



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

Cuauhtémoc 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.

Abstract

Palo escrito is considered a precious wood and is used in luthier woodworking; its uncontrolled harvesting puts its natural populations at risk. Fortunately, its adaptability to disturbed areas and secondary vegetation suggest that it is susceptible to management. Mensuration attributes were analyzed of this species in relation to the disturbance index (human activity, livestock and habitat deterioration) in four natural populations. The populations were morphologically described by organizing individuals by Euclidean distances. The population density and aggregation pattern were established using the Coefficient of variation in the distance between individuals. Results showed from which four morphological groups, Group 3 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 point, which makes this species susceptible to agrosilvopastoral and conservation management.

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

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 presenta algún cambio importante en su tamaño, composición y disposición de recursos resulta en la alteración puntual de su estructura y dinámica que ocurre en el tiempo y espacio específicos. 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 & Contreras, 2019).

La fragmentación disminuye el tamaño y la conectividad entre las poblaciones, propicia un deterioro general (Silvério et al., 2019) y genera 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), la reducción de la fecundidad (Zheng *et al.*, 2017), alteraciones en la estructura y composición demográfica (McDowell *et al.*, 2020), baja densidad y pérdida del potencial evolutivo (Budde *et al.*, 2016).

Por otro lado, la perturbación impacta directamente la diversidad de las comunidades y la persistencia de las poblaciones, incluidos sus aspectos demográficos y genéticos. Lo anterior es 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 y fustes de 80 cm de diámetro normal, cuya madera se considera fina y se ha utilizado en el manejo agroforestal como dosel de sombra de *Coffea arabica* L., y en plantaciones de *Musa* spp.

Coexiste con otros taxa arbóreos como *Juglans pyriformis* Liebm., *Trema micranthum* (L.) Blume., *Bursera simaruba* (L.) Sarg., *Platanus mexicana* Moric. y *Cedrela odorata* L. Se ha observado que la asociación agroforestal beneficia el desempeño de sus atributos morfológicos para la producción maderable (Suárez-Islas *et al.*, 2020).

En cambio, Rzedowski y Guridi-Gómez (1988) refirieron que *D. palo-escrito* se favorece 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. Tal información es necesaria para la toma de decisiones y definición de los criterios técnicos del manejo forestal y agroforestal para su conservación y restauración. Por lo anterior, este trabajo tuvo 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.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El municipio Tlahuiltepa, Hidalgo, México (Figura 1) se ubica entre los 21°02' y los 20°38' norte, y los 98°51' y los 99°07' oeste. Se localiza fisiográficamente dentro de la Sierra Madre Oriental, en particular, sobre la Sierra Alta Hidalguense, su topografía es accidentada con acantilados que de 20 a 80 % de pendiente en el 90 % del territorio. La temperatura media anual es de 17 °C y la precipitación anual de 900 mm. Los climas predominantes son templados (C) y templados subhúmedos (Cw) (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI], 2003). Las especies arbóreas predominante son *Cupressus lusitanica* Mill., *Platanus mexicana*, *Myroxylon balsamum* (L.) Harms, *Dalbergia palo-escrito*, *Quercus* ssp., *Pinus* ssp., *Junglas* ssp., entre otras (Sistema Integral de Información del Estado de Hidalgo [SIIIEH], 2011).

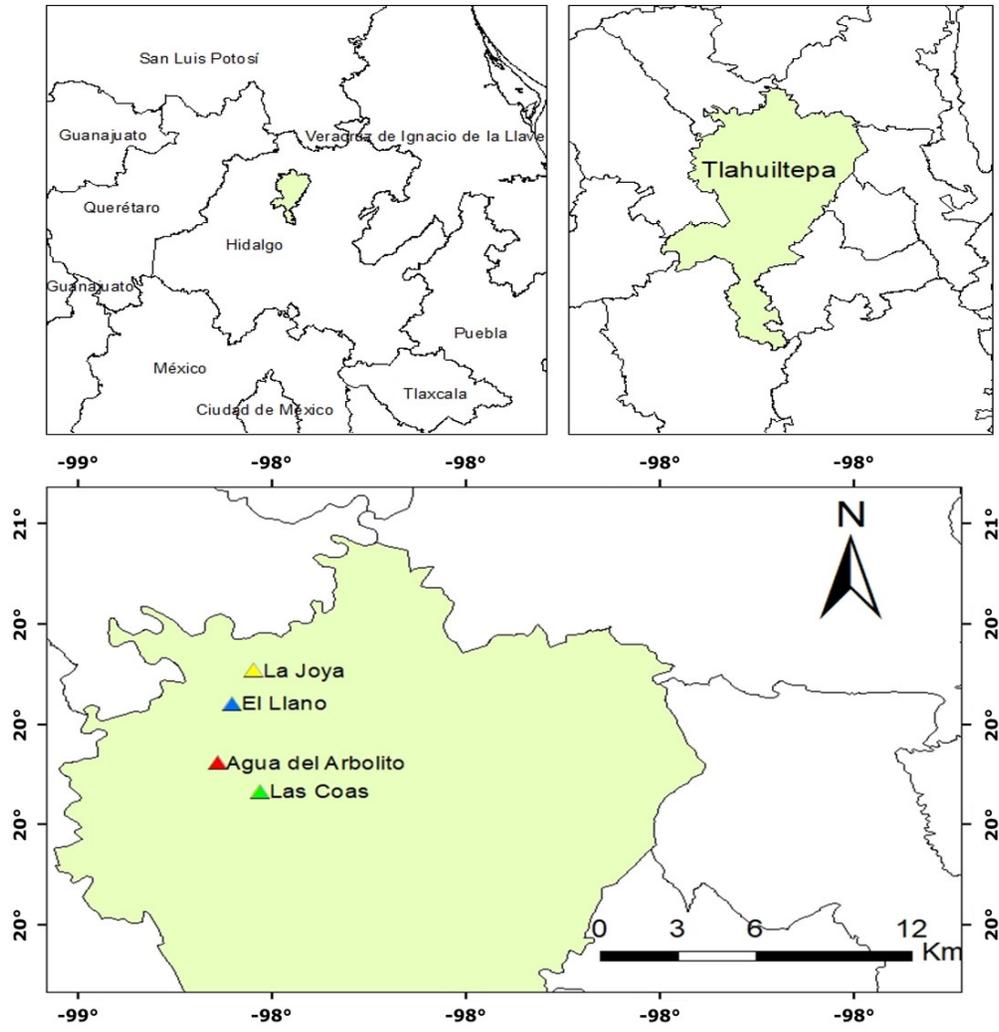


Figura 1. Ubicación geográfica de poblaciones naturales de *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez en Tlahuiltepa, Hidalgo, México.

Muestreo

Por medio de recorridos de campo se identificaron cuatro poblaciones de *D. palo-escrito* en el municipio Tlahuiltepa, Hidalgo (Cuadro 1). Los sitios de estudio se seleccionaron con base en la presencia de actividad humana, pastoreo y

perturbación por diferentes agentes; fueron georreferenciados con GPS marca *Garmin*[®] modelo Montana 680. En cada uno se estableció un cuadrante de 50×50 m, con las características representativas del arbolado de la población (Galván-Hernández et al., 2020).

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

Población	Localidad	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Pendiente (%)
Las Coas	Demañi	20°55'35.8"	98°59'51.4"	1 635	33
Agua del Arbolito	El Duraznito	20°56'19.8"	99°00'44.4"	1 443	65
El Llano	El Llano	20°57'49.8"	99°00'25.4"	1 611	48
La Joya	Agua Tapada	20°58'39.8"	98°59'59.4"	1 309	42

Los árboles se mapearon en un plano cartesiano para ubicarlos y después evaluar la densidad espacial de los individuos (Aguirre-Salado et al., 2015). A cada uno se le midió la altura total, la altura de bifurcación (distancia del suelo al punto en el que el eje principal pierde la dominancia y se desarrolla en dos o más ejes) y fuste limpio (m) con un hipsómetro marca *Haglöf*[®] Vertex III y su transmisor auxiliar (*transponder*). Para el diámetro normal (cm) se usó una 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 da Cunha et al. (2013) (Cuadro 2). En los cuadrantes se trazaron tres transectos de 50×1 m, donde se evaluaron 14 indicadores de perturbación (Martorell & Peters, 2005).

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

Forma de fuste (<i>FF</i>)	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 (<i>AB</i>)	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 (<i>DEP</i>)	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 (<i>AIR</i>)	De 0° a 30°	1
	De 30° a 60°	2
	De 60° a 90°	3
Forma de la copa (<i>FC</i>)	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).

Análisis morfológico

Las poblaciones fueron descritas morfológicamente al agrupar a los individuos con un análisis de agrupamiento mediante el método de *Ward* basado en distancias Euclidianas (Hidalgo, 2003). Los grupos se definieron por *bootstrap* de 1 000 pasos, lo cual consiste en un método de simulación de remuestreo (Alonso *et al.*, 2002). La composición de los grupos se contrastó entre poblaciones mediante la prueba de

χ^2 (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 se realizaron en el programa *Statistica* versión 10.0 (StatSoft, 2011).

Análisis de perturbación

Para determinar la perturbación de las poblaciones se consideró la metodología de Martorell y Peters (2005), los datos se analizaron mediante coordenadas principales con distancias de *Gower* (Galindo-García et al., 2019; Gower, 2005) 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, que resulta 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. Los 14 indicadores de perturbación se midieron tres veces por transecto.

Análisis de estructura espacial

La densidad poblacional y el patrón de agregación espacial de los individuos se estimaron con el Coeficiente de Variación (*CV*) en la distancia entre individuos.

Cuando el CV es igual a 1, las poblaciones se distribuyen aleatoriamente; si el CV es significativamente mayor a 1, las poblaciones están ordenadas espacialmente, y cuando el CV es significativamente menor a la unidad, entonces las poblaciones se distribuyen de manera agregada (Dale & Fortin, 2014; Octavio-Aguilar *et al.*, 2017; Rivera-Fernández *et al.*, 2012). Para corroborar la relación entre el CV y la unidad se utilizaron pruebas de *t*.

Análisis de área basal e Índice de Shannon

Para determinar la dominancia de *D. palo-escrito* sobre otras especies en función de la densidad, se calculó el área basal por individuo (*g*) con la fórmula:

$$g = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times d^2 \quad (1)$$

Donde:

g = Área basal por individuo

*d*² = Densidad de individuos por metro cuadrado en cada población, obtenido a partir de la sumatoria de todos los individuos en el sitio de muestreo

El área basal por hectárea (*G*) se obtuvo por extrapolación (Shannon & Weaver, 1949). También, se obtuvo el Índice de Shannon para determinar la diversidad de especies y la abundancia relativa de individuos por población, para ello se asumió que estos dos factores influyen en la heterogeneidad de la comunidad (Pla, 2006; Shannon & Weaver, 1949). Se utilizó la fórmula siguiente:

$$H' = -\sum pi \log pi \quad (2)$$

Donde:

pi = Abundancia relativa de la especie i : $\frac{ni}{N}$

ni = Número de individuos de la especie i

N = Número total de especies

Resultados y Discusión

Estructura morfológica

Se detectaron cuatro grupos morfológicos mediante el análisis de agrupamiento, cuya variación principal se debe a las características dasométricas (Cuadro 3). Las cuatro poblaciones difirieron 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) tuvo la mayor proporción de individuos jóvenes, mientras que la población con más dominancia de árboles intermedios correspondió a Las Coas (Grupo 2). Por medio del diámetro normal se evidenciaron las diferencias en la estructura morfológica de las poblaciones analizadas (Figura 2).

Cuadro 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).

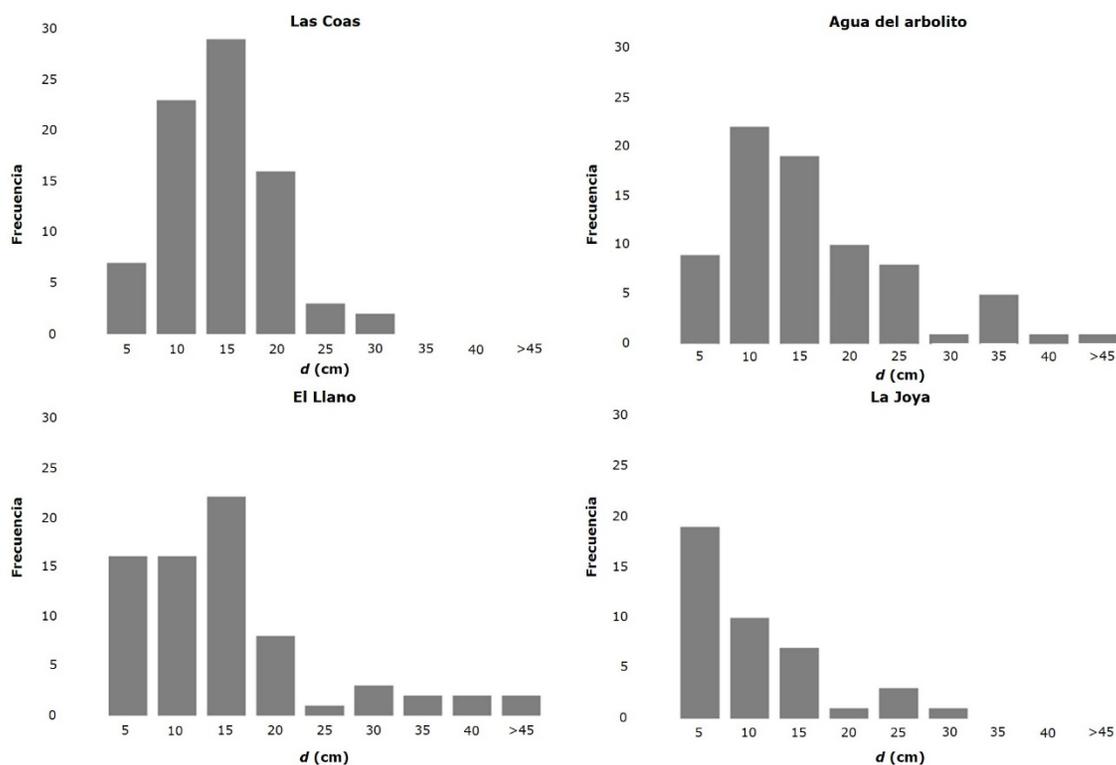


Figura 2. Distribución diamétrica en cuatro poblaciones naturales de *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez en el municipio Tlahuiltepa, Hidalgo, México.

Análisis de perturbación

La población natural de árboles con mayor Índice de Perturbación fue La Joya (7.6), mientras que el grupo de árboles bajo condiciones de conservación se ubicó en la población Las Coas (4.1). Asimismo, esta última se considera un bosque secundario por regeneración natural de aproximadamente 20 años, los últimos cinco como reserva privada; esto ha limitado la entrada al ganado, leñadores y cazadores (Cuadro 4). La población Agua del Arbolito recibió manejo silvopastoril al dejar a *D. palo-escrito* como especie de media sombra para el crecimiento de forraje. Los árboles del grupo tienen alrededor de 18 años, y se asocian a la ganadería y a la extracción de madera; ahí se registraron los individuos de mayor tamaño en altura y diámetro de las poblaciones evaluadas.

Cuadro 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	w	0.55	0.65	0.30	0.26
	w	1.00	1.00	1.00	1.00
	tb	0.61	0.34	0.36	0.61
	f	0.67	0.33	0.33	0.33
	p	1.00	1.00	1.00	0.00
	u	1.00	1.00	1.00	1.00
Actividad ganadera	b	0.61	0.47	0.06	0.07
	tt	0.34	0.12	0.06	0.02
	dc	0.60	0.40	0.30	0.20
	dg	0.00	0.00	0.00	0.00

	c	0.78	0.72	0.63	0.65
Deterioro del hábitat	e	0.25	0.15	0.10	0.05
	i	0.00	0.00	0.00	0.00
	m	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 & 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 con actividades agrícolas (producción de maíz, frijol, calabaza, chile rayado, entre otros cultivos) y silvopastoril para corte de pasto como forraje para ganado bovino y ovino. Los árboles favorecen el desarrollo de los cultivos y pastos, son remanentes de cortes selectivos y tienen aproximadamente 25 años. 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 *D. palo-escrito* proporciona sombra al ganado. Los individuos tienen aproximadamente 10 años de regeneración natural, y se confirma que la especie es heliófila, dado que se observaron individuos juveniles vigorosos en sitios abiertos con total exposición solar. En este sitio se determinó el mayor Índice de Perturbación.

Los resultados del presente estudio son similares a lo referido por Cervantes (2016) y Gálvez (2009) debido a que muestran el mismo riesgo de perturbación de las poblaciones naturales, a partir de 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 ha impactado seriamente a las poblaciones naturales (Cervantes et al., 2019). Esa situación ha llevado a calificar bajo alguna categoría de riesgo a todas las especies maderables nativas mexicanas de *Dalbergia* L. f., mismas que están consignadas bajo protección por el CITES y autoridades mexicanas competentes (NOM-059-SEMARNAT-2010) (Cervantes et al., 2019).

Análisis de estructura espacial

Los árboles de la población natural Agua del Arbolito estuvieron, en promedio, a una distancia entre individuos de 24.1 ± 12.4 m, con un Coeficiente de Variación significativamente menor a 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 fue de 18.0 ± 10.7 m, 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 individuos ha^{-1} , con distancia entre árboles 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 en 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 individuos 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).

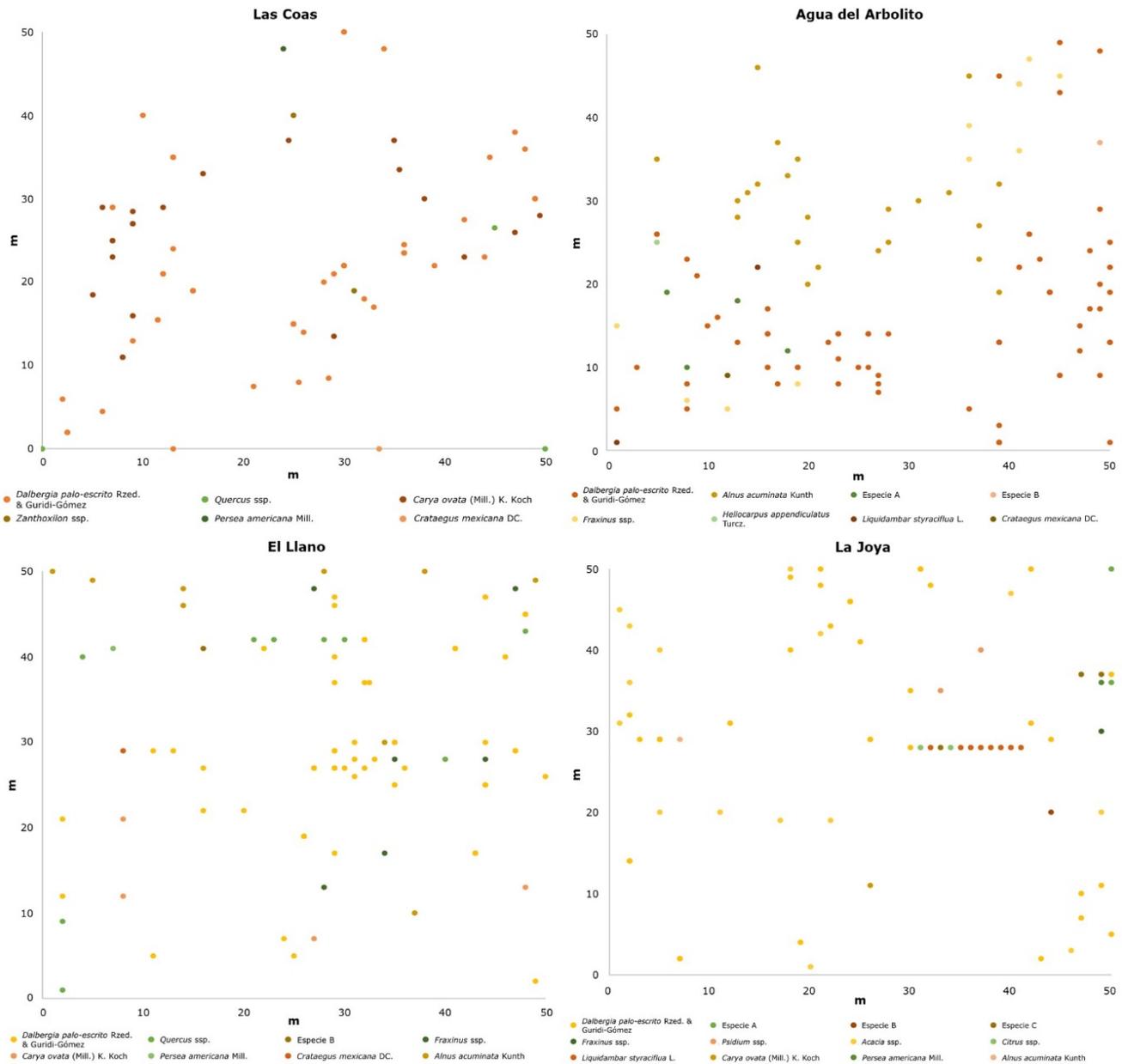


Figura 3. Distribución espacial de árboles en poblaciones naturales de *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez en el municipio Tlahuiltepa, Hidalgo, México.

Análisis de área basal e Índice de *Shannon*

La población natural Las Coas presentó menos diversidad de especies, y también fue la menos perturbada. Por el contrario, la población de La Joya registró la mayor diversidad de especies, baja densidad y más perturbación. Esto sugiere que la diversidad de especies en las poblaciones puede relacionarse 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 inferiores a dos en el índice referido (Las Coas 1.3, Agua del Arbolito 1.5, El Llano 1.6, y La Joya 1.8); con lo cual significa baja diversidad de especies debido al uso de suelo actual destinado a la agroforestería y silvopastoreo.

Sin embargo, *D. palo-escrito* sigue siendo la especie predominante en la región (Figura 4). Los resultados de la presente investigación son similares en los rasgos morfológicos que Onaindia et al. (2013) describieron para *Quercus robur* L. y *Pinus radiata* D. Don. en poblaciones de árboles de mayor edad. En la variable de área basal para *Pinus* spp. se obtuvieron ganancias en la composición basal (Hernández-Salas 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).

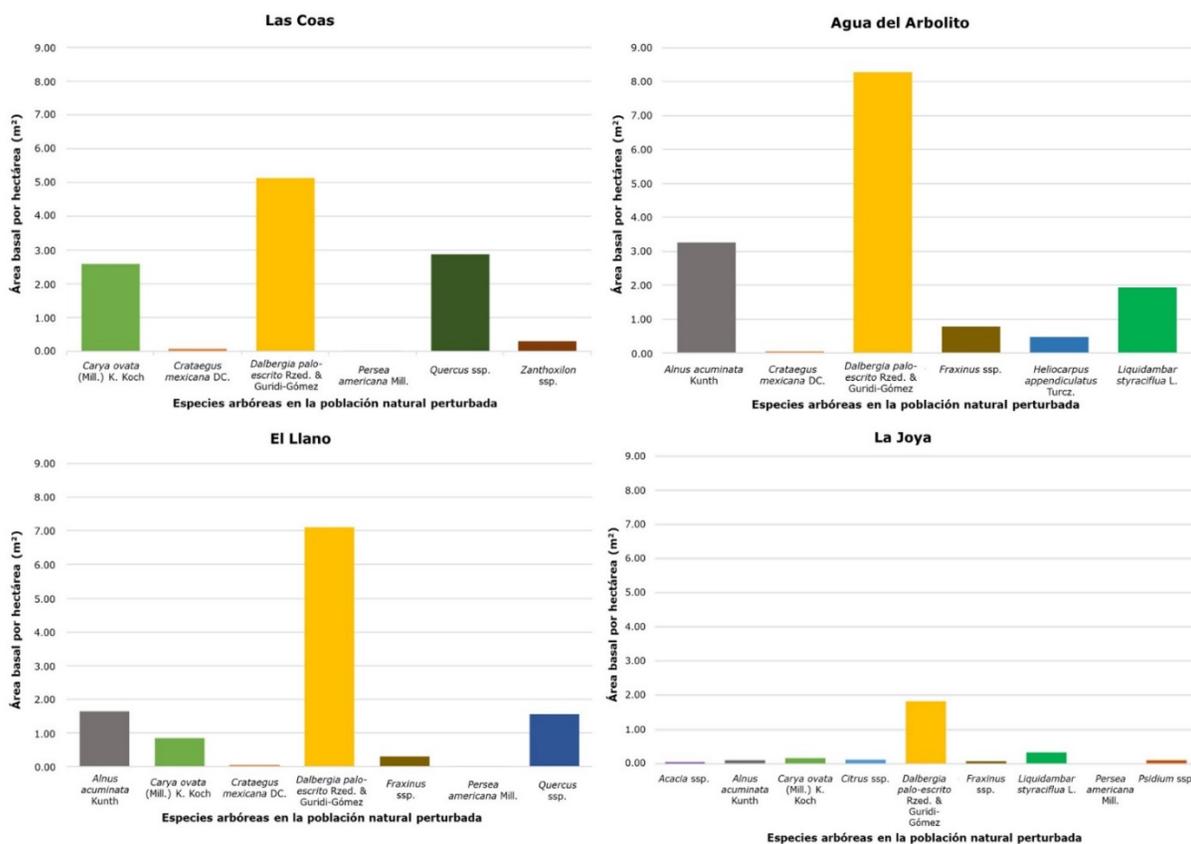


Figura 4. Distribución de área basal de especies arbóreas en cuatro poblaciones naturales de *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez en el municipio Tlahuiltepa, Hidalgo, México.

En otro estudio, los bosques de abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) se emplearon como modelo para evaluar la ganancia y pérdida de rasgos morfológicos bajo distintos niveles de perturbación (Linares & Samain, 2019).

Conclusiones

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 agregada y genera condiciones propicias 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. paloescrito* en el municipio Tlahuiltepa, Hidalgo, México.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (Conahcyt). Al Dr. Raúl Ortiz Pulido en la "Reserva privada Las Coas"; al Sr. Antonio Rivera Ramírez en "El Llano"; al Sr. Salomón Rubio Muñoz en "La Joya" y a la Sra. Sidronia Trejo Chávez en "Agua del Arbolito" por permitir realizar este trabajo en sus propiedades. Y a los colaboradores de este artículo por su cooperación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

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.

Referencias

- Acosta-Hernández, C. C., Luna-Rodríguez, M., Noa-Carrazana, J. C., Galindo-González, J., Vázquez-Torres, S. M., Morales-Romero, Z. e Iglesias-Andreu, L. G. (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., Valdéz-Lazalde, J. R., Sánchez-Díaz, G., Miranda-Aragón, L. & 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. <https://www.jstor.org/stable/43490288>
- Alfaro, R. I., Fady, B., Vendramin, G. G., Dawson, I. K., Fleming, R. A., Sáenz-Romero, C., Lindig-Cisneros, R. A, Murdock, T., Vinceti, B., Navarro, C. M., Skroppa, T., Baldinelli, G., El-Kassaby, Y. A. & Loo, J. (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., Peña, D. y Romo, J. 2002. Una revisión de los métodos de remuestreo en series temporales. *Estadística Española*, 44(150), 133-159. [https://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/dpena/publications/castellano/2002 EE_alonso_romo.pdf](https://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/dpena/publications/castellano/2002_EE_alonso_romo.pdf)
- Arasa-Gisbert, R., Arroyo-Rodríguez, V. y Andresen, E. (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., Willson, K. G., Hart, J. L., Schweitzer, C. J. & Dey, D. C. (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., Nielsen, L. R., Ravn, H. P. & Kjær, E. D. (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, 18-29.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s40725-016-0029-9>

Castañeda-Garzón, S. L., Moreno-Barragán, J., Argüelles-Cárdenas, J. H., Camargo-Tamayo, H. y Zuluaga-Peláez, J. J. 2021. Caracterización morfológica y dasométrica de *Mimosa trianae* y *Cassia moschata* de la colección de AGROSAVIA. *Temas Agrarios*, 26(1), 46-57.
https://www.researchgate.net/publication/357280425_Morphological_and_dasometric_characterization_of_Mimosa trianae_and_Cassia moschata_from_AGROSAVIA_collection

Cervantes M., A. (2016). La conservación del Granadillo en México: una carrera contra el tiempo. *Biodiversitas*, 128, 6-11.
<https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/12765.pdf>

Cervantes, A., Linares, J. & Quintero, E. (2019). An updated checklist of the Mexican species of *Dalbergia* (Leguminosae) to aid in its conservation efforts. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90(2019), Article e902528.
<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2528>

Cohen, W. B., Yang, Z., Stehman, S. V., Schroeder, T. A., Bell, D. M., Masek, J. G., Huang, C. & Meigs, G. W. (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>

da Cunha, T. A., Guimarães F., C. A. & Schneider, P. R. 2013. Linear mixed model to describe the basal area increment for individual cedro (*Cedrela odorata* L.) trees

- in Occidental Amazon, Brazil. *Ciência Florestal*, 23(3), 461-470. <https://doi.org/10.5902/1980509810557>
- Dale, M. R. T. & Fortín, M. J. (2014). *Spatial analysis: A guide for ecologists*. Cambridge University Press.
- De La Cruz-Cabrera, V. y Contreras, M. (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 Cognitiona*, 3(2), 57-72. https://revistas.up.ac.pa/index.php/orbis_cognita/article/view/755
- Fahrig, L., Arroyo-Rodríguez, V., Bennett, J. R., Boucher-Lalonde, V., Cazetta, E., Currie, D. J., Eigenbrod, F., Ford, A. T., Harrison, S. P., Jaeger, J. A. G., Koper, N., Martin, A. E., Martin, J. L., Metzger, J. P., Morrison, P., Rhodes, J. R., Saunders, D. A., Simberloff, D., Smith, A. C., ... Watling, J. I. (2019). Is habitat fragmentation bad for biodiversity? *Biological Conservation*, 230, 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.12.026>
- Funk, J. L., Larson, J. E., Ames, G. M., Butterfield, B. J., Cavender-Bares, J., Firn, J., Laughlin, D. C., Sutton-Grier, A. E., Williams, L. & Wright, J. (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., Alia-Tejacal, I., Núñez-Colin, C. A., Andrade-Rodríguez, M., Canul-Ku, J., Colinas-León, M. T. & Sainz-Aispuro, M. de J. (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., Octavio-Aguilar, P., Bartolo-Hernández, C. de J., García-Montes, M. A., Sánchez-González, A., Ramírez-Bautista, A. & Vovides, A. (2020). Current status of *Magnolia vovidesii* (Magnoliaceae, Magnoniales): New data on population trends, spatial structure, and disturbance threats. *Tropical Conservation Science*, 13(1), 1-12. <https://doi.org/10.1177/1940082920923894>

- Gálvez, J. (Coord.). (2009). *Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009: Las señales ambientales críticas y su relación con el desarrollo*. Universidad Rafael Landívar e Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar. <https://www.url.edu.gt/publicacionesurl/FileCS.ashx?Id=41026>
- Gower, J. C. (2005). Principal coordinates analysis. In P. Armitage & T. Colton (Eds.). *Encyclopedia of biostatistics*. (pp. 3514-3518). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/0470011815.b2a13070>
- Hernández-Salas, J., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., González-Tagle, M. A., Luján-Álvarez, C., Olivas-García, J. M. y Domínguez-Pereda, L. A. (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(2), 189-199. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.08.052>
- Hidalgo, R. (2003). Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. En T. L. Franco y R. Hidalgo (Eds.). *Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos* (pp. 2-26). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (Ipgri). <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/40ad97cf-daba-48d0-a80f-2b1d9803c738/content>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2003). *Tlahuiltepa, Estado de Hidalgo. Cuaderno estadístico municipal. Edición 2003*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825935771>
- Linares, J. & Samain, M. S. (2019, March 26). *Dalbergia glomerata*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T36144A148392849*. Red List. <https://www.iucnredlist.org/species/36144/148392849>
- Martorell, C. & Peters, E. M. (2005). The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biological Conservation*, 124(2), 199-207. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.01.025>

McDowell, N. G., Allen, C. D., Anderson-Teixeira, K., Aukema, B. H., Bond-Lamberty, B., Chini, L., Clark, J. S., Dietze, M., Grossiord, C., Hanbury-Brown, A., Hurtt, G. C., Jackson, R. B., Johnson, D. J., Kueppers, L., Lichstein, J. W., Ogle, K., Poulter, B., Pugh, T. A. M., Seidl, R., ... Xu, C. (2020). Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. *Science*, 368(6494), Article eaaz9463. <https://doi.org/10.1126/science.aaz9463>

Octavio-Aguilar, P., Iglesias-Andreu, L. G., Núñez de Cáceres-González, F. F. & Galván-Hernández, D. M. (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., Ametzaga-Arregi, I., San Sebastián, M., Mitxelena, A., Rodríguez-Loinaz, G., Peña, L. & Alday, J. G. (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>

Rivera-Fernández, A., Octavio-Aguilar, P., Sánchez-Coello, N. G., Sánchez-Velázquez, L. R., Vázquez-Torres, S. M. & Iglesias-Andreu, L. G. (2012). Population structure and spatial distribution of *Ceratozamia mexicana* Brongn. (Zamiaceae) in preserved and disturbed environments. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15(2), S110-S117. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93924626016>

Rojas-García, F., Gómez-Guerrero, A., Endara-Agramont, Á. R., Gutiérrez G., G., Reyes H., V. J., Ángeles P., G. y de Jong, B. H. J. (2022). Efecto de corta de saneamiento sobre el crecimiento radial del bosque de *Pinus hartwegii*. *Madera y Bosques*, 28(2), Artículo e2822402. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2822402>

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>

Shannon, C. E. & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*.

The University of Illinois Press: Urbana.

<https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.503815/page/n5/mode/2up>

Silvério, D. V., Brando, P. M., Bustamante, M. M. C., Putz, F. E., Marra, D. M., Levick, S. R. & Trumbore, S. E. (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. (2011). *Enciclopedia de los municipios de Hidalgo. Tlahuiltepa*. Gobierno del Estado de Hidalgo. Secretaría de Planeación, desarrollo regional y metropolitano.

<http://docencia.uaeh.edu.mx/estudios-pertinencia/docs/hidalgo-municipios/Tlahuiltepa-Enciclopedia-De-Los-Municipios.pdf>

StatSoft Inc. (2011). *STATISTICA (data analysis software system). Versión 10*.

www.statsoft.com

Suárez-Islas, A., Capulín-Grande, J. & Mateo-Sánchez, J. J. (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., Liu, J., Feng, X. & Gong, X. (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>

<https://doi.org/10.1002/ece3.2910>

Zheng, Y., Liu, J., Feng, X. & Gong, X. (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>



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