12	80	20-30	Brasil	Ferraz-Grande y Takaki 2001; Regnier, 2019
<i>D. tucurensis</i>	60	10	5.0	1.9	33467	Sin cubierta	10	92	24	Honduras	Knoblauch, 2001
						Con cubierta	28	28			
<i>D. miscolobium</i>	96	*	*	*	*	Fuego 80°C-20min	5	63	30	Brasil	Ribeiro et al., 2009
						Fuego 100°C-5min		78			
						Fuego 100°C-20min		9			
<i>D. retusa</i>	90	8.1	4.7	1.9	20000	Remojo con agua hirviendo y tibia.	10	≥80	25-35	Brasil	García y Di Stéfano, 2000
<i>D. cearensis</i>	70	9.8	8.6	3.9	17094	Luz/Oscuridad	10	≥95	25-35	Costa Rica	Nogueira et al., 2010; Nogueira et al., 2014
<i>D. melanoxylon</i>	*	11	4.2	1.6	67758	Regeneración <i>in situ</i> y <i>ex situ</i> con humedad	*	≤50	18-35	Tanzania	Washa y Nyomora, 2012
<i>D. cochichinensis</i>	90	6.7	4.1	1.1	40355	Color de semilla (maduración)	12	≥95	20	Vietnam	Hung, 2003; Hung et al., 2020
<i>D. tonkinensis</i>	81	12	7.1	2.8	9900	Tamaño de semilla	*	73	30	Vietnam	Thu et al., 2014; Ma et al., 2016
<i>D. sissoo</i>	*	6.1	3.3	1.1	86000	Suelo limpio	3	62	30	Bangladés	Sheikh y Abdul, 2007
						Suelo abonado	3	70			

1.3.3. Recursos genéticos forestales

Los bosques y otras superficies forestales aportan numerosos bienes y servicios que son esenciales para los medios de sustento y el bienestar de la humanidad. Los árboles son, además, especies esenciales de los ecosistemas forestales, los cuales albergan la inmensa mayoría de la biodiversidad terrestre de nuestro planeta (FAO, 2014). Los recursos genéticos forestales (RGF) es el material hereditario conservado en los árboles y otras especies de plantas leñosas, así como entre ellos, con un valor económico (efectivo o potencial), ambiental, científico o social (Mallén-Rivera, 2014).

Los recursos genéticos están disponibles en función de la capacidad de la heredabilidad que tienen los árboles a su progenie y en la variabilidad genética de sus poblaciones por especie. Conocer la estructura y diversidad genética, así como procesos adaptativos y evolutivos de las especies forestales con importancia económica permite realizar programas de selección para incrementar la productividad, calidad y la probabilidad de éxito en el manejo de bosques tanto naturales como plantados (Rudow et al., 2013; Ivetić et al., 2016). Por otra parte, la variabilidad constituye el acervo fundamental que dirige el manejo del recurso genético contenido en las especies y sus poblaciones, la cual al ser reconocida y evaluada en función de objetivos específicos, se puede manipular para obtener altas ganancias genéticas buscando su homogeneización al disminuir la variación y por otro lado se pueden proteger especies y poblaciones buscando la heterogeneidad en poblaciones naturales o inducidas que contengan variabilidad y que mantenga una variación que induzca diversidad para garantizar descendencias que se aseguren esquemas nuevos de adaptación (Alba, 2007) y fuerza evolutiva natural (Alba et al., 2008).

1.3.3.1 Conservación de recursos genéticos forestales en México

La conservación de recursos genéticos de especies forestales es fundamental para mantener la estabilidad de los bosques (FAO, 2014), la cual contribuye a la adaptación de estas especies ante la

presencia de diferentes factores como los regímenes de incendios, el cambio climático o la infestación de plagas (Kim et al., 2011; Vangestel et al., 2016). El conocer la diversidad y estructura genética de especies forestales es significativa para la operación y planeación de programas de manejo *ex-situ* e *in-situ*, ya que permite diseñar estrategias para el manejo y conservación de recursos genéticos (Pazouki et al., 2016; Bilgen y Kaya, 2017).

México por su ubicación geográfica posee los tres grandes ecosistemas forestales (zonas áridas, selvas y bosques), esto permite contar con una de las floras más ricas y variadas del mundo. En contra parte, al tener esta riqueza, se aumenta la demanda de recursos forestales, por lo tanto, existe mayor presión sobre estos recursos, al grado de desaparecer poblaciones naturales (Martínez-Meyer et al., 2014). En México se han desarrollado trabajos con diversos métodos y marcadores moleculares, principalmente con el género *Pinus* y *Abies*, sobre las investigaciones de RGF, como alternativa de conservación de germoplasma (Ramírez-Herrera et al., 2005). Además, es importante mencionar que la CONAFOR tiene el registro de 420 especies forestales maderables y 188 especies forestales no maderables bajo aprovechamiento, la mayoría nativas, esto aumenta más la necesidad de crear programas y dependencias en pro de la conservación y manejo de los RGF.

1.3.4 Recursos genéticos y conservación en dalbergias

1.3.4.1 Diversidad y estructura genética en dalbergias

La sobreexplotación y la deforestación afecta a las poblaciones naturales, reduciendo el flujo génico y la diversidad genética de las especies forestales (Zhang et al., 2012; Leshner-Gordillo et al., 2018). Entender la pérdida de la diversidad genética, endogamia y la deriva genética, están asociadas, principalmente, con la fragmentación del hábitat y reducción del tamaño poblacional (Vranckx et al., 2012), por otro lado, al ser especies arbóreas que poseen alta dispersión de polen y semillas a grandes distancias, puede contribuir al amplio flujo de genes entre individuos y poblaciones aisladas, contrarrestando los efectos mencionados, tal es el caso de las dalbergias a nivel mundial, es

importante para entender la respuesta ante presiones ambientales y actividades antropogénicas. Además, de desarrollar métodos de manejo para la conservación eficientes de este recurso genético (Knoblauch, 2001; Breed et al., 2013)

La utilización de marcadores moleculares juega un papel importante en la conservación y manejo de germoplasma, estos se han utilizado para la inferencia filogenética entre especies estrechamente relacionadas, los más usados son las repeticiones de Secuencias Intergénicas Simples (ISSR), los polimorfismos de longitud de fragmentos amplificados (AFLP por sus siglas en ingles) y la amplificación aleatoria de DNA polimórfico (RAPD) (Simmons et al., 2007). Las Secuencias Simples Repetidas (SSR) representan la variación en el número de copias de un arreglo del DNA no codificante; de ahí su alta variabilidad y eficacia para resolver diversas cuestiones relacionadas con la conservación de la diversidad genómica, como determinación de paternidades, medida del flujo génico e hibridación entre poblaciones, detección de posibles cuellos de botella, determinación de la estructura poblacional, asignación de individuos a su población de origen y otras fuerzas evolutivas neutrales (González, 2003). Actualmente, se han utilizado Regiones de Secuencias Amplificadas Conocidas (SCAR) como técnica o método para identificar secuencias de DNA con loci específicos para la reconstrucción filogenética a nivel de especies (González y Vovides, 2012; González 2010).

En la última década se han realizado ciertos estudios genéticos en dalbergias, principalmente con *D. nigra* y *D. odorífera* para evaluar filogenia, diversidad y estructura dentro y entre poblaciones, además de planes de manejo y conservación (Ribeiro et al., 2009; Saslis-Lagoudakis et al., 2008) Los estudios de diversidad genética en dalbergias, han sido de gran relevancia en términos de ecología, conservación y evolución, ya que se encuentran en algún estatus en peligro crítico, en peligro y de vulnerable de acuerdo a la IUCN 2015. Estudios en dalbergias muestran que las poblaciones tienen alta estructura y diversidad genética (Tabla 3), sin embargo, existen indicios de baja diversidad en *D. odorífera* y *D. miscolobium*, a pesar de su distribución geográfica, esto puede deberse a su aprovechamiento forestal en la eliminación de árboles adultos, dejando latizales (árboles jóvenes), lo que genera huecos generacionales y pérdida de diversidad genética, además de aislamiento

poblacional, el flujo genético se ve afectado por el tiempo transcurrido desde el inicio del aislamiento de las poblaciones, el efecto sobre la diversidad genética poblacional puede que no sea evidente a corto plazo como consecuencia de la longevidad de los árboles (Eguiarte et al., 2007; Wiberg et al., 2016). La tala selectiva es la principal causa de la variabilidad genética en estas especies debido a que preferentemente se talan los árboles que presentan características (morfológicas) para el comercio de la madera, ocasionando selección artificial y la erosión genética en estas especies (CITES, 2007; Da Silva et al., 2008).

Tabla 3. Estudios genéticos sobre la diversidad, estructura genética y rango geográfico de dalbergias. **He**: heterocigosis esperada; **Ho**: heterocigosis observada; **FST/GST**: índice de diferenciación genética entre poblaciones; **M**: Marcador; **N.L**: Número de Localidades; **EC**: Estatus de Conservación. 2-20km²: Restringida; >200 km²: Amplia. Se integran los indicadores de diversidad Promedio ± DE del género.

Especie	He	Ho	FST/GST	M	País	Distribución	N.L	EC	Referencia
<i>D. latifolia</i>	0.23	*	0.34	ISSR	Indonesia	Restringida	4	VU	Yulita et al., 2020; Riastiwi et al., 2022
<i>D. sissoo</i>	0.30	*	0.56	RAPD	India	Amplia	*	NT	Bakshi y Sharma 2011; Roskov et al., 2020
<i>D. melanoxylon</i>	0.39	*	0.36	RAPD	Tanzania	Amplia	6	NT	Amri et al., 2009; World Conservation Monitoring Centre, 1998b
<i>D. monticola</i>	0.82	0.68	0.08	SSR	Madagascar	Amplia	*	VU	Favreau et al., 2007; Andrianoelina et al., 2009; Du Puy, 1998
<i>D. odorifera</i>	0.38	0.33	0.09	SSR	China	Restringida	5	VU	Liu et al., 2019; World Conservation Monitoring Centre, 1998a
<i>D. cochinchinensis</i>	0.55	0.56	0.25	SSR	Indochina	Restringida	4	VU	Hartvig et al., 2018; Asian Regional Workshop, 1996
<i>D. oliveri</i>	0.73	0.76	0.13	SSR	China	Restringida	3	EN	Hartvig et al., 2018; Nghia, 1998
<i>D. nigra</i>	0.87	0.74	*	SSR	Brasil	Restringida	2	VU	Ribeiro et al., 2009; Varty, 1998
<i>D. miscolobium</i>	0.70	0.59	*	SSR	Brasil	Amplia	*	NT	de Oliveira et al., 2016; Roskov et al., 2020
<i>D. retusa</i>	0.27	*	*	AFLP	Costa Rica	Restringida	3	CR	Chavarría, 2006; Barstow y Linares, 2020
<i>D. palo-escrito</i>	0.67	0.19	0.73	SSR	México	Amplia	8	VU	Presente estudio
Prom. ± D. E.	0.52±0.25	0.61±0.16	0.24±0.19						

*: No reportado; **SRAP**: Polimorfismos amplificados relacionados con la secuencia; **RAPD**: Amplificación Aleatoria de DNA Polimórfico; **SSR**: Secuencias de Repeticiones Simples; **AFLP**: Polimorfismos en la Longitud de Fragmentos Amplificados; **CR**: En peligro crítico; **EN**: En peligro; **VU**: Vulnerable; **NT**: Casi amenazada

1.3.5 Mejoramiento genético agroforestal en la domesticación

La diversidad genética proporciona las bases fundamentales para la evolución y adaptación de las especies arbóreas forestales (Barros-Asenjo et al., 2015). Sin embargo, la mayoría de la diversidad genética forestal permanece desconocida, principalmente en los bosques tropicales y mesófilos (Raya-Pérez et al., 2010). Últimamente, las investigaciones de los recursos genéticos en árboles forestales se han concentrado en domesticar aquellos considerados de mayor utilidad para la producción de combustible, fibra y duramen/madera, a partir de sistemas de plantaciones comerciales y agroforestales (Ipinza-Carmona, 2015). También conocidos como árboles plus, se definen como: un árbol fenotípicamente sobresaliente en una o varias características (morfológicas, químicas, físicas, etc.) de interés económico, para posteriormente de una evaluación técnica se incorporan como progenitores para programas de mejoramiento.

El mejoramiento genético forestal tiene como finalidad en función al ideotipo del árbol ideal (producción de leña, madera, follaje, etc.) en desarrollar variedades de alto valor económico, ecológico o social, mediante actividades como selección, cruzamientos dirigidos y evaluaciones genéticas. Además de la conservación de los huertos semilleros para los ensayos de descendencias y poblaciones de mejoramiento, evitando la depresión por endogamia. El mejoramiento genético en especies forestales se puede establecer de dos formas: a) convencional, que representa las bases de la domesticación tradicional mediante cruzamiento y selección fenotipos de generación en generación y b) asistido por biotecnología que permite la selección temprana o predicción de fenotipos y genotipos deseados en menor tiempo (Figura 3). El mejoramiento genético es una forma de conservación a través del uso (White et al., 2007; Cornelius y Ugarte, 2010).

Las especies forestales bajo mejoramiento genético es amplia, los programas de mejora genética permiten aumentar la productividad y la calidad de los diversos productos esperados, aumentar la homogeneidad de la materia prima y reducir el turno de cosecha, minimizando costos de procesamiento industrial. Las principales especies utilizadas en México son *Eucalyptus urophylla* (Hardiyanto y Tridasa, 2000), *Tectona grandis* (Gauchat et al., 2006), *E. pellita* (Leksono et al., 2008), *Gmelina arborea* y *Pinus caribaea* (Wee et al., 2012). También para las especies endémicas de importancia forestal, el emplear estas herramientas, permite restituir la variabilidad y mejorar la capacidad productiva, como alternativa de aprovechamiento y conservación de estos recursos maderables (Gutiérrez, 2008).

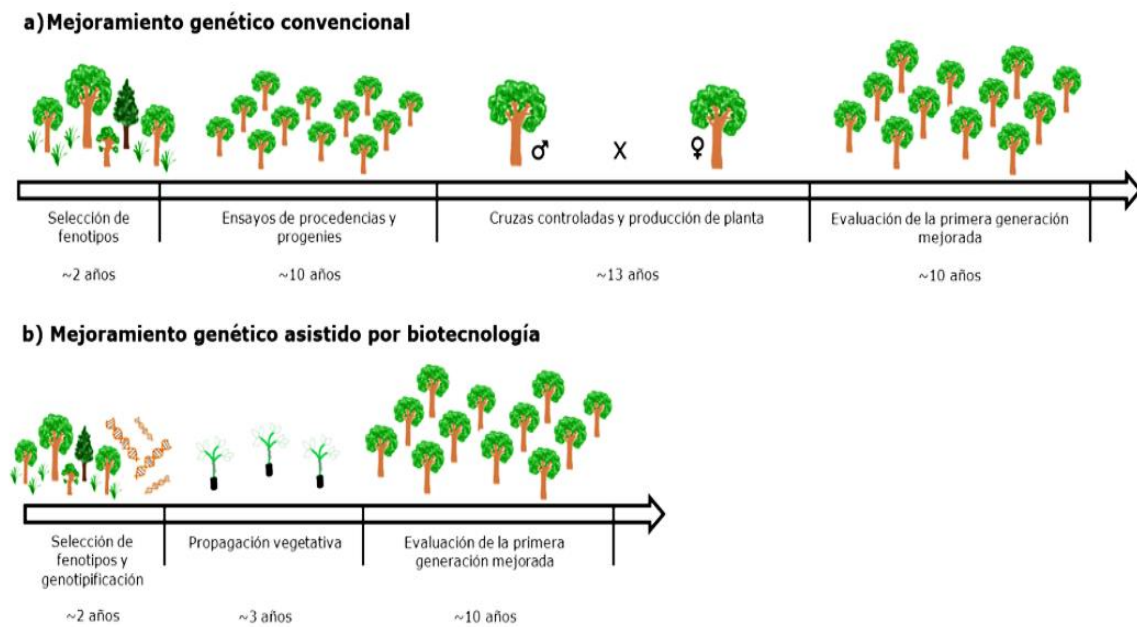


Figura 3. Representación esquemática de las etapas de un programa de mejoramiento genético para especies forestales (Gálvez-López et al., 2020).

Los estudios sobre mejoramiento genético en dalbergias maderables, es limitado y se han realizado en *Dalbergia sisso* (Singh y Bhatt, 2008) y *D. cochinchinensis* (So et al., 2010)

con la finalidad de obtener mejor calidad y mayor producción de madera, además de evaluar la selección de fuentes semilleras, huertos semilleros, calidad de la procedencia de la semilla, conservación del germoplasma *in situ* y la implementación de estas especies en sistemas agroforestales.

1.3.6 Producción de planta de calidad forestal en México

Ante la demanda constante de recursos maderables y la presión antropogénica que enfrentan los ecosistemas en México, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) desde el 2001 ha impulsado alternativas en la producción de planta de calidad para plantaciones comerciales, restauración ecológica y de programas de reforestación, con el propósito de mitigar la presión sobre las poblaciones naturales (Rueda-Sánchez et al., 2012). Sin embargo, el éxito de estas plantaciones está limitado por la baja supervivencia del arbolado (COLPOS, 2008; UANL, 2009). Ante esta problemática se han desarrollado métodos para evaluar y perfeccionar la calidad del germoplasma producido en viveros forestales, con base en la medición de atributos fisiológicos y morfológicos relacionados con el crecimiento y supervivencia de las plantas en el campo (Folk y Grossnickel, 1997; Toral, 1997; Prieto-Ruiz et al., 2007).

Para considerarse planta de calidad debe de tener la capacidad de desarrollarse y adaptarse en las condiciones edáficas y climáticas del sitio donde se establecen las plantaciones (Rodríguez, 2008), la cual obedece a las técnicas utilizadas para su reproducción y a características genéticas del germoplasma (Prieto-Ruiz et al., 2009). Por otro lado, son pocos los productores forestales que realizan una evaluación para controlar la calidad de la planta que producen (Prieto-Ruiz et al., 2007). Por lo tanto, conocer los factores

morfológicos, fisiológicos y genéticos que influyen en la calidad de planta producida en vivero (Rueda-Sánchez et al., 2012).

Los sistemas agroforestales tradicionales juegan un papel importante en la producción de plantas, principalmente con especies nativas, donde predomina la selección de características deseadas por el agricultor. Las cuales se establecen por la colecta de semillas provenientes de árboles plus para la formación de almácigos y posteriormente son trasplantados en sus parcelas. La ventaja en estos sistemas es la alta probabilidad de supervivencia del arbolado, aunque con una baja cantidad de individuos.

La producción de plantas en viveros de dalbergias en México está limitado a unas cuantas especies y una baja producción, además, no se tienen estudios exhaustivos sobre el origen y calidad de la semilla. Se ha iniciado la producción con *Dalbergia glomerata* (Hernández-García et al., 2016) y *D. palo-escrito* (Suárez-Islas et al., 2020), con fines de investigación académica.

1.3.7 Sistemas agroforestales con dalbergias

Los sistemas agroforestales (SAF) son un conjunto de técnicas silviculturales que satisfacen las necesidades de los productores, por los servicios que generan y la diversidad de productos. Estas técnicas promueven la capacidad natural de regeneración de especies nativas del bosque; son una herramienta básica para el aprovechamiento y conservación de los ecosistemas naturales y salvaguardan los recursos faunísticos y florísticos presentes en estos hábitats (Jadán et al., 2015).

Las dalbergias a nivel mundial se han empleado como alternativa para restaurar suelos degradados, mejorar la productividad de los recursos maderables y forraje bajo un SAF (Tabla 4).

Tabla 4. Especies de dalbergias bajo sistema agroforestal en America

Especie	SAF	Usos	Ecosistema	País	Referencia
<i>D. congestiflora</i>	PPF, PEF	1, 5, 6	Smsc, Sbc	México	Román-Miranda et al., 2016
<i>D. palo-escrito</i>	HC y CBS	1, 3	Smsp, Bn	México	Montagnini et al., 2015; Suárez-Islas et al., 2020
<i>D. sissoo</i>	CC, SS	1, 4, 3	Btc, Sc	Puerto Rico	Francis et al., 2000
<i>D. retusa</i>	PFC y SS	1, 2	Sbc, Btc	Costa Rica, Honduras	Andrade-Castañeda, 2007
<i>D. glomerata</i>	CPC	1, 3, 4	Smsc	Honduras	Sánchez et al., 2005

PPF: Pastoreo en plantaciones forestales; **PFC:** Plantaciones forestales comerciales; **SS:** Sistemas silvopastoriles; **CPC:** Combinación plantación-cultivo; **PEF:** Pastoreo en ecosistemas forestales; **HC:** Huertos caseros o huertos familiares; **CPC:** Combinación plantación-cultivo; **CC:** Cultivos en callejones; **Smsc** Selva mediana subcaducifolia; **Sbc** Selva baja caducifolia; **Bn** Bosque de niebla; **Btc** Bosque tropical caducifolio; **Sc** Selva seca; **Smsp** Selva mediana subperennifolia; **CBS** Cafetales bajo sombra; **1** maderable; **2** cerco vivo; **3** sombra; **4** forraje; **5** ornamental; **6** útil para la apicultura.

1.3.8 Especie de estudio

1.3.8.1 *Dalbergia palo-escrito*

Dalbergia palo-escrito Rzedowski y Guridi-Gómez es endémica de México de los bosques mesófilo de montaña, selvas medianas perennifolias, bosques tropicales caducifolios y bosques de coníferas. Normalmente sus poblaciones son pequeñas, distribuidas en los estados de Hidalgo, Querétaro, San Luis Potosí, Guerrero, Oaxaca y Morelos; con mayor rango de distribución en la Sierra Madre Oriental (Rzedowski y Guridi-Gómez, 1988). Se

establece en zonas perturbadas y con vegetación secundaria que puede conservar especies arbóreas nativas (Cervantes-Maldonado et al., 2019). Además, puede usarse en conservación y restauración mediante estrategias que concilien intereses productivos con servicios ecosistémicos ya que su madera tiene alto valor en el mercado; asimismo provee de sombra a los cultivos con los que se asocia (González-Espinosa et al., 2011). En Centroamérica se han puesto en funcionamiento con éxito sistemas agroforestales con esquemas de manejo sostenible de bosque natural donde las dalbergias se utilizan en cultivos mixtos con café, cacao o plátano (Knoblauch, 2001; Perfecto et al., 2007; Barrance et al., 2013; CITES, 2013). En México estos agro-ecosistemas emplean otras especies maderables como cedro, caoba, liquidambar, entre otros. Actualmente, en el país se han desarrollado algunos sistemas agroforestales con algunas especies de *Dalbergia*, incluida *D. palo-escrito* principalmente con café (Suárez-Islas et al., 2020).

La madera de *D. palo-escrito* es usada para la elaboración de guitarras y otros instrumentos finos, por lo que se cotiza en más de 80,000 dls/m³ en el mercado internacional (Jenkins et al., 2012). Debido a la demanda las poblaciones de *Dalbergia* son afectadas por la sobreexplotación, el tráfico ilegal, la deforestación y la fragmentación de sus hábitats, aunado a las amenazas intrínsecas a su biología como su escasez natural, lento crecimiento y bajo reclutamiento (Cervantes-Maldonado, 2016).

1.3.8.2 Descripción

Árbol perennifolio de hasta 35 m de alto, tronco hasta 80 cm de diámetro, ramillas jóvenes antrorsas y aplicadamente pubérulas con pelos rojizos o blanquecinos de 0.1 a 0.2 mm de largo, las de años anteriores grisáceas, glabrescentes. Hojas 9-13 folioladas; estípulas muy pronto caedizas; peciolo y raquis densamente pubérulos en la juventud, glabros o casi

glabros con la edad, peciólulos de 2 a 3 mm de largo densamente hispídulo, al menos en la juventud, el peciólulo del foliolo terminal inserto sobre una prolongación del raquis de ± 1 cm de largo, más delgada y de estructura diferente de lo que propiamente parece ser el peciólulo; foliolos angosta a anchamente ovados, de 4 a 5 cm de largo y 2 a 3.5 cm de ancho, ápice redondeado, a menudo levemente retuso, base por lo general redondeada a subtruncada (en el foliolo terminal con frecuencia cuneada), a menudo asimétrica, de textura membranácea, nervadura central prominente en el envés, las laterales principales 10 a 12 pares, más conspicuas en el haz, desprendiéndose en ángulo de 50° a 60° , en el envés cabe observar un fino retículo de nervaduras de último orden, haz de color verde-olivo oscuro, envés verde claro, algo grisáceo, ambas caras con puberulencia aplicada poco conspicua.

Inflorescencia en forma de panículas axilares, moderadamente densas a laxas, hasta de 5 cm de largo y de diámetro, brácteas y bracteolas de 1 mm o menos del largo, densamente pubérulas, lanceoladas a lineares, pedicelos de 1 a 2 mm de largo; flores de 3 a 5.5 mm de largo, de olor poco agradable, cáliz campanulado, notablemente zigomórfico, a la mitad de la longitud de la flor a veces un poco más largo, corola blanquecina a amarillenta, glabra, estandarte erecto, con lámina obovada, emarginada en el ápice, subbiauriculada en la base de un solo lado o de ambos lados, los pétalos de la quilla similares, pero un poco más anchos y auriculados de un solo lado; estambres 9, monadelfos, el tubo glabro: ovario estipitado, densamente pubérulo, estilo grueso, de ± 1 mm de largo, estigma terminal, oblicuo.

Fruto oblongo, de 4 a 7.5 cm de largo, de 1 a 1.5 cm de ancho, redondeado u obtuso y a veces mucronado en el ápice, cuneado en la base, pasando en forma más o menos abrupta al delgado estípite, monospermo, de color café, con la venación prominentemente reticulada en el área correspondiente a la semilla y de manera menos conspicua en el resto del fruto, puberulencia similar a la de las hojas (Figura 4).

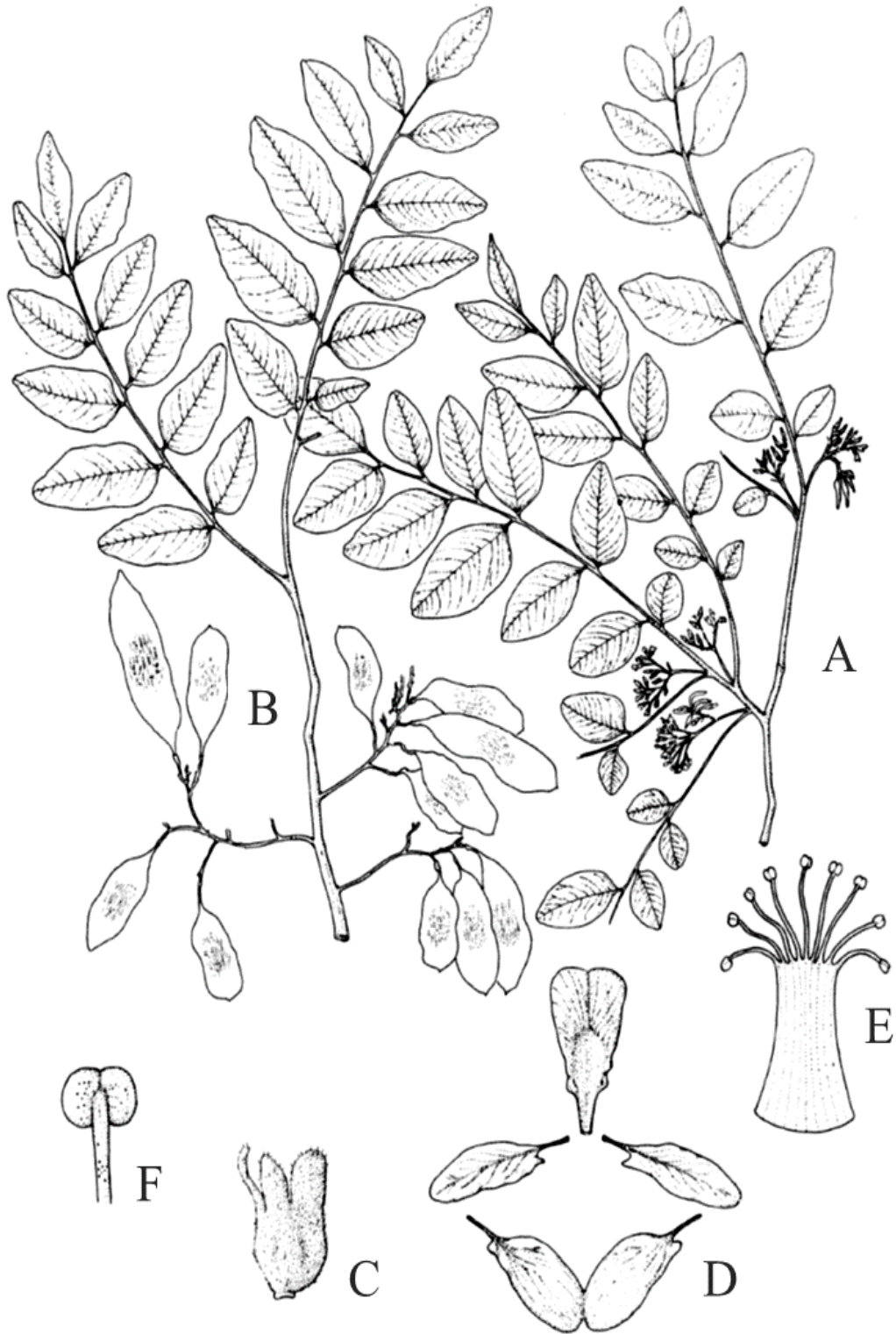


Figura 4. *Dalbergia palo-escrito* Rzedowski & Guridi-Gómez. A) Rama con flores; B) Rama con frutos; C) Cáliz; D) Pétalos, E) Androceo; F) Antera (Modificado de Rzedowski & Guridi-Gómez, 1988).

1.3.8.3 Descripción anatómica de la madera

La corteza externa es rugosa, de color castaño amarillento claro, está cubierta con musgos y líquenes pequeños y abundantes, que le confieren color verde a la superficie; tiene aproximadamente 0.2 cm de espesor. La corteza interna es de color crema y tiene 0.4 cm de grosor.

La madera presenta marcada diferencia entre la albura, que es el color crema, y el duramen castaño violáceo con vetas oscuras, casi negras, que en las caras transversales semejan anillos de crecimiento de contorno muy irregular y son los responsables de su hermoso veteado (Figura 5). El olor y sabor no se perciben, tiene veteado pronunciado, textura mediana, hilo recto y brillo medio. Es muy dura y pesada y fácil de trabajar. No presenta anillos de crecimiento, pero existe cierta zonación debido a la presencia de parénquima terminal. La porosidad es difusa, con ligera tendencia circular. Los poros visibles a simple vista, bastante conspicuos en las caras tangenciales, son de pequeños a grandes, predominantemente solitarios, en grupos radiales de 2 a 3. Parénquima leñoso visible con lupa, es terminal y paratraqueal vasicéntrico, de pocas células de ancho. Los rayos sólo visibles con lupa, son muy notables y numerosos y resaltan por su color más claro en las caras transversales (Tomado de: Rzedowski y Guridi-Gómez, 1988).



Figura 5. A) Corte transversal del tronco de un individuo joven y B) Corte longitudinal de *Dalbergia palo-escrito* utilizado en la laudería. A) Foto tomada de Rzedowski y Guridi-Gomez, 1988, B) Foto tomada de Suárez-Islas et al., 2020.

1.3.8.4 Usos

La madera, por su hermoso color, contraste vetado y propiedades de resonancia, es muy apreciada por los artesanos de Michoacán (Paracho), quienes la utilizan en el fondo y en la costilla de guitarras de tipo clásico, las cuales se cotizan a alto precio en el mercado por su gran demanda. En la región limítrofe de los estados de San Luis Potosí, Querétaro e Hidalgo, municipios de Aquismo, Xilitla, Tamazunchale, Jalpan, Landa, Chapulhuacán y Pisaflores, el palo escrito se emplea principalmente para trabajos de ebanistería, siendo superior su demanda y su precio a los de la madera de cedro rojo (*Cedrela odorata*). Es de llamar la atención, por consiguiente, que en la zona de Molango y Tianguistengo, del estado de Hidalgo, donde el árbol es común, aparentemente no se le utiliza con fines de construcción de muebles, la única indicación de uso en las etiquetas de los ejemplares examinados lo describe como árbol de sombra. Asimismo, resulta notable que el nombre “palo-escrito” no esté en uso en esa zona.

Por otra parte, es pertinente señalar que muchos otros representantes de *Dalbergia* también tienen características similares. Entre éstas destacan *D. nigra* del Brasil (palisandro), *D. retusa* y especies afines de Centroamérica (cocobolo del comercio), *D. sisso* de la India y *D. melanoxylon* de África, este último, usado en la elaboración de instrumentos musicales. Excelente característica acústica presenta también *D. stevensonii* de Belice, que se emplea para la fabricación de marimbas y xilófonos.

1.3.8.5 Distribución geográfica y afinidades ecológicas

Dalbergia palo-escrito se muestra como una especie endémica de corto segmento de la Sierra Madre Oriental (entre las latitudes 20° 40' y 21° 30' N), incluyendo reducidas porciones de los estados de Querétaro, San Luis Potosí y con mayor distribución en Hidalgo. El árbol está claramente vinculado con el bosque mesófilo de montaña de la región y se le encuentra de preferencia entre 900 y 1700 m.s.n.m.; sólo una localidad indica el bosque de *Juniperus* y *Pinus*, a 1900 m de altitud. Al parecer el sustrato geológico de todas las poblaciones lo constituyen rocas sedimentarias marinas, mayormente calizas. Como ya se indicó con anterioridad, el área de distribución de esta especie corresponde a una comarca perturbada por la agricultura y la ganadería intensiva. La vegetación en general se encuentra modificada y sólo en algunas localidades de difícil acceso se localizan vestigios de bosque primitivo. El área próxima a Chapulhuacan y Xilitla, el palo escrito formaba parte del bosque mesófilo de montaña original como elemento relativamente poco importante desde el punto de vista cuantitativo. Es en esa zona, donde se le puede encontrar en forma de árbol de hasta 35 m de altura (Figura 6). *Dalbergia palo-escrito* resulta sin duda favorecida por ciertos tipos de disturbio y con frecuencia abunda en los bosques secundarios y en manchones de la

región. La actividad humana ha favorecido su presencia de esta especie, ya que se ha encontrado en cercas vivas y en huertos familiares.



Figura 6. A) Bosque mesófilo de montaña, hábitat natural de *D. palo-escrito* y B) Plántula afectada por actividad humana y ganadera en Tlahuiltepa, Hidalgo.

1.3.8.6 Fenología y reproducción

Aun cuando se trata de una especie siempre verde, al tiempo de la floración o poco antes acontece una sustitución del follaje. Las flores se observan entre febrero y abril, ejemplares con frutos se han colectado de junio a septiembre y presentan semillas bien desarrolladas. Parece ser tan drástico este fenómeno que los intentos de reproducir los arboles a través de viveros se han visto frustrados por la escasez de semillas (Mauro Márquez, com. pers.). La larva de un insecto (probablemente de la familia Bruchidae) es la responsable del consumo masivo de estos propágulos. Con base en estas características se asume que no es posible que, sin formar semillas viables, la especie se reproduzca en forma natural tan bien como para constituirse en uno de los elementos arbóreos más abundantes en la zona en que

vive. Por lo tanto, es recomendable desarrollar estrategias para su propagación desde la calidad de semilla hasta la evaluación de crecimiento, con el fin de propagar esta planta a nivel comercial, tanto en su región nativa, como en otras localidades con condiciones ambientales similares. El crecimiento de los árboles es relativamente rápido, aunque no tan rápido como el Liquidambar, con el que frecuentemente convive (Cervantes-Maldonado et al., 2019).

1.3.8.7 Afinidad de las especies

La mayor parte de los ejemplares de *D. palo-escrito*, previamente depositados en los herbarios, habían sido identificados como *D. tucurensis* y es probable que de hecho se trate de especies emparentadas. Ambas comparten los caracteres de estandarte erecto y estilo grueso, androceo de nueve estambres, flores de 3 a 5.5 mm de largo, inflorescencia paniculada, foliolos relativamente grandes en número próximo a 11, fruto monospermo, similar en la forma y en ser árboles altos de ambientes húmedos. No obstante, *D. tucurensis* tiene los foliolos con muy marcada tendencia a ser oblongos y provistos de pubescencia amarilla conspicua en el envés, mientras en *D. palo-escrito* estos son casi siempre francamente ovados y si bien, son bicolors de manera evidente, carecen por completo de tonalidad amarilla en la pubescencia. El fruto de esta última es pubescente, en cambio la primera lo tiene glabro. En *D. tucurensis*, además, el cáliz presenta venación muy prominente por dentro, carácter que no se observa en *D. palo-escrito* y en *D. tucurensis* se describió en Guatemala y se conoce en la actualidad de Chiapas y Belice a Nicaragua (Figura 7). Otras especies a fines son: *D. melanocardium*, *D. congestiflora* y *D. glomerata*. La primera y la segunda tienen los foliolos mucho más pequeños, en la tercera el fruto es glabro y con frecuencia lleva dos o tres semillas.

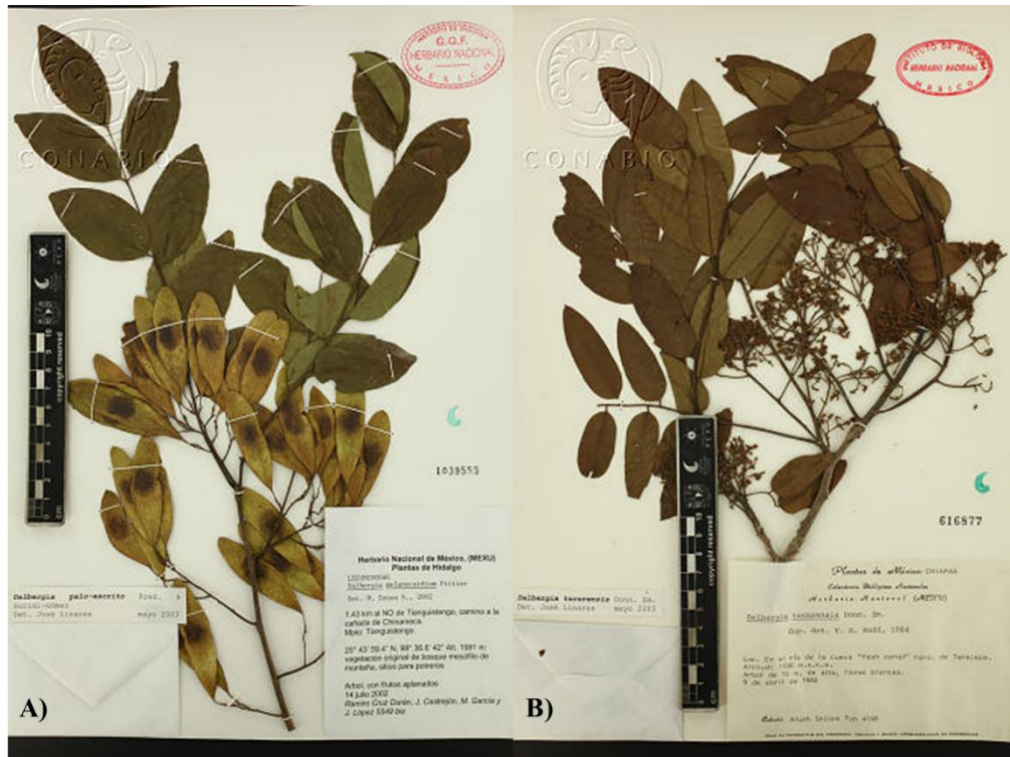


Figura 7. Comparación morfológica de *D. palo-escrito* (A) y *D. tucurensis* (B). Fotos: CONABIO, Banco de Imágenes, Referencia: EP 020 *Dalbergia palo-escrito* y EP 003 *Dalbergia tucurensis*.

1.3.8.8 Estudios previos

Dalbergia palo-escrito (Rzedowki y Guridi-Gómez, 1988), esta especie habita el bosque nuboso de la Sierra Madre Oriental en los estados de Hidalgo, San Luis Potosí y Querétaro, pero se detectaron algunas poblaciones disjuntas de Morelos, Guerrero y Oaxaca que podrían estar morfológicamente asociados con *D. palo-escrito*. Es probable que, en el pasado, *D. palo-escrito* pudiera haber tenido un rango más amplio, y actualmente se observan fragmentos de la distribución original. Se necesitan más estudios para confirmar esta observación (Cervantes-Maldonado et al., 2019).

1.4 HIPÓTESIS

Dalbergia palo-escrito es una especie con distribución restringida mayormente a los bosques mesófilos de montaña, un tipo de vegetación raro y amenazado. Además, enfrenta diversas problemáticas relacionadas con la pérdida y fragmentación de su hábitat, la depredación masiva de semillas y el comercio no regulado de la madera proveniente de poblaciones silvestres, por lo que es necesario proponer medidas para proteger esta especie y al hábitat donde se encuentra, así como proponer la producción de planta de calidad (sexual y asexual) e identificar fuentes semilleras para establecer plantaciones forestales y agroforestales para su aprovechamiento sustentable y rescate de la especie.

Las poblaciones con menor índice de perturbación de *Dalbergia palo-escrito* en el estado de Hidalgo presenta mayor diversidad y estructura genética en contraste con poblaciones de mayor índice de perturbación. Se esperaría homogenización en la variación genética y morfológica, enfermedades asociadas y un declive generalizado de todos los atributos poblacionales. Por otro lado, se esperaría que la diversidad genética en arboles plus, sea homogénea a la descendencia, para garantizar la expresión de los caracteres deseados en las plantaciones forestales.

1.5 JUSTIFICACIÓN

Los vacíos de información respecto a la biología de las dalbergias mexicanas hacen difícil evaluar con precisión el riesgo de extinción de sus poblaciones, en particular las especies maderables sujetas a explotación. A pesar de que las especies de *Dalbergia* pueden llegar a ser elementos conspicuos del paisaje y estar ampliamente distribuidas, el conocimiento de su historia natural es fragmentario, poco se sabe sobre su polinización, demografía, genética y otras interacciones bióticas.

Así mismo, *D. palo-escrito* se encuentra en la NOM-059 y en el apéndice II del CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, CITES, 2013) de los árboles mexicanos de los bosques de niebla, además en la categoría de críticamente amenazada bajo los criterios de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza., González-Espinosa et al., 2011). Conocer la densidad de sus poblaciones permitirá estimar el volumen maderable que proporcionan y documentar las tasas de aprovechamiento factibles para la especie. Por otro lado, el análisis genético ayudará a detectar los eventos implicados en la pérdida de variación, identificar fuentes semilleras para la recolecta de germoplasma, establecer huertos semilleros, proponer las bases para la producción de planta (sexual y asexual) de calidad en viveros y el establecimiento de plantaciones agroforestales y forestales.

Esta información ayudará a delimitar el grado de amenaza de la especie y proponer estrategias de manejo forestal y agroforestal, así como para su conservación y restauración de sus poblaciones, mediante la producción de planta de calidad. Además de establecer las bases implicadas en los factores de riesgo potenciales y reales para la especie, tanto extrínsecos como intrínsecos.

1.6 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la diversidad y estructura genética de *Dalbergia palo-escrito*, mediante el uso de microsatélites (SSR), para seleccionar fuentes semilleras y condiciones de crecimiento, con el fin de producir planta de calidad y proponer estrategias de manejo forestal, agroforestal y conservación para su aprovechamiento sustentable.

1.7 OBJETIVOS PARTICULARES

- Identificar fuentes de diversidad genética y categorías susceptibles de manejo maderable para *Dalbergia palo-escrito* en localidades del estado de Hidalgo mediante el uso de microsatélites (SSR) desarrollados para el género, con el fin de identificar árboles plus como fuentes de propagación en asociación con sus caracteres morfológicos.
- Evaluar el efecto del AIB (ácido indol-3-butírico) a diferentes concentraciones en esquejes basales, medio y apical de *Dalbergia palo-escrito*, con el propósito de determinar las mejores condiciones de enraizamiento y brotes para su propagación en etapa de invernadero.
- Determinar la influencia de la perturbación sobre la variación de los atributos morfológicos y la estructura poblacional de *Dalbergia palo-escrito* en cuatro localidades del estado de Hidalgo, México.

1.8 MATERIAL Y MÉTODOS

1.8.1 Sitio de estudio

Se localizaron poblaciones silvestres de *Dalbergia palo-escrito* dentro de su área de distribución en la Sierra Madre Oriental en el estado de Hidalgo con base en lo reportado por la literatura, dentro de los municipios de Tlanchinol y Tlahuiltepa. En el municipio de Tlanchinol se estableció el análisis genético para identificar alelos susceptibles de manejo y en el municipio de Tlahuiltepa se realizó el de perturbación y aprovechamiento en cuatro localidades.

1.8.2 Caracterización poblacional

En cada sitio, se estableció un cuadrante de 50 × 50 m y se mapearan todos los árboles dentro de esta área para evaluar la densidad espacial de los individuos (densidad) (Aguirre-Saldado et al., 2015). Se registraron cuatro atributos morfológicos para describir la mayor parte de la variación (previamente utilizado por Cunha et al., 2013): diámetro a la altura del pecho en centímetros (DAP), altura total en metros, ángulo de inserción de la primera rama en grados (AIR) medido con un clinómetro (Smart Tool, Chicago, EE. UU.) y forma de la corona (FC) basada en seis clases ascendentes: 1) yemas, 2) pocas ramas, 3) menos de medio círculo, 4) medio círculo, 5) corona de círculo irregular, y 6) corona circular (Acosta-Hernández et al., 2011a, b).

Las plantas se clasificaron mediante un análisis de conglomerados de rasgos morfológicos utilizando el método de aglomeración de Ward con distancias euclidianas. Previa comprobación de la multinormalidad con la prueba de Mardia y la esfericidad con un

análisis de omnibus. Los grupos se establecieron mediante un remuestreo de arranque con 10,000 iteraciones y se corroboraron mediante un diagrama de amalgamación.

1.8.3 Análisis del disturbio

Para la evaluación de los niveles de disturbio en cada población se tomaron catorce parámetros divididos en tres categorías: actividades humanas, ganadería y deterioro del hábitat (modificado de Martorell y Peters, 2009) se tomaron 10 transectos aleatorios dentro del cuadrante de 100 x 100 m, con dimensión de 50 x 1 m; lo que representa el 5 % de la superficie evaluada. Además, el consumo de semillas se consideró como un rasgo de perturbación específico porque es de las principales causas de pérdida de reclutamiento (Jordano-Barbudo et al., 2008). La suma de cuadrantes de 1 m² de transecto afectado por cada indicador se dividió por el número total de cuadrantes por transecto (50 m²) x 100. Estos datos permitieron describir el porcentaje de afectación por rasgo de perturbación en cada población. Además, como elemento cualitativo que permitió identificar la causalidad del disturbio, se tomó en cuenta la historia de uso del suelo y manejo tradicional con el fin de detectar elementos importantes de sustentabilidad y adaptabilidad al ambiente local, que son catalogados a pequeña escala, ya que suelen conservar la base de recursos naturales bajo algún manejo.

1.8.4 Colecta de material biológico

Se colectó tejido foliar de los arboles plus y no plus, además de la progenie de dichas categorías con el fin de contrastar el efecto de la depuración alélica por selección natural. Por último, se colectaron estacas (20 cm de longitud con 2 y 3 nudos y de diámetro 1, 1.5 y 2

cm) de los árboles plus de diferentes partes de la copa, para inducir la reproducción vegetativa mediante tratamiento hormonal.

1.8.5 Análisis genético

Una vez obtenido el material biológico se realizó la extracción y purificación del DNA de cada población mediante el método optimizado de Doyle y Doyle (1990) basado en el uso de CTAB (Bromuro de hexadeciltrimetilamonio). El DNA obtenido fue amplificado usando nueve microsatélites desarrollados para *D. nigra* y *D. monticola* (Fraveau et al., 2007; Ribeiro et al., 2009) de 18 probados en seis especies del género, puesto que fueron los únicos que mostraron polimorfismo. Con esta información se describió y evaluó la variabilidad de las poblaciones utilizando el programa GenAlEx (Pekall y Smouse, 2012) y TFPGA versión 1.3 (Miller, 1997). La comparación entre poblaciones y cultivos se realizó mediante el AMOVA, las distancias génicas de Nei (Sneath y Sokal, 1973; Nei, 1987), análisis de agrupamiento Neighbour Joining, pruebas de Mantel (1967) con las matrices de distancias genéticas y geográficas, análisis de asignación con el programa STRUCTURE (Evanno et al., 2005), evaluación multimétrica de las frecuencias alélicas mediante un Análisis de Discriminante de Componentes Principales (DAPC, Jombart et al., 2010) y análisis bayesianos para determinar cuellos de botella o Bottleneck (Goodman, 2015).

1.9 LITERATURA CITADA

- Acosta-Hernández, C. C., Luna-Rodríguez, M., Noa-Carrazana, J. C., Galindo-González, J., Vázquez-Torres, S. M., Morales-Romero, Z. y Iglesias-Andreu, L. G. 2011a. Caracterización morfológica y dasométrica de la especie amenazada *Juglans pyriformis* Liebm. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 17(1): 59-67. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.03.015>
- Acosta-Hernández, C. C., Luna-Rodríguez, M., Octavio-Aguilar, P., Morales-Romero, Z., Galindo-González, J., Noa-Carrazana, J. C., Vázquez-Torres, S. M. y Iglesias-Andreu, L. G. 2011b. Efecto del aprovechamiento forestal sobre la variación morfológica de *Juglans pyriformis* Liebm. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 17(3): 379-388. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.04.033>
- Alba-Landa, J. 2007. Movimiento de especies forestales en el estado de Veracruz, México. Tesis de Doctorado en Recursos Genéticos Forestal, Instituto de Genética Forestal, Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México. 97 p.
- Alba-Landa, J., Mendizábal-Hernández, L. D. C., y Ramírez, J. M. 2008. El mejoramiento genético forestal y las pruebas establecidas en Veracruz. Foresta Veracruzana, 10(1), 25-29.
- Aggarwal, P. K., Rao, R. V., y Joshi, S. C. 2013. Juguetes de madera en la India. 300 años de actividades forestales sostenibles, 64(1), 57-60.
- Aguirre-Saldado, C. A., Valdez-Lazalde, J. R., Sánchez Díaz, G., Miranda-Aragón, L., y Aguirre-Salado, A. I. 2015. Modeling site selection for tree plantation establishment under different decision scenarios. Journal of Tropical Forest Science 27(3): 298-313.
- Amri, E., Kanyeka, Z.L., Lyaruu, H.V.M. y Nyomora, S. 2009. Evaluation of genetic diversity in *Dalbergia melanoxylon* populations using random amplified polymorphic DNA markers. Research Journal of Cell and Molecular Biology, 3(2), 71-79.
- Amri, E., Lyaruu, H. V. M., Nyomora, A. S. y Z. L. Kanyeka. 2010. Vegetative propagation of African Blackwood (*Dalbergia melanoxylon* Guill. y Perr.): effects of age of

- donor plant, IBA treatment and cutting position on rooting ability of stem cuttings. *New Forests*, 39: 183- 194.
- Andrade Castañeda, HJ. 2007. Growth and inter-specific interactions in young silvopastoral systems with native timber trees in the dry tropics of Costa Rica. Tesis PhD. Turrialba, Costa Rica, CATIE-UWB. 224 p.
- Andrianoelina, O., Favreau, B., Ramamonjisoa, L., y Bouvet, J. M. 2009. Small effect of fragmentation on the genetic diversity of *Dalbergia monticola*, an endangered tree species of the eastern forest of Madagascar, detected by chloroplast and nuclear microsatellites. *Annals of Botany*, 104(6): 1231-1242.
- Asian Regional Workshop (Conservation y Sustainable Management of Trees, Viet Nam, August 1996). 1998. *Dalbergia cochinchinensis*. The IUCN Red List of Threatened Species 1998: e.T32625A9719096. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T32625A9719096.en>. (Downloaded on 21 October 2020).
- Bakshi, M., y Sharma, A. 2011. Assessment of genetic diversity in *Dalbergia sissoo* clones through RAPD profiling. *Journal of forestry research*, 22(3): 393-397.
- Barelli, C., Albanese, D., Donati, C., Pindo, M., Dallago, C., Rovero, F. y De Filippo, C. 2015. Habitat fragmentation is associated to gut microbiota diversity of an endangered primate: implications for conservation. *Scientific reports*, 5(1), 14862.
- Barragán-Huerta, B. E., Peralta-Cruz, J., González-Laredo, R. F., y Karchesy, J. 2004. Neocandenatone, an isoflavan-cinnamylphenolquinonemethide pigment from *Dalbergia congestiflora*. *Phytochemistry* 65:925-928.
- Barrance, A., Beer, J., Boshier, D.H., Chamberlain, J., Cordero, J., Detlefsen, G., y Finegan, B. 2013. Descripciones de especies de árboles nativos de América Central. *In: Árboles de Centroamérica: un manual para el extensionista*. El Salvador: CATIE. El Salvador.ID 2380: pp. 473-476.
- Barrett, S. C. H. y Kohn, J. R. 1991. Genetic and evolutionary consequences of small population size in plants: implications for conservation. Págs. 3-30. En: Falk, D. A. y Holsinger, K. E. (eds.). *Genetic and Conservation of Rare Plants*. Oxford University Press. New York, New York. USA.

- Barros, A. S., Gutiérrez, Caro. B., e Ipinza, C. R. 2015. Conservación de recursos genéticos forestales. Principios y prácticas. Instituto Forestal INFOR, Santiago, Chile. 320 p.
<https://doi.org/10.52904/20.500.12220/20830>
- Barstow, M. y Linares, J. 2020. *Dalbergia retusa*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e. T32957A67799410. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-1.RLTS.T32957A67799410.en>. (Downloaded on 22 October 2020).
- Basik, T. N. 2015. China's Hongmu consumption boom: analysis of the Chinese rosewood trade and links to illegal activity in tropical forested countries. Washington D.C.: Forest Trends. 48 p.
- Bawa, K.S. y Webb, C.J. 1984. Flower, fruit and seed abortion in tropical forest trees: Implications for the evolution of paternal and maternal reproductive patterns. *American Journal of Botany*. 71(5): 736-751.
- Berglund, H. y Jonsson, B. G. 2003. Nested plant and fungal communities; the importance of area and habitat quality in maximising species capture in boreal old-growth forests. *Biological Conservation*, 112: 319-328.
- Bilgen, B. B., & Kaya, N. 2017. Genetic diversity among *Pinus sylvestris* L. populations and its implications for genetic conservation: comparison of nuclear and chloroplast microsatellite markers. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(11), 6873-6881.
- Blanco-Romero, I. 2019. El género *Dalbergia* en México: evaluación poblacional y estudio de campo en la región costa de Oaxaca. Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica de Madrid, España. 126 p.
- Breed, MF., Ottewel, K, M., Gardner, M, G., Marklund, M, H., Dormontt, E, E. y Lowe, A, J. 2013. Mating patterns and pollinator mobility are critical traits in forest fragmentation genetics. *Heredity* 115: 108-114. DOI:10.1038/hdy.2013.48
- Bruna, E. M. y Kress, W. J. 2002. Habitat fragmentation and the demographic structure of Amazonian understory herb (*Heliconia acuminata*). *Conservation Biology*, 16(5): 1256-1266.
- Butler, R. 2016. Tropical rainforests: deforestation rates, tables and charts. Mongabay.com Accessed 20/01/2016
- Carvalho, A. M. 1997. A synopsis of the genus *Dalbergia* (Fabaceae, Dalbergieae) in Brazil. *Brittonia*. 49 (1): 87-109.

- Casas, A., Torres-Guevara, J. y Parra, F. 2016. Domesticación en el continente americano. Manejo de biodiversidad y evolución dirigida por las culturas del nuevo mundo. 504 p.
- Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). 2017. Plan de acción de América del Norte para un comercio sustentable de especies maderables, Montreal, 44 p.
- Cerón, C. 2002. Etnobotánica Huaorani de Tivacuno-Tiputini Parque Nacional Yasuní. *Cinchonia*, 3(1): 64-94.
- Cervantes-Maldonado, A. 2016. La conservación del granadillo en México: una carrera contra el tiempo. *CONABIO. Biodiversitas*, 128:6-11.
- Cervantes-Maldonado, A., Linares, J., y Quintero, E. 2019. An updated checklist of the Mexican species of *Dalbergia* (Leguminosae) to aid in its conservation efforts. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90. e902528. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2528>
- Chavarría L., A. 2006. Variación genética del árbol tropical en peligro de extinción *Dalbergia retusa* Hemsl. (*Papilionaceae*) en Costa Rica, utilizando el análisis de AFLP. Tesis Magister Scientiae en Biología, Universidad de Costa Rica “Rodrigo Facio”, San José, Costa Rica. 85 p.
- Cho, P., y Quiroz, L. 2005. Forest Department. In Ministry of Natural Resources, Belmopan, Belize.[Presentation to Timber Tree workshop, Nicaragua February 2005] <http://www.unep-wcmc.org/forest/timber/workshops/reports/MA2005.htm>.
- Chopra, R. N., Nayar, S. L., y Chopra, I. C. 1980. Glossary of Indian medicinal plants, New Delhi; Council for Scientific Ind. Res. 51-55.
- Convención Internacional sobre el Comercio de Especies Amenazadas de Fauna y Flora (CITES). 2013. CoP 16 Prop. 62. *Dalbergia stevensonii*, inclusion in Appendix II. Belize. Downloaded 23th. October, 2017. <https://cites.org/sites/default/files/esp/cop/16/prop/S-CoP16-Prop-62.pdf>
- Convención Internacional sobre el Comercio de Especies Amenazadas de Fauna y Flora (CITES). 2007. 3-15 de junio Decimocuarta reunión de la Conferencia de las Partes. La Haya (Países Bajos). Consultado 01 nov. 2020. Disponible en: <https://www.cites.org/sites/default/files/esp/cop/14.pdf>

- Colegio de Postgraduados. 2008. Reforestación. Evaluación Externa. Ejercicio Fiscal 2007. CONAFOR SEMARNAT. http://148.223.105.188:2222/gif.snif_portal/index.php?
- Condit, R. y Pérez, R. 2002. Tree Atlas of the Panama Canal Watershed. Center for Tropical Forest Science, Panama. Accessed 07/02/2005. <http://ctfs.si.edu/webatlas/maintreeatlas.html>
- Cornelius, J. P., y Ugarte, G L. J. 2010. Introducción a la genética y domesticación forestal para la agroforestería y silvicultura. Notas de clase. Lima, Perú. Centro Mundial para la Agroforestería (ICRAF). 124p.
- Cunha, T. A., Finger, C. A. G. y Schneider, P. R. 2013. Modelo linear misto para o incremento em área basal de árvores individuais de cedro (*Cedrela odorata* L.) na amazônia ocidental, Brasil. *Ciência Florestal* 23(3): 461-470. DOI: <https://dx.doi.org/10.5902/1980509810557>
- Da Silva, E, F., De Oliveira, C, A, M., Lins-E-Silva A, C, B. y Rodal, M, J, N. 2008. Diversity and genetic structure of natural fragmented populations of *Tapirira guianensis* Aubl. Northeastern Brazil. *Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability* 2: 35-40.
- de Oliveira Buzatti, R. S., Chicata, F. S. L., y Lovato, M. B. 2016. Transferability of microsatellite markers across six *Dalbergia* (Fabaceae) species and their characterization for *Dalbergia miscolobium*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 69, 161-165.
- Deweese, P., B. Campbell, Y. Katerere, A. Siteo, A.B. Cunningham, A. Angelsen y Wunder. S. 2011. Managing the miombo woodlands of southern Africa: Policies, incentives, and options for the rural poor. Washington DC: Program on Forests (PROFOR).
- Díaz-Gómez, V., y Huerta-Crespo, J. 1986. Utilización de las maderas tropicales en México. *Revista de Ciencia Forestal*, 11: 127-145.
- Doyle, J. J., y Doyle, J. L. 1990. Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus*, 12(13): 39-40.
- Du Puy, D. 1998. *Dalbergia monticola*. The IUCN Red List of Threatened Species 1998: e. T38259A10108340. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T38259A10108340.en>. (Downloaded on 21 October 2020).
- Eguiarte, L., Souza, V. y Aguirre, X. 2007. *Ecología Molecular*. UNAM. México. 592 p.

- Environmental Investigation Agency (EIA). 2016. The Hongmu Challenge: A briefing for the 66th meeting of the CITES Standing Committee, January 2016.
- Espinoza, E. O., Wiemann, M. C., Barajas-Morales, J., Chavarria, G. D., y McClure, P. J. 2015. Forensic analysis of CITES-protected *Dalbergia* timber from the Americas. *IAWA journal*, 36(3): 311-325.
- Evanno, G., Regnaut, S. y Goudet, J. 2005. Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulatory study. *Molecular Ecology*, 14: 2611-2620.
- Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala-Fundación Naturaleza para la Vida (FAUSAC-FNPV). 2015. ITTO-CITES Project: “Establishment of a forensic laboratory for identification and description of woods for its application to legal processes and to the systems of traceability of the products included in CITES”. Preliminary data and personal consultations.
- Folk, R, S. y Grossnickel, S, C. 1997. Determining field performance potential with the use of limiting environmental conditions. *New For.* 13: 121-138.
- Fonseka D.L.C.K y Wickramaarachchi W.W.U.I. 2018. Rose Wood (*Dalbergia* spp.); A Luxury Timber. *SSRG International Journal of Agriculture & Environmental Science* 5(4): 25-28.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2014. The state of the world’s forest genetic resources. Rome, Italy. 276 p.
- Frankie, G.W., Vinson, S.B., Thorp, R.W., Rizzardi, M.A., Tomkins, M. and Newstrom-Lloyd, L.E. 2002. Monitoring: an essential tool in bee ecology and conservation. *In: Kevan, P and Imperatriz Fonseca, V.L. (Eds). Pollinating bees – the conservation link between agriculture and nature. Ministry of Environment. Brasília. pp. 187-198.*
<http://www.webbee.org.br>
- Favreau, B., Andrianoelina, O., Nunez, P., Vaillant, A., Ramamonjisoa, L., Danthu, P., y Bouvet, J. M. 2007. Characterization of microsatellite markers in the rosewood (*Dalbergia monticola* Bosser y R. Rabev.). *Molecular Ecology Notes*, 7(5): 774-776.

- Francis, J. K., Lowe, C. A., y Trabanino, S. 2000. Bioecología de árboles nativos y exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales. US Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry.
- Ferraz-Grande, F. G., y Takaki, M. 2001. Temperature dependent seed germination of *Dalbergia nigra* Allem (Leguminosae). Brazilian Archives of Biology and Technology, 44, 401-404.
- Fierros, M. 2012. Programa de desarrollo de plantaciones forestales comerciales, a 15 años de su creación. CONAFOR, Jalisco, México.
- Gálvez-López, L., Vallejo Reyna, M. Á., Méndez Espinoza, C., y López Upton, J. 2020. *Cedrela odorata* L.: opportunities for its conservation and genetic improvement. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 11(58): 04-25.
- García, E. P., Lara, J. C. L., García, P. I. L. y Montesinos, D. P. 2001. Estudios para la conservación de las Zamias cubanas: 1. Caracterización de localidades en Cuba occidental. Revista del Jardín Botánico Nacional, 22(2): 195-200.
- García, E. G., y Di Stéfano, J. F. 2000. Temperatura y germinación de las semillas de *Dalbergia retusa* (Papilionaceae), árbol en peligro de extinción. Revista de Biología Tropical, 48(1), 43-45.
- Gauchat, M. E., Hernán-Rodríguez, G., Belaver, H. y Bischoff, D. 2006. *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*, híbridos de alta productividad combinando crecimiento y forma. Idia XXI: 5(8): 162-170.
- González, D. 2010. Optimización del método SCAR (Sequence Characterized Amplified Region) que favorece el aislamiento de loci polimórficos para estudios filogenéticos en taxa cercanamente relacionados. Revista mexicana de biodiversidad, 81(1), 183-185.
- González, E. G. 2003. Microsatélites: sus aplicaciones en la conservación de la biodiversidad. Graellsia, 59(2-3): 377-388.
- González-Espinosa, M., Meave, J. A. F., Lorea-Hernández, G., Ibarra-Manríquez, G. y Newton, A. C. 2011. The Red List of Mexican Cloud Forest Trees. Fauna y Flora International, Cambridge, Reino Unido. Disponible en: <https://portals.iucn.org/library/node/10146>

- González-Vélez, G., Andrés-Hernández, A. R., Valdez-Eleuterio, G., Álvarez-Quiroz, N., Martínez-Moreno, D., & Rivas-Arancibia, S. P. 2020. Germinación de semillas de seis especies arbóreas maderables de una selva baja caducifolia en Puebla, México. *Agrociencia*, 54(2), 227-240.
- González, D. y Vovides, A. P. 2012. A modification to the SCAR (Sequence Characterized Amplified Region) method provides phylogenetic insights within *Ceratozamia* (*Zamiaceae*). *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(4), 929-938. <https://doi.org/10.7550/rmb.27125>
- Goodman, J. W. 2015. *Statistical optics*. Wiley Series in Pure and Applied Optics. 2a ed. Illustrated. John Wiley y Sons. 544 p.
- Gram, W. K. y Sork, V. L. 1999. Population density as a predictor of genetic variation for woody plant species. *Conservation Biology*, 13: 1079-1087.
- Grandtner, M. M., y Chevrette, J. 2013. *Dictionary of trees, volume 2: South America: Nomenclature, taxonomy and ecology*. Academic Press.
- Gual-Díaz, M., y Rendón-Correa, A. 2014. Bosques mesófilos de montaña de México: diversidad, ecología y manejo. *En: Gual-Díaz M, Rendón-Correa A, eds. Bosques mesófilos de montaña de México diversidad, ecología y manejo*. 1st edición. México D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. CONABIO. 27-67.
- Guridi, G. L. I., y García-López, Y. A. 1996. *Las maderas en los instrumentos musicales de cuerda de Paracho, Michoacán, México*. Editorial Universitaria, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.
- Gutierrez, B. 2008. Mejoramiento genético y conservación de recursos forestales nativos en Chile. *Forest Systems*, 12(3): 145-153.
- Hardiyanto, E, B. y Tridasa, A, M. 2000. Early performance of *E. urophylla* and *E. grandis* hybrids on several sites in Indonesia. *En: Dungey, H.S. et al., (eds.) QFRI/CRCSPF Symposium on Hybrid Breeding and Genetics of Forest Trees*. 9–14 April 2000, Queensland. pp: 273–279.
- Harris, S. 2004. *Woody legumes (excluding Acacias)*. Tropical Forest. Elsevier Ltd. Pp:1793-1798.

- Hartvig, I., So, T., Changtragoon, S., Tran, H. T., Bouamanivong, S., Theilade, I., ... y Nielsen, L. R. (2018). Population genetic structure of the endemic rosewoods *Dalbergia cochinchinensis* and *D. oliveri* at a regional scale reflects the Indochinese landscape and life-history traits. *Ecology and evolution*, 8(1): 530-545.
- Hernández-García, A., Salgado Garciglia, R., y Ambriz Parra, E. 2016. Propagación de *Dalbergia congestiflora* Pittier (Fabaceae) por estaca: efecto de la concentración de AIB y el tejido de la estaca. *Nova scientia*, 8(17), 87-96. Recuperado en 31 de octubre de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052016000200087&lng=es&tlng=es.
- Hobbs, R. J. y Yates, C. J. 2003. Turner review No. 7: Impacts of ecosystem fragmentation on plant populations: generalising the idiosyncratic. *Australian Journal of Botany*, 51: 471-488.
- Hughes, R. F., Kauffman, J. B., y Jaramillo, V. J. 2000. Ecosystem-scale impacts of deforestation and land use in a humid tropical region of Mexico. *Ecological Applications*, 10: 515–527
- Hung, L. Q. 2003. Effect of Maturation on Seed Germination of *Dalbergia cochichinensis* Pierre. *Seed Technology*, 25(2), 124–127. <http://www.jstor.org/stable/23433266>
- Hung, T. H., Gooda, R., Rizzuto, G., So, T., Thammavong, B., Tran, H. T. y MacKay, J. J. 2020. Physiological responses of rosewoods *Dalbergia cochinchinensis* and *D. oliveri* under drought and heat stresses. *Ecology and evolution*, 10(19), 10872-10885. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar (IARNA-URL). 2009. Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009. Guatemala. 319 p.
- International Legume Database and Information Service (ILDIS). 2020. Accessed on line at <http://www.ildis.org/>
- Ipinza-Carmona, R. 2015. El papel de la conservación genética. Págs. 11-16. *En*: Barros-Asenjo, S., Gutiérrez-Caro, B., y Ipinza-Carmona, R. (eds.). Conservación de recursos genéticos forestales. Principios y prácticas. Instituto Forestal Valdivia, Chile.

- IUCN Red List of Threatened Species. 2015. Version 2015-4. <www.iucnredlist.org>. (Downloaded on 27 January 2021)
- Jadán, O., Günter, S., Torres, B., y Selesi, D. 2015. Riqueza y potencial maderable en sistemas agroforestales tradicionales como alternativa al uso del bosque nativo, Amazonia del Ecuador. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 12(28), 13-22.
- Jacquemyn, H., Butaye, J. y Hermy, M. 2003. Influence of environmental and spatial variables on regional distribution of forest plant species in a fragmented and changing landscape. *Ecography*, 26: 768-776.
- Jenkins, A., Bridgland, N., Hembery, R., Malessa, U., Hewitt, J., Keong, CH. 2012. "Antecedentes Paper1: Precious Woods: La explotación de la madera más fina". TRÁFICO. Chatman Casa Taller. La lucha contra el comercio de maderas preciosas ilegales. 23 hasta 24 abril 2012, <http://www.illegallogging.info/uploads/PreciousWoodsbackgroundpaper1ThetradeinpreciouswoodsTRAFFIC.pdf>
- Jombart, T., Devillard, S., y Balloux, F. 2010. Discriminant analysis of principal components: a new method for the analysis of genetically structured populations. *BMC genetics*, 11(1): 94.
- Jordano-Barbudo, P. D., Pulido, F., Arroyo, M, J., García, C, J. L., y García, F, P. 2008. Procesos de limitación demográfica. Págs. 231-250. *En*: Valladares, F. (ed.). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- Jules, E. S. 1998. Habitat fragmentation and demographic change for a common plant: *Trillium* in old growth forest. *Ecology*, 79: 1645-1656.
- Kery, M., Matthies, D. y Spillmann, H. H. 2000. Reduced fecundity and offspring performance in small populations of the declining grassland plants *Primula veris* and *Gentiana lutea*. *Journal of Ecology*, 88: 17-30.
- Khan, F., Khan, G. S., Siddiqui, T. y Khan, S. H. 2012. Effect of Indole Butyric Acid (growth Hormone) on possibility of raising *Dalbergia sissoo* through branch cuttings. *International Journal of Pharmacy and Biological Sciences*. Volume 2 (3): 31- 35. www.ijpbs.com (or) www.ijpbsonline.com

- Knoblauch, B. 2001. Estudio ecológico, silvícola y de utilización del granadillo (*Dalbergia tucurensis* JD Smith) en bosque latifoliados de Honduras (Bachelor's thesis, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2013.).
- Kolb, A. y Lindhorst, S. 2006. Forest fragmentation and plant reproductive success: a case study in four perennial herbs. *Plant Ecology*, 185: 209-220
- Leksono, B., Kurinobu, S. y Ide, Y. 2008. Realized genetic gains observed in second generation seedling seed orchards of *Eucalyptus pellita* in Indonesia. *Journal of Forest Research* 13:110-116.
- Lemmens, R.H.M.J. 2008. *Dalbergia melanoxyylon* Guill. y Perr. Published on the Internet in PROTA4U. Louppe, D., Oteng-Amoako, A.A. y Brink, M. (Editors). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Netherlands; <http://www.prota4u.info/protav8.asp?h=M4&t=Dalbergia,melanoxyylon&p=Dalbergia+melanoxyylon#Synonyms> (accessed 25 September 2021).
- Leshner Gordillo, J. M., Martínez Sánchez, J. L., Orduña Rodas, P., y Hernández Carreta, A. I. 2018. Diversidad genética del cedro rojo (*Cedrela odorata*) en el estado de Tabasco, México. *Bosque (Valdivia)*, 39(3): 411-417.
- Lianhe, Z., Li, W., Xing, H. y Zhengxing, C. 2011. Antioxidant activities of seed extracts from *Dalbergia odorifera* T. Chen. *African Journal of Biotechnology* 10: 11658-11667.
- Linares, J. y Sousa, M.S. 2007. Nuevas especies de *Dalbergia* (Leguminosae: Papilionoideae: Dalbergieae) en México y Centroamérica. *Ceiba*. 48(1-2): 61-82.
- Liu, F. M., Zhang, N. N., Liu, X. J., Yang, Z. J., Jia, H. Y., y Xu, D. P. 2019. Genetic diversity and population structure analysis of *Dalbergia odorifera* germplasm and development of a core collection using microsatellite markers. *Genes*, 10(4): 281.
- López-Contreras, J. E., del Ángel, L. E. A. y Huerta, E. E. 2014. Los humedales del sistema fluvio lagunar deltáico Palizada-del Este, Campeche como hábitat de aves acuáticas. *Desde El Herbario CICY*, 6, 24–28, 2014.
- López Antonio, Y. 2018. Efecto de la micorrización en el crecimiento de *Dalbergia congestiflora* Pittier en dos sistemas de propagación. Tesis de posgrado, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 65 p.

- Ma, M. Y., Yang, Y. Z., Xu, X. D., Liu, L. X., y Zhang, Z. N. 2016. Variations in morphology and sowing quality of *Dalbergia tonkinensis* seeds from different provenances in Vietnam.
- Mallén-Rivera, C. 2014. Recursos genéticos forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(22): 04-09. Recuperado en 07 de octubre de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000200001&lng=es&tlng=es.
- Mantel, N. 1967. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Research* 27 (2): 209–220.
- Miles, L., Newton, A. C., DeFries R. S., Ravilious, C., May, I., Blyth S., Kapos V., y Gordon, J. E. 2006. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33: 491–505.
- Montagnini, F., Somarriba Chávez, E., Murgueitio, E., Fassola, H., Eibl, B., Combe, J., y Palma, E. 2015. Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. *In: Biocenosis (Costa Rica) v. 2 (3) p. 5-6.* (No. CATIE ST IT-402). CATIE, Turrialba (Costa Rica) CIPAV (Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, Cali, Colombia).
- Miller, M. 1997. Tools for population genetic analyses (TFPGA) 1.3: A Windows program for the analysis of allozyme and molecular population genetic data. Computer software distributed by author
- Marín, W.A. and Flores, E.M. 2003. *Dalbergia retusa* Hemsl. *In: Vozzo, J.A. 2003. Tropical Tree seeds Manual. Part II Species descriptions.* United States Department of Agriculture Forest Service. pp. 429-431.
- Mabberley, D.J. 2008. *Mabberley's plant book. A portable dictionary of plants, their classifications and uses.* 3 Edition, University of Washington Botanic Gardes. Seattle.
- Martorell, C., y Peters, E. M. 2009. Disturbance-response analysis: a method for rapid assessment of the threat to species in disturbed areas. *Conservation Biology*, 23(2): 377-387.
- Martínez-Meyer, E., Sosa-Escalante, J. E., y Álvarez, F. 2014. El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: 1-9.

- Nei, M. 1987. Molecular evolutionary genetics. Columbia University Press, Nueva York, EUA. 512 p.
- Nghia, N.H. 1998. *Dalbergia annamensis*. The IUCN Red List of Threatened Species 1998: e.T35944A9969544.<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T35944A9969544.en>. (Downloaded on 03 December 2021).
- Nghia, N.H. 1998. *Dalbergia oliveri*. The IUCN Red List of Threatened Species 1998: e.T32306A9693932.<https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T32306A9693932.en>. (Downloaded on 21 October 2020).
- Nguyen, T. T., Doan, L. P., Trinh Thi, T. H., Tran, H. H., Pham, Q. L., Pham Thi, H. H., y Tran, Q. T. 2020. Fatty acids, tocopherols, and phytosterol composition of seed oil and phenolic compounds and antioxidant activity of fresh seeds from three *Dalbergia* species grown in vietnam. *Processes*, 8(5), 542.
- Nogueira, F. C. B., Gallão, M. I., Bezerra, A. M. E., y Medeiros Filho, S. 2014. Efeito da temperatura e luz na germinação de sementes de *Dalbergia cearensis* Ducke. *Ciência Florestal*, 24, 997-1007.
- Nogueira, F. C. B., Medeiros Filho, S. y Gallão, M. I. 2010. Caracterização da germinação e morfologia de frutos, sementes e plântulas de *Dalbergia cearensis* Ducke (pau-violeta)-Fabaceae. *Acta Botanica Brasilica*, 24, 978-985.
- Oostermeijer, J. G. B., Luisjten, S. H., Krenová, Z. V. y Den Nijs, H. C. M. 1998. Relationships between population and hábitat characteristics and reproduction of the rare *Gentiana pneumonanthe* L. *Conservation Biology*, 12(5): 1042-1053.
- Pazouki, L., Shanjani, P. S., Fields, P. D., Martins, K., Suhhorutshenko, M., Viinalass, H. y Niinemets, Ü. 2016. Large within-population genetic diversity of the widespread conifer *Pinus sylvestris* at its soil fertility limit characterized by nuclear and chloroplast microsatellite markers. *European journal of forest research*, 135, 161-177.<https://doi.org/10.1007/s10342-015-0928-5> [Links]
- Pekall, R. y Smouse, P. E. 2012. GenAlEx 6.5: genetic analysis in excel. *Population Genetics Software for teaching and research. Molecular Ecology Notes*, 6: 288-295.
- Pérez-Gutiérrez, R. M. y García-Baez, E. 2013. Cytotoxic activity of isoflavancinnamylphenols from *Dalbergia congestiflora* on HeLa cells. *Journal of Medicinal Plants Research* 7: 2992-2998.

- Perfecto, I., Armbrrecht, I., Philpott, S. M., Soto-Pinto, L., y Dietsch, T. V. 2007. Shaded coffee and the stability of rainforest margins in northern Latin America. *In: Stability of tropical rainforest margins* Springer, Berlin, Heidelberg (pp. 225-261).
- Prieto-Ruiz, J. Á., Domínguez-Calleros, P. A., Cornejo-Oviedo, E. H., y Návar-Cháidez, J. D, J. 2007. Efecto del envase y del riego en vivero en el establecimiento de *Pinus cooperi* Blanco en dos condiciones de sitio. *Madera y Bosques*, 13(1): 79-97.
- Prieto-Ruiz, J. A., García, R, J, L., Mejía, B, J, M., Huchin, A, S. y Aguilar, V, J, L. 2009. Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Publicación Especial Núm. 28. Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP. Durango, Dgo. México. 47 p.
- Primack, R. 2000. Conservation at the population and species levels. *In: Primack, R. (Ed.). A primer of conservation biology.* Sinauer Associates Inc. Publishers. U.S.A. 121-182.
- PROCESO. 2014. Obedecemos al pueblo, no al gobierno”, advierten comunitarios nahuas de Michoacán. <http://www.proceso.com.mx/?p=371024>.
- Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPa). 2014. Data on seizures of tropical wood from 2000-2014. OF. NO. PFPA/5.3/12C.6/06867.
- Rasolomampianina, R., Bailly, X., Fetiariison, R., Rabevohitra, R., Bena, G., Ramarason, L. y Avarre, J. C. 2005. Nitrogen-fixing nodules from rose wood legume trees (*Dalbergia* spp.) endemic to Madagascar host seven different genera belonging to α - and β -Proteobacteria. *Molecular Ecology*, 14(13), 4135-4146.
- Ramírez-Herrera, C., Vargas-Hernández, J. J., y López-Upton, J. 2005. Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. *Acta botánica mexicana*, (72), 1-16.
- Raya-Pérez, J. C., Aguirre-Mancilla, C. L., Gil-Vega, K., y Simpson, J. 2010. La domesticación de plantas en México: Comparación de la forma cultivada y silvestre de *Byrsonima crassifolia* (Malpighiaceae). *Polibotánica*, (30): 239-256.
- Regnier, L. 2019. Influence of harvest, processing, and substrate in the germination of *Dalbergia nigra* seeds. *Journal of Horticulture and Plant Research*, 5(1), 30-37.

- Riastiwi, I., Witjaksono, W., Ratnadewi, D., y Siregar, U. J. 2022. Genetic diversity of rosewood (*Dalbergia latifolia*) in Yogyakarta, Indonesia for plus trees selection. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(5).
- Ribeiro, R. A., Rezende, M. F., Resende, L. C., Lemos-Filho, J. P., Kalapothakis, E., y Lovato, M. B. 2009. Development of polymorphic microsatellite markers for *Dalbergia nigra* (Papilionoideae), an endangered tree from the Brazilian Atlantic Forest. *Molecular ecology resources*, 9(1): 203-206.
- Richter, H. G., Krause, V. J., y Muche, C. 1996. *Dalbergia congestiflora* Standl.: wood structure and physico-chemical properties compared with other Central American species of *Dalbergia*. *Iawa Journal*, 17(3): 327-341.
- Ricker, M., Hernández, M., Sousa, M. y Ochoterena, H., 2013. Tree and tree-like species of Mexico: Asteraceae, Leguminosae, and Rubiaceae. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Volume 84: 439-470.
- Rodríguez Trejo, D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Mundi-Prensa. México, D. F. México. 156 p
- Román Miranda, M. L., Mora Santacruz, A., y González Cueva, G. A. 2016. Sistemas agroforestales con especies de importancia maderable y no maderable, en el trópico seco de México. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 20(2): 53-72.
- Roskov, Y., Zarucchi, J., Novoselova, M. y Bisby, F. (†) (eds). 2020. ILDIS: World Database of Legumes (version 12, May 2014). *In: Species 2000 y ITIS Catalogue of Life*, 2020-09-01 Beta (Roskov Y.; Ower G.; Orrell T.; Nicolson D.; Bailly N.; Kirk P.M.; Bourgoin T.; DeWalt R.E.; Decock W.; Nieukerken E. van; Penev L.; eds.). Digital resource at www.catalogueoflife.org/col. Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands..
- Roskov, Y.R., Bisby, F.A., Zarucchi, J.L., Schrire, B.D., y White R.J. (eds.) 2006 ILDIS World Database of Legumes: draft checklist, version 10 [published June 2006, but CD shows November 2005 date]. ILDIS, Reading, UK, 2006 [CD-Rom: ISBN 0 7049 1248 1] (also available here at <https://ildis.org/LegumeWeb10.01.shtml>)
- Rudow, A., Rotach, P., Küchli, C., Dürr, C., Schmid S. y Bolliger, M. 2013. The state of the world's forest genetic resources. *FAO Country Report Switzerland 2012*. www.fao.org/3/a-i3825e/i3825e67.pdf.

- Rueda-Sánchez, A., Benavides-Solorio, J. D., Prieto-Ruiz, J. Á., Sáenz-Reyez, J., Orozco-Gutiérrez, G., y Molina-Castañeda, A. 2012. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(14): 69-82.
- Rutiaga-Quiñones, J. G., Pedraza-Bucio F. E. y López-Barragán, P. 2010. Componentes químicos principales de la madera de *Dalbergia granadillo* Pittier y de *Platymiscium lasiocarpum* Sandw. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 16: 179-186.
- Rzedowski, J., y Guridi-Gomez, L. I. 1988. El palo escrito, árbol de madera preciosa-una nueva especie mexicana de *Dalbergia* (Leguminosae, Papilionoideae). *Acta Botanica Mexicana*, (4): 1-8.
- Saha, S., Shilpi, J. A., Mondal, H., Hossain, F., Anisuzzman, M., Hasan, M. M., y Cordell, G. A. 2013. Ethnomedicinal, phytochemical, and pharmacological profile of the genus *Dalbergia* L.(Fabaceae). *Phytopharmacology*, 4(2): 291-346.
- Sánchez, D; Harvey, C; Grijalva, A; Medina, A; Vílchez, S; Hernández, B. 2005. Diversidad, composición y estructura de la vegetación en un agropaisaje ganadero en Matiguás, Nicaragua (en línea). Disponible En: <http://www.ots.ac.cr/tropiweb/attachments/volumes/vol53-3-4/09-SANCHEZDiv.indd.pdf>
- Saslis-Lagoudakis, C., Chase, M. W., Robinson, D. N., Russell, S. J. y Klitgaard, B. B. 2008. Phylogenetics of neotropical *Platymiscium* (Leguminosae: Dalbergieae): systematics, divergence times, and biogeography inferred from nuclear ribosomal and plastid DNA sequence data. *American Journal of Botany*, 95(10), 1270-1286.
- SEMARNAT. 2010. NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. México, D.F., México. <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>
- Serrano-Montero, J. R., y Moya-Roque, R. 2011. Procesamiento, uso y mercado de la madera en Costa Rica: aspectos históricos y análisis crítico. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 8(21):1-12.

- Sheikh, A. H., y Abdul, M. M. D. 2007. Seed morphology and germination studies of *Dalbergia sissoo* Roxb. at nursery stage in Bangladesh. *Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3(1), 35-39.
- Shu, H.T. 2010. *Dalbergia Linnaeus* f., Suppl. Pl. 52, 316. 1782, nom. Cons. *Flora of China*. 10: 121-130.
- Simmons, M. P., Zhang, L. B., Webb, C. T., y Müller, K. 2007. A penalty of using anonymous dominant markers (AFLPs, ISSRs, and RAPDs) for phylogenetic inference. *Molecular phylogenetics and Evolution*, 42(2), 528-542.
- Singh, B. y Bhatt, B.P. 2008. Provenance variation in pod, seed and seedling traits of *Dalbergia sissoo* Robx. Central Himalaya, India. *Tropical Agricultural Research y Extension*, India. 9 p.
- Sneath, P. H. A. y Sokal, R. R. 1973. Numerical taxonomy: The principles and practice of numerical classification. W. H. Freeman. San Francisco, California. 573 p.
- So, T., Theilade, I., y Dell, B. 2010. Conservation and utilization of threatened hardwood species through reforestation? an example of *Azelia xylocarpa* (Kruz.) Craib and *Dalbergia cochinchinensis* Pierre in Cambodia. *Pacific Conservation Biology*, 16(2): 101-116.
- Sousa, S, M., Ricker, M., y Hernández, H, M. 2001. Tree species of the family Leguminosae in Mexico. *Harvard Papers in Botany*, pp. 339-365.
- StatSoft. 2011. STATISTICA, version 10.
- Stevens PF. (2001 onwards). Angiosperm Phylogeny Website Version 9, June 2008. Tao Y, Wang Y. 2010. Bioactive sesquiterpenes isolated from the essential oil of *Dalbergia odorifera* T. Chen. *Fitoterapia* 81: 393-396.
- Stevens, W.D., Ulloa, C., Pool, A. and Montiel, O.M. 2001. *Flora de Nicaragua*. Missouri Botanic Garden Press. 85 (2): 234-270.
- Suárez-Islas, A., Capulín-Grande, J., y Mateo-Sánchez, J. J. 2020. Performance of *Dalbergia palo-escrito* Rzed. y Guridi-Gómez, a valuable timber tree, in a coffee plantation in Hidalgo, Mexico. *Bois y forets des tropiques*, 344: 47-57.
- The Plant List. 2013. Version 1.1. Published on the Internet; <http://www.theplantlist.org/>. (Accessed 08 April 2020)

- Thu, P. Q., Chi, N. M., Quang, D. N., y Dell, B. 2014. Study on phenology and morphological characteristics of some provenances of *Dalbergia tonkinensis* Prain in Vietnam. Science and Technology Journal of Agriculture & Rural Development (Ha Noi, Vietnam), 247.
- Toral I., M. 1997. Conceptos de calidad de plantas en viveros forestales. Documento Técnico 1. Ciclo Económico Forestal. Programa de Desarrollo Forestal Integral de Jalisco. Guadalajara, Jal. México. 28 p.
- Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). 2009. Reforestación. Evaluación externa fiscal 2008. Informe Nacional. CONAFOR-SEMARNAT. http://148.223.105.188:2222/gif.snif_portal/index.php?option=com
- Vaglica, V. 2014. *Dalbergia* spp. A case for CITES listing? Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements to obtain the Master's Degree in Management and Conservation of Species in Trade: The International Framework (11th Edition). Universidad Internacional de Andalucía, Sede Antonio Machado de Baeza.
- Varty, N. 1998. *Dalbergia nigra* (errata version published in 2016). The IUCN Red List of Threatened Species 1998: e.T32985A86221269. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T32985A9741135.en>. Downloaded on 21 October 2020.
- Vatanparast, M., Klitgard, B.B., Adema, F.A.C.B., Pennington, R.T., Yahara, T. and Kajita, T. 2013. First molecular phylogeny of the pantropical genus *Dalbergia*: implications for infragenetic circumscription and biogeography. South African Journal of Botany. 89: 143-149.
- Vasudeva, S. P. y Sareen, T. S. 2009. Pollination biology in *Dalbergia sissoo* Roxb. (Papilionodeae; Leguminosae). Indian Forester 135(9): 1165–1168.
- Vergeer, P., Renglin, R., Copal, A. y Ouborg, N. 2003. The interacting effects of genetic variation, habitat quality and population size on performance of *Succisa pratensis*. Journal of Ecology, 91: 18-26
- Vivero, J.L., Szejner, M., Gordon, J. and Magin, G. 2006. The Red List of Trees of Guatemala. Global Trees Campaign, IUCN SSC. Fauna y Flora International, Cambridge, UK.

- Vranckx, G., Jacquemyn, H., Muys, B y Honnay, O. 2012. Meta-analysis of susceptibility of woody plants to loss of genetic diversity through habitat fragmentation. *Conservation Biology* 26(2): 228-237. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2011.01778.x
- Washa, W. B. A., Nyomora, A. M. S. y Lyaruu, H. M. V. 2012. Improving propagation success of *Dalbergia melanoxylon* (African blackwood) in Tanzania (II): rooting ability of stem and rootcuttings of *Dalbergia melanoxylon* (African blackwood) in response to rooting media sterilization in Tanzania. *Tanzania Journal of Science*, 38(1), 43-53.
- Wee. A. K. S., Li, C. H., Dvorak, W. S. y Hong, Y. 2012. Genetic diversity in natural populations of *Gmelina arborea*: implications for breeding and conservation. *New Forests* 43:411–428
- Wiberg, R., Scobie, A, R., A'hara, S, W., Ennos, R, A. y Cottrell, J, E. 2016. The genetic consequences of long term habitat fragmentation on a self-incompatible clonal plant, *Linnaea borealis* L. *Biological Conservation* 201: 405-413. DOI: 10.1016/j.biocon.2016.07.032 0
- White, P. S. y Walker, J. L. 1997. Approximating nature's variation: selecting and using reference information in restoration ecology. *Restoration Ecology*, 5: 338-349.
- White, T. L., W. T. Adams y D. B. Neale. 2007. *Forest Genetics*. CABI. Oxfordshire. 682 p.
- Winfield, K., Scott, M. y Grayson C. 2016. Global Status of *Dalbergia* and *Pterocarpus* Rosewood Producing Species in Trade. *In: Convention On International Trade in Endangered Species*. [Online] Johannesburg: Cites CoP17 Information Paper. Available at: <http://www.globaleye.co/ge/wp-content/uploads/2016/09/CoP17-Inf-DocXXX-English-Exec-Summ-Global-Overview.pdf>
- World Conservation Monitoring Centre. 1998. *Dalbergia odorifera*. The IUCN Red List of Threatened Species 1998: e.T32398A9698077. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T32398A9698077.en>. (Downloaded on 03 December 2015).
- World Conservation Monitoring Centre. 1998a. *Dalbergia odorifera*. The IUCN Red List of Threatened Species 1998: e.T32398A9698077. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T32398A9698077.en>. (Downloaded on 21 October 2020).

World Conservation Monitoring Centre. 1998b. *Dalbergia melanoxylon*. The IUCN Red List of Threatened Species 1998: e.T32504A9710439. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T32504A9710439.en>.

Downloaded on 22 October 2020.

Yulita, K. S., Atikah, T. D., y Wardani, W. 2020. Unraveling genetic variations of *Dalbergia latifolia* (Fabaceae) from Yogyakarta and Lombok Island, Indonesia. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 21(2).

Zhang, X., Shi, M, M., Shen, D, W., Chen, X, Y. 2012. Habitat loss other than fragmentation per se decreased nuclear and chloroplast genetic diversity in a monoecious tree. PLoS ONE 7: e39146. DOI: 10.1371/journal.pone.0039146

CAPÍTULO 2: *Dalbergia palo-escrito*: Opportunities for their exploitation, conservation, and genetic improvement

***Dalbergia palo-escrito*: Oportunidades para su explotación, conservación y mejoramiento genético**

Rubio-Tobón Cuauhtémoc Alain¹, Rodríguez-Laguna Rodrigo¹, Suárez-Islas Alfonso², Capulín-Grande Juan², Octavio-Aguilar Pablo^{3*}

¹Laboratorio de semillas y germoplasma forestal; ²Laboratorio de Botánica, Instituto de Ciencias Agropecuarias-Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Av. Universidad Km1 Rancho Universitario, Tulancingo, Hidalgo, México. C. P. 43600. ³Laboratorio de Genética, Área Académica de Biología, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5. Col. Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C. P. 42184.

2.1 ABSTRACT

The high demand for forest resources makes natural populations of timber trees susceptible and vulnerable to exploitation, particularly those with low recruitment and specific reproductive needs. This increases the risk of loss or allelic purification due to the selective felling of trees with phenotypic characteristics of interest for the timber trade, causing genetic erosion and artificial selection in these species. An alternative to mitigate these actions is to use forest genetics to identify viable germplasm sources for responsible use. *Dalbergia palo-escrito* in Hidalgo is used in luthiery in the Huasteca area and Paracho, Michoacán. This study aimed to detect sources of genetic diversity and identify categories that would be good candidates to management for *D. palo-escrito* using SSR markers. The fixation coefficient was calculated to identify alleles amenable to management. A discriminant analysis of principal components was carried out. The species presented low levels of genetic diversity ($H_o: 0.19 \pm 0.03$). The DAPC showed that all categories are

different in terms of standardized allele frequencies ($F(18,69) = 15.48 \pm 8.74, p < 0.0001$). The progeny of plus trees presented the greatest genetic diversity. This category is potentially susceptible to management for direct domestication. Adult-only alleles were potentially adaptive and amenable to the required selection to improve culture fitness. Even when the management of this species is relatively recent and regional, it is important to direct any use and conservation plan.

KEYWORDS: Genetic diversity, agroforestry management, SSR, plus trees, *Dalbergia palo-escrito*

2.1 RESUMEN

La alta demanda de recursos forestales hace que las poblaciones naturales de árboles maderables sean susceptibles y vulnerables a la explotación, particularmente aquellas con bajo reclutamiento y necesidades reproductivas específicas. Esto incrementa el riesgo de pérdida o depuración alélica debido a la tala selectiva de árboles con características fenotípicas de interés para el comercio de la madera, provocando erosión genética y selección artificial en estas especies. Una alternativa para mitigar estas acciones es utilizar la genética forestal para identificar fuentes viables de germoplasma para su aprovechamiento responsable. *Dalbergia palo-escrito* en Hidalgo se utiliza en la lutería en la zona de la Huasteca y Paracho, Michoacán. Este estudio tuvo como objetivo detectar fuentes de diversidad genética e identificar categorías susceptibles e identificar caracteres deseados para el manejo de *D. palo-escrito* utilizando marcadores SSR. Se calculó el coeficiente de fijación para identificar alelos susceptibles de manejo. Se realizó un análisis de componentes principales discriminante. La especie presentó niveles bajos de diversidad genética ($H_o: 0.19 \pm 0.03$). El DAPC mostró que todas las categorías son diferentes en términos de

frecuencias alélicas estandarizadas ($F(18,69) = 15,48 \pm 8,74, p < 0,0001$). La progenie de árboles plus presentó la mayor diversidad genética. Esta categoría es potencialmente susceptible al manejo para la domesticación directa. Los alelos exclusivos de adultos fueron potencialmente adaptativos y susceptibles a la selección requerida para mejorar la adecuación. Incluso cuando el manejo de esta especie es relativamente reciente y regional, es importante direccionar planes de uso y conservación.

PALABRAS CLAVE: Diversidad genética, manejo agroforestal, SSR, árboles plus, *Dalbergia palo-escrito*

2.2 INTRODUCTION

The overexploitation of timber resources puts natural populations at risk, especially those species valued in the market as fine woods. This activity intensifies the loss and modification of diversity and genetic structure because the elimination of the best-formed individuals ends up removing these unique genotypes, reduces the adequate population size by eliminating adults, and increases differentiation between populations because, in each locality, only a few individuals without an apparent genetic relationship remain (Zhang et al., 2012, Breed et al., 2013).

In this way, selective logging shapes genetic diversity in forest species by homogenizing certain characteristics related to the timber trade, causing genetic erosion and artificial directional selection in these species (Leshner-Gordillo et al., 2018, Acosta-Hernández et al., 2022). We consider not plantations, whose genetic base is based on homogeneity, but rather natural populations. It is to be expected that their initial base will be highly heterozygous due to their crossing systems (Schoen and Brown, 1991) and therefore

large effective sizes would be expected, amenable to management but more sensitive to this pseudo-domestication (Jansson and Ingvarsson, 2010).

Currently, it is believed that approximately 450 species of forest trees are being deliberately domesticated through forest improvement programs (FAO, 2013). However, although Mexico is one of the countries with the greatest diversity of timber species, there is little basic, accessible, and reliable information on the characteristics, properties, and appropriate uses of native and imported woods on offer in the market (Grauke et al., 2016). The selection of “elite” or “plus trees,” considered ideal seed trees, begins with identifying phenotypic characteristics for these trees, considering the initial use objectives of the species (Acosta-Hernández et al., 2011a, Lind et al., 2018). This is aimed primarily at generating a broad, stable genetic base that is heritable (Islam and Naugraiya, 2018).

Therefore, the application of molecular tools in forest areas ensures improvement by identifying seed sources with genetic superiority for plantations and occasionally associating such variation with high yields, better product quality, better resistance to stress, and adaptability, thus reducing the dependence and impact of natural forests in the long term (Kang, 2020, Rosales-Islas and Octavio-Aguilar, 2023), as has occurred in *Pinus* and *Eucalyptus* forest plantations (Assis and Resende, 2011). *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez (Rzedowski and Guridi-Gómez, 1988), known as the ‘written stick,’ tlajuilocuáuitl, tlacuiolo, or tzipil, is a tree species up to 35 m high, with trunks up to 80 cm in diameter whose wood is considered highly valued, which is why it is proposed as suitable for agroforestry management (Silva, 2009, Suárez-Islas et al., 2020). It is established in disturbed areas and with secondary vegetation that can preserve some specimens of native tree species (Cervantes-Maldonado et al., 2019).

It is an endemic tree of the Sierra Madre Oriental, with extensive distribution in

Hidalgo. It is used mainly for lute-making to fashion the back and ribs of stringed instruments, by artisans from the Huasteca region and Paracho, Michoacán. It is also used in cabinetmaking in communities within its distribution area. Fortunately, it is well established in agroforestry systems and with extensive management, where the best morphologically formed trees are selected and used for timber purposes. This promotes the purification of genetic diversity, leaving only desirable alleles within the population and eliminating characters of little value for the market, which generates artificial selection and signs of domestication over a long period.

However, it is necessary to know the genetic basis that determines the traits of interest beforehand to avoid the risk of selection affecting other associated loci. Therefore, knowledge of this species' diversity and genetic structure is necessary in order to be able to select germplasm sources with the best morphological characters for timber purposes and determine if these characters can be inherited in progeny. Therefore, the objective of this research was to identify sources of genetic diversity and categories susceptible to timber management for *Dalbergia palo-escrito* in localities of the state of Hidalgo through the use of microsatellites (SSR) developed for the genus, in order to identify plus trees as sources of propagation in association with their morphological traits.

2.3 MATERIALS AND METHODS

2.3.1 Study area

The study was carried out in the town of Chachala, municipality of Tlanchinol, in the north of the state of Hidalgo (Figure 1), between 20°58'18" N and 98°41'53" W, with an elevation of 1,400 meters above sea level. The semi-warm-subhumid climate predominates,

with an average annual temperature of 18.9 °C and annual rainfall of 2,601 mm (Luna et al., 1994; Tlachinol.gob.mx, 2023).

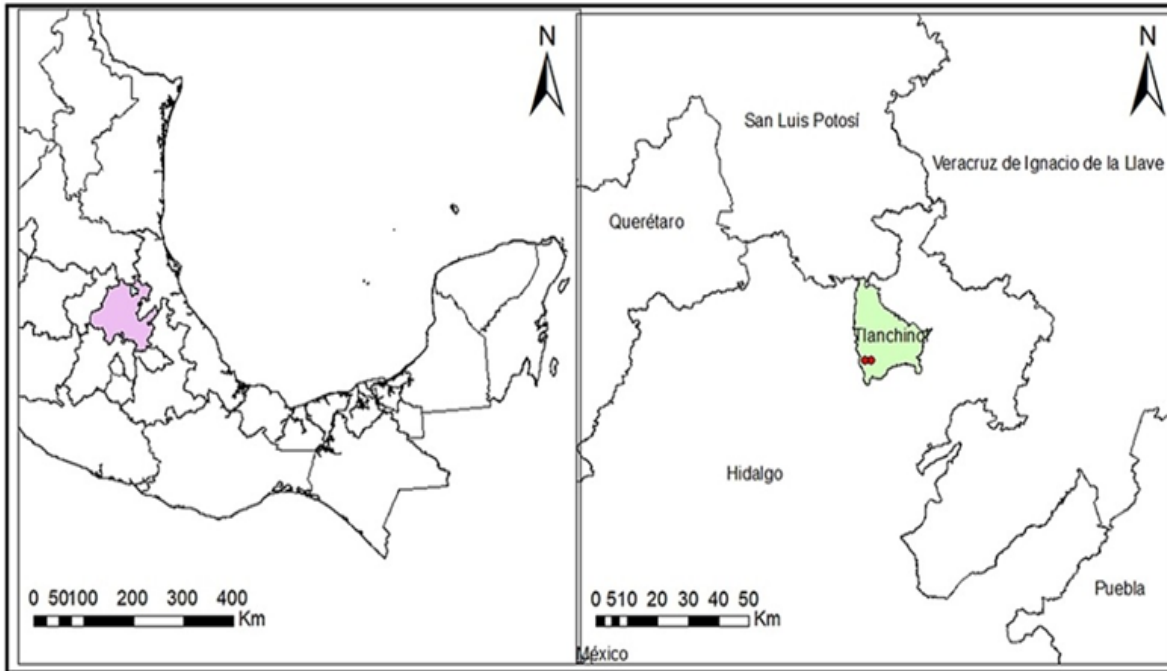


Figure 1. Location of the study area in the northern region of Hidalgo, Mexico, for selecting trees (plus and non-plus) and the genetic diversity of *Dalbergia palo-escrito*.

2.3.2 Collection of biological material

Morphological variation (Acosta-Hernández et al., 2011b) was used to categorize adult trees as plus and non-plus (15 individuals in each one) (Table 1). In the area adjacent to each classified selected individual (10 m²), the leaves of the seedlings were collected, and they were assigned the category of seedling of plus tree category (STP) or seedling of non-plus tree (STNP) (30 individuals in each one). Classifications were unambiguous, since no other

trees were close to the sampled trees, which guarantees paternity and correlated heritability between groups.

Table 1. Variables and descriptors for the morphological characterization and selection of plus trees (TP) and non-plus trees (TNP) of *Dalbergia palo-escrito* (Modified from Acosta-Hernández et al., 2011b).

Morphological variable	Description	Category
Main trunk shape (MTS)	Straight	TP
	Slightly sinuous (slight curve in one or two planes)	TP
	Sinuous (extreme curve in one plane)	TNP
	Very sinuous (extreme curve in more than one plane)	TNP
Height to trunk division (HD)	Not divided	TP
	Divided in the upper third	TP
	Divided in the middle third	TNP
	Divided in the lower third	TNP
Main axis dominance (MAD)	Complete dominance of the initial axis	TP
	Partial dominance of the initial axis over the lateral branches	TP
	Complete dominance of lateral branches	TNP
Branch insertion angle (BIA)	0° to 30°	TP
	30° to 60°	TNP
	60° to 90°	TNP

2.3.3 DNA extraction

DNA was extracted following the method of Doyle and Doyle (1990), modified for plants with high phenolic compound and secondary metabolite content. A quantity of 0.5 g

of leaf tissue was macerated with liquid nitrogen to obtain a fine powder. 1 ml of 2× CTAB-PVP buffer was added with 1 µl of β-mercaptoethanol and incubated at 37 °C for one hour with 10 µl of RNase (10 mg/ml). Subsequently, it was incubated at 60 °C for 1 hour with 10 µl of Proteinase k (10 mg/ml). DNA was precipitated with sodium acetate (3 M, pH 5.2) and rinsed with 70% ethanol. The yield and quality of the extractions were measured in a MAPADA brand nanospectrophotometer.

2.3.4 DNA amplification

Nine microsatellites developed for *Dalbergia nigra* and *D. monticola* were evaluated and standardized (Fraveau et al., 2007; Ribeiro et al., 2009), having been chosen for their high polymorphism. The reaction mixture consisted of 6.5 µL of commercial 2× PCR Master Mix (Promega), 1 µL of each primer, and 1.5 µL of DNA sample (1 ng/ µL). The thermal cycle was 94 °C for 2 min of initial denaturation followed by 30 cycles at 94 °C for 30s, 45 to 62°C for 60s (depending on the primers) and 72 °C for 60s. The used primers were Dnig3 (F: TAAAGGGACCAGAGGGAAGG, R: CCCATTCCCATAAACCTCT) at 56 °C, Dnig4 (F: TCTGTCATGTTTGGGTGGTG, R: CATTCCCTCCTTACCCCATT), at 62°C, DmCIRA04 (F: AGTTCTAAACGAGAGGAGG, R: CTTTGGACAATACATCACC) at 45°C, DmCIRA08 (F: TCCATTTCTCCTTCCACAG, R: TCCTCCACTATTATTGCCC) at 56°C, DmCIRB06 (F: TAATGTCTTGCTTTGTGGG, R: GTGAATCGGACGGAATAC) at 45°C, DmCIRC02 (F:CTCTCTTCTCCAATCCCAC, R: CTACCAGTCACTCACCTTC) at 47°C, DmCIRC10 (F: AGGGGGAATACAGAAAGGC, R: AGAGATGGGTGGGTCAAAG) at 54°C, DmCIRD01 (F: CACAAGATATGGAGATGGAG, R: AATGAAAAGGGTGAGCAGC) at 45°C, and DmCIRD02 (F: CGCACTACTCCCTTCCTTC, R: CGACCACACTCTCCAACAC) at 45°C. A final

extension was performed at 72 °C for 7 min. The amplified products were separated on a 1.5× acrylamide gel stained with GelRed and visualized under UV light.

2.3.5 Statistical analysis

A matrix was standardized to the size of the amplified alleles in base pairs that had a frequency significantly higher than the expected error (5%). Allele frequencies, polymorphism, heterozygosity, average alleles per locus, and adequate number of alleles per locus were calculated using the GenAEx 6.5 program (Peakall and Smouse, 2006). In addition, the inbreeding coefficient proposed by Wright (1978) was calculated, $F = 1 - (H_o/H_e)$. Exclusive alleles were analyzed using the same program to establish which ones had divergent frequencies between categories.

To establish the similarity and structure between categories susceptible to exploitation, a discriminant analysis of principal components (DAPC) was carried out, which does not assume a relationship based on Hardy-Weinberg equilibrium or linkage disequilibrium, but rather, each allele constitutes an independent variable in a standardized distance calculation (Jombart et al., 2010).

In addition, the structure between generations with the interdependence of the parental group with respect to the progeny was evaluated using a Bayesian assignment analysis with 50,000 steps in 50,000 resamplings. This analysis assumes a genetic relationship between groups and an equilibrium in linkage, which would be expected between generations. For this, the STRUCTURE 2.3.4 program (Pritchard et al., 2000, Falush et al., 2007) was used under the model of correlated allele frequencies. From 2 to 10 groups (K) were assumed, considering the four initial groups (TP, TNP, STP, and STNP) and the possible paternity combinations (TNP × STNP-STP and TP × STNP-STP). This model was run ten times to

estimate the variation in allocation. The most appropriate number of groups was established with the graphic method proposed by Evanno et al., (2005) generated with the STRUCTURE SELECTOR program (Li and Liu, 2018).

2.4 RESULTS

A total of 69 alleles, among 126 to 367 base pairs were obtained. More polymorphic markers were DmCIRA04 and DmCIRC10 with 13 alleles each one. All trees in the four categories presented inbreeding according to the values of the fixation coefficient. However, it is notable that seedlings had higher observed and expected heterozygosity values than adults, regardless of the potential use category. The adults are similar in terms of genetic diversity, whether or not they are considered plus trees (Table 2).

Table 2. Genetic diversity of the four evaluated categories of *Dalbergia palo-escrito*. Cat: category, TNP: non-plus tree, TP: plus, tree, STNP: seedlings of non-plus trees, STP: seedlings of plus trees, N: analyzed individuals, Na: average number of alleles per locus, Ne: effective number of alleles per locus, I: Shannon index, Ho: observed heterozygosity, He: expected heterozygosity, F: inbreeding coefficient

Cat	N	Na	Ne	I	Ho	He	F
TNP	15	4.33 ± 0.62	3.15 ± 0.36	1.21 ± 0.12	0.14 ± 0.04	0.65 ± 0.03	0.79 ± 0.06
TP	15	3.78 ± 0.4	2.85 ± 0.31	1.1 ± 0.12	0.13 ± 0.05	0.6 ± 0.06	0.82 ± 0.07
STNP	30	5.67 ± 0.82	3.74 ± 0.43	1.4 ± 0.11	0.26 ± 0.07	0.7 ± 0.03	0.64 ± 0.09
STP	30	5.44 ± 0.71	3.95 ± 0.45	1.44 ± 0.11	0.25 ± 0.06	0.72 ± 0.03	0.67 ± 0.07
average	22.5 ± 1.27	4.8 ± 0.34	3.42 ± 0.2	1.29 ± 0.06	0.19 ± 0.03	0.67 ± 0.02	0.73 ± 0.04

Regardless of their structure, adults have fewer exclusive alleles (five) than seedlings (eleven). The locus with the highest amount of these elements was locus DmCIRC10 in adults

(four) and DmCIRA04 in seedlings (four). The only marker with exclusive alleles in both categories (adults and seedlings) was DmCIRC10, with base pairs in plus plants between 279 to 283.

The DAPC showed that all categories are different in terms of standardized allele frequencies ($F(18,69) = 15.48 \pm 8.74$, $p < 0.0001$). 91.09% of the variation between categories is explained by two discriminant factors (eigenvalue 1 = 8.89, explained variance = 72.91, Wilks' $\lambda = 180.015$, $\chi^2 = 327.28$, $p < 0.0001$; EV2 = 2.22, Exp Var = 18.18, Wilks' $\lambda = 0.149$, $\chi^2 = 147.51$, $181 p < 0.0001$). Collected seedlings of plus adults contained the most significant allelic representativity, so they are in an intermediate space on the ordination plot. The most genetic divergence was found in non-plus adults (Figure 2).

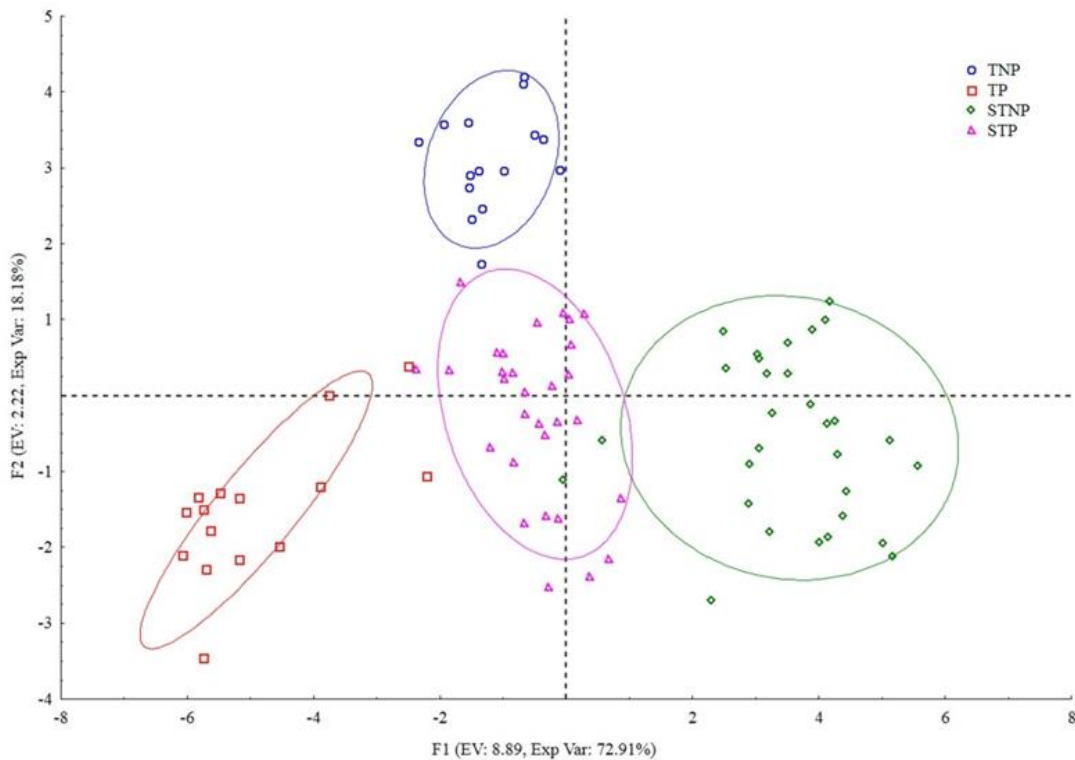


Figure 2. Ordination plot of the scores of the discriminant analysis of principal components for *Dalbergia palo-escrito*. EV: eigenvalue, Exp Var: explained variance, TNP: non-plus tree, TP: Plus, tree, STNP: seedlings of non-plus tree, STP: seedlings of plus tree.

Both categories of seedlings are genetically distant from their respective adult group. This shows that early stages have a different genetic diversity from the rest, which suggests that some alleles are purified in the population by natural selection. Plus, and non-plus trees are genetically distinct, but the plus category in general (adults and seedlings) are similar to each other, which means that the superior characteristics of the plus trees are retained in their seedlings (Figure 3).

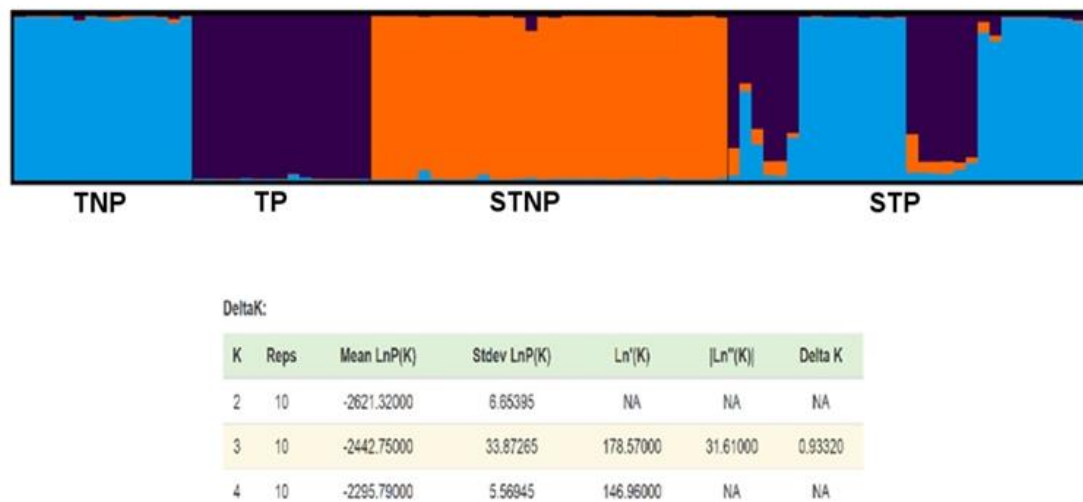


Figure 3. Genetic assignment analysis was generated using the STRUCTURE v.5.4 program. Graphic method of the natural logarithm of the probability of assignment of individuals to a given genetic group $\ln P(D)$ proposed by Evanno (2005). $K =$ three genetic groups. TNP: non-plus tree, TP: plus tree, STNP: seedlings of non-plus tree, STP: seedlings of plus tree.

2.5 DISCUSSION

The seedlings would be expected to have more inbreeding, given that collection was stratified towards the vicinity of focal parents. However, this life cycle category presented a

higher genetic diversity. This indicates that seedlings are a reservoir of genetic variability in populations, as has been observed with several other plants (Hamrick and Godt, 1996, Octavio-Aguilar et al., 2009). Furthermore, there has not been domestication that has modified allele frequencies towards elite morphotypes; instead, these are products of environmental variation. Domestication homogenizes crop diversity in other species through targeted genetic improvement (Figueredo-Urbina et al., 2021). In the case of *D. palo-escrito*, management leaves behind only those individuals that are located deeper in the forest shadow where access is more difficult. These trees, under the shade of the canopy, tend to be straighter as they grow upwards towards the sunlight.

The DAPC showed that seedlings obtained in the vicinity of the adults with the best characteristics for use contain the genetic diversity of the rest of the groups, so they have greater evolutionary potential in the population and are the individuals that will show morphological divergences typical of the wild population in the future if management conditions allow. In other words, the most significant potential for exploitation is found in this group. In contrast, non-plus individuals (both adults and seedlings) are separated into independent groups, so the tree structure associated with lower harvest potential does not have a homogeneous genetic basis. That is, the structure of poorly formed trees is very likely to depend mainly on the environment, corresponding to an adaptive response to the environment that creates morphological divergence, such as the case of *Pinus bungeana* (Zhang et al., 2019), but in some undomesticated plants, morphological variation does not show correlation with landscape variation, such as the case of *Zamia furfuraceae* more related with isolation by deficient pollination but with the same small size of the neighborhoods (Octavio-Aguilar et al., 2017). Therefore, the fine-scale differentiation found in *D. palo-escrito* suggests early domestication.

The differences between adults and seedlings may be associated with a natural selection process that purifies alleles, as suggested by the average number of alleles per locus (N_a) and the effective number of alleles per locus (N_e , Table 2). In this way, the alleles exclusive to adults turn out to be potentially adaptive and susceptible to directed selection to improve the suitability of crops. These are mainly found in the locus 7 DmCIRC10, so the sequencing of its flanking regions could show associations with coding genes related to this locus. It seems that some alleles of the DmCIRA04 locus three are lost in adults, offering selection against these alleles. To clarify this point, it would be necessary to sequence the adjacent base pairs of the amplified sequences, using them as a flag (EST-SSRs); and calculate correlations between putative neutral allele frequencies and climate variables, as was done for populations of *Eucalyptus grandis* where, based on the same type of neutral molecular markers, two neutral markers with known functional importance for response to climate factors were identified (Song et al., 2016). Similarly, for the endemic Chinese tree *Toona ciliata* var. *pubescens*, using microsatellite markers, four atypical loci were associated with environmental and geographical factors whose response could only be explained by local selection (Fan et al., 2023). There are many other studies in plants where the probability that a population presents an allele is far from that expected in a neutral model obtained from microsatellites. Some examples are *Linum usitatissimum* (Soto-Cerda and Cloutier, 2013), *Helianthus annuus* (Baute et al., 2015), *Petunia axillaris*, *P. exserta* (Turchetto et al., 2015), and *Quercus suber* (Sousa et al., 2022). In all of them, the differences between populations can be associated with geographical, climate, demographic, or genetic drift-related aspects.

Our results are consistent with those from a similar study of *Dalbergia latifolia* that used ISSRs as molecular markers (Riastiwi et al., 2022). In this species, it was determined

that despite presenting low genetic diversity ($H_e=0.23$), similar to what was found in *D. palo escrito* ($H_o=0.19$), it is possible to identify viable germplasm sources for use.

Therefore, it is possible to select plus trees using molecular tools supported by morphological parameters, which ensures genetic diversity in agroforestry plantations. Our data suggest that even though management of this species is relatively recent, genetic improvement and the establishment of conservation programs are feasible ways to mitigate the pressure faced by its natural populations, since this timber resource is highly appreciated in lumber and cabinetmaking in international trade, mainly Asian (Cervantes-Maldonado, 2016). Primarily because anthropogenic activities have generated adverse genetic effects on other threatened plants in that area, decimating their populations to alarming degrees (García-Montes et al., 2020, Rubio-Tobón et al., 2023); unfortunately, this a common situation in Hidalgo's Forest, even on woody trees such as *Cedrela odorata*, *Bursera simaruba*, and *Guazuma ulmifolia* (Granados-Victorino et al., 2017).

Dalbergia palo-escrito presents low levels of diversity compared to the rest of the studied dalbergias to date (Table 3). This may be because the sample used in this research is limited, so expanding the number of populations in its distribution range is proposed.

Table 3. Genetic studies on genetic diversity, structure, and geographical range of *Dalbergia* species. HE: expected heterozygosity; HO: observed heterozygosity; FST/GST: genetic differentiation index between populations; M: marker; NL: number of locations. The diversity indicators average \pm SD of the genus are given.

Species	He	Ho	FST/GST	M	Country	Source
<i>D. latifolia</i>	0.23	*	0.34	ISSR	Indonesia	Yulita et al., 2020, Riastiwi et al., 2022

<i>D. sissoo</i>	0.30	*	0.56	RAPD	India	Bakshi, and Sharma, 2011
<i>D. melanoxylon</i>	0.39	*	0.36	RAPD	Tanzania	Amri et al., 2009
<i>D. monticola</i>	0.82	0.68	0.08	SSR	Madagascar	Fraveau et al., 2007
<i>D. odorifera</i>	0.38	0.33	0.09	SSR	China	Liu et al., 2019
<i>D. cochinchinensis</i>	0.55	0.56	0.25	SSR	Indochina	Hartvig et al., 2018
<i>D. oliveri</i>	0.73	0.76	0.13	SSR	Indochina	Hartvig et al., 2018
<i>D. nigra</i>	0.87	0.74	*	SSR	Brasil	Ribeiro et al., 2009
<i>D. miscolobium</i>	0.70	0.59	*	SSR	Brasil	de Oliveira et al., 2016
<i>D. retusa</i>	0.27	*	*	AFLP	Costa Rica	Chavarría, 2006
<i>D. palo-escrito</i>	0.67	0.19	.73	SSR	Mexico	This work
Average ± SD	0.52 ±	0.61 ±	0.24 ±			
	0.25	0.16	0.19			

Finally, selective logging of better-formed specimens of *Dalbergia palo-escrito* leads to negative effects on the structure, dynamics, biodiversity, and ecosystem services of Mexican forests, in such a way that finding specimens suitable for making musical instruments is increasingly difficult, since only poorly formed trees remain whose characteristics end up being perpetuated in the progeny. However, we have found that seedlings whose parents are considered plus quality trees have greater genetic diversity and have maintained diversity representative of the entire population. Proper management of these offspring will reduce the extraction pressure on natural populations. We recommend future work on the molecular characterization of morphologically superior variants, which will allow sustainable domestication of this plant based on specific markers of quality. It is advisable to carry out similar work in other locations within the distribution range of the

species to identify genetic variants with potential for management and domestication.

2.6 ACKNOWLEDGMENTS

Thanks are expressed to the National Council of Humanities, Sciences and Technologies (CONAHCYT); to Mr. Arturo Vite Cruz for allowing this work to be carried out on his property; to Dr. Alfonso Suárez Islas for his support in the field; and to Mario Adolfo García Montes for his support in the laboratory. The authors declare no competing interests.

2.7 REFERENCES

- Acosta-Hernández CC, Luna-Rodríguez M, Octavio-Aguilar P, Morales-Romero Z, Galindo-González J, Noa-Carrazana JC, Vázquez-Torres SM and Iglesias-Andreu LG (2011a) Effect of forest harvesting on morphological variation of *Juglans pyriformis* Liebm. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(3): 379-388.
- Acosta-Hernández CC, Luna-Rodríguez M, Noa-Carrazana JC, Galindo-González J, Vázquez-Torres SM, Morales-Romero Z and Iglesias-Andreu LG (2011b) Caracterización morfológica y dasométrica de la especie amenazada *Juglans pyriformis* Liebm. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(1) 59-67. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.03.015>
- Acosta-Hernández CC, Iglesias-Andreu LG, Luna-Rodríguez M and Octavio-Aguilar P (2022) Effect of selective logging on the genetic differentiation of *Juglans pyriformis* Liebm. Populations. *Journal of Forest Science* 68(12):509-518. <https://doi.org/10.17221/131/2022 JFS>.
- Amri E, Kanyeke ZL, Lyaruu HVM and Nyomora S (2009) Evaluation of genetic diversity in *Dalbergia melanoxylon* populations using random amplified polymorphic DNA markers. *Research Journal of Cell and Molecular Biology* 3(2):71-79.
- Amri, E., Lyaruu, H. V. M., Nyomora, A. S. y Z. L. Kanyeke. 2010. Vegetative propagation of African Blackwood (*Dalbergia melanoxylon* Guill. y Perr.): effects of age of donor plant, IBA treatment and cutting position on rooting ability of stem cuttings. *New Forests*, 39: 183- 194.
- Assis TF and Resende MDVD (2011) Genetic improvement of forest tree species. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 11:44-49 <https://doi.org/10.1590/S1984-70332011000500007>
- Bakshi M and Sharma A (2011) Assessment of genetic diversity in *Dalbergia sissoo* clones through RAPD profiling. *Journal of Forestry Research* 22(3):393. <https://doi.org/10.1007/s11676-011-0183-7>
- Baute G J, Kane N C, Grassa C J, Lai Z and Rieseberg LH (2015) Genome scans reveal candidate domestication and improvement genes in cultivated sunflower, as well as post domestication introgression with wild relatives. *New Phytologist* 206(2):830-838. <https://doi.org/10.1111/nph.13255>.

- Breed MF, Ottewel KM, Gardner MG, Marklund MH, Dormontt EE and Lowe AJ (2013) Mating patterns and pollinator mobility are critical traits in forest fragmentation genetics. *Heredity* 115:108-114. <https://doi.org/10.1038/hdy.2013.48>
- Cervantes-Maldonado A (2016) La conservación del Granadillo en México: una carrera contra el tiempo. *CONABIO. Biodiversitas* 128:6-11.
- Cervantes-Maldonado A, Linares J and Quintero E (2019) An updated checklist of the Mexican species of *Dalbergia* (Leguminosae) to aid in its conservation efforts. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 90: e902528. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e>. 2019 .90.2 528.
- Chavarría LA (2006) Variación Genética del Árbol Tropical en Peligro de Extinción *Dalbergia retusa* Hemsl. (Papilionaceae) en Costa Rica, utilizando el Análisis de AFLP. Tesis Magister Scientiae en Biología, Universidad de Costa Rica “Rodrigo Facio”, San José, Costa Rica, pp 85.
- de Oliveira BRS, Chicata FSL and Lovato MB (2016) Transferability of microsatellite markers across six *Dalbergia* (Fabaceae) species and their characterization for *Dalbergia miscolobium*. *Biochemical Systematics and Ecology* 69:161-165. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2016.07.017>
- Doyle JJ and Doyle JL (1990) Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus* 12(13):39-40.
- Evanno G, Regnaut S and Goudet J (2005) Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular Ecology* 14:2611-2620. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02553.x>
- Falush D, Stephens M and Pritchard JK (2007) Inference of population structure using multilocus genotype data: dominant markers and null alleles. *Molecular Ecology Notes* 7:574-578. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2007.01758.x>
- Favreau B, Andrianoelina O, Nunez P, Vaillant A, Ramamonjisoa L, Danthu P and Bouvet JM (2007) Characterization of microsatellite markers in the rosewood (*Dalbergia monticola* Bosser & R. Rabev.). *Molecular Ecology Notes* 7(5):774-776. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2007.01692.x>
- Figueredo-Urbina C J, Álvarez-Ríos GD, García-Montes MA and Octavio-Aguilar P (2021) Morphological and genetic diversity of traditional varieties of agave in Hidalgo

State, Mexico. PLoS One 16(7):e0254376.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254376>

FAO (2013) Food and Agriculture Organization of the United Nations. Report of the 14th Regular Session of the Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Available online: <http://www.fao.org/docrep/meeting/028/mg468e.pdf> (accessed on 15 June 2023).

Fan Y, Dai J, Wei Y and Liu J (2023) Local adaptation in natural populations of *Toona ciliata* var. *pubescens* is driven by precipitation and temperature: Evidence from microsatellite markers. *Forest* 14(10). <https://doi.org/10.3390/f14101998>

García-Montes MA, Rubio-Tobón CA, Islas-Barrios Y, Serrato-Díaz A, Figueredo-Urbina CJ, Galván-Hernández DM and Octavio-Aguilar P (2020) The influence of anthropogenic disturbance on the genetic diversity of *Ceratozamia fuscoviridis* (Zamiaceae). *International Journal of Plant Sciences* 181(5):497-508. <https://doi.org/10.1086/707108>

Granados-Victorino RL, Sánchez-González A, Martínez-Cabrera D and Octavio-Aguilar P (2017) Structure and tree composition of three successional sites of a semi-evergreen tropical forest in Huautla, Hidalgo, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88(1): 122-135. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.024>

Grauke LJ, Wood BW and Harris MK (2016) Crop vulnerability: carya. *HortScience* 51(6):653-663. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.6.653>

Hamrick JL and Godt MJW (1996) Effect of the history traits on genetic diversity in plants. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 351:1291-1298. <https://doi.org/10.1098/rstb.1996.0112>

Hartvig I, So T, Changtragoon S, Tran HT, Bouamanivong S, Theilade I and Nielsen LR (2018) Population genetic structure of the endemic rosewoods *Dalbergia cochinchinensis* and *D. oliveri* at a regional scale reflects the Indochinese landscape and life-history traits. *Ecology and Evolution* 8(1):530-545. <https://doi.org/10.1002/ece3.3626>

Islam NJ and Naugraiya MN (2018) Field performance and genetic parameters of *Dalbergia sissoo* roxb. progenies raised in the plains of Chhattisgarh. *The Journal of Indian*

- Botanical Society 97(3-4):45-51. <http://dx.doi.org/10.5958/2455-7218.2018.00015.3>
- Jansson S and Ingvarsson PK (2010) Cohort-structured tree populations. *Heredity* 105:331-332. <https://doi.org/10.1038/hdy.2010.101>
- Jombart T, Devillard S and Balloux F (2010) Discriminant analysis of principal components: a new method for the analysis of genetically structured populations. *BMC Genet* 11:94. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-11-94>
- Kang X (2020) Research progress of forest genetics and tree breeding. *Journal of Nanjing Forestry University* 44(3):1. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-2006.202002033>
- Leshner-Gordillo JM, Martínez-Sánchez JL, Orduña-Rodas P and Hernández-Carreta AI (2018) Diversidad genética del cedro rojo (*Cedrela odorata*) en el estado de Tabasco, México. *Bosque (Valdivia)* 39(3):411-417. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-37392002018000300411>
- Li Y and Liu J (2018) STRUCTURE SELECTOR: a web based software to select and visualize the optimal number of clusters using multiple methods. *Molecular Ecology Resources* 18:176-177. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12719>
- Lind BM, Menon M, Bolte CE, Faske TM and Eckert AJ (2018) The genomics of local adaptation in trees: are we out of the woods yet? *Tree Genetics & Genomes* 14:1-30. <https://doi.org/10.1007/s11295-017-1224-y>
- Liu FM, Zhang NN, Liu XJ, Yang ZJ, Jia HY and Xu DP (2019) Genetic diversity and population structure analysis of *Dalbergia odorifera* germplasm and development of a core collection using microsatellite markers. *Genes* 10(4):281. <https://doi.org/10.3390/genes10040281>
- Luna I, Ocegueda S and Alcántara O (1994) Florística y notas biogeográficas del bosque mesófilo de montaña del municipio de Tlanchinol, Hidalgo, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 65:31-62.
- Octavio-Aguilar P, González-Astorga J and Vovides AP (2009) Genetic diversity through life history of *Dioon edule* Lindley (Zamiaceae, Cycadales). *Plant Biology* 11:525-536. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2008.00157.x>

- Octavio-Aguilar P, Iglesias-Andreu LG, de Cáceres-González FFN, Galván-Hernández DM and Meerow AW (2017) Fine-scale genetic structure of *Zamia furfuracea*: variation with life cycle stages. *International Journal of Plant Science* 178(1):57-66. <https://doi.org/10.1086/689200>
- Peakall R and Smouse PE, (2006) GENALEX 6.5: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes* 6(1):288-295. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2005.01155.x>
- Pritchard JK, Stephens M and Donnelly P (2000) Inference of population structure from multilocus genotype data. *Genetics* 155:945-959. <https://doi.org/10.1093/genetics/155.2.945>
- Riastiwi I, Witjaksono W, Ratnadewi D and Siregar UJ (2022) Genetic diversity of rosewood (*Dalbergia latifolia*) in Yogyakarta, Indonesia for plus trees selection. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 23(5):2630-2639. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230546>
- Ribeiro RA, Rezende MF, Resende LC, Lemos-Filho JP, Kalapothakis E and Lovato MB (2009) Development of polymorphic microsatellite markers for *Dalbergia nigra* (Papilionoideae), an endangered tree from the Brazilian Atlantic Forest. *Molecular Ecology Resources* 9(1):203-206. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2008.02347.x>
- Rosales-Islas E and Octavio-Aguilar P (2023) Effect of forest management on the genetic diversity of *Abies hidalgensis*, a threatened species with restricted distribution. *Journal of Forest Science* 69(5):193-204. <https://doi.org/10.17221/13/2023-JFS>
- Rubio-Tobón CA, García-Montes MA, Pulido-Silva T, Ortiz-Pulido R, Meerow WA, Sánchez-González A, Figueredo-Urbina CJ, Galván-Hernández DM and Octavio-Aguilar P (2023) Disturbance effect on *Ceratozamia fuscoviridis* demography: notes about conservation. *Tropical Ecology* 64:725-738. <https://doi.org/10.1007/s42965-023-00299-5>
- Rzedowski J and Guridi-Gomez LI (1988) El palo escrito, árbol de madera preciosa una nueva especie mexicana de *Dalbergia* (Leguminosae, Papilionoideae). *Acta Botanica Mexicana*, (4), 1-8. Retrieved from <https://abm.ojs.incol.mx/index.php/abm/article/view/568/735>

- Schoen DJ and Brown AHD (1991) Intraspecific variation in population gene diversity and effective population-size correlates with the mating system in plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 88:4494–4497. <https://doi.org/10.1073/pnas.88.10.4494>
- Silva GJA (2009) Fichas técnicas sobre características tecnológicas y usos de maderas comercializadas en México. Tomo II. CONAFOR. México.
- Song Z, Zhang M, Li F, Zhou C, Li M, Li J, Huang H, Mo X and Gan S (2016) Genome scans for divergent selection in natural populations of the widespread hard wood species *Eucalyptus grandis* (Myrtaceae) using microsatellites. *Scientific Reports* 6:34941. <https://doi.org/10.1038/srep34941>
- Soto-Cerda BJ and Cloutier S (2013) Outlier loci and selection signatures of simple sequence repeats (SSRs) in flax (*Linum usitatissimum* L.). *Plant Molecular Biology Reporter* 31:978- 990. <https://doi.org/10.1007/s11105-013-0568-1>
- Sousa F, Costa J, Ribeiro C, Varandas M, Pina-Martins F, Simoes F, Matos J, Gluhkova M, Miguel C, Veloso M M, Oliveira M, Pinto C R, Batista D and Paulo O S (2022) Population structure in *Quercus suber* L. revealed by nuclear microsatellite markers. *Peer J* 10:e13565. <https://doi.org/10.7717/peerj.13565>
- Suárez-Islas A, Capulín-Grande J and Mateo-Sánchez JJ (2020). Performance of *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez, a valuable timber tree, in a coffee plantation in Hidalgo, Mexico. *Bois et Forêts des Tropiques* 344:47-57. <https://doi.org/10.19182/bft2020.344.a31899>
- Tlanchinol.gob.mx. Tlanchinol, Gobierno municipal 2020-2024. Medio físico. Accessed December 13, 2023. <https://tlanchinol.gob.mx/tu-municipio/medio-fisico>
- Turchetto C, Segatto AL, Beduschi J, Bonatto SL and Freitas LB (2015) Genetic differentiation and hybrid identification using microsatellite markers in closely related wild species. *AoB Plants* 7:plv084. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plv084>
- Wright S (1978). *Evolution and the Genetics of Populations*, Vol. 4. University of Chicago Press, Chicago-London.
- Yulita KS, Atikah TD and Wardani W (2020) Unraveling genetic variations of *Dalbergia latifolia* (Fabaceae) from Yogyakarta and Lombok Island, Indonesia. *Biodiversitas*

Journal of Biological Diversity 21(2):833-841.
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d210251>

Zhang X, Shi MM, Shen DW and Chen XY (2012) Habitat loss other than fragmentation per se decreased nuclear and chloroplast genetic diversity in a monoecious tree. PLoS ONE 7:e39146. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039146>

Zhang X-X, Liu B-G, Li Y, Liu Y, He Y-H, Qian Z-H and Li J-X (2019). Landscape genetics reveals that adaptive genetic divergence in *Pinus bungeana* (Pinaceae) is driven by environmental variables relating to ecological habitats. BMC Evolutionary Biology 19:160. <https://doi.org/10.1186/s12862-019-1489-x>

CAPÍTULO 3: Estandarización de propagación asexual para

Dalbergia palo-escrito

3.1 RESUMEN

Dalbergia palo-escrito, es de importancia ecológica y económica, su duramen es apreciado por lauderos, dado por sus propiedades acústicas. Considerando el potencial de enraizamiento de esta especie, el objetivo fue evaluar el efecto del AIB a diferentes concentraciones en esquejes (basales, medio y apical) de árboles juveniles y maduros de *D. palo-escrito*, con el propósito de seleccionar la dosis con mayor enraizamiento y brotes para su propagación en etapa de invernadero. La supervivencia de los brotes se registró de forma binaria (2 = vivo, 1 = muerto) y se contrastó el tipo de estaca (maduro o juvenil) así como la concentración de AIB (0, 60, 1500, 5000, 10000 ppm) mediante el ANOVA factorial. Los esquejes de árboles juveniles presentaron mayor tasa de supervivencia, estos esquejes (basal, medio y apical) se emplearon tratados con 0, 60, 600 y 1500 ppm de AIB, para obtener el mayor porcentaje de supervivencia. El análisis mostró que los esquejes basales presentaron los mejores valores en crecimiento, particularmente en tamaño de la raíz. Por lo tanto, los tratamientos de esquejes basales procedentes de árboles jóvenes deben ser tratados con concentraciones de entre 60 a 600 ppm de AIB, lo que garantiza la aparición en un periodo de 20 a 40 días, un tamaño de raíz entre 20 y 30 cm, 1 a 2 brotes, 9 a 10 frondas con longitud de 17 a 20 cm y ancho de 4 mm a los 150 días. El resto de los tratamientos son significativamente menores en el mismo periodo.

Palabras clave: esqueje, palo escrito, conservación, enraizamiento

3.2 INTRODUCCIÓN

El palo escrito (*Dalbergia palo-escrito*) pertenece a la familia de las leguminosas cuya característica es su fruto tipo legumbre y sus hojas compuestas y estipuladas. Le favorecen ciertos tipos de disturbio. Establece relaciones simbióticas con rizobios para fijar nitrógeno, función muy importante ya que mejora la fertilidad de los suelos (Rzedowski y Guridi-Gomez 1988). Es endémica de México, es de importancia ecológica y económica, su duramen es muy apreciado por artesanos lauderos dado por sus propiedades acústicas. El uso de este recurso maderable hace vulnerables a las poblaciones naturales, por lo tanto, algunas alternativas para mitigar esta presión y su aprovechamiento, se han desarrollado e innovado técnicas de propagación y reproducción asexual de planta forestal mediante esquejes con el propósito de obtención de planta con caracteres deseados y con menor tiempo de desarrollo como se ha reportado en algunos géneros de *Pinus*, *Taxus*, *Prunus*, entre otros (Kidelman et al., 2018; Aslam et al., 2017; Manohar et al., 2024). Para el género *Dalbergia* existen algunos estudios en enraizamiento por esqueje a diferentes concentraciones de AIB, tal es el caso de *D. retusa* y de *D. calycina* en Centroamérica (Boga et al., 2012), *D. latifolia* en Asia (Lemmens, 2008), *D. sissoo* en la India (Singh, 2001) y para México *D. congestiflora* (Hernández-García et al., 2016). Por otro lado, estas técnicas se han empleado o direccionado esfuerzos hacia la propagación vegetativa debido a que tienen una vulnerabilidad biológica alta debido a la baja viabilidad de las semillas y la alta depredación de semillas por herbivoría por escarabajos (Arunkumar et al., 2022). Considerando el potencial de enraizamiento de estas especies, permite ampliar técnicas de reproducción asexual, siendo el método por esqueje el más viable, permite la obtención de ejemplares viables para su establecimiento y reproducción en invernadero (Kumar et al., 2014). Esto gracias a las auxinas presentes en la

naturaleza como el ácido indol-3-acético (AIA); se encuentra en las ramas y hojas jóvenes (Sedaghatthoor et al., 2016) y en menor abundancia el ácido indol-3-butírico (AIB), además es la auxina más utilizada para este propósito (Schneider et al., 1985; de-Klerk et al., 1999). Por otro lado, es relevante mencionar que no existe información para la especie de palo escrito sobre propagación vegetativa, por lo tanto, con base en una revisión bibliográfica, permitió establecer ensayos de propagación asexual de *D. palo-escrito*, con el propósito de ampliar métodos de reproducción y propagación en etapa de invernadero, dado que el reclutamiento natural es bajo y las semillas tienen una baja viabilidad y además son altamente depredadas por herbivoría, por lo tanto el aprovechamiento de estos recursos son limitados y por ende una alternativa es indagar en la reproducción asexual, con el propósito de mitigar la presión en las poblaciones naturales. Por todo lo anterior, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del AIB (ácido indol-3-butírico) a diferentes concentraciones en esquejes basales, medio y apical de *Dalbergia palo-escrito*, con el propósito de determinar las mejores condiciones de enraizamiento y brotes para su propagación en etapa de invernadero.

3.3 MATERIAL Y MÉTODOS

3.3.1 Área de estudio

El material biológico (esquejes) se obtuvo de diez árboles maduros de al menos 20 cm de diámetro del fuste (poblaciones naturales), dentro del municipio de Tlahuiltepa Hidalgo. Por otro lado, se obtuvieron esquejes de árboles jóvenes de una plantación de 15 años aproximadamente establecida en el Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, estos árboles provienen de semillas colectadas en el municipio de Tlanchinol Hidalgo.

3.3.2 Plantación

Las estacas de árboles maduros y juveniles fueron colocadas en cajas de 30 x 30 x 50 cm, recubiertas con plástico y para la segunda replica donde se aplicó diversos tratamientos proveniente de árboles juveniles (mejor opción de esqueje para los tratamientos de acuerdo análisis de factores discriminantes generalizado (AFDG) para su propagación), los cuales fueron colocadas en tubetes de polipropileno de 0.355 litros de capacidad, con una mezcla de sustrato con las siguientes concentraciones por litro: 60% Aserrín, 15% Tezontle , 15% Peat moss (Turba), 10% Vermiculita y 5 gramos de Fertilizante de Liberación Controlada (FLC) de ocho meses. Los esquejes se establecieron en invernadero durante 150 días, con riegos dos veces por semana aplicando en promedio 500 ml por estaca. Las condiciones de luz fueron controladas con malla sombra al 50% y con una temperatura que varió entre 12-32 °C.

3.3.3 Análisis de datos

3.3.3.1 Supervivencia

La supervivencia de los brotes se registró de forma binaria (2 = vivo, 1 = muerto) y se contrastó el tipo de estaca (maduro o juvenil) así como la concentración de ácido indol-3-butírico (0, 60, 1500, 5000, 10000 ppm) mediante una ANOVA factorial considerando un Modelo Lineal Generalizado para una distribución Binomial, mediante el programa Statistica v.10 (StatSoft, 2011).

3.3.3.2 Crecimiento

Las plantas sobrevivientes se evaluaron a los cinco meses considerando el diámetro de la estaca (DE), los días en que se observó el primer brote (T), el tamaño de su raíz (R), el número de brotes (#Br), el número de frondas (#Fr), el lago (L) y ancho del brote (A). Los

atributos fueron depurados por un análisis previo para identificar los de mayor aportación al modelo y fueron estandarizados previamente para garantizar la dimensionalidad de la matriz de datos. Los valores seleccionados se contrastaron entre tratamientos mediante un análisis de factores discriminantes generalizado (AFDG), dada la diferencia en la cantidad de supervivientes por tratamiento. Para esta comparación solo se consideraron las estacas jóvenes, ya que solo ocho plantas maduras sobrevivieron.

3.3.3.3 Propagación

Los atributos del crecimiento determinados por el análisis anterior fueron comparados entre esquejes jóvenes de al menos 15 años procedentes de invernadero, segmentos extraídos de la zona apical, media y basal de las plantas; tratados con 0, 60, 600 y 1500 ppm de ácido indolbutírico. Además, se contrastaron combinaciones de las concentraciones mencionadas con el producto comercial XP-AMINO (Aminoácidos totales 32.00 % de los cuales son Aminoácidos libres 24.80 %, Nitrógeno 3.00 %, Fósforo 3.00 %, Potasio 3.00 % y Potencializadores y microelementos 59.00% de la marca R® Agrosience), usado previamente para mejorar el enraizamiento y la producción foliar de diversos esquejes. Los datos fueron estandarizados previamente con la fórmula $(x-\mu)/\sigma$, para garantizar la multinormalidad, misma que fue corroborada por una prueba de Mardia (Ajuste 9.8, Kurtosis 0.1667, p 0.85).

Los contrastes entre tratamientos consideraron al tipo de esqueje (apical, medio o basal), como atributo cuantitativo para realizar un Análisis de Funciones Discriminantes Generalizado usando el programa Statistica v.10.

3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.4.1 Supervivencia

Las estacas jóvenes sobreviven en la mayoría de los casos, en particular en ausencia de ácido indo-3-butírico o en una concentración baja de 1500 ppm (Figura 1). Estas diferencias son significativas de acuerdo con el MLG ($F_{(1,144)}$ tipo de brote = 72.6, $p > 0.001$; $F_{(4,144)}$ hormona = 2.44, $p 0.04$), por lo que el factor tipo de brote, es fundamental para la elección del método de propagación.

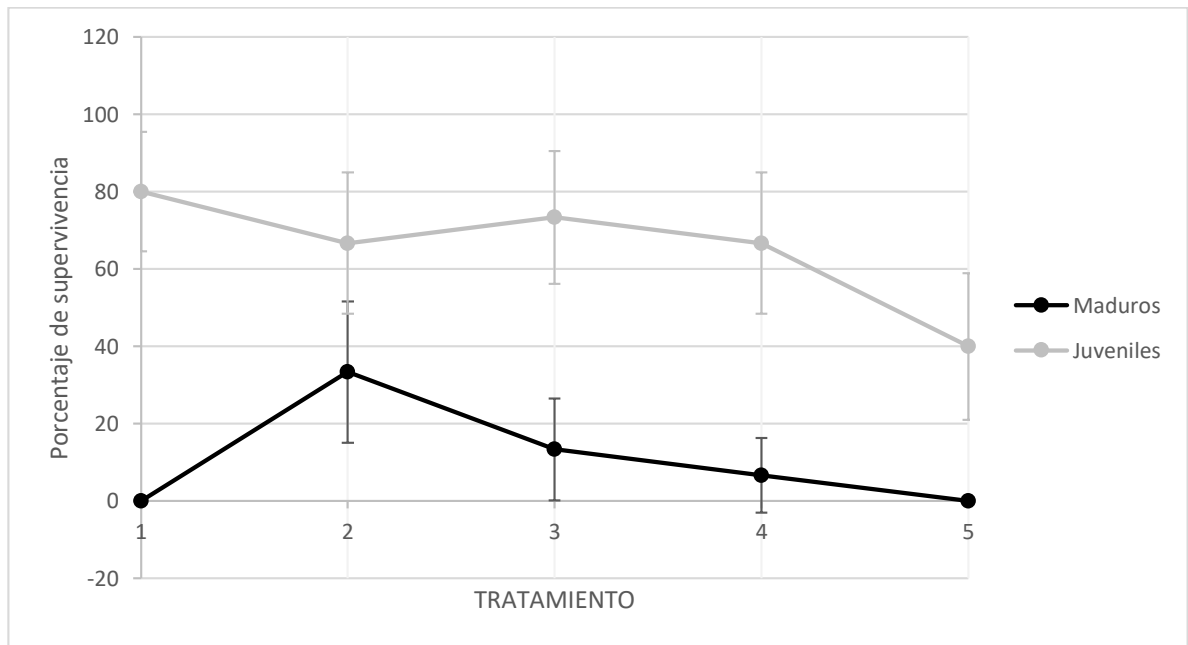


Figura 1. Comparación de la supervivencia de los tratamientos mediante el MLG bajo una distribución binomial. 1 = 0 ppm, 2 = 60 ppm, 3 = 1500 ppm, 4 = 5000 ppm, 5 = 10000 ppm de ácido indol-3-butírico.

3.4.2 Crecimiento

De los 75 individuos juveniles colocados para enraizar, sobrevivieron hasta los 5 meses 49, independientemente del tratamiento. Los atributos con mayor aportación al AFDG fueron

R, #Br, #Fr y L a los cinco meses (Tabla 1). Sin embargo, el modelo de asignación no mostró una diferencia importante en los atributos relacionados con el crecimiento considerando las concentraciones de ácido indol-3-butírico utilizadas ($F_{(4,41)}: 1.26 \pm 0.718, p > 0.05$ en todos los casos), esto se corrobora por los valores inferiores a la unidad en los eigenvalores de las funciones obtenidas.

Tabla 1. Coeficientes estandarizados del AFDG para los atributos del crecimiento analizados a los cinco meses. R: Longitud de la raíz; #Br: número de brotes; #Fr: número de frondas; L: longitud del brote a los cinco meses. * Coeficientes significativos entre el atributo y la función obtenida.

	F1	F2	Lambda Wilks	p
R	-1.09*	-0.32	0.82	0.08
#Br	0.54	-1.01*	0.89	0.29
#Fr	-0.26	1.73*	0.93	0.56
L	0.81*	-1.27*	0.93	0.54
Eigenvalue	0.30	0.11		
Varianza acumulada	63%	88%		

Sin embargo, la variación intragrupo fue mayor en los tratamientos T1, T3, T4 y T5, por lo que su dispersión indica una mayor divergencia entre la longitud de la raíz con ausencia de brotes y frondas (Tabla 1). Por lo que, para un uso en la propagación, los tratamientos 2 y 3 son más homogéneos en cuanto al tamaño de la raíz, la presencia de brotes y frondas, así como la longitud del brote (Figura 2, Tabla 2).

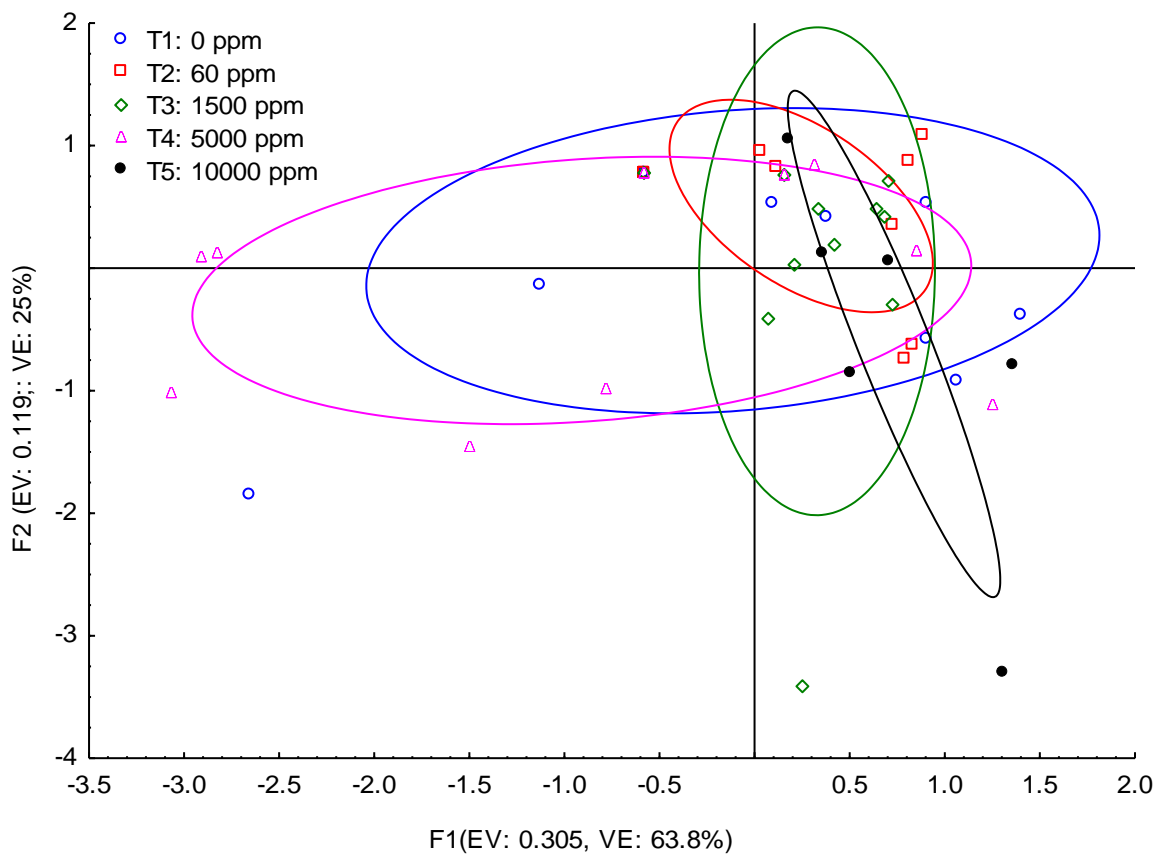


Figura 2. Gráfica de dispersión sobre los factores de crecimiento obtenidos para cada tratamiento.

Tabla 2. Descripción de los atributos de crecimiento por tratamiento hormonal (media \pm DE).

	R	#Br	#Fr	L
T1	4.4	2.04 \pm 1.06	3.41	5.57
T2	0.00	0.88	3.23	4.09
T3	4.54	2.00 \pm 0.69	6.51	16.78
T4	5.64	4.64 \pm 0.74	2.81	6.86
T5	1.47	0.88 \pm 1.17	1.83 \pm 0.82	8.25 \pm 5.37

3.4.3 Propagación

El Análisis de Funciones Discriminantes Generalizado, mostró diferencias significativas entre los tratamientos de enraizamiento y de foliación, con el promedio más alto para los atributos de crecimiento en los tratamientos 1 y 2 (60 y 600 ppm de ácido indolbutírico) (Tabla 3, Figura 3).

Tabla 3. Promedios obtenidos para los indicadores de crecimiento con tratamientos de enraizamiento basados en aminoácidos y ácido indol butírico. T1: 60 ppm de ácido indol butírico, T2: 600 ppm de ácido indol butírico, T3: 1500 ppm de ácido indol butírico, T4: 60 ppm de ácido indol butírico + XP-amino, T5: 600 ppm de ácido indol butírico + XP amino, T6: 1500 ppm de ácido indol butírico + XP-amino, T7: XP-amino. Las letras indican diferencias significativas de acuerdo con el AFDG.

	Tipo de esqueje	Días de brote	R	#Br	#Fr	L	A
a	Control	Apical	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Medio	23.3	7.60	1.00	3.00	8.33
		Basal	23.3	10.0	1.33	7.67	16.3
	T1 ^b	Apical	33.7	8.53	1.75	5.00	12.5
		Medio	21.2	22.4	1.75	6.75	17.8
		Basal	38.0	28.6	1.60	9.40	20.6
	T2 ^b	Apical	32.5	10.1	2.00	5.25	10.2
		Medio	25.8	18.6	1.50	7.33	17.0
		Basal	19.1	24.1	1.83	9.17	17.1
	T3 ^c	Apical	35.0	5.33	1.00	2.75	4.25
		Medio	55.0	3.60	1.50	3.50	9.50
		Basal	34.0	8.38	1.40	3.20	14.1
	T4 ^d	Apical	48.0	6.24	1.40	3.80	8.10
		Medio	41.2	19.6	1.75	5.25	8.75
		Basal	20.8	25.1	1.50	6.17	14.8
	T5 ^c	Apical	51.6	3.93	1.00	3.33	6.83
		Medio	33.3	9.97	1.33	3.67	10.1
		Basal	35.0	8.45	1.50	6.00	9.63

T6^c	al o	Apic	0	57.5	4.25	1.00	3.00	4.50	0.18
		Medi	0	38.0	7.04	1.20	3.20	6.80	0.26
		Basal	0	32.0	4.68	1.20	4.00	11.0	0.32
T7^a	al o	Apic	0	35.0	3.65	1.00	3.00	4.00	0.21
		Medi	3	33.3	10.1	1.00	3.00	7.50	0.20
		Basal	0	15.0	5.90	2.00	4.00	8.50	0.34

El AFDG mostró que el atributo con mayor variación en el crecimiento es el tipo de esqueje, siendo los basales aquellos con mejores valores, particularmente el tamaño de la raíz, relaciones manifiestas en los coeficientes de correlación del primer factor discriminante. En el segundo eje, el atributo con mayor poder de discriminación fue el número de frondas y el día de brote (Tabla 4, Figura 3).

Tabla 4. Análisis de Funciones Discriminantes Generalizado, se muestran los coeficientes de correlación estandarizados con respecto a los dos factores discriminantes que resultaron significativos para explicar la variación entre tratamientos.

	F1	F2
Días al brote	-0.083	0.846
R	-1.030	0.562
#Br	-0.314	0.487
#Fr	-0.309	-0.801
L	-0.498	-0.365
A	0.099	0.595
Apical	-1.268	0.088
Basal	1.052	0.122
Eigenvalue	2.881	0.542
Exp. Prop.	77.446	14.560
Cum. Prop.	77.440	92.000
Wilk's		
Lambda	0.126	0.489
Chi-Sqr	171.863	59.307
df	56.000	42.000
p-value	0.000	0.040

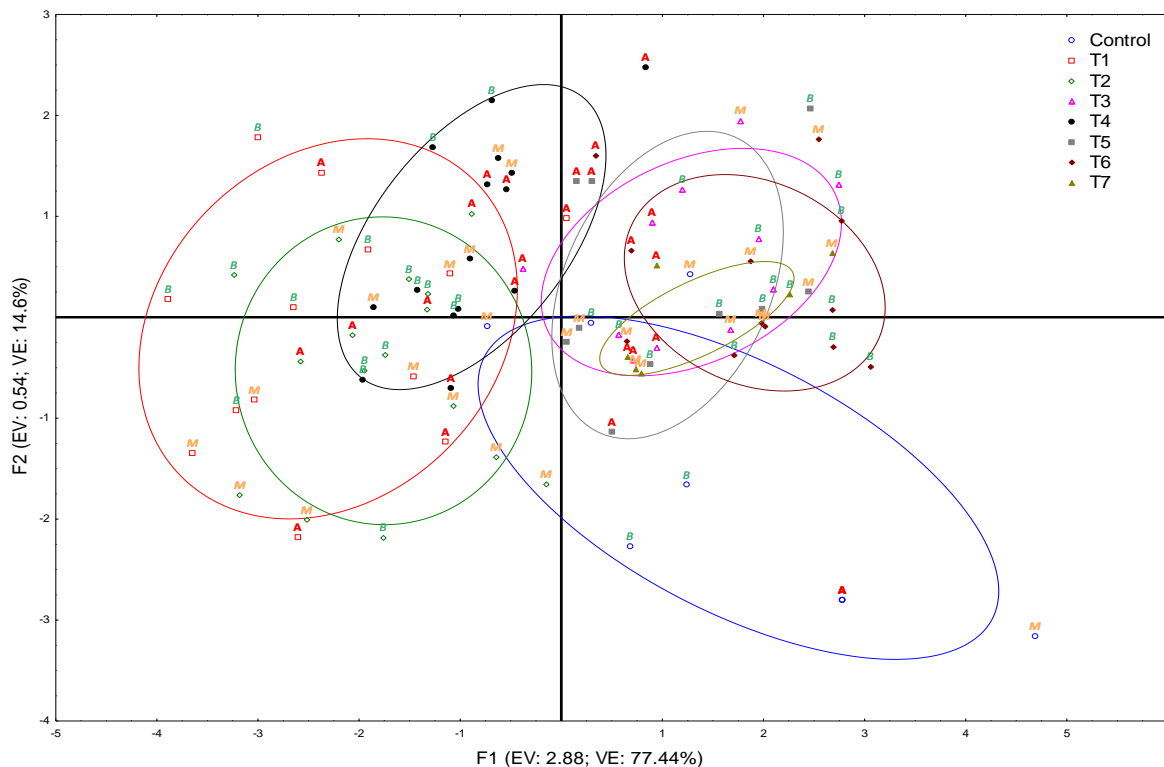


Figura 3. Ordenamiento obtenido por el AFDG. T1: 60 ppm de ácido indol butírico, T2: 600 ppm de ácido indol butírico, T3: 1500 ppm de ácido indol butírico, T4: 60 ppm de ácido indol butírico + XP-amino, T5: 600 ppm de ácido indol butírico + XP amino, T6: 1500 ppm de ácido indol butírico + XP-amino, T7: XP-amino. A: esqueje apical, M: esqueje medio, B: esqueje basal.

Por otro lado, la utilización de esquejes provenientes de árboles donantes juveniles, a resultado la mejor opción para su propagación independientemente del tratamiento tal como se ha reportado en *D. latifolia* y *D. melanoxylon* donde la supervivencia proveniente de este tipo de esquejes es mayor al 70%, comparado los datos de *D. palo-escrito* son muy similares con un 65%. (Tabla 5) Además, los esquejes de árboles donantes maduros la supervivencia es menor al 20%. En cuanto a otras especies como es el Cacao (*Theobroma cacao*) y el Balso blanco (*Heliocarpus americanus*) al igual a resultado que las estacas de árboles jóvenes, se enraízan mejor que estacas tomadas de árboles viejos, por lo que se explica el mayor

contenido en Biotina, Auxinas y Nitratos que incrementan el enraizamiento (Rendón-Araujo 1952 y Vásquez-Restrepo et al., 2006)

Tabla 5. Tratamientos de reproducción asexual reportados en dalbergias.

Dalbergias sp	Tratamiento	País	Referencias
<i>D. congestiflora</i>	Estacas apicales, medias y basales con AIB con una concentración de 1, 5 y 10 ppm.	México	Hernández García et al., 2016
<i>D. sissoo</i>	Estacas de árboles maduros a diferentes concentraciones de AIB	Pakistan	Khan et al., 2012
<i>D. latifolia</i>	Estacas de árboles de 5 años aproximadamente sin hormonas	Sureste de Asia	Lemmens, 2008
<i>D. retusa</i>	Enraizamiento de brotes a diferentes concentraciones de AIB	Costa Rica	Valverde y Alvarado, 2004
<i>D. funera</i> <i>D. tucurensis</i>	Estacas de árboles de 5 años aproximadamente sin hormonas	Costa Rica	De Vastey 1962
<i>D. melanoxylon</i>	Estacas de árboles donantes maduros y juveniles con AIB.	Tanzania	Amri et al., 2010
<i>D. palo-escrito</i>	Estacas de árboles jóvenes y concentraciones de 60-600 ppm de AIB	México	En este trabajo

3.5 CONCLUSIÓN

Los tratamientos de esquejes basales procedentes de árboles jóvenes deben ser tratados únicamente con concentraciones de entre 60 a 600 ppm de ácido indol butírico, lo que garantiza una emergencia en un periodo de 20 a 40 días, un tamaño de raíz entre 20 y 30 cm, 1 a 2 brotes, 9 a 10 frondas con una longitud de 17 a 20 cm y un ancho de 4 mm a los 150 días. El resto de los tratamientos son significativamente menores en el mismo periodo.

3.6 AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCyT) y a los colaboradores de este capítulo.

3.7 LITERATURA CITADA

- Amri, E., Lyaruu, H. V. M., Nyomora, A. S. y Z. L. Kanyeka. 2010. Vegetative propagation of African Blackwood (*Dalbergia melanoxylon* Guill. y Perr.): effects of age of donor plant, IBA treatment and cutting position on rooting ability of stem cuttings. *New Forests*, 39: 183- 194.
- Arunkumar, A. N., Warriar, R. R., Kher, M. M., and J. A. Teixeira da Silva. 2022. Indian rosewood (*Dalbergia latifolia* Roxb.): biology, utilisation, and conservation practices. *Trees*, 36(3), 883-898.
- Aslam, M., Raina, P. A., Rafiq, R. U., Siddiqi, T. O., and Z. A. Reshi. 2017. Adventitious root formation in branch cuttings of *Taxus wallichiana* Zucc.(Himalayan yew): A clonal approach to conserve the scarce resource. *Current Botany*, 8, 127-135.
- Boga, A., Ram, B., y Ravi, G. S. R. 2012. Effect of benzyl amino purine and gibberellic acid on in vitro shoot multiplication and elongation of *Dalbergia latifolia* Roxb: An important multipurpose tree. *Biotechnology, Bioinformation and Bioengineering 2* (1): 597- 602
- de-Vastey, J. 1962. Estudios sobre propagación de especies forestales por estacas. Tesis Magíster en Agronomía. IICA, Turrialba, Costa Rica, 67 p.
- de-Klerk, G.J., van der Krieken, W., y de Jong, J. 1999. Review the formation of adventitious roots: new concepts, new possibilities. *In Vitro Cellular y Developmental Biology - Plant*, 35(3), 189-199. <https://doi.org/10.1007/s11627-999-0076-z>
- Hernández-García, A., Salgado-Garciglia, R., y Ambriz-Parra, E. 2016. Propagation of *Dalbergia congestiflora* Pittier (Fabaceae) by steam cuttings: Effect of IBA concentration and position of cuttings on shoots. *Nova scientia*, 8(17), 87-96.
- Khan, F., Khan, G. S., Siddiqi, T. y Khan, S. H. 2012. Effect of Indole Butyric Acid (growth Hormone) on possibility of raising *Dalbergia sissoo* through branch cuttings. *International Journal of Pharmacy and Biological Sciences*. Volume 2 (3): 31- 35. www.ijpbs.com (or) www.ijpbsonline.com
- Kidelman, D. Â., Majada, J., Ciordia, M., y Feito-Díaz, I. 2018. Minipropagación de plantas forestales. *Tecnología Agroalimentaria: boletín informativo del Serida*.

- Kumar, V., Kumar, S., Jha, S. y Jijeesh, X. 2014. Influence of de-oiled seed cakes on seedling performance of East Indian rosewood (*Dalbergia latifolia* Roxb.). *Soil Environ* 33(2):169–174
- Lemmens, R.H.M.J. 2008. *Dalbergia latifolia* Roxb. In: Louppe, D., Oteng-Amoako, A.A. and M. Brink. (Editors). *Prota 7(1): Timbers/Bois d'œuvre 1*. PROTA, Wageningen, Netherlands.
- Manohar, K. A., Shukla, G., Shahina, N. N., Sivasankarreddy, K., Ravuther, S. S., y Chakravarty, S. 2024. Conventional Versus Non-Conventional Methods of Propagation of Forest Tree Species: Applications and Limitations. *In Biotechnological Approaches for Sustaining Forest Trees and Their Products* (pp. 483-517). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Rendón-Araujo, P. 1952. Influencia de las estaciones y del estado de la estaca sobre el enraizamiento de estacas de cacao. Palmira. 42 h. Trabajo de grado Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Rzedowski, J. y Guridi-Gómez, L. I. 1988. El palo escrito, árbol de madera preciosa-una nueva especie mexicana de *Dalbergia* (Leguminosae, Papilionoideae). *Acta Botánica Mexicana* (4):1-8. <https://abm.ojs.inecol.mx/index.php/abm/article/view/568/735>. (20 de enero de 2023).
- Sedaghatthoor, S., Kayghobadi, S., y Tajvar, Y. 2016. Rooting of Mugo pine (*Pinus mugo*) cuttings as affected by IBA, NAA and planting substrate. *Forest Systems*, 25(2), eSC08. <https://doi.org/10.5424/fs/2016252-09087>
- Valverde C., L and L. Alvarado G. 2004. Organogénesis in vitro en *Dalbergia retusa* (Papilionaceae). *Rev. Biol. Trop* V 52 N° 1, Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica San José, Costa Rica. rbt@biologia.ucr.ac.cr
- Vásquez-Restrepo, C., Gutiérrez-Urbe, A. M., y Álvarez-González, J. I. 2006. Propagación por estacas juveniles del balsa blanco (*Heliocarpus americanus* l. sin. h. popayanensis) utilizando propagadores de subirrigación. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 59(2), 3479-3498.

CAPÍTULO 4: Influencia de la perturbación en atributos morfológicos y estructura poblacional de palo escrito (*Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez) en Hidalgo

Influence of disturbance on morphological attributes and population structure of palo escrito (*Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez) in Hidalgo

Cuauhtémoc Alain Rubio Tobón¹, Rodrigo Rodríguez Laguna^{1*}, Alfonso Suárez Islas¹, Pablo Octavio Aguilar², Juan Capulín Grande¹

¹Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.

²Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.

*Autor de correspondencia: rlaguna@uaeh.edu.mx

4.1 RESUMEN

El palo escrito es considerado como madera preciosa y empleado en laudería, su aprovechamiento sin control pone en riesgo sus poblaciones naturales, afortunadamente su adaptabilidad a zonas perturbadas y vegetación secundaria da indicios de ser susceptible al manejo. Se planteó el análisis de atributos dasométricos de palo escrito con relación al índice de perturbación (actividad humana, ganadera y deterioro del hábitat) en cuatro poblaciones naturales. Las poblaciones se describieron morfológicamente agrupando los individuos mediante distancias Euclidianas. Se estableció la densidad poblacional y el patrón de agregación mediante el coeficiente de variación en la distancia entre individuos. Los resultados mostraron cuatro grupos morfológicos, se formó el grupo tres con individuos de fuste recto, no bifurcado y dominancia completa en el eje inicial para la producción maderable. Todas las poblaciones difieren significativamente ($p \leq 0.01$) en cuanto a su composición en todas las comparaciones de disturbio ($\chi^2 > 19.3$). La mayor afectación fue

por actividad humana, seguida por la actividad ganadera y por último el deterioro del hábitat. Las poblaciones con nivel intermedio de perturbación presentan la mayor cantidad de individuos mejor conformados para la producción maderable, sin embargo, los extremos en el nivel de perturbación comprometen el reclutamiento y la homogeneidad de atributos morfológicos deseables. También, el análisis de distribución espacial mostró que la especie forma agrupaciones de individuos en todas las poblaciones. Se concluye que la perturbación modifica la densidad y conformación morfológica de los individuos, pero solo hasta cierto grado, lo que hace susceptible a esta especie para el manejo agrosilvopastoril y de conservación.

Palabras clave: Deterioro de hábitat, manejo agrosilvopastoril, palo escrito, población natural, restauración, vegetación secundaria.

4.1 ABSTRACT

The palo escrito is considered a precious wood and is used in woodworking; its uncontrolled harvesting puts its natural populations at risk. Fortunately, its adaptability to disturbed areas and secondary vegetation gives indications that it is susceptible to management. We proposed to analyze the dasometric attributes of palo escrito in relation to the disturbance index (human activity, livestock and habitat deterioration) in four natural populations. The populations were described morphologically by grouping individuals by Euclidean distances. The population density and aggregation pattern were established using the coefficient of variation in the distance between individuals. The results showed four morphological groups, group three was formed with individuals with straight, non-bifurcated stems and complete dominance in the initial axis for timber production. All populations differed significantly ($p \leq 0.01$) in composition in all disturbance comparisons ($\chi^2 > 19.3$).

The greatest disturbance was due to human activity, followed by livestock activity and finally habitat deterioration. Populations with an intermediate level of disturbance have the highest number of individuals best suited for timber production; however, extremes in the level of disturbance compromise recruitment and the homogeneity of desirable morphological attributes. Also, spatial distribution analysis showed that the species forms clusters of individuals in all populations. It is concluded that disturbance modifies the density and morphological conformation of individuals, but only to a certain degree, which makes this species susceptible to agrosilvopastoral and conservation management.

Key words: Habitat deterioration, agrosilvopastoral management, palo escrito, natural population, restoration, secondary vegetation.

4.2 INTRODUCCIÓN

Las poblaciones vegetales son afectadas por diversos factores, tanto bióticos como abióticos, que influyen y determinan sus procesos de regeneración (Funk et al., 2017). Cuando una población sufre algún cambio importante en su tamaño, composición y disposición de recursos, resulta en alteración puntual en su estructura y dinámica que ocurre en el tiempo y espacio específico. Existe información científica que muestra la relación entre la pérdida de hábitat, la disminución drástica de las poblaciones y la fragmentación de la vegetación resultante de estos cambios puntuales en tiempo y espacio (Rivera-Fernández et al., 2012). La perturbación altera la estructura de los ecosistemas, cambiando la disposición de los recursos y el medio físico (De La Cruz-Cabrera y Contreras, 2019). La fragmentación disminuye el tamaño y la conectividad entre las poblaciones, causando un deterioro general (Silvério et al., 2019), generando presiones de selección particulares sobre las categorías menos adaptadas. Esto induce cambios demográficos que incrementan el riesgo de extinción

de las poblaciones locales (Alfaro et al., 2014), lo que se ha asociado con la disminución en el tamaño poblacional (Cohen et al., 2016), reducción de la fecundidad (Zheng et al., 2017), alteraciones en la estructura y composición demográfica (McDowell et al., 2020), densidad baja y pérdida del potencial evolutivo (Budde et al., 2016). Por otro lado, la perturbación impacta directamente sobre la diversidad de las comunidades y la persistencia de las poblaciones, incluidos los aspectos demográficos y genéticos de las mismas. Esto resulta interesante para explicar adaptaciones locales de las especies a los hábitats degradados, modificaciones en su diversidad genética y variación a corto y mediano plazo en la estructura demográfica (Octavio-Aguilar et al., 2017).

Dalbergia palo-escrito Rzed. & Guridi-Gómez, conocido como palo escrito es una especie arbórea de hasta 35 m de alto, con fustes de hasta 80 cm de diámetro normal, cuya madera se considera fina y ha sido utilizada en el manejo agroforestal como dosel de sombra de *Coffea arabica* L., plantaciones de *Musa* ssp., asociada con otras especies arbóreas como *Juglans pyriformis* Liebm., *Trema micrantha* (L.) Blume., *Bursera simaruba* (L.) Sarg., *Platanus mexicana* Moric. y *Cedrela odorata* L.; observándose que la asociación agroforestal favorece el desempeño de atributos morfológicos para la producción maderable en esta especie (Suárez-Islas et al., 2020). En cambio, Rzedowski & Guridi-Gómez (1988) reportaron que *D. palo-escrito* se ve favorecida por ciertos tipos de disturbio y se presenta con mayor abundancia en bosquetes secundarios, aunque se desconoce si el disturbio cambia algún atributo morfológico del árbol con interés. Tal información es necesaria para la toma de decisiones y criterios técnicos del manejo forestal y agroforestal para su conservación y restauración. Por lo anterior, este trabajo tiene como objetivo determinar la influencia de la perturbación sobre la variación de los atributos morfológicos y la estructura poblacional de *D. palo-escrito* en cuatro localidades de Tlahuiltepa, Hidalgo, México.

4.3 MATERIAL Y MÉTODOS

4.3.1 Área de estudio

El municipio Tlahuiltepa, Hidalgo, México (Figura 1); se ubica entre las coordenadas geográficas 21°02' a 20°38' de latitud Norte y 98°51' a 99°07' de longitud Oeste, con altitud de 500 y 2 600 msnm. Se localiza fisiográficamente dentro de la Sierra Madre Oriental en particular sobre la Sierra Alta Hidalguense, su topografía es accidentada con acantilados que van de 20 a 80 % de pendiente en el 90 % del territorio. La temperatura media anual es de 17 °C y la precipitación anual es de 900 mm. Los climas predominantes en estos sitios son templados (C) y templados subhúmedos (Cw) (INEGI, 2003). Las especies arbóreas predominante son *Cupressus lusitanica* Miller, *Platanus mexicana*, *Myroxylon balsamum* (L.) Harms, *Dalbergia palo-escrito*, *Quercus ssp.*, *Pinus ssp.*, *Junglas ssp.*, entre otras (SIIEH, 2011).

4.3.2 Muestreo

A través de recorridos en campo se identificaron cuatro poblaciones de *D. palo-escrito* en el municipio Tlahuiltepa, Hidalgo (Tabla1). Los sitios de estudio se seleccionaron con base en la presencia de actividad humana, pastoreo y perturbados por diferentes agentes, estos fueron georreferenciados con GPS marca Garmin® modelo Montana 680, se estableció un cuadrante de 50×50 m, con las características representativas del arbolado de la población (Galván-Hernández et al., 2020).

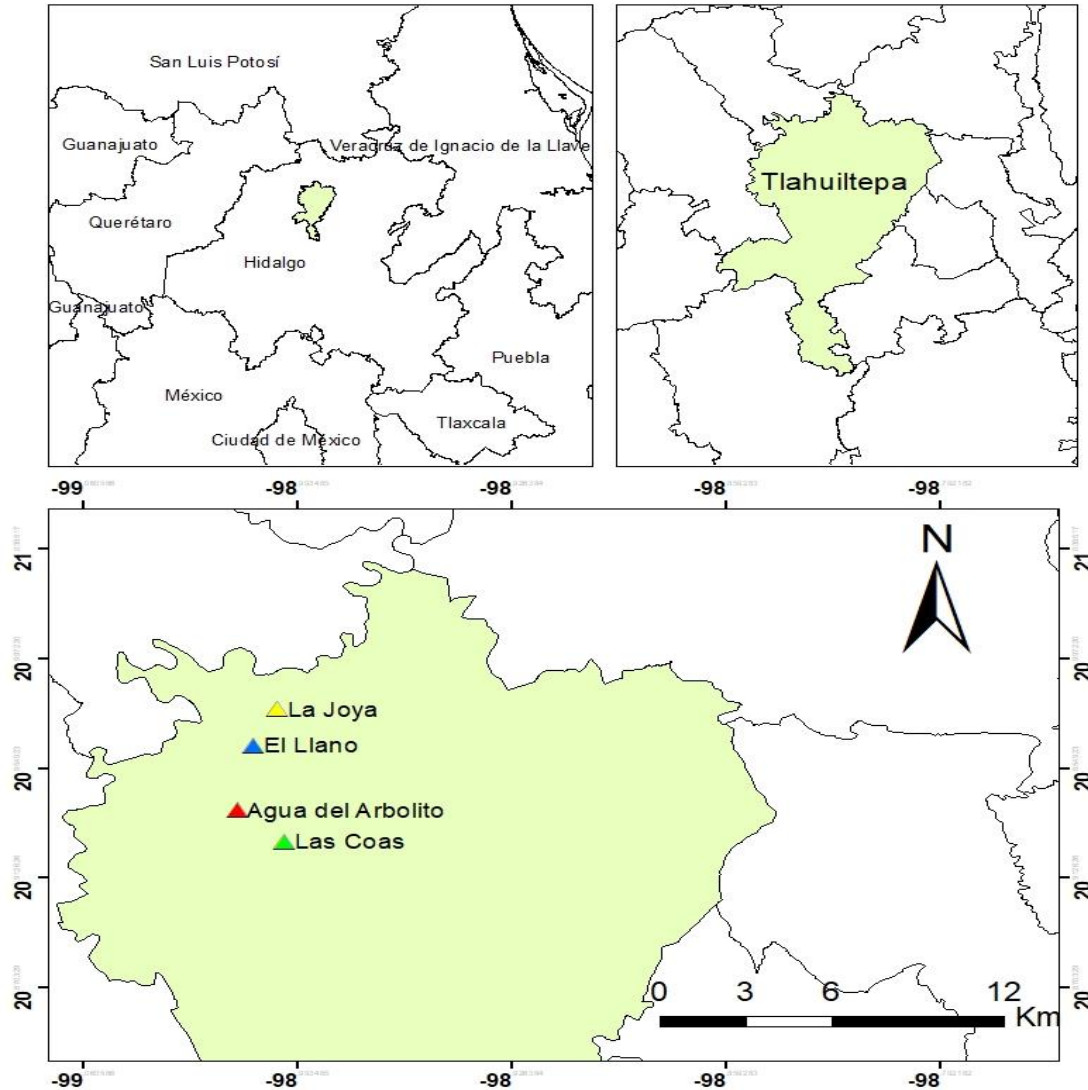


Figura 1. Ubicación geográfica de poblaciones naturales de *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez en Tlahuiltepa, Hidalgo, México.

Tabla 1. Poblaciones naturales evaluadas de *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez en el municipio Tlahuiltepa, Hidalgo.

Población	Localidad	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Pendiente (%)
Las Coas	Demañi	20°55'35.8"	98°59'51.4"	1635	33
Agua del arbolito	El Duraznito	20°56'19.8"	99°00'44.4"	1443	65
El Llano	El Llano	20°57'49.8"	99°00'25.4"	1611	48
La Joya	Agua Tapada	20°58'39.8"	98°59'59.4"	1309	42

msnm = Metros sobre nivel del mar; % = Porcentaje de pendiente.

Los árboles fueron mapeados en un plano cartesiano para ubicarlos y después evaluar la densidad espacial de los individuos (Aguirre-Salado et al., 2015), se midió altura total, altura de bifurcación (distancia del suelo al punto donde el eje principal pierde la dominancia y se desarrolla en dos o más ejes) y fuste limpio (m) con ayuda del hipsómetro marca Haglöf® Vertex III y su transmisor auxiliar (transponder), para el diámetro normal (cm) se ocupó cinta diamétrica marca Forestry Suppliers Inc.® Modelo 5M con precisión de mm. Se evaluó la forma del fuste, dominancia del eje principal, ángulo de inserción de la primera rama y forma de la copa de acuerdo con la escala numérica desarrollada por Acosta-Hernández et al. (2011) y Cunha et al., (2013) (Tabla 2). En los cuadrantes se trazaron tres transectos de 50×1 m, donde se evaluaron 14 indicadores de perturbación (Martorell y Peters 2005).

Tabla 2. Clasificación de variables y descriptores para la caracterización morfológica en árboles de *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez.

Variable morfológica	Descriptor	Puntaje
Forma de fuste (FF)	Recto	6
	Ligeramente sinuoso (curva escasa en 1 o 2 planos)	4
	Sinuoso (curva extrema en un plano)	2
	Muy sinuoso (Curva extrema en más de un plano)	1
Altura de bifurcación (AB)	No bifurcado	6
	Bifurcado en el 1/3 superior	4
	Bifurcado en el 1/3 medio	2
	Bifurcado en el 1/3 inferior	1
Dominancia del eje principal (DEP)	Dominancia completa en el eje inicial	2
	Dominancia parcial del eje inicial sobre las ramas laterales	1

Dominancia completa sobre las ramas laterales		0
Ángulo de inserción de las ramas (AIR)	De 0° a 30°	1
	De 30° a 60°	2
	De 60° a 90°	3
Forma de la copa (FC)	Circular	6
	Circular irregular	5
	Medio círculo	4
	Menos de medio círculo	3
	Pocas ramas	2
	Principalmente rebrotes	1

Fuente: Modificado de Acosta-Hernández et al. (2011).

4.3.3 Análisis morfológico

Las poblaciones fueron descritas morfológicamente agrupando a los individuos con un análisis de agrupamiento mediante el método de Ward basado en distancias Euclidianas (Hidalgo, 2003). Los grupos fueron definidos por bootstrap de 1 000 pasos el cual consiste en un método de simulación de remuestreo (Alonso et al., 2002). La composición de los grupos fue contrastada entre poblaciones mediante la prueba de Chi2 (Castañeda-Garzón et al., 2021). Para el análisis de estructura diamétrica se elaboraron histogramas de clases de diámetro normal con intervalos de 5 cm. Los análisis estadísticos fueron realizados con el programa Statistica versión 10.0 (StatSoft, 2011).

4.3.4 Análisis de perturbación

Para determinar la perturbación de las poblaciones se consideró la metodología de Martorell y Peters (2005), los datos fueron analizados mediante coordenadas principales con distancias de Gower (Gower, 2005; Galindo-García et al., 2019) para establecer los indicadores con mayor peso en la divergencia de las poblaciones. Esta medida de distancia permite integrar variables continuas y discretas. El método mide 14 indicadores de perturbación que se suman para conformar el índice de perturbación, resultante de la suma de la proporción total de afectación por cada indicador de perturbación en los transectos. En cada población se estableció una parcela de 50×50 m (2 500 m²) y se midieron los indicadores de perturbación a lo largo de tres transectos de 50×1 m y 20 puntos en cada parcela. Tanto el transecto como los puntos se colocaron aleatoriamente en cada parcela. Cada uno de los 14 indicadores de perturbación se midió tres veces por transecto.

4.3.5 Análisis de estructura espacial

Se estableció la densidad poblacional y el patrón de agregación espacial de los individuos mediante el Coeficiente de variación (CV) en la distancia entre individuos. Cuando el CV es igual a 1, las poblaciones se distribuyen aleatoriamente, cuando el CV es significativamente mayor a 1 las poblaciones se encuentran ordenadas espacialmente y cuando el CV es significativamente menor a la unidad entonces las poblaciones se distribuyen de manera agregada (Rivera-Fernández et al., 2012; Dale y Fortin, 2014; Octavio-Aguilar et al., 2017). Para corroborar la relación entre el CV y la unidad se utilizaron pruebas de t.

4.3.6 Análisis de área basal e Índice de Shannon

Para determinar la dominancia de *D. palo-escrito* sobre otras especies a través de la densidad, se calculó el área basal por individuo (g) con la fórmula $g = (\pi/4) \times d^2$, donde d es la densidad de individuos por metro cuadrado en cada población, obtenido a partir de la sumatoria de todos los individuos en el sitio de muestreo, la parcela de 50×50 m. El área basal por hectárea (G) se obtuvo por extrapolación (Shannon y Weaver, 1949). También se estableció el Índice de Shannon para determinar la diversidad de especies y la abundancia relativa de individuos por población, asumiendo que estos dos factores influyen en la heterogeneidad de la comunidad (Shannon y Weaver, 1949; Pla, 2006). Se utilizó la fórmula siguiente:

$$H' = -\sum p_i \log p_i$$

Donde:

p_i = Abundancia relativa de la especie i : n_i/N

n_i = Número de individuos de la especie i

N = Número total de especies

4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.4.1 Estructura morfológica

Se detectaron cuatro grupos morfológicos mediante el análisis de agrupamiento cuya variación principal se debe a las características dasométricas (Tabla 3). Las cuatro poblaciones difieren significativamente en cuanto a su composición de grupos morfológicos ($\chi^2 > 19.3$ en todas las comparaciones, $p \leq 0.01$). Los individuos del Grupo 3 (Agua del

arbolito) presentaron mejores atributos (fuste recto, no bifurcado y dominancia completa en el eje inicial) para la producción maderable seguidos del Grupo 4 (El Llano). La población de La Joya (Grupo 1) con mayor proporción de individuos jóvenes, mientras que la población con mayor dominancia de árboles intermedios son los de la población Las Coas (Grupo 2). De modo que a través del diámetro normal se muestran las diferencias en la estructura morfológica de las poblaciones analizadas (Figura 2).

Tabla 3. Análisis de agrupamiento para descriptores morfológicos que indican características para la actividad maderable.

	<i>DN</i>	<i>Alt</i>	<i>FL</i>	<i>FF</i>	<i>AB</i>	<i>DEP</i>	<i>AIR</i>	<i>FC</i>	<i>N</i>
Grupo 1	3.6±2.1	3.5±2.0	2.5±1.7	4.0±1.9	5.0±1.7	0.7±0.8	2.0±0.5	1.6±0.9	48
Grupo 2	12.6±3.9	10.7±2.6	5.9±2.6	2.3±1.0	3.6±1.5	1.6±0.5	2.1±0.5	3.3±1.3	115
Grupo 3	15.9±3.7	20.4±2.7	9.9±4.9	2.8±1.1	3.5±1.2	1.8±0.4	2.0±0.5	3.6±1.2	75
Grupo 4	32.2±6.7	18.6±5.2	4.7±2.1	2.3±1.0	2.1±1.1	1.5±0.6	2.5±0.5	3.9±1.3	30

DN = Diámetro normal (cm); Alt = Altura total (m); FL = Fuste limpio (m); FF = Forma de fuste; AB = Altura a la bifurcación (m); DEP = Dominancia del eje principal; AIR = Ángulo de inserción de las ramas; FC = Forma de la copa; N = Número de individuos. Fuente: Acosta-Hernández et al. (2011).

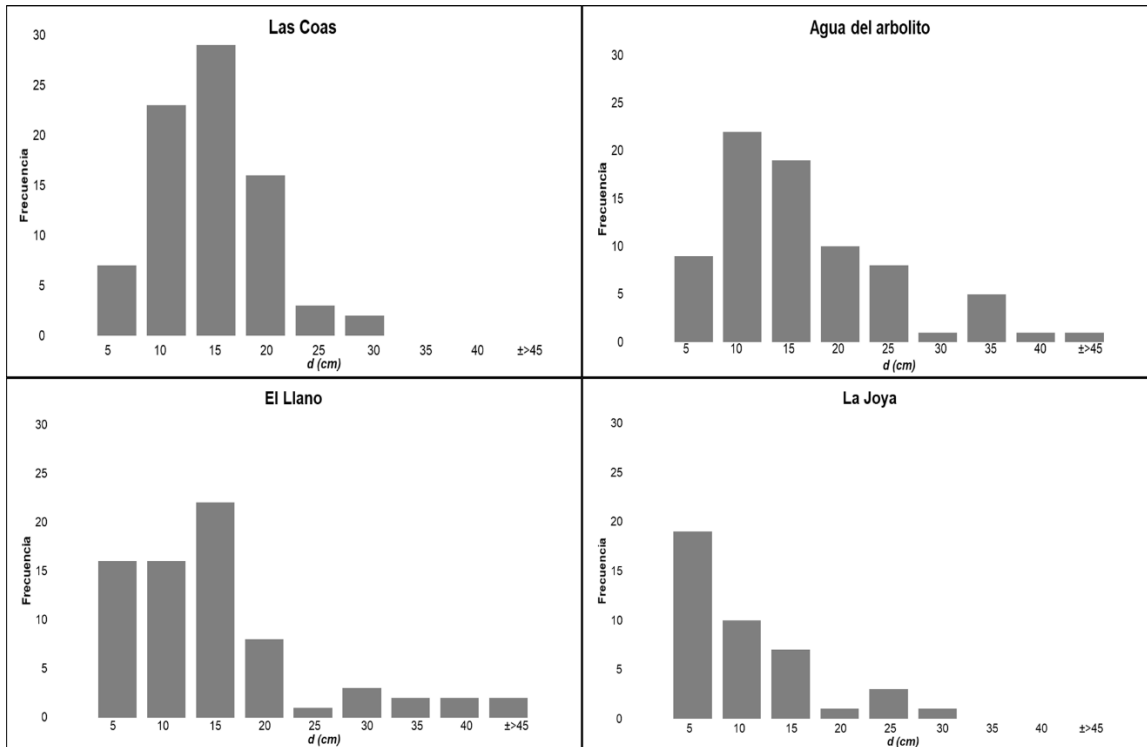


Figura 2. Distribución diamétrica en cuatro poblaciones naturales de *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez en el municipio Tlahuiltepa, Hidalgo, México.

4.4.2 Análisis de perturbación

La población natural de árboles con mayor índice de perturbación fue La Joya (7.6), mientras que el grupo de árboles con condiciones de conservación se encuentran en la población Las Coas (4.1). Asimismo, esta última se considera un bosque secundario con aproximadamente 20 años por regeneración natural y los últimos cinco años como reserva privada limitando la entrada a ganado, leñadores y cazadores (Tabla 4). La población Agua del arbolito tuvo el manejo silvopastoril al dejar a *D. palo-escrito* como especie de media sombra para el crecimiento de forraje. Los árboles del grupo tienen aproximadamente 18 años, y están asociados principalmente a actividades ganaderas y extracción de madera, se encontraron los individuos de mayor tamaño en altura y diámetro de las poblaciones evaluadas.

Tabla 4. Perturbación de las poblaciones naturales de *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez en el municipio Tlahuiltepa, Hidalgo, México.

Agente	Indicador	La Joya	Agua del arbolito	El Llano	Las Coas
Actividades humanas	<i>w</i>	0.55	0.65	0.30	0.26
	<i>a</i>	1.00	1.00	1.00	1.00
	<i>tb</i>	0.61	0.34	0.36	0.61
	<i>f</i>	0.67	0.33	0.33	0.33
	<i>p</i>	1.00	1.00	1.00	0.00
	<i>u</i>	1.00	1.00	1.00	1.00
Actividad ganadera	<i>b</i>	0.61	0.47	0.06	0.07
	<i>tt</i>	0.34	0.12	0.06	0.02
	<i>dc</i>	0.60	0.40	0.30	0.20
	<i>dg</i>	0.00	0.00	0.00	0.00
	<i>c</i>	0.78	0.72	0.63	0.65
Deterioro del hábitat	<i>e</i>	0.25	0.15	0.10	0.05
	<i>i</i>	0.00	0.00	0.00	0.00
	<i>m</i>	0.00	0.00	0.00	0.00
Índice de perturbación		7.60	6.29	5.14	4.19

Poblaciones analizadas con la metodología de Martorell y Peters (2005). Los 14 indicadores de perturbación (Martorell y Peters, 2005). *w*: plantas con cortes para extracción de leña; *a*: cercanía a campos agrícolas; *tb*: senderos utilizados por personas; *f*: evidencia de fuego en árboles de *D. palo-escrito*; *p*: cercanía a asentamientos humanos menor 1 km $p=1$; *u*: cambio de uso del suelo; *b*: plantas ramoneadas; *tt*: senderos utilizados por ganado; *dc*: frecuencia de excretas de ganado bovino; *dg*: frecuencia de excretas de ganado caprino; *c*: compactación del suelo causado por ganado; *e*: erosión de suelo; *i*: presencia de islas de erosión; *m*: superficie totalmente modificada y no apta para crecimiento de plantas.

Los árboles de El Llano están bajo manejo agroforestal por las actividades agrícolas (producción de maíz, frijol, calabaza, chile rayado, entre otros) y silvopastoril para corte de pasto como forraje para ganado bovino y ovino. Los árboles fueron remanentes de cortes selectivos y tienen aproximadamente 25 años que favorecen el desarrollo de los cultivos y pastos. Por último, los árboles de la población La Joya han sido perturbados por la actividad

de roza, tumba y quema con la finalidad de formar potreros, donde la especie de *D. palo-escrito* favorece al ganado con la sombra. Los árboles tienen aproximadamente 10 años de regeneración natural, aseverando que la especie es heliófila dado que se encontraron individuos juveniles vigorosos en sitios abiertos con plena exposición solar. En este sitio se encontró el mayor índice de perturbación. Los resultados del presente estudio son similares a lo reportado por el IARNA-URL (2009) y Cervantes-Maldonado (2016) debido a que muestran el mismo riesgo de perturbación de las poblaciones naturales por la extracción de madera por comunidades rurales para su uso local, aunado a las amenazas intrínsecas a su biología como su escasez natural y lento crecimiento, lo que han impactado seriamente a las poblaciones naturales (Cervantes-Maldonado et al., 2019) lo que ha llevado a calificar bajo alguna categoría de riesgo todas las especies maderables nativas mexicanas de *Dalbergia* quedando bajo protección por el CITES y autoridades mexicanas competentes (NOM-059 SEMARNAT-2010) (Cervantes-Maldonado et al., 2019).

4.4.3 Análisis de estructura espacial

Los árboles de la población natural Agua del arbolito se encuentran en promedio entre individuos a 24.1 ± 12.4 m de distancia, con Coeficiente de variación significativamente menor que la unidad ($CV=0.52$, $p \leq 0.01$), lo que indica un patrón de agregación espacial (aparchonado); la densidad poblacional fue de 300 individuos ha^{-1} . En la población El Llano el promedio de distancia entre individuos 18.0 ± 10.7 metros, con un coeficiente de variación menor a la unidad ($CV=0.59$, $p \leq 0.001$), también corresponde con un patrón agregado, la densidad poblacional fue de 280 individuos ha^{-1} . La población natural La Joya tuvo la menor densidad de arbolado con 160 ind ha^{-1} , con distancia entre individuos de 27.4 ± 15.1 m y

Coeficiente de variación menor a la unidad ($CV=0.55, p\leq 0.01$). Finalmente, la población de árboles Las Coas, tuvo un patrón agregado ($CV=0.61, p\leq 0.01$) y distancias entre individuos de 22.8 ± 13.8 m, con densidad de 320 ind ha^{-1} . La especie en ambientes naturales tuvo un patrón de forma agrupada (Figura 3), independientemente de la perturbación o la disponibilidad lumínica, lo que se ha relacionado con deficiencia en la dispersión de semillas y pérdida de hábitat debido a la fragmentación (Arasa-Gisbert et al., 2021) o con fines de conservación (Fahrig et al., 2019).

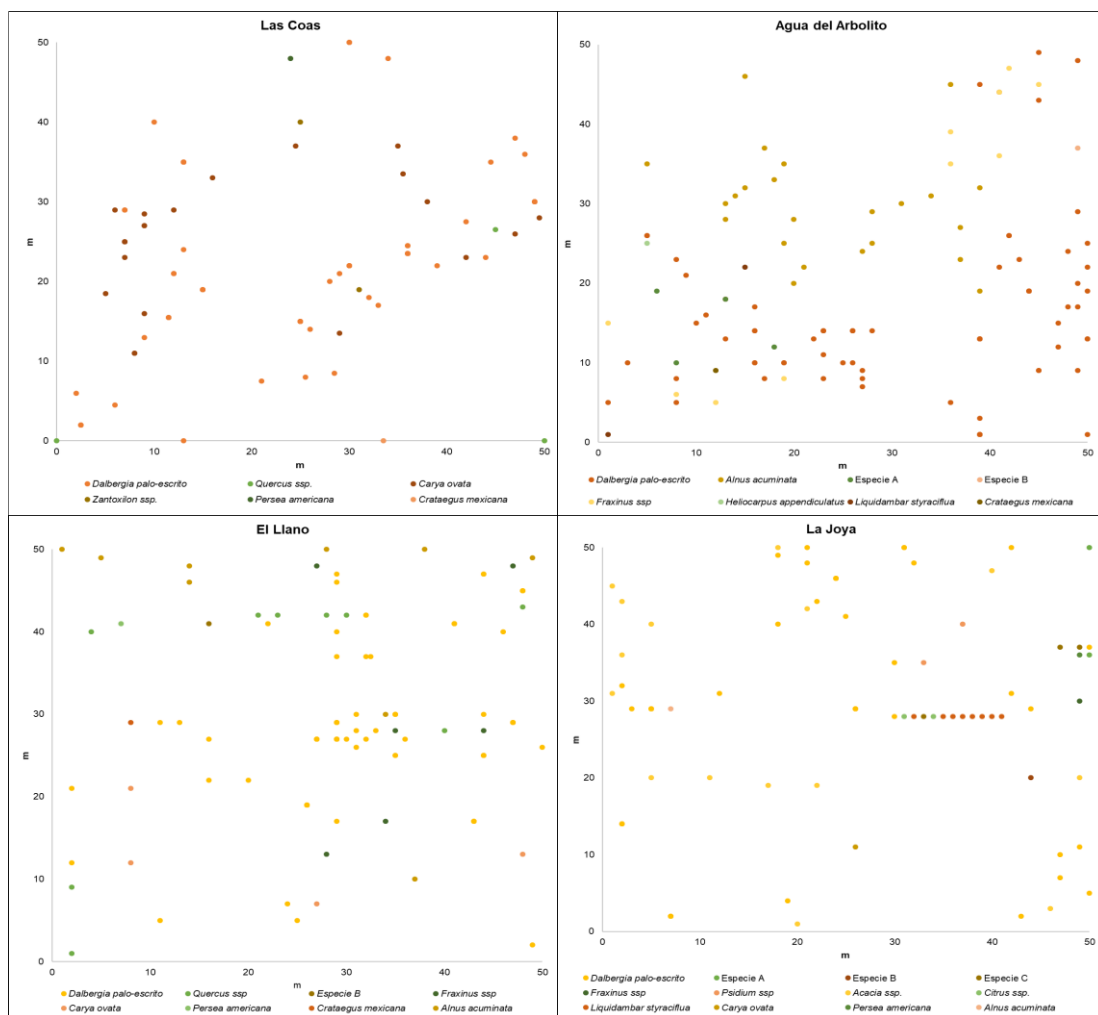


Figura 3. Distribución espacial de árboles en poblaciones naturales de *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez en el municipio Tlahuiltepa, Hidalgo, México.

Análisis de área basal e Índice de Shannon

La población natural Las Coas presentó menos diversidad de especies, de igual manera fue el menos perturbado. Por el contrario, la población La Joya tuvo la mayor diversidad de especies, baja densidad y mayor perturbación. De modo que la diversidad de especies en las poblaciones puede estar relacionada con la intensidad del disturbio, de acuerdo al Índice de Shannon (H' : <2 baja diversidad y >3 alta diversidad), las poblaciones naturales de *D. palo-escrito* en el municipio Tlahuiltepa, Hidalgo, tuvieron valores menores a dos en el Índice de Shannon (Las Coas 1.3, Agua del arbolito 1.5, El Llano 1.6, y La Joya 1.8), lo que significa baja diversidad de especies debido al uso de suelo actual destinado a la agroforestería y silvopastoril. Sin embargo, la especie *D. palo-escrito* sigue siendo la especie predominante en la región (Figura 4). Los resultados encontrados en la presente investigación son similares en los rasgos morfológicos que reportaron para *Quercus robur* L. y *Pinus radiata* D. Don. en poblaciones de árboles de mayor edad (Onaindia et al., 2013). En la variable de área basal para *Pinus* spp. se obtienen ganancias en la composición basal (Hernández et al., 2013) y al modificar la densidad del arbolado se promueve mayor abundancia de individuos (Barefoot et al., 2019). En bosques de *Pinus hartwegii* Lindl. las ganancias morfológicas se presentaron en altura y diámetro normal (Rojas-García et al., 2022). En otro estudio, los bosques de abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) se han empleado como modelo para evaluar la ganancia y pérdida de rasgos morfológicos bajo distintos niveles de perturbación (Linares y Samain, 2019).

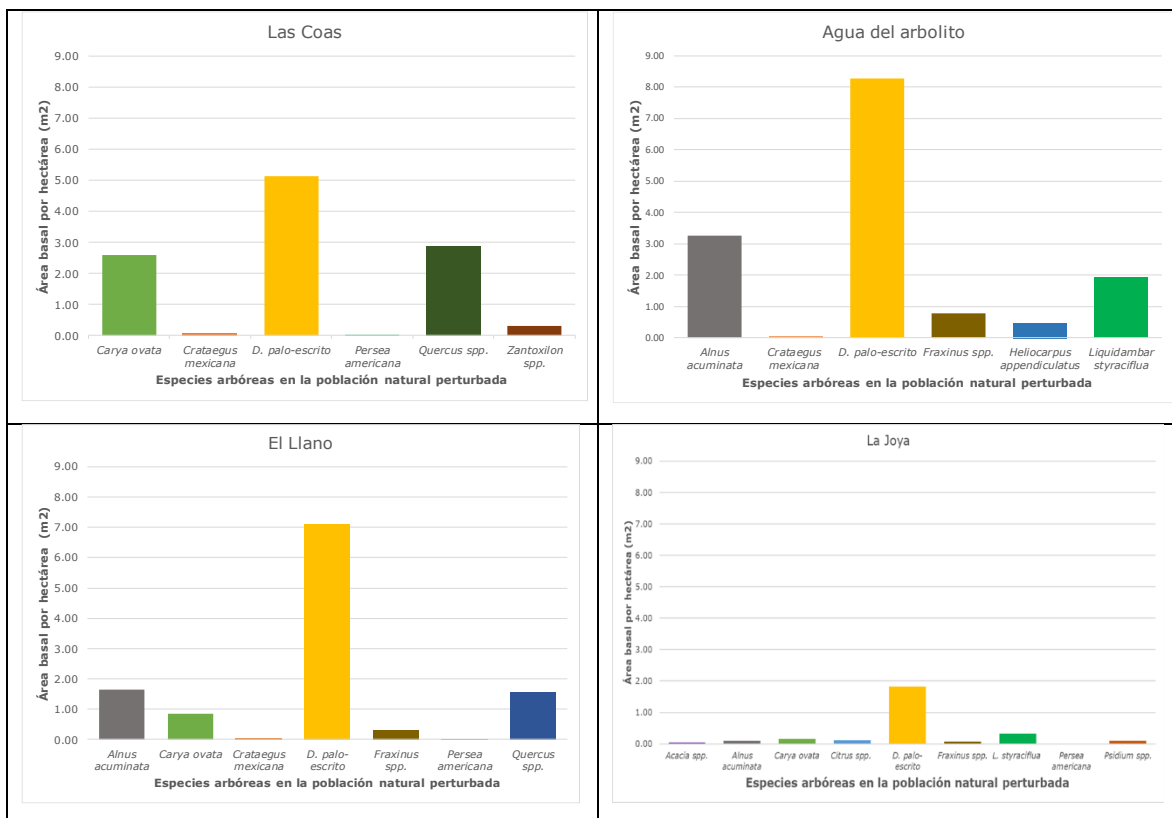


Figura 4. Distribución de área basal de especies arbóreas en cuatro poblaciones naturales de *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez en el municipio Tlahuiltepa, Hidalgo, México.

4.5 CONCLUSIÓN

La perturbación moderada por ganado y leñadores en poblaciones naturales de *Dalbergia palo-escrito* favorece la densidad poblacional y la conformación morfológica de los árboles con fines de producción de madera para aserrío. Su distribución espacial es en forma de agregados y genera condiciones favorables para el uso de la especie en sistemas agrosilvopastoriles en la región. Sin embargo, niveles altos de perturbación comprometen la conservación de las poblaciones naturales de *D. palo-escrito* en el municipio Tlahuiltepa, Hidalgo, México.

4.6 AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCyT). Al Dr. Raúl Ortiz Pulido “Reserva privada Las Coas”, Sr. Antonio Rivera Ramírez “El Llano”, Sr. Salomón Rubio Muñoz “La Joya” y a la Sra. Sidronia Trejo Chávez “Agua del arbolito”, por permitir realizar este trabajo en sus propiedades. A los colaboradores de este artículo.

4.7 CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

4.8 CONTRIBUCIÓN POR AUTOR

Cuauhtémoc Alain Rubio Tobón: toma de datos en campo, interpretación de resultados, estructura y redacción del manuscrito; Rodrigo Rodríguez Laguna: diseño del formato de campo, revisión y corrección del manuscrito; Alfonso Suárez Islas: revisión, diseño e interpretación de los resultados y revisión del documento; Pablo Octavio Aguilar: análisis de los datos de campo, interpretación de resultados, revisión y redacción del manuscrito; Juan Capulin Grande: corrección y revisión del documento.

4.9 REFERENCIAS

- Acosta-Hernández, C. C., M. Luna-Rodríguez, J. C. Noa-Carrazana, J. Galindo-González, S. M. Vázquez-Torres, Z. Morales-Romero y L. G. Iglesias-Andreu. 2011. Caracterización morfológica y dasométrica de la especie amenazada *Juglans pyriformis* Liebm. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 17(1):59-67. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.03.015>.
- Aguirre-Salado, C. A., J. R. Valdez-Lazalde, G. Sánchez-Díaz, L. Miranda-Aragón and A. I. Aguirre-Salado. 2015. Modeling site selection for tree plantation establishment under different decision scenarios. Journal of Tropical Forest Science 27(3):298-313. <https://www.jstor.org/stable/43490288>. (20 de mayo de 2024).
- Alfaro, R. I., B. Fady, G. G. Vendramin, I. K. Dawson, R. A. Fleming, C. Sáenz-Romero and J. Loo. 2014. The role of forest genetic resources in responding to biotic and abiotic factors in the context of anthropogenic climate change. Forest Ecology and Management 333:76-87. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.04.006>.
- Alonso, A. M., D. Peña and J. Romo. 2002. Una revisión de los métodos de remuestreo en series temporales. Estadística Española 44(150): 133-159.
- Arasa-Gisbert, R., V. Arroyo-Rodríguez y E. Andresen. 2021. El debate sobre los efectos de la fragmentación del hábitat: causas y consecuencias. Ecosistemas 30(3):2156. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2156>.
- Barefoot, C. R., K. G. Willson, J. L. Hart, C. J. Schweitzer and D. C. Dey. 2019. Effects of thinning and prescribed fire frequency on ground flora in mixed *Pinus-hardwood* stands. Forest Ecology and Management 432:729-740. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.09.055>.
- Budde, K. B., L. R. Nielsen, H. P. Ravn and E. D. Kjær. 2016. The natural evolutionary potential of tree populations to cope with newly introduced pests and pathogens lessons learned from forest health catastrophes in recent decades. Current Forestry Reports 2(1):18-29. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40725-016-0029-9>. (17 de mayo de 2024).
- Castañeda-Garzón, S. L., J. Moreno-Barragán, J. H. Argüelles-Cárdenas, H. Camargo-Tamayo y J. J. Zuluaga-Peláez. 2021. Caracterización morfológica y dasométrica

- de *Mimosa trianae* y *Cassia moschata* de la colección de AGROSAVIA. *Temas Agrarios* 26(1):46-57. <https://doi.org/10.21897/rta.v26i1>
- Cervantes-Maldonado, A. 2016. La conservación del Granadillo en México: una carrera contra el tiempo. *Biodiversitas* 128:6-11. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/12744.pdf> (18 de mayo de 2024).
- Cervantes-Maldonado, A., J. Linares and E. Quintero. 2019. An updated checklist of the Mexican species of *Dalbergia* (Leguminosae) to aid in its conservation efforts. *Revista Mexicana de Biodiversidad* [online] vol. 90: e902528. DOI: <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2528>.
- Cohen, W. B., Z. Yang, S. V. Stehman, T. A. Schroeder, D. M. Bell, J. G. Masek and G. W. Meigs. 2016. Forest disturbance across the conterminous United States from 1985–2012: The emerging dominance of forest decline. *Forest Ecology and Management* 360:242-252. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.10.042>.
- Cunha, T. A., A. G. Finger C. e P. R. Schneider. 2013. Modelo linear misto para o incremento em área basal de árvores individuais de cedro (*Cedrela odorata* L.) na amazônia occidental, Brasil. *Ciência Florestal* 23(3):461-470. <https://dx.doi.org/10.5902/1980509810557>.
- Dale, M. R. T. y M-J. Fortín. 2014. *Spatial Analysis: A guide for ecologists*. 2nd edition. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 438 p.
- De La Cruz-Cabrera, V. y M. Contreras. 2019. Alteraciones ambientales por perturbaciones antropogénicas en dos fragmentos de bosques: un sistema de agroforestería y un bosque natural secundario en regeneración. *Revista Científica Orbis Cognitionis* 3(2):57–72. https://revistas.up.ac.pa/index.php/orbis_cognita/article/view/755. (24 de abril de 2024).
- Fahrig, L., V. Arroyo-Rodríguez, J. R. Bennett, V. Boucher-Lalonde, E. Cazetta and D. J. Currie. 2019. Is habitat fragmentation bad for biodiversity? *Biological Conservation* 230:179-186. <https://www.sciencedirect.com/journal/biological-conservation/vol/230/suppl/C>. (30 de abril de 2024).
- Funk, J. L., J. E. Larson, G. M. Ames, B. J. Butterfield, J. Cavender B., J. Firm and J. Wright. 2017. Revisiting the Holy Grail: using plant functional traits to understand

- ecological processes. *Biological Reviews* 92(2):1156-1173. <https://doi.org/10.1111/brv.12275>.
- Galindo-García, D. V., I. Alia-Tejacal, C. A. Núñez-Colin, M. Andrade-Rodríguez, J. Canul-Ku, M. T. Colinas-León and M. D. J. Sainz-Aispuro. 2019. Genetic diversity of sun poinsettia (*Euphorbia* spp.) in Morelos, Mexico, with RAPD molecular markers. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 25(2):113-127. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.06.012>.
- Galván-Hernández, D. M., P. Octavio-Aguilar, C. D. J. Bartolo-Hernández, M. A. García-Montes, A. Sánchez-González, A. Ramírez-Bautista and A. Vovides. 2020. Current status of *Magnolia vovidesii* (Magnoliaceae, Magnoniales): New data on population trends, spatial structure, and disturbance threats. *Tropical Conservation Science* 13:1-12. <https://doi.org/10.1177%2F1940082920923894>.
- Gower, J. C. 2005. Principal coordinates analysis. *In*: Armitage, P. and T. Colton (Ed.). *Encyclopedia of biostatistics*. John Wiley y Sons. Chichester, UK. pp. 3514-3518. <https://doi.org/10.1002/0470011815.b2a13070>.
- Hernández, J., O. Aguirre, E. Alanís, J. Jiménez y M. A. González. 2013. Efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque templado del noroeste de México. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19(3):189-199. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.08.052>.
- Hidalgo, R. 2003. Variabilidad Genética y Caracterización de Especies Vegetales. *In*: Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos (2003). Franco T., L. e Hidalgo R. (eds.). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI). Boletín Técnico. Cali, Colombia Núm. 8: 90 p. <https://hdl.handle.net/10568/104374> (30 de mayo de 2024).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2003. Cuaderno estadístico municipal Tlahuiltepa, Estado de Hidalgo. Edición 2003. En formato electrónico. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825935771> (27 de mayo de 2024)
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar (IARNA-URL). 2009. Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009. Editorial Universidad Rafael Landívar. Guatemala, Guatemala. 319 p.

- <https://www.url.edu.gt/publicacionesurl/FileCS.ashx?Id=41026>. (30 de abril de 2024).
- Martorell, C. and E. M. Peters. 2005. The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biological Conservation* 124:199-207. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.01.025>.
- McDowell, N. G., C. D. Allen, K. Anderson-Teixeira, B. H. Aukema, B. Bond-Lamberty, L. Chini and C. Xu. 2020. Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. *Science* 368(6494):eaz9463. <https://doi.org/10.1126/science.aaz9463>.
- Linares, J. and M. S. Samain. 2019. *Dalbergia glomerata*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T36144A148392849. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T36144A148392849.en>. (5 de junio de 2024).
- Octavio-Aguilar, P., L. G. Iglesias-Andreu, F. F. Núñez de Caceres-Gonzalez and D. M. Galván-Hernández. 2017. Fine-scale genetic structure of *Zamia furfuracea*: variation with life-cycle stages. *International Journal of Plant Sciences* 178(1):57-66. <https://doi.org/10.1086/689200>.
- Onaindia, M., I. Ametzaga-Arregi, M. San Sebastián, A. Mitxelena, G. Rodríguez-Loinaz, L. Peña and J. G. Alday. 2013. Can understorey native woodland plant species regenerate under exotic pine plantations using natural succession? *Forest Ecology and Management* 308:136-144. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.046>.
- Pla, L. 2006. Biodiversidad: inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia* 31(8):583-590. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33911906>. (18 de mayo de 2024).
- Rivera-Fernández, A., P. Octavio-Aguilar, N. Sánchez-Coello, L. Sánchez-Velásquez, S. M. Vázquez-Torres and L. Iglesias-Andreu. 2012. Population structure and spatial distribution of *Ceratozamia mexicana* Brongn. (Zamiaceae) in preserved and disturbed environments. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 15(SUP2):110-117. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93924626016> (20 de mayo de 2024).
- Rojas-García, F., A. Gómez-Guerrero, Á. R. Endara-Agramont, G. G. García, V. J. R. Hernández, G. Á. Pérez y B. H. de Jong. 2022. Efecto de corta de saneamiento sobre el crecimiento radial del bosque de *Pinus hartwegii*. *Madera y Bosques* 28(2):e2822402-e2822402. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2822402>.

- Rzedowski, J. y L. I. Guridi-Gómez. 1988. El palo escrito, árbol de madera preciosa-una nueva especie mexicana de *Dalbergia* (Leguminosae, Papilionoideae). *Acta Botánica Mexicana* (4):1-8. <https://abm.ojs.inecol.mx/index.php/abm/article/view/568/735>. (20 de enero de 2023).
- Shannon, C. E. and W. Weaver. 1949. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press. Urbana, IL, EEUU. 144 p. <https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.503815/page/n17/mode/2up> (30 de mayo de 2024).
- Silvério, D. V., P. M. Brando, M. M. Bustamante, F. E. Putz, D. M. Marra, S. R. Levick, and S. E. Trumbore. 2019. Fire, fragmentation, and windstorms: A recipe for tropical forest degradation. *Journal of Ecology* 107(2):656-667. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13076>
- Sistema Integral de Información del Estado de Hidalgo (SIIEH). 2011. *Enciclopedia de los municipios de Hidalgo*. Tlahuiltepa. Editorial. Gobierno del estado de Hidalgo. Secretaría de Planeación, desarrollo regional y metropolitano. Pachuca, Hidalgo, México. 14 p. <http://docencia.uaeh.edu.mx/estudios-pertinencia/docs/hidalgo-municipios/Tlahuiltepa-Enciclopedia-De-Los-Municipios.pdf> (30 de julio del 2023).
- StatSoft Inc. 2011. *STATISTICA*, data análisis software system. Versión 10. www.statsoft.com.
- Suárez-Islas, A., J. Capulin-Grande and J. J. Mateo-Sánchez. 2020. Performance of *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez, a valuable timber tree, in a coffee plantation in Hidalgo, Mexico. *Bois et Forêts des Tropiques* 344:47-57. <https://doi.org/10.19182/bft2020.344.a31899>.
- Zheng, Y., J. Liu, X. Feng and X. Gong. 2017. The distribution, diversity and conservation status of *Cycas* in China. *Ecology and evolution* 7(9):3212-3224. <https://doi.org/10.1002/ece3.2910>.

ANEXOS

1. Protocolo para extracción de DNA Doyle & Doyle (1987), modificado para plantas con altos contenidos de compuestos fenólicos y metabolitos secundarios (Ajustado para *Dalbergia palo-escrito*).

1. En un mortero moler alrededor de 0.5 g de tejido con nitrógeno líquido hasta obtener un polvo fino.
2. Agregar 1 ml de buffer CTAB-PVP 2X con 1 μ l de β - mercaptoetanol y seguir moliendo. Recuperar en un microtubo de 2 ml.
3. Centrifugar a 8 000 rpm durante 8 min.
4. Eliminar el sobrenadante y suspender con 1 ml de CTAB 2X, mezclar en vortex hasta que la parte orgánica se desprenda y se mezcle con el CTAB 2X.
5. Centrifugar a 9,000 rpm durante 8 minutos, la parte orgánica debe quedar casi blanca y la fase acuosa verde intenso.
6. Eliminar el sobrenadante y suspender en 600 μ l de CTAB-PVP 2X, agregar 10 μ l de RNA'sa (10mg/ml), incubar a 37°C durante 1 hora.
7. Después, agregar 10 μ l de Proteinasa k (10 mg/ml), incubar a 60 °C durante 1 hora.
8. Agregar 600 μ l de fenol-cloroformo alcohol-isoamilico: 25:24:1, agitar hasta homogeneizar y obtener una solución con aspecto lechoso.
9. Centrifugar a 10,000 rpm durante 10 min, el sobrenadante (parte de arriba) tiene que quedar transparente.
10. Trasladar el sobrenadante (600 μ l) a un tubo nuevo, cuidando de no tomar la interfase.
11. Agregar 2/3 (400 μ l) del volumen final de isopropanol helado y 65 μ l NaOAc para precipitar el DNA.
12. Las muestras se dejan reposar durante toda la noche (Aproximadamente 12 horas) a -20°C.
13. Centrifugar a 12,000 rpm durante 10 min. Decantar el sobrenadante sin perder la pastilla.
14. Limpiar el DNA agregando 1 ml de etanol 70% frío y centrifugar a 14,000 rpm durante 10 min.
15. Eliminar el sobrenadante (secar totalmente) y resuspender con 40 μ l de agua ultra pura o dependiendo el tamaño de la pastilla.

2. Constancias de cursos, congresos, artículo y estancia

A QUIEN CORRESPONDA:

Por medio de la presente hago constar que **Cuauhtémoc Alain Rubio Tobón** cursó la materia intensiva y optativa: ***"Aproximaciones socio-ecológicas para el manejo del paisaje"*** del Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, del 20 de septiembre al 15 de octubre del 2021, contando con 64 hrs., y 8 créditos, obteniendo una **calificación de 8**.

Se extiende la presente constancia para los fines que convengan al interesado.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, Cd. Mx., a 3 de diciembre de 2021.



DRA. MARÍA DEL CARMEN A. GONZÁLEZ VILLASEÑOR
RESPONSABLE DE POSGRADO
INSTITUTO DE BIOLOGÍA
UNAM



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
 Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
 School of Engineering and Basic Sciences
Área Académica de Biología
 Department of Biology

Mineral de la Reforma, Hgo., a 05 de agosto de 2021

Número de control: ICBI-AAB/454/2021
Asunto: Constancia

A QUIEN CORRESPONDA:

Por medio de la presente se hace constar que **Cuahtémoc Alain Rubio Tobón**, asistió al curso **Introducción al modelado de nicho ecológico**, con una duración de 20 horas, impartido virtualmente por el Dr. Israel Estrada Contreras, del 28 de junio al 02 de julio de 2021.

Se extiende la presente para los fines a que haya lugar.

Atentamente
 "Amor, Orden y Progreso"

Dra. Sylvia Martínez Hernández
 Coordinadora de la Maestría en Ciencias
 en Biodiversidad y Conservación

Dr. Jorge Falcón Ordaz
 Coordinador del Doctorado en Ciencias
 en Biodiversidad y Conservación



Dra. Maritza López Herrera
 Jefa del área Académica de Biología
 Vo. Bo.

SMH/JFO/CIAF



Ciudad del Conocimiento
 Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5
 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma,
 Hidalgo, México. C.P. 42184
 Teléfono: +52 (771) 71 720 00 ext. 6640, 6642
 Fax 2112
 aab_icbi@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx



XV CONGRESO
MEXICANO DE RECURSOS FORESTALES
GUADALAJARA 2021

CONSTANCIA DE PONENTE

LA SOCIEDAD MEXICANA DE RECURSOS FORESTALES A TRAVÉS DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA, HACE CONSTAR QUE:

CUAUHTÉMOC ALAIN RUBIO TOBÓN

PARTICIPÓ EN EL XV CONGRESO MEXICANO DE RECURSOS FORESTALES CON LA PONENCIA TITULADA
“DALBERGIA PALO-ESCRITO: OPORTUNIDAD PARA EL MANEJO AGROFORESTAL EN SITIOS PERTURBADOS.”

CUYOS AUTORES SON: **CUAUHTÉMOC ALAIN RUBIO TOBÓN, ALFONSO SUÁREZ ISLAS, PABLO OCTAVIO AGUILAR, JUAN CAPULÍN GRANDE, RODRIGO RODRÍGUEZ LAGUNA**

PRIMER CONGRESO DIGITAL DE LA SOMEREF
ZAPOCAN, JALISCO, 27-29 OCTUBRE 2021

DR. CARLOS BEAS ZÁRATE
RECTOR CUCBA

DR. EDUARDO ALANÍS RODRÍGUEZ
PRESIDENTE SOMEREF

DR. EFRÉN HERNÁNDEZ ÁLVAREZ
PRESIDENTE COMITÉ ORGANIZADOR



CUCBA

DEPARTAMENTO DE
PRODUCCIÓN FORESTAL





Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

**DIVISIÓN ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE SUPERACIÓN ACADÉMICA**

EXTIENDE LA PRESENTE

CONSTANCIA

A

Cuauhtémoc Alain Rubio Tobón

POR HABER ACREDITADO SATISFACTORIAMENTE EL

"Diplomado en Formación Didáctico Pedagógica"

Del programa de Convocatoria al concurso de oposición para ocupar plazas por asignatura de la UAEH con una duración de 120 horas, durante el periodo del 25 de Marzo de 2022 al 7 de Mayo de 2022.

"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"

Pachuca, Hgo., Mayo de 2022

Lic. Gonzalo Ismael Villegas de la Concha
Coordinador de la División Académica

Mtro. Fernando Gutiérrez Ascencio
Director de Superación Académica





AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL



SNICS
SERVICIO NACIONAL DE
INSPECCIÓN Y CERTIFICACIÓN
DE SEMILLAS

EL SERVICIO NACIONAL DE INSPECCIÓN Y
CERTIFICACIÓN DE SEMILLAS
OTORGA LA PRESENTE

CONSTANCIA

A

**CUAUHTÉMOC ALAIN
RUBIO TOBÓN**

POR SU PARTICIPACIÓN EN EL TALLER:
«LOGROS Y OPORTUNIDADES EN RECURSOS
GENÉTICOS AGRÍCOLAS» DEL 26 AL 29 DE JULIO 2022,
CON UNA DURACIÓN DE 12 HORAS



DR. LEOBIGILDO CÓRDOVA TÉLLEZ
TITULAR DEL SNICS

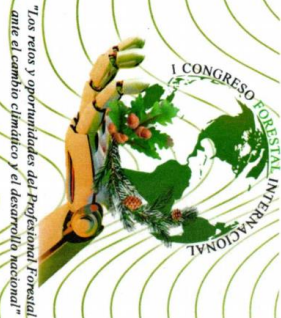
CIUDAD DE MÉXICO, JULIO 2022





EL XXIV COMITÉ EJECUTIVO NACIONAL
DE LA ASOCIACIÓN MEXICANA DE
PROFESIONALES FORESTALES A.C.

OTORGA EL PRESENTE



RECONOCIMIENTO

POR SU PARTICIPACIÓN COMO PONENTE A:

Cuauhtémoc Alain Rubio Tobón

Por su destacada intervención en el Primer Congreso Forestal Internacional con la ponencia titulada "Propagación asexual de **Dalbergia palo-escrito** mediante AIB (ácido-indol-3-butírico) para su producción en etapa de invernadero." Cuyos autores son: **Cuauhtémoc Alain Rubio-Tobón, Rodrigo Rodríguez-Laguna, Pablo Octavio-Aguilar y Alfonso Suárez-Islas**

M.C. Ignacio Tovar Cortés
PRESIDENTE

Asociación Mexicana de
Profesionales Forestales A.C.

Ing. Rodolfo Carrasco Portillo
SECRETARIO

Asociación Mexicana de
Profesionales Forestales A.C.



"POR MÉXICO Y SUS BOSQUES"
GUADALAJARA, JALISCO, MÉXICO
NOVIEMBRE 2022





20 REUNIONES
22 científicas
09 - 12 NOV
TABASCO

REUNIONES NACIONALES DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN
PECUARIA, AGRÍCOLA, FORESTAL Y ACUÍCOLA PESQUERA

OTORGA LA PRESENTE

CONSTANCIA

A

Cuauhtémoc Alain Rubio-Tobón*, Rodrigo Rodríguez-Laguna, Alfonso Suárez-Islas, Juan Capulín-Grande, Pablo Octavio-Aguilar

Por su participación con el trabajo denominado:

DALBERGIA PALO-ESCRITO: OPORTUNIDADES PARA SU APROVECHAMIENTO, CONSERVACIÓN Y MEJORAMIENTO GENÉTICO

DR. LUIS ÁNGEL RODRÍGUEZ DEL BOSQUE
Vicepresidente del Comité Organizador Nacional

VILLAHERMOSA TABASCO, 09 AL 12 DE NOVIEMBRE DE 2022

Ciencia para vivir



AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias



TURISMO
SECRETARÍA DE TURISMO



SEDEC
SECRETARÍA PARA EL DESARROLLO ECONÓMICO Y LA COMPETITIVIDAD



CONABIO
COMISIÓN NACIONAL DEL SECTOR AGROPECUARIO Y FORESTAL



CONAFOR
COMISIÓN NACIONAL DEL SECTOR AGROPECUARIO Y FORESTAL



CONSEJO TÉCNICO CONSULTIVO NACIONAL DE SANIDAD ANIMAL



FIRA
FERIA INTERNACIONAL DE AGRICULTURA Y GANADERÍA



60 Aniversario 1962-2022



SENASICA
SECRETARÍA DE ECONOMÍA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA Unidad Xochimilco





Centro de Educación
Continua y a Distancia

LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO Y
EL CENTRO DE EDUCACIÓN CONTINUA Y A DISTANCIA

OTORGAN LA PRESENTE

CONSTANCIA

A

CUAUHTÉMOC ALAIN RUBIO TOBÓN

Por haber participado en el curso "Ciencias de datos con R estadístico"
impartido del 9 al 27 de septiembre del presente año, con una duración de 60
horas, en la plataforma Google Meet.

"Amor, Orden y Progreso"
Pachuca de Soto, Hgo., diciembre 2022

Diana Matxalen Hernández Cortés
Directora del Centro de Educación Continua y a Distancia





DOI: [10.29298/rmcf.v16i87.1500](https://doi.org/10.29298/rmcf.v16i87.1500)

Artículo de investigación

Influencia de la perturbación en atributos morfológicos y estructura poblacional de *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez

Disturbance influence on morphological attributes and population structure of *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez

Cuahtémoc Alain Rubio Tobón¹, Rodrigo Rodríguez Laguna^{1*}, Alfonso
Suárez Islas¹, Pablo Octavio Aguilar², Juan Capulín Grande¹

Fecha de recepción/Reception date: 4 de julio de 2024.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 11 de octubre de 2024.

¹Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.

²Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: rlaguna@uaeh.edu.mx

*Corresponding author; e-mail: rlaguna@uaeh.edu.mx

Resumen

El palo escrito es una especie considerada madera preciosa que se ha empleado en laudería. Su aprovechamiento sin control pone en riesgo sus poblaciones naturales, pero afortunadamente su adaptabilidad a zonas perturbadas y vegetación secundaria sugiere ser susceptible al manejo. Se planteó el análisis de atributos dasométricos de palo escrito con relación al Índice de Perturbación (actividad humana, ganadera y deterioro del hábitat) en cuatro poblaciones naturales. Las poblaciones se describieron morfológicamente y se agruparon los individuos mediante distancias Euclidianas. Se estableció la densidad poblacional y el patrón de agregación mediante el Coeficiente de Variación en la distancia entre individuos. Los resultados mostraron cuatro grupos morfológicos; el Grupo 3 se integró con individuos de fuste recto, no bifurcado y dominancia completa en el eje inicial para la producción maderable. Las poblaciones difieren significativamente ($p \leq 0.01$) en su composición en todas las comparaciones de disturbio ($Chi^2 > 19.3$). La mayor afectación fue por actividad humana, seguida por la actividad ganadera y el deterioro del hábitat. Las poblaciones con nivel intermedio de perturbación presentaron la mayor cantidad de individuos mejor conformados para la producción maderable; sin embargo, los extremos en dicho nivel comprometen el reclutamiento y la homogeneidad de atributos morfológicos deseables. El análisis de distribución espacial indica que la especie forma agrupaciones de individuos en todas las poblaciones. Se concluye que el disturbio modifica la densidad y conformación morfológica de los individuos, pero solo parcialmente, lo que hace susceptible a esta especie para el manejo agrosilvopastoril y de conservación.

Palabras clave: Deterioro de hábitat, manejo agrosilvopastoril, palo escrito, población natural, restauración, vegetación secundaria.

*«Nunca interrumpas a alguien haciendo algo que
tu dijiste que no se podía hacer»
Amelia Earhart*