

Análisis dasométrico del mezquite y valoración del servicio ecosistémico regional, en Jalisco

Dendrometric analysis of mesquite and assessment of regional ecosystem service in Jalisco

Lilia **García-Azpeitia**¹

Resumen

Se realizó el análisis estructural de un bosque espinoso nativo localizado en el estado de Jalisco, con el objetivo de caracterizar la composición arbórea y las condiciones ecológicas del ecosistema, así como determinar la estructura dasométrica de mezquite (*Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst.) como especie dominante. Se identificó el estrato arbóreo, se registraron variables abióticas y se evaluaron las principales actividades antropogénicas. El análisis estadístico, con un nivel de confianza del 95%, mostró que la especie arbórea presentó una densidad de 210 individuos/ha y una densidad relativa (DR) de 71.19%, seguida de huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.) con 80 individuos/ha y una DR de 28.81%. Se detectaron alteraciones fisicoquímicas en el 10% del suelo, afectación por actividades humanas en el 30% del área y deforestación equivalente al 10% (40 árboles/ha). La regeneración natural fue nula para individuos de 0.1 a 1 m de altura, evidenciando un proceso de degradación progresiva. A partir de esta

caracterización, se valoró el bosque espinoso como servicio ecosistémico regional, considerando sus funciones ambientales, sociales y ecológicas. Se identificaron servicios de regulación (captura de CO₂, conservación del suelo, generación de biomasa y mitigación térmica), de aprovisionamiento (recursos maderables y frutos de mezquite), de apoyo (mantenimiento de biodiversidad) y culturales (identidad regional y valor espiritual). Los resultados evidencian la importancia de conservar este ecosistema como recurso estratégico para la sostenibilidad y la preservación de la biodiversidad en las zonas semiáridas de México.

Palabras clave: Biodiversidad, Dasometría, Ecosistema, Restauración, Sostenibilidad.

Abstract

A structural analysis of a native thorn forest located in the state of Jalisco was conducted to characterize the arboreal composition and ecological conditions of the ecosystem, as well as to determine the dendrometric structure of mesquite (*Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst.) as the dominant species. The tree stratum was identified,

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina

Pasquel y Henríquez

Recibido: 20 de octubre de 2025

Aceptado: 1 de febrero de 2026

Publicado como ARTÍCULO CIENTÍFICO en Ra Ximhai 3(1): 373-399

doi.org/10.35197/rx.22.01.2026.16.lg

abiotic variables were recorded, and the main anthropogenic activities were evaluated. Statistical analysis, with a 95% confidence level, showed that the tree species had a density of 210 individuals/ha and a relative density (RD) of 71.19%, followed by huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.) with 80 individuals/ha and an RD of 28.81%. Physicochemical alterations were detected in 10% of the soil, human activity impacts were found in 30% of the area, and deforestation equivalent to 10% (40 trees/ha). Natural regeneration was nonexistent for individuals between 0.1 and 1 m in height, indicating a process of progressive degradation. Based on this characterization, the thorn forest was assessed as a regional ecosystem service,

considering its environmental, social, and ecological functions. Regulating services (CO₂ sequestration, soil conservation, biomass generation, and thermal mitigation), provisioning services (timber resources and mesquite fruit), supporting services (biodiversity maintenance), and cultural services (regional identity and spiritual value) were identified. The results demonstrate the importance of conserving this ecosystem as a strategic resource for sustainability and biodiversity preservation in the semi-arid regions of Mexico.

Key words: Biodiversity, Dendrometry, Ecosystem, Restoration, Sustainability.

INTRODUCCIÓN

La intervención humana ha provocado la degradación de aproximadamente el 80 % de las tierras agrícolas, 10 a 20 % de los pastizales y 87 % de los humedales del mundo, según estimaciones de plataformas intergubernamentales que analizan la literatura científica sobre degradación de la tierra. (Cheng et al., 2021). En México, de acuerdo con la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable la definición de vegetación forestal refiere especies leñosas perennes con cobertura mayor al 10 % de la superficie que ocupa (LGDFS, 2003) y según el INEGI (2017) la vegetación forestal de zonas áridas incluye al matorral, selva baja espinosa y chaparral, incluida la vegetación arbórea o arbustiva que crece en zonas con precipitación media anual inferior a 500 mm, el matorral xerófilo incluye el bosque de mezquite (BM)) con una extensión de 216,234 ha de bosque como especie primaria; lo que evidencia la importancia de la conservación de estos ecosistemas. Parte de este ecosistema es *P. laevigata*, de la familia Fabaceae, con 11 especies endémicas en México (Palacios et al., 2016), el cual está presente en 290, 347 ha (CONAFOR, 2020b). Esta especie, constituye una parte fundamental de la flora del árido mexicano, de importancia ecológica, económica e industrial indiscutible (Foroughbakhch et al., 2024). La estimación de las reservas de carbono en la biomasa forestal en México mostró que el 34.99 % de concentración de carbono se registró en bosques templados y tropicales y el 15.27 % en matorrales (CONAFOR 2020a). Para la Región Altos Norte (RAN), el Programa de Ordenamiento

Ecológico (2020) menciona que dentro de los hábitats críticos para la fauna está el ecosistema de mezquite espinoso, en el cual están en riesgo siete especies de fauna silvestre según la NOM-059-SEMARNAT-2010. En la RAN, Lagos de Moreno tiene una superficie de 2,797 km² que corresponde al 32.70%, la mayor parte de la zona (38.3%) tiene clima semiseco templado y desde los años sesenta se empezó a percibirse la problemática ambiental por la deforestación, la contaminación, la erosión y la pérdida de fertilidad del suelo; y la escasez de agua (la disponibilidad de agua con un valor negativo, -30.02 Mm³); por lo que la mayoría de la superficie del municipio se encuentra en la categoría de riesgo alto de sequía (INEGI, 2022). Según el Plan Municipal de Desarrollo Humano de Centro de Población de Lagos de Moreno (2022), el BM está dentro del área de conservación, que corresponde a bosque espinoso con presencia de *Prosopis* spp. Es fundamental conservar este ecosistema natural ya que de acuerdo con el área de ecología del gobierno del municipio de Lagos de Moreno este BM es el único que se ha conservado (comunicación personal, junio de 2022).

Por otra parte, los ecosistemas ofrecen cuatro tipos de servicios ambientales: regulación, soporte, provisión y cultural (SEMARNAT, 2021; Sarukhán, 2021) y como lo refiere Acharya et al. (2019) es necesario realizar análisis de servicios ambientales regionales, además de mencionar que de 1156 estudios no se hace referencia de ningún estudio en México.

Por lo anterior, la investigación tuvo la finalidad de diagnosticar el estado de conservación de un bosque espinoso en Lagos de Moreno, se determinó la flora en estado arbóreo, las características dasométricas de la especie dominante, los factores abióticos y estado de conservación del bosque. Y se planteó el análisis del BM bajo la perspectiva de que aporta los cuatro tipos de servicios ecosistémicos, bajo un enfoque sistémico.

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

El estudio se realizó en un BM localizado en el municipio de Lagos de Moreno dentro de la región Norte de Jalisco, México. Su localización geográfica corresponde a 21°18'57.4"N y 101°54'36.2"W, entre la Sierra Madre Occidental y el Eje Volcánico Transmexicano (figura 1).

Diagnóstico de especies arbóreas del bosque

Para el conteo arbóreo de especies predominantes se consideraron seis transectos de 10 x 100 m, seleccionados en secciones distantes. Se determinó: 1) la densidad relativa (DR) considerando el número de ejemplares de especie primaria y secundaria por transecto; 2) la posición sociológica (expresión vertical de las especies), por lo que se definieron tres sub estratos para la especie dominante: 1-3 m (inferior), 3-5 m (medio) y 5-10 m (superior), se realizó el conteo manual de los árboles de cada estrato;

3) se evaluó la regeneración natural de la especie dominante, para ello, se identificaron aquellos ejemplares de 0.1 a 1 m de altura.

Figura 1.

Fotografía panorámica de un parte del área de bosque espinoso, cuya especie arbórea dominante es Prosopis laevigata (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C.

Johnst



Nota: Fotografía tomada por autor.

Caracterización dasométrica

Se establecieron diez unidades experimentales de aproximadamente 1 ha cada una. Se determinó un tamaño de muestra de 60 individuos, con un error del 11 % y un nivel de confianza del 90%, se muestrearon seis árboles adultos (altura mayor a 3 m) por unidad experimental, con un total de $n=60$ árboles, se utilizó una estación total SOKKIA serie SET650RX con un telescopio con aumento 26X y un campo de visión de $1^{\circ}30'$, para medir la altura (m), altura de copa (m), diámetro de copa (m) (con la medición de seis puntos alrededor del perímetro de cada individuo). Se midió el diámetro a Normal a 1.30 m de altura sobre el suelo (DAP) y el Índice de Esbeltez (IE). Con las determinaciones del DAP, la altura, largo y diámetro de copa se calcularon los demás indicadores: Porcentaje de copa PC (Largo de copa/altura) $\times 100$, índice de copa IC (largo de copa/diámetro de copa), forma de copa FC (diámetro de copa/largo de copa), índice de espacio vital IEV (diámetro de copa/diámetro normal) (Durlo, 2001; Arias, 2005) y el diámetro basal DB (ecuación específica para matorral xerófilo) (Morfin et al., 2015). Para el análisis estadístico de factores abióticos y variables dasométricas se utilizó el paquete estadístico Statgraphics Centurión versión

XVI, con un nivel de significancia del 5%. Se realizó una correlación para DAP y altura de los árboles.

Análisis de factores abióticos

Con adaptación de González Rodríguez et al. (2018) y Muñoz Iniestra et al. (2017), se registraron los valores promedio de tres factores abióticos (temperatura máxima, humedad relativa (%), velocidad de aire (m/s), en tres sitios en el perímetro del BM, fuera de la copa de los árboles, las mediciones se realizaron dos veces por semana, durante 48 semanas. Para la determinación de la velocidad del aire, se utilizó un anemómetro modelo ST8021; la temperatura y humedad relativa se midieron con un mobile-cassy marca Leybold. Se analizaron tres muestras de suelo y una muestra compuesta, 1 kg en cada sitio (Bautista et al., 2011), los análisis edafológicos se realizaron en el Laboratorio de Suelos del CUCBA de la Universidad de Guadalajara. Se midió la humedad relativa y temperatura en 17 micrositios, dentro del bosque bajo las copas de los árboles de *P. laevigata*. Al interior del bosque en 12 sitios de suelo, se determinó temperatura, pH y humedad, se utilizó un medidor HI9811-5N, marca Hanna Instruments.

Análisis de servicio ambiental

Para la valoración del bosque de mezquite como servicio ambiental (SA) se utilizó la Clasificación Internacional Común de los Servicios de los Ecosistemas (CICES) para la Contabilidad Ambiental y Económica Integrada, versión 5.1 (Haines y Potschin, 2018). El análisis se realizó bajo un enfoque sistémico, considerando los tres ejes del desarrollo sostenible: social, ambiental y económico, en concordancia con los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente los ODS 13 (Acción por el clima) y 15 (Vida de ecosistemas terrestres). En la dimensión económica, se aplicaron dos métodos de valoración económica de servicios ambientales, de acuerdo con los lineamientos de SEMARNAT (2020). Se utilizaron datos de productividad sin alteración del ecosistema, considerando que una hectárea de *P. laevigata* puede generar aproximadamente 700 kg de madera (Blanco, 2019) y de 1 a 1.2 toneladas de carbón por cada 5 toneladas de leña (SEMARNAT, 1998). En la dimensión ambiental, se estimó la fijación aproximada de CO₂ y el contenido de biomasa (por individuo y por población de mezquite mediante un procedimiento no destructivo, empleando el DAP y una ecuación alométrica específica para la especie de acuerdo con Méndez et al. (2012). En la dimensión social, se consideró la cuarta Directriz Internacional sobre Planificación Urbana y Territorial (ONU-Hábitat, 2015; OMS, 2021); y el CICES con sus tres servicios (provisión, regulación y mantenimiento, y cultural), con su análisis biótico

y abiótico; se analizaron los usos locales del mezquite. Este sistema estandarizado, es compatible con ODS, SEMARNAT, evaluaciones tipo IPBES y análisis multicriterio (MCDA). Se apoyó el análisis con información de INEGI (Jalisco) y del Consejo Nacional para la Biodiversidad (CONABIO), correspondiente a la región Altos Norte.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diagnóstico de especies arbóreas del BM

En el bosque nativo únicamente hay dos especies predominantes, la especie primaria o dominante es *P.laevigata*, con un promedio de 210 individuos/ha, el 62 % son árboles grandes, una mortalidad de 21%; como especie secundaria *A. farnesiana*, con 80 individuos/ha, especie arbustiva que mostró una mortalidad menor al 10 %. La DR de la especie dominante fue de 71.19 % la cual fue menor a lo mencionado por Valenzuela et al. (2015), quienes refieren valores de 91.15 %; y para la especie secundaria de 28.81%. En el 30 % del bosque está presente *Opuntia spp.* con una altura mayor a tres metros, en promedio 10 individuos/ha (figura 2). El número de individuos de mezquite en una hectárea concuerda con lo encontrado por Flores et al., (2015), quienes registraron 191.7 a 224.1 árboles/ha en 13 sitios naturales; sin embargo, esta cantidad es mucho menor que lo reportado para ecosistemas de Durango, 402 y 556 individuos/ha (Valenzuela et al., 2015) con una altura total promedio menor. De acuerdo con CONAFOR (2017), en un cultivo forestal de *P. laevigata* se establecen 400 árboles/ha para producción de forraje y 100 árboles/ha para producción de semilla. En ecosistemas más diversos se reporta la presencia de 194 individuos (García et al., 2019), debido quizás a que coexisten con otras especies secundarias y terciarias, compitiendo por nutrientes; además de que el crecimiento y desarrollo están afectados por los factores abióticos del ecosistema. Como ocurre en Querétaro, en dónde la población de *P.laevigata* ocupa el lugar 18 en bosque tropical caducifolio y de altura menor a los del BM (Soto- Correa, 2019).

El BM presentó una afectación ocasionada por las actividades antropogénicas: tala selectiva de individuos adultos, la quema en pie para la obtención de carbón y la extracción ilegal de flora y suelo, así como erosión en un 10% de la superficie, por el pastoreo de ganado vacuno. En lo concerniente a la posición sociológica en los tres substratos se encontró que el *P.laevigata* ocupa el 50 % del estrato inferior, el 62.5 % del estrato medio y 100 % del superior; mientras que *A.farnesiana* ocupa el 50 %, 37.5 % y 0 % en los estratos inferior, medio y superior, respectivamente, debido a que esta es una especie arbustiva de baja talla. Desde un enfoque ecológico, la especie predominante, tiene una distribución al azar; sin

embargo, situación que no existe en poblaciones para especies de ecosistemas nativos (Pretzsch, 2021) en donde es característica la distribución uniforme y agrupada; la especie secundaria tiene una peculiar distribución agrupada, que sugiere interacciones entre sus individuos. El 67.39 % de mezquite son árboles unifustales y el 32.61 % multifustales; lo que podría sugerir que las condiciones ambientales favorecen a la especie en este BM. No se encontraron referencias sobre el comportamiento respecto al crecimiento y desarrollo que presenta la especie predominante y su relación con la forma del tronco; sin embargo, de acuerdo con estudios con otras especies del mismo género, se encontró que en *Prosopis flexulosa* D.C., los individuos de tallo múltiple disminuyeron rápidamente sus tasas de crecimiento después de los 60 años y los de un solo tallo mantuvieron tasas de crecimiento estables durante los primeros 100 años (Álvarez et al., 2011); por lo que probablemente *P. laevigata* podría tener el mismo comportamiento.

Figura 2.

a. Ejemplares de especie predominante *Prosopis* spp. (mezquite) junto a especie arbustiva secundaria *Acacia farnesiana* (huizache), b. individuo de *Oppuntia* sp., de aproximadamente 3 m.



Nota: Fotografía tomada por autor.

El BM presentó una afectación ocasionada por las actividades antropogénicas: tala selectiva de individuos adultos, la quema en pie para la obtención de carbón y la extracción ilegal de flora y suelo, así como erosión en un 10% de la superficie, por el pastoreo de ganado vacuno. En lo concerniente a la posición sociológica en los tres substratos se encontró que el *P. laevigata* ocupa el 50 % del estrato inferior, el 62.5 % del estrato

medio y 100 % del superior; mientras que *A.farnesiana* ocupa el 50 %, 37.5 % y 0 % en los estratos inferior, medio y superior, respectivamente, debido a que esta es una especie arbustiva de baja talla. Desde un enfoque ecológico, la especie predominante, tiene una distribución al azar; sin embargo, situación que no existe en poblaciones para especies de ecosistemas nativos (Pretzsch, 2021) en donde es característica la distribución uniforme y agrupada; la especie secundaria tiene una peculiar distribución agrupada, que sugiere interacciones entre sus individuos. El 67.39 % de mezquite son árboles unifustales y el 32.61 % multifustales; lo que podría sugerir que las condiciones ambientales favorecen a la especie en este BM. No se encontraron referencias sobre el comportamiento respecto al crecimiento y desarrollo que presenta la especie predominante y su relación con la forma del tronco; sin embargo, de acuerdo con estudios con otras especies del mismo género, se encontró que en *Prosopis flexulosa* D.C., los individuos de tallo múltiple disminuyeron rápidamente sus tasas de crecimiento después de los 60 años y los de un solo tallo mantuvieron tasas de crecimiento estables durante los primeros 100 años (Álvarez et al., 2011); por lo que probablemente *P. laevigata* podría tener el mismo comportamiento.

Durante 7 años la regeneración natural de mezquite fue de cero pues no se encontraron individuos con altura de 0.1 a 1m. En el 10% del área es reducido el número de árboles y es nula la presencia de árboles jóvenes (menores a 3 m de altura; que indica un ecosistema alterado por las actividades antropogénicas. Además, se observó la presencia de *Tillandsia recurvata* (“heno motita”) en los árboles de *P.laevigata* independientemente de su altura; se ha reportado que esta epífita tiene un efecto negativo directo sobre esta especie, debido a la liberación de compuestos aleloquímicos se reduce la germinación y desarrollo de los árboles (Pérez et al., 2021), situación que podría ser la causa de la nula germinación y falta de árboles menores a 1m de altura. La ausencia de regeneración natural registrada indica una pérdida funcional progresiva; coincide con lo encontrado por Martínez-Garza et al. (2022), donde la regeneración natural se ve limitada por la compactación del suelo y la presión antropogénica

Caracterización dasométrica

La altura promedio de mezquite fue de 8.03 m (tabla 1), la cual fue mayor a lo reportado en otros estudios que mencionan un promedio de 2.45 m, 3.59 m y 7.8 m para tres ecosistemas nativos (Morfín et al., 2005; García-Sánchez et al., 2012; Soto-Correa, 2019); pero menor a lo encontrado por

Ramírez et al. (2014), quienes reportaron una altura de 12 m para árboles adultos.

Tabla 1.
Características morfométricas de las principales especies (Prosopis laevigata)
norte = 60 árboles.

Dimensiones y relaciones morfométricas	
Diámetro normal - cm	27.14 ± 19.28
Altura total- m	8.03 ± 1.94
Largo de copa - m	4.95 ± 1.95
Diámetro de copa - m	8.40 ± 3.41
Porcentaje de copa	60.11 ± 14.84
Forma de copa	1.99 ± 1.56
Índice de copa	0.63 ± 0.23

Nota: Elaborada por el autor, los datos representan la media ± desviación estándar.

El DAP mínimo de 4.77 cm y un máximo de 105.99 cm, una distribución no normal, el promedio estuvo dentro de los valores determinados por otros autores, quienes tras la evaluación de siete sitios encontraron un diámetro de 5.9 a 41.8 cm (Méndez et al. 2012), y 38.6 cm de DAP para individuos en el estado de Querétaro (Soto- Correa, 2019). El IEV tuvo un valor medio de 0.412 y el DB promedio de 23.396 cm. Esta diferencia en dimensiones (DAP, altura, diámetro de copa, etc.) podría ser el resultado de las condiciones ambientales predominantes en la región. El PC es un indicador de vitalidad, la FC encontrada corresponde a una productividad mayor y de acuerdo con estudios de IC en especies forestales, se encontraron valores similares (0.3 a1.6); lo cual es consistente con una calidad estructural media y un potencial productivo moderado (Rodríguez-

Solís et al., 2015; Morales-Gallegos et al., 2023). El coeficiente de correlación entre la altura de los árboles y el diámetro normal (DAP) fue de -0.563, que indica una relación moderadamente fuerte entre las variables, con una significancia estadística del 5%. Las clases diamétricas indican una disminución de número de individuos al aumentar su DAP, presencia de masas irregulares en etapa de regeneración y crecimiento. El IE se utiliza a nivel invernadero y como un indicador de calidad de las plantas y árboles en parques públicos, los árboles muestreados (n= 60) tuvieron en promedio un IE de 39.89, este se determinó para evitar riesgos de caída que afecten a la población del Tecnológico quienes acceden al BM; permitió determinar la estabilidad del tronco en los árboles (inestabilidad cuando IE es mayor a 80% y valor menor a 80% en árboles mayores a 10 años). Sólo uno de los árboles muestreados tuvo un valor mayor a 80 que de acuerdo con Saavedra et al. (2019) denomina a un ejemplar con alta inestabilidad en el tronco, sin embargo, no fue mayor a 100 (máximo permitido) lo que evita daños a la población. En árboles de *Prosopis alba* de vivero el IE se utilizó para evaluar su adecuado desarrollo (Fontana et al., 2018).

Análisis de factores abióticos

El sitio de estudio se encuentra a 1787.2 msnm, con una presión atmosférica de 815.51 mmHg; la temperatura media anual es de 25.51 °C, una mínima de 13.4 y una máxima de 38.9 °C; este promedio anual para BM fue similar a lo encontrado para el estado de Hidalgo, pero mucho mayor a lo reportado en Durango (17.3°C) (García- Sánchez et al., 2012; Valenzuela- Núñez et al., 2015). La humedad relativa media anual es de 38.88% con valores mínimos de 10.5% en la época de sequía y máximo de 64.8% en época de lluvia. La velocidad del aire fluctuó entre 0 y 2.7 m/s con una media anual de 0.83 m/s. La velocidad del viento constituye un factor en el desarrollo estructural de los árboles al influir en la relación altura-diámetro y otros indicadores; bajo viento moderado (menor a 13 m/s) los árboles tienden a presentar un crecimiento más robusto y una menor altura relativa, como respuesta adaptativa al estrés mecánico (Jiao-jun, 2004; Wang et al., 2022; Bonnesoeur et al., 2016). La precipitación pluvial promedio fue de 156.0 mm en julio y de 6 mm (promedio histórico en abril) (CONAGUA, 2023). *P. laevigata* crece en ambientes con precipitación media anual de 300 mm (Rzedowski 1988); por lo que la precipitación pluvial máxima registrada para Lagos de Moreno fue un 50% menor de lo requerido, lo que tal vez también pudiera estar afectando la germinación de semillas en condiciones naturales, sin embargo, el 67 % de individuos corresponde al tipo arbóreo, lo que indica que las condiciones ambientales han permitido un adecuado

desarrollo, debido quizás a mantos freáticos en los que está localizado el BM. Bajo estas condiciones ambientales (temperatura mensual y precipitación pluvial) del BM y de acuerdo con el Sistema de Clasificación de Zonas de Vida de Holdridge (Holdridge, 2000) el BM esta en una zona de matorral desértico; esta clasificación difiere de la reportada para el municipio de Lagos de Moreno en la RAN, en donde se indica un ecosistema con clima templado moderado lluvioso (CONAGUA, 2024). Lo que refleja el comportamiento funcional real del ecosistema en términos de disponibilidad hídrica, productividad y estrategias adaptativas de *P. laevigata* y no una categoría regional general que no define las variaciones microclimáticas y edáficas. El suelo (muestras simples) presentó diferencias en algunos parámetros, sin embargo, no hubo diferencia estadísticamente significativa; en la muestra compuesta (tabla 2).

Tabla 2.
Parámetros fisicoquímicos, nutrientes y cationes intercambiables del suelo, muestra compuesta

Parámetros Fisicoquímicos			
Profundidad(cm)	30cm	Limo (%)	35.28
Materia Orgánica (%)	4.42	Arcilla (%)	24.16
CIC (mea/100g)	24.50	Conductividad eléctrica (mmhoms/cm)	0.28
Textura	Franco Arcilloso Limoso	Densidad Aparente	1.1
Arena (%)	40.56	PH	6.35
Nutrientes muestra compuesta (ppm)			
N-NO ₃	38	Magnesio	510
Fósforo	27	Cobre	0.41
Potasio	1.258	Manganeso	12.6
Sodio	457	Fierro	16.3

Calcio	3017	Zinc	0.83
Cationes Intercambiables (meq/100g)			
Potasio 3.23	Sodio 1.99	Calcio 15.09	Magnesio 4.20

Nota: Elaborada por el autor, los datos representan la media ± desviación estándar.

El tipo de suelo fue de textura franco arcilloso-limoso, con un pH y un porcentaje de materia orgánica menor al encontrado para suelo en Valle del mezquital en espacios cercanos a *P. laevisgata*, en donde la materia orgánica fue de 5.43% (Guarneros et al., 2024). Esta diferencia tal vez debida a la afectación que ha tenido el bosque por las actividades antropogénicas mencionadas anteriormente. Las variaciones en los parámetros evaluados podrían influir en las especies que crecen bajo el dosel de esta planta nodriza, siendo importante para estudios posteriores el censo de especies de plantas en el sotobosque.

De acuerdo con Bernal et al. (2019) el dosel de *P. laevisgata* produce “microcosmos” que promueven la existencia de mayores concentraciones de recursos, como los nutrientes liberados por la descomposición de la hojarasca, y un microambiente particular que favorece el incremento de la diversidad vegetal, encontrándose hasta 72 especies. Es importante mencionar que Moreno et al. (2021) refieren que el tipo de suelo tiene un efecto en la variación cualitativa de la especie, aunque este estudio se realizó en Guanajuato y se determinó un tipo de suelo diferente (vertisol y phaeozem) al del BM. En los 17 micrositos, las condiciones ambientales bajo el dosel *P.laevisgata*, se registró una temperatura promedio de 28.44 °C en febrero y 19.77 °C en noviembre, lo cual no corresponde a las temperaturas promedio reportadas para estos meses, febrero (16.4 °C) y noviembre (16.3°C) (IIEG, 2024). La humedad relativa fue de 30% y 45% para febrero y noviembre, respectivamente, lo que también difiere de lo reportado para estos meses (45 % febrero, 60 % noviembre) (Water Atlas, 2025). Estos datos indican la disminución de humedad a lo largo del año, y el aumento de temperatura media lo que podría tener un impacto en el crecimiento, desarrollo y permanencia de los árboles y demás flora del ecosistema. En promedio los parámetros en suelo al interior del bosque en los 12 sitios de muestreo mostraron una temperatura promedio de 23 °C, un pH de 6.4 y una humedad del 50%, no hubo diferencias estadísticamente significativas.

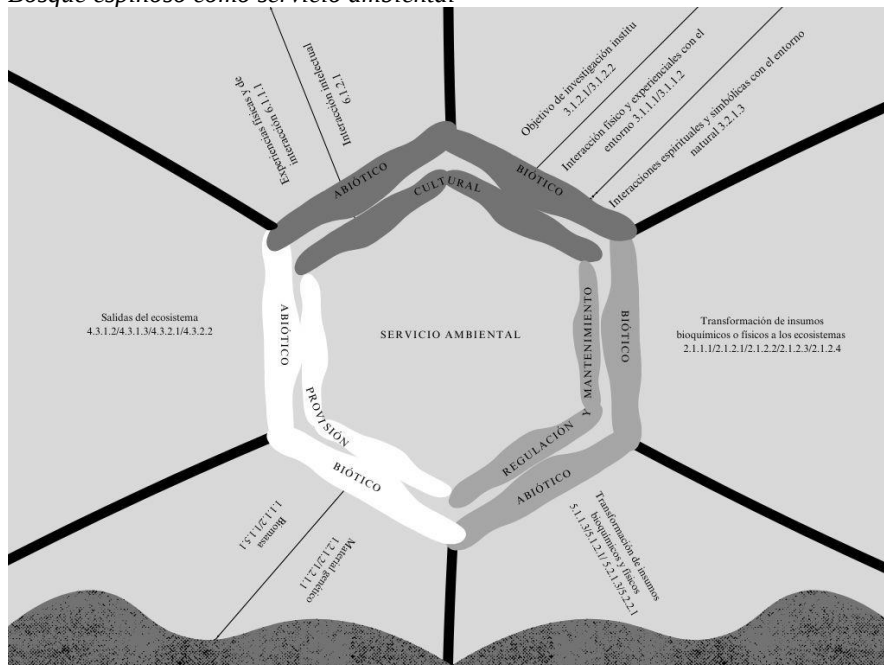
Análisis de servicios ambientales

No se encontraron referencias que mencionaran la importancia de BM como SA, y de acuerdo con Prasad et al, (2019) el análisis de los SE, todavía está concentrado en países de ingresos altos y medio altos, además de que este análisis considera principalmente otros tipos como los manglares y bosque de coníferas. Es prioritario un análisis sistémico del ecosistema como lo menciona Mosqueta (2007) “la comprensión de los sistemas solamente se presenta cuando se estudian globalmente, involucrando las interdependencias de sus subsistemas”. El análisis de BM bajo los criterios establecidos en la Clasificación Internacional Común de los Servicios Ecosistémicos (2018), permitió precisar que este ecosistema como otros, puede ofrecer los tres tipos de servicios: (regulación y mantenimiento, de provisión y cultural) ofreciendo beneficios inmateriales a la comunidad (figura 3). A partir de 2016 las ecorregiones que experimentaron el mayor aumento de vegetación leñosa fueron la de Balsas, bosque seco a lo largo de la costa del Pacífico, y la volcánica de roble y pino transmexicana (Sánchez et al., 2019). El BM como SA, sin embargo, puede estar en riesgo, ya que según el “Plan Estatal de Acción Ante el Cambio Climático (PEACC) del estado de Jalisco, en los últimos 30 años, en la RAN se presenta un aumento de las temperaturas, acompañado de una disminución de humedad y precipitación y se considera como una de las regiones más vulnerables al cambio climático con repercusiones en la disponibilidad de agua.

Desde el enfoque económico y según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (secretaria Alicia Bárcena, 2021): “Hay dos pilares de la sostenibilidad: la Bioeconomía y la Economía Circular”. Por eso es fundamental restaurar los ecosistemas, a través de tres acciones fundamentales, una de ellas son sistemas regionales mediante soluciones basadas en la naturaleza. La producción de vaina de mezquite podría constituir una cadena productiva que fortalezca a la región ya que tradicionalmente, en el continente americano, aunque la vaina ha sido utilizada para elaborar productos para el consumo humano, pero se necesitan investigaciones sobre los efectos de compuestos anti nutricionales (Bonel et al., 2021). Se consideró como ya se mencionó la valoración económica basada en provisión (madera, sin dañar el ecosistema) y regulación (captura de carbono); para la madera el método de precios en el mercado, se consideró que una hectárea de *P.laevigata* produce 700 kg de madera anual, con un costo total de 11,340. Para el servicio de regulación el método de costos, el impuesto subnacional de carbono 578.00 por ton CO₂ eq, con un total de 160,700.00. Finalmente, el valor total fue de 172, 040, por lo que el costo evitado (al considerar un 10% de pérdida), tuvo un valor de 17,204; quizás no significativo económicamente, pero si ambiental y socialmente. De acuerdo con López-Ridaura et al. (2002), al analizar servicios

ambientales además de la caracterización, la identificación de puntos críticos es importante la selección de indicadores específicos para las dimensiones ambiental, social y económica; así como proporcionar sugerencias y conocimientos destinados a mejorar sus condiciones socioambientales (Bonilla y Mitchell, 2020).

Figura 3.
Bosque espinoso como servicio ambiental



Nota: Elaborada por el autor

Desde el enfoque económico y según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (secretaria Alicia Bárcena, 2021): “Hay dos pilares de la sostenibilidad: la Bioeconomía y la Economía Circular”. Por eso es fundamental restaurar los ecosistemas, a través de tres acciones fundamentales, una de ellas son sistemas regionales mediante soluciones basadas en la naturaleza. La producción de vaina de mezquite podría constituir una cadena productiva que fortalezca a la región ya que tradicionalmente, en el continente americano, aunque la vaina ha sido utilizada para elaborar productos para el consumo humano, pero se necesitan investigaciones sobre los efectos de compuestos anti nutricionales (Bonel et al., 2021). Se consideró como ya se mencionó la valoración económica basada en provisión (madera, sin dañar el ecosistema) y regulación (captura

de carbono); para la madera el método de precios en el mercado, se consideró que una hectárea de *P.laevigata* produce 700 kg de madera anual, con un costo total de 11,340. Para el servicio de regulación el método de costos, el impuesto subnacional de carbono 578.00 por ton CO₂ eq, con un total de 160,700.00. Finalmente, el valor total fue de 172, 040, por lo que el costo evitado (al considerar un 10% de pérdida), tuvo un valor de 17,204; quizás no significativo económicamente, pero si ambiental y socialmente. De acuerdo con López-Ridaura et al. (2002), al analizar servicios ambientales además de la caracterización, la identificación de puntos críticos es importante la selección de indicadores específicos para las dimensiones ambiental, social y económica; así como proporcionar sugerencias y conocimientos destinados a mejorar sus condiciones socioambientales (Bonilla y Mitchell, 2020).

Bajo el enfoque ambiental, se pueden identificar diferentes problemáticas, como él debido al uso del agua (superficial o subterránea), ya que en Lagos de Moreno este recurso es limitado y se encuentra actualmente en escasez. Ya desde 2013 este índice destacaba que el 27.1 % del territorio del municipio se ubica en un acuífero sobreexplotado. La RAN en la que se ubica el municipio, se encuentra en déficit hídrico, sumado a la demanda de agua ya que el 56% del uso se debe al riego agrícola y actividades ganaderas, lo que provoca que la región sea altamente vulnerable (Ballesteros, 2015). Recientemente el cultivo de berries y *Agave tequilana* weber ha traído consigo el cambio de uso de suelo, la afectación a los polinizadores y fauna por los agroquímicos, así como el uso considerable de agua. Según el Índice Ambiental Municipal de Lagos de Moreno (IMMALM) este ocupa el puesto 96 en el estado de Jalisco (IMMA, 2016), indica un desarrollo bajo del medio ambiente en comparación al resto de los municipios. Además, según el ordenamiento ecológico territorial, sólo el 14.53% del municipio está bajo políticas ambientales de conservación (IIEG, 2024). Aunado a la afectación por *Tillandsia recurvata* en especies arbóreas de la RAN; esta planta “parásita afecta el flujo de agua, la conductividad hidráulica y reduce la eficiencia fotoquímica, provocando mayor mortalidad de ramas en *P. laevigata* (Pérez et al., 2021). Sumado a esto, la tala del árbol de mezquite podría contribuir a la pérdida de flora no determinada, ya que de acuerdo con Bernal et al. (2019) ésta especie constituye un microcosmos que alberga una diversidad florística. Respecto al uso de suelo, el 78.75% tiene uso agrícola y ganadero, el 19.62% con presencia de flora y fauna y solo el 1.44% es forestal, el 59% de la región se encuentra degradado (IIEG, 2024).

Termodinámicamente, el ecosistema en estudio constituye una unidad en la que ocurren mecanismos auto catalíticos, autorreguladores, auto determinantes y auto evolutivos. Los ecosistemas constituyen estructuras de

no equilibrio, abiertos a flujos de materia y energía (Morin (2011) y se toman como sistemas dinámicos, con sus posibilidades para corregir perturbaciones (Gunderson & Holling (2002). En este sentido en el BM como sistema vivo debe de quedar cubierto el flujo de energía entre los productores y consumidores, sin embargo, este ciclo está alterado por la tala ilegal de árboles de mezquite. Según Becerril et al. (2014) los ecosistemas semiáridos de la zona central de México constituyen un potencial como sumideros de carbono con un promedio de 11 Mg C/ ha (no se encontraron referencias recientes al respecto). Ninguna transformación de energía es 100% eficiente, ocurre pérdida de energía, en forma de calor, disminuyendo cada vez más en formas irrecuperables, pudiéndose inferir que, si el ecosistema se presenta alterado, la pérdida de energía en forma de calor será aún mayor; además, la calidad de ella cambia a una forma irreversible o disimétrica, aumentando la entropía del ecosistema. En ese mismo sentido, según la OECC, un bosque puede ser fuente y sumidero de gases de efecto invernadero, lo que contribuye a la disminución de su concentración en la atmósfera. Durante un intervalo de tiempo determinado, es mayor la cantidad de carbono que entra en él, que la que sale de él, siempre y cuando no se altere el equilibrio de éste; sin olvidar que la capacidad de absorción de carbono de un mismo árbol puede variar en función de varios criterios: como la especie, edad, tamaño, clima y suelo.

Para *P. laevigata*, el CO₂ almacenado por árbol es de 258.0 kg, en las 10 hectáreas de BM se tiene un almacenamiento total aproximado de 541.8 ton de CO₂ (2100 árboles). Este carbono total por árbol fue inferior al determinado para esta y otras especies del género *Prosopis*, cuyos individuos tuvieron un DAP mayor a 30 cm (Nava et al., 2019); se estima que en el BM se fijan 25.2 ton CO₂ /año. En la determinación de biomasa del BM se consideró el DAP (15.51 ± 7.36 cm), lo que aproximadamente representa una biomasa promedio de 383.331 ± 903.748 kg por árbol. La determinación de la correlación de Pearson entre DAP y biomasa fue de 0.9062 lo que implica una alta correlación entre el diámetro determinado a 1.30 m del suelo y la biomasa del árbol. Además, se ha identificado una mayor fijación de biomasa en bosques mixtos que en bosques puros. Una ruptura del equilibrio ecológico ha resultado en la pérdida de muchos servicios ecosistémicos, es decir, provisión, funcionamiento y recreación (Pérez-Serrano et al., 2021) por lo que es necesario dar importancia a este SA al igual que a otro tipo de ecosistemas (Méndez-Estrella et al, 2017).

El análisis económico complementa esta visión ecológica al cuantificar el valor tangible de los servicios. Estimar la producción de madera, carbón y biomasa por hectárea proporciona un marco de referencia para la valoración económica del capital natural, útil en esquemas de pago por

servicios ambientales y programas de restauración. Tal enfoque ha sido recomendado por SEMARNAT (2020) y coincide con los lineamientos propuestos para integrar la naturaleza en la contabilidad económica nacional (Ren et al., 2023).

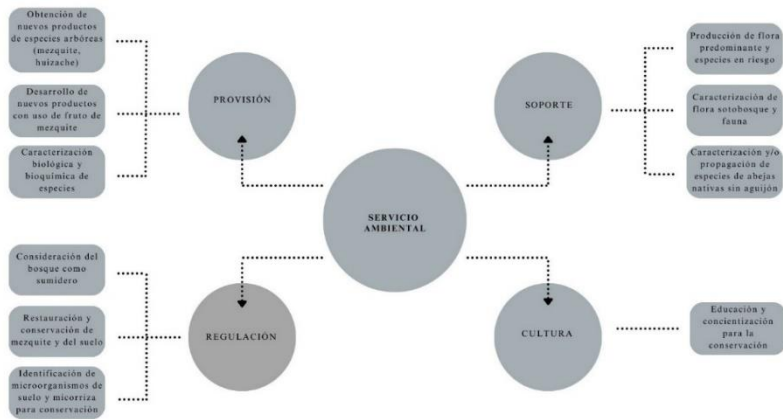
En el análisis desde el enfoque social, con base en la cuarta de las Directrices Internacionales sobre Planificación Urbana y Territorial “planificar espacios más resilientes ante el cambio climático y los desastres naturales” (ONU-Hábitat, 2015; OMS, 2021), el BM aporta varios beneficios a la población del entorno por lo que es necesario mantenerlo. Este se sitúa dentro de la unidad académica por lo que tiene un impacto en la población de 1700 personas, entre alumnado y trabajadores; y en la sociedad que participa en actividades recreativas relacionadas con el BM (recorridos para alumnos de educación básica y avistamiento de aves para público en general). Bajo este contexto el BM permite disponer de espacios públicos abiertos que tengan la función de zona de amortiguamiento y paisaje funcional; y es necesario para su permanencia establecer medidas medioambientales, de mitigación del cambio climático y que permita su resiliencia. Como lo refiere Janeczko et al. (2020) los SA tienen una mejora en la salud de las personas que hacen recorridos, proporcionan una reducción significativa del estrés, por lo que se deben considerar las cualidades multisectoriales (Hedblom et al., 2019), entre ellas, la mitigación del ruido (Yan et al., 2019). El uso de métodos no destructivos y ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono responde a buenas prácticas internacionales; este tipo de modelos, ajustados con base en el DAP y parámetros locales, minimizan sesgos y ofrecen comparabilidad con sistemas de monitoreo, reporte y verificación de carbono (Salas-Aguilar et al., 2021). Los resultados obtenidos en el BM son coherentes con estimaciones regionales para ecosistemas secos y semiáridos, donde la fijación de CO₂ se considera un indicador prioritario de mitigación climática.

De acuerdo con los criterios de la CICES, como servicio de provisión, este ecosistema permite la captura de agua, se generan materias primas entre las que están los frutos del mezquite, y por supuesto podría constituir una fuente de metabolitos primarios y secundarios (García et al., 2022). a) En el aspecto biótico las salidas del ecosistema incluyen materiales, nutrición, así como energía, y b) en el aspecto abiótico la generación de biomasa y material genético. Respecto a la regulación y mantenimiento: a) en el aspecto abiótico el servicio permite la transformación de insumos bioquímicos y físicos que permiten la protección de la población del entorno al disminuir ruido, gases de efecto invernadero y b) en el aspecto biótico los beneficios al ecosistema como la fijación de CO₂, mitigación del impacto del hombre al medio ambiente. En la parte cultural: a) en el sentido abiótico

permite la interacción entre ecosistema-personas con los beneficios correspondientes y b) en el sentido biótico las interacciones espirituales y simbólicas con el entorno, así como los aspectos relacionados a la investigación del entorno “*In situ*”. Aunque, en la RAN, el mezquite, no tiene un valor identitario o espiritual en la población, como si se tiene en la población de otras entidades federativas del país (Pérez-Serrano et al., 2021). Por último, la valoración de los SE bajo un enfoque centrado en los beneficiarios fortalece la pertinencia social de las estrategias de conservación. Identificar quién recibe qué beneficios y dónde se generan permite orientar las estrategias hacia la equidad ambiental y el desarrollo regional (Qiu et al., 2024). En el caso del BM, las comunidades locales se benefician de los recursos del mezquite, del microclima moderado y del valor cultural que el ecosistema representa. Reconocer estas interdependencias es esencial para mantener la biodiversidad y promover los ODS 13 y 15 en las regiones semiáridas de México.

Consideramos fundamental un enfoque sistémico del BM, en el que cada individuo de *P. laevigata* constituye un microcosmos que alberga una importante diversidad florística. Y aunque en México la especie está catalogada como en un estado de conservación de riesgo bajo, el ecosistema regional ha sido ampliamente afectado debido a las actividades antropogénicas y económicas en la RAN. Haciendo referencia al análisis ambiental de acuerdo con Díaz et al. (2008) cuando la actividad humana tiene lugar y no está en armonía con el ecosistema, se modifica su condición, en consecuencia, la cantidad total de trabajo termodinámico útil cambia, además del aumento de entropía la cual es producida por la sociedad. Por lo que se propone una valoración integral del ecosistema de BM en el cual este presente como una de las especies arbóreas predominantes *P. laevigata* (figura 4) que permita conservar y aprovechar sus recursos bajo un enfoque de sostenibilidad ambiental, económica y social.

Así lo establecimos en un ensayo piloto el cual hemos seguido a lo largo de 8 años, ha sido una guía para el cuidado de las 10 hectáreas del BM, lo cual nos permitió disminuir la deforestación y daño que había sufrido por pobladores locales. Nos ha permitido vincularlos con el área de ecología del gobierno municipal de Lagos de Moreno logrando evidenciar la importancia de este SA y la necesidad urgente de resguardarlo ante los embates de del cambio de uso de suelo y bajar recursos para sanear una sección del BM; ha permitido también, establecer actividades de divulgación ambiental dirigidas a niños y jóvenes de educación básica; además de estructurar proyectos de investigación y de vinculación con instituciones de educación superior estatales.

Figura 4.*Estrategias para la conservación del servicio ambiental en estudio***Nota:** Elaborada por el autor

Estos ecosistemas se han considerado de bajo valor productivo; sin embargo, la evidencia reciente demuestra que desempeñan un papel decisivo en la regulación climática, la conservación del suelo y la provisión de recursos naturales (Nelson et al., 2020; Ren et al., 2023). La aplicación de metodologías integrales, como la desarrollada en este estudio, permite traducir dichas funciones ecológicas en información tangible para la toma de decisiones ambientales y de estrategias sostenibles. Lo cual se alinea con la visión de ODS, particularmente el ODS 13 (Acción por el clima), el ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres) y el ODS 12 (Producción y consumo responsables). Diversos estudios destacan que los bosques secos tropicales y espinosos cumplen un papel esencial en la provisión de SE (Mesa-Sierra et al., 2022). Es necesario revalorizar al BM como infraestructura ecológica estratégica, indispensable para el equilibrio ambiental de las regiones semiáridas, pues la diversidad y estructura del dosel vegetal inciden directamente en la productividad y estabilidad de los SE, incluyendo la captura de carbono y la resiliencia ante disturbios (Antunes et al., 2024; Chen et al., 2024). Finalmente, desde la perspectiva de restauración y manejo, los proyectos pertinentes en ecosistemas secos son aquellos que combinan la restauración ecológica con la generación de beneficios sociales (Mesa-Sierra et al., 2022). Estas estrategias son congruentes con las recomendaciones internacionales para aumentar la resiliencia ecológica y

social en zonas semiáridas (Chen et al., 2024). Asimismo, es decisivo abordar las compensaciones entre servicios ecosistémicos, con prácticas diversificadas y basadas en la funcionalidad del ecosistema tienden a generar sinergias positivas, favoreciendo simultáneamente la productividad, la captura de carbono y la conservación del suelo (Nelson et al., 2020).

CONCLUSIONES

El diagnóstico del ecosistema BM permitió conocer la composición arbórea la cual resultó ser diferente a otros ecosistemas de bosque espinoso en los que *P. laevigata* coexiste con varias especies. La metodología establecida en el diagnóstico: determinación de factores abióticos, estado de conservación de la especie arbórea predominante (dimensiones y afectación antropogénicas); permitirá realizar el diagnóstico rápido de otras áreas de bosque espinoso en la región Altos Norte de Jalisco preámbulo a la recuperación y restauración del ecosistema como SA, y contribuir de alguna manera en cambiar el enfoque forestal que se tiene de la especie en otras regiones del país.

En suma, la integración de un enfoque sistémico de valoración de servicios ecosistémicos en el bosque de mezquite en la región Altos Norte de Jalisco permite evidenciar su rol como capital natural estratégico, vincularlo con los compromisos internacionales de sostenibilidad y sustentar su restauración como prioridad regional. Este tipo de análisis constituye un modelo piloto replicable para otras extensiones de BM en la región, así como para otras zonas semiáridas del país, orientado a la preservación de la biodiversidad y la resiliencia ecológica, pilares indispensables para el desarrollo sostenible.

LITERATURA CITADA

- Arias A.D. (2012). Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 2(5), 19–32. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/543>
- Álvarez J.A., Villagra P.E., Villalba R.V., Cony M.A. & Alberto M. (2011). Wood productivity of *Prosopis flexuosa* D.C. woodlands in the central Monte: Influence of population structure and tree-growth habit. *J Arid Env*, 75 (1), 7-13. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.09.003>

- Antunes, A. C., et al. (2024). Linking biodiversity, ecosystem services, and Nature's Contributions to People. *Trends in Ecology & Evolution*, 39(3), 201-213. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2024.01.002>
- Bautista Z.F., Palacio P.J.L. & Páez B. R. (2011). Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. Centro de Investigación en Geografía Ambiental. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Doi: <https://doi.org/10.22201/ciga.9786070221279p.2011>
- Becerril P. R., González S. E., Mastachi L. C. A., Díaz D. C., & Ramos-Salinas, N. M. (2014). Contenido de carbono en un ecosistema semiárido del centro de México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 1(1), 9-18. Doi: <https://doi.org/10.19136/era.a1n1.2>
- Bernal R.L.A., Zavala H.J.A., Jiménez M., Cano S.Z. & Fornoni J. (2019). Los microcosmos de *Prosopis laevigata* albergan una alta diversidad florística en el valle de Zapotitlán, Puebla. *Rev Mex Bio*, 90, 1-14. Doi: 10.22201/ib.20078706e.2019.90.2662
- Bone G., Parr T., Brameld J., Elmes M., González C. Z. & Koech O. (2021). The effect of mezquite pod flour in a wheat-based diet on broiler chicken growth performance. *Animal - Science proceedings*, 12 (1), 77. <https://doi.org/10.1016/j.anscip.2021.03.099>
- Bonnesoeur, V., Constant, T., Moulia, B., & Fournier, M. (2016). Forest trees filter chronic wind-signals to acclimate to high winds. *New Phytologist*, 210(3), 850–860. <https://doi.org/10.1111/nph.13836>
- Comisión Nacional Forestal, SIRE-Paquetes Tecnológicos. (2017). *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd). <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/988Prosopis%20laevigata.pdf>
- CONAFOR (2020a). Estimación de la tasa de deforestación en México para el periodo 2001-2018 mediante el método de muestreo. Documento Técnico. Jalisco, México. Consejo Nacional Forestal. Deforestación en México. Disponible en: <https://www.gob.mx/conafor/documentos/estimacion-de-la-tasa-de-deforestacion-bruta-en-mexico-para-el-periodo-2001-2018-mediante-el-metodo-demuestreo?idiom=es>
- CONAFOR. (2020b). Sector Forestal Mexicano en cifras 2020: Bosques para el bienestar social y climático. Gobierno de México. Comisión Nacional Forestal
- CONAFOR (2024). Deforestación en México. Consejo Nacional Forestal. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://snmf.cnf.gob.mx/deforestacion/>
- Comisión Nacional del Agua. (2024). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Lagos de Moreno (1410), estado de Jalisco. Ciudad de México, México.

- Chen, H., Zhao, X., & Zhang, T. (2024). Valuation and management of desert ecosystems and their services. *Ecosystem Services*, 66, 102117. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.102117>
- Foroughbakhch Pournavab, M. Ngangyo Heya, E. A. Castillo Gonzalez, A. Rocha Estrada, L. R. Salas Cruz & M. A. Alvarado Vázquez. (2024). Leaf architecture in the morphological diversity of the genus *Prosopis* in the semi-desert area of northeastern Mexico. *Diversity*, 16(6), 351. <https://doi.org/10.3390/d16060351>
- Flores P.A., García F.J.G., Capistrán B.A. (2015). Biomass, phorophyte specificity and distribution of *Tillandsia recurvata* in a tropical semi-desert environment (Chihuahuan Desert, Mexico). *Plant Ecol and Evol*, 148 (1), 68-75. Doi: <http://dx.doi.org/10.5091/plecevo.2015.874>
- Fontana, M., Pérez V., Luna C. 2018. Efecto del origen geográfico en la calidad morfológica de plantas de *Prosopis alba* (Fabaceae). *Rev Biol*, 66 (2), 593-604. Doi: <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i2.33383>
- González Rodríguez, H., Dueñas Tijerina, H. A., Cantú Silva, I., Cotería Correa, M., Ramírez Lozano, R. G., & López Hernández, J. M. (2018). Relaciones hídricas en arbustos nativos del noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.229>
- Guarneros-Manoatl, H., Valtierra-Pacheco, E., & Corona-Sánchez, J. E. (2024). *Neltuma laevigata* and its influence on soil fertility in the Valle del Mezquital, Hidalgo, Mexico. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v17i11.2987>
- Gunderson, L. H., & Holling, C. S. (Eds.). (2002). *Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems*. Island Press.
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2018). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1: Guidance on the application of the revised structure*. Fabis Consulting Ltd.
- Hedblom, M., Gunnarsson, B., Iravani, Knez I., Schaefer M., Thorsson P. & Lundström J.N. (2019). Reduction of physiological stress by urban green space in a multisensory virtual experiment. *Sci Rep*, 9, 10113. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46099-7>
- IIEG. Diagnóstico del municipio de Lagos de Moreno [monografía en internet]*. Jalisco: Instituto de Información Estadística y Geográfica. (2024, junio 2025). <https://www.iiég.gob.mx/contenido/Municipios/LagosdeMoreno.pdf>.

- IMMA. Índice Municipal de Medio Ambiente [archivo en formato XLS]*. México: Gobierno federal; (2016, junio 2025). <https://datos.gob.mx/busca/dataset/indice-municipal-de-medio-ambiente>.
- IIEG-INEGI. Instituto de Información Estadística y Geográfica (Jalisco) (2018). Análisis del cambio de uso de suelo y vegetación en Jalisco (2011-2014). Carta de Uso de Suelo y Vegetación Serie VI, Jalisco, uso de suelo, vegetación. <https://iieg.gob.mx/strategos/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Serie VI. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>
- Janeczko, E., Bieninis E., Wojcik, R., Woznicka, M., Kędziora, W., Łukowski, A., Elsadek, M., Szyc, K. & Janeczko, K. (2020). Cuando el entorno urbano es restaurador: el efecto de caminar en los suburbios y los bosques en la relajación psicológica y fisiológica de los adultos jóvenes polacos. *Bosques*, 11, 591. <https://doi.org/10.3390/f11050591>
- Jiao-jun, Z. (2004). Review: Effects of wind on trees. *Journal of Forestry Research*, 15, 153–160. <https://doi.org/10.1007/BF02857836>
- Lee S.G., Felker P. (1992). Influence of water/heat stress on flowering and fruiting of mesquite (*Prosopis glandulosa* var. *glandulosa*). *J Arid Env*, 23, 309-319. Doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-1963\(18\)30521-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-1963(18)30521-4)
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2003). Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Diario Oficial de la Federación (México), 25 de febrero de 2003. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGDFS.pdf>
- Martínez-Garza, C., Ceccon, E., & Méndez-Toribio, M. (2022). Ecological and social limitations for Mexican dry forest restoration: A systematic review. *Sustainability*, 14(7), 3793. <https://doi.org/10.3390/su14073793>
- Méndez G.J. Turlan M.O.A, Rios S.J.C. & Najera L.J.A. (2012). Allometric equations to estimate aerial biomass of *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst. *Rev mex cienc forestales*, 3 (13), 1-16. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322012000500006&script=sci_abstract&tlng=en
- Méndez E.R., Romo L.J.R. & Castellanos A.E. (2017). Mapping Changes in Carbon Storage and Productivity Services Provided by Riparian Ecosystems of Semi-Arid Environments in Northwestern Mexico. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 6 (10), 298. <https://doi.org/10.3390/ijgi10110720>

- Mesa-Sierra, N., de la Peña-Domene, M., Campo, J., & Giardina, C. P. (2022). Restoring Mexican tropical dry forests: A national review. *Sustainability*, 14(7), 3937. <https://doi.org/10.3390/su14073937>
- Morfín, R.J.E., Michel F.M.J., González M.R., Carrillo O., Mayorga R., Rangel L., Orozco O.J., Rodríguez A.G. & Guerrero P.G. (2015). Estimación de las reservas de carbono en la biosfera forestal en México. Fortalecimiento de la preparación REDD en México y fomento de la cooperación Sur-Sur. Jalisco: CONAFOR México, 116-121.
<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/35/6917Anexo%208.pdf>
- Morin, P. J. (2011). *Community ecology* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Morales-Gallegos, L. M., Martínez-Trinidad, T., Hernández-de la Rosa, P., Gómez-Guerrero, A., Alvarado-Rosales, D., & Saavedra-Romero, L. de L. (2023). Tree health condition in urban green areas assessed through crown indicators and vegetation indices. *Forests*, 14(8), 1673. <https://doi.org/10.3390/f14081673>
- Moreno-Contreras, M. G., Herrera Flores, T. S., Licea De Anda, E. M., Arratia Castro, A. A., & Medina Haro, A. (2021). Diversidad morfológica del mezquite (*Prosopis* spp.) en la región de Pénjamo, Guanajuato, México. *Entreciencias: Diálogos En La Sociedad Del Conocimiento*, 9(23).
<https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2021.23.7786>
- Muñoz Iniestra, D. J., [coautores]. (2017). Cambios edáficos en islas de fertilidad y su importancia en el funcionamiento de un ecosistema del valle de Tehuacán, Puebla, México. *Terra Latinoamericana*.
- Navar, J., Rodríguez-Flores FdJ, Ríos-Saucedo J. (2019). Biomass estimation equations for mesquite trees (*Prosopis* spp.) in the Americas. *PeerJ*, 7, e6782. <https://doi.org/10.7717/peerj.6782>
- Nelson, H. P., Rivera, J. A., & López, M. R. (2020). A review of tropical dry forest ecosystem service research in the Caribbean. *Ecosystem Services*, 45, 101157. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101157>
- Pasiecznik, N.M., Felker P., Harris P.J.C., Harsh L.N., Cruz G., Tewari J.C., Cadoret K. & Maldonado L.J. (2001). The *Prosopis juliflora* - *Prosopis pallida* Complex: A Monograph; Forest Ecology and Management, 174 (1),172. Doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00559-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00559-5).
- Palacios R.A., Rodríguez L.R., Hernández F.M.L., Jiménez M.E. & Tirado T.D. (2016). Distribución potencial de *Prosopis laevigata* (Humb.

- Et Bonpl. Ex Willd) M.C. Johnston basada en un modelo de nicho ecológico. *Rev mex cienc forestales*, 7 (34), 35-46. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i34.81>
- Pérez N.F.J. (2015). *Tillandsia recurvata* como parásita estructural de *Prosopis laevigata*: Evidencia experimental en el sur del Desierto Chihuahuense [Tesis de Maestría Departamento de Ciencias Ambientales, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica]. <http://hdl.handle.net/11627/4037>
- Pérez-Noyola, F. J., Flores, J., Yáñez-Espinosa, L., & otros. (2021). Is ball moss (*Tillandsia recurvata*) a structural parasite of mesquite (*Prosopis laevigata*)? Anatomical and ecophysiological evidence. *Trees*, 35, 135–144. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-02023->
- Pérez D, Cabirol N., Martínez C.C. & Rojas O. M. (2021). Mesquite management in the Mezquital Valley: A sustainability assessment based on the view point of the Hñähñú indigenous community. *Environmental and Sustainability Indicators*, 10 (100113), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100113>
- Prasad A.R., Maraseni T., Geoff C. (2019). Global trend of forest ecosystem services valuation – An analysis of publications. *Ecosystem Services*, 39, 100979. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100979>
- Pretzsch, H. (2021). Tree–tree interactions, spatial structure, and neighborhood dynamics in mixed-species forests. *Forest Ecology and Management*, 482, 118849. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118849>
- Qiu, J., Chen, D., & Balvanera, P. (2024). Ecosystem service linkages in real landscapes: Mapping biodiversity–function–benefit relationships. *Landscape Ecology*, 39(5), 1123-1139. <https://doi.org/10.1007/s10980-024-01872-9>
- Ramírez M.R., Delgado B.E., Borodanenko A., Pérez M.L., Barrera G.J.L., Nuñez P.H.G. & Ochoa A.N. (2014). Air Layering and Tiny-Air Layering Techniques for Mesquite [*Prosopis laevigata* (H. B. ex Willd.) Johnst. M. C.] Tree Propagation. *Arid Land Research and Management*, 28, 118–128. <https://doi.org/10.1080/15324982.2013.813609>
- Ren, Y., Li, X., & Xu, G. (2023). Spatial and temporal effects on the value of ecosystem services in arid and semi-arid areas. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 1122334. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1122334>
- Rodríguez S.N. E., Rojo M.G.E., Ramírez V.B., Martínez R.R., Cong H.M.C., Medina T.S.M. & Piña R.H.H. (2014). Análisis técnico del árbol de mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. Ex Willd.)

- en México. *Ra Ximhai*, 10 (3), 173-193. DOI: <https://doi.org/10.35197/rx.10.01.e.2014.13.er>
- Rodríguez-Solís, M., Briceño-Elizondo, E., Gamboa-Zúñiga, J. P., & Arias-Aguilar, D. (2015). Biomass assessment, volume equations and crown architecture of *Eucalyptus pellita* F. Muell in a commercial plantation in Mexico. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 12(29), 46–52. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v12i29.2254>
- Roy H. Y., Marion P. C. (2017). International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 Guidance on the Application of the Revised Structure by Fabis Consulting Ltd. The Paddocks, Chestnut Lane, Barton in Fabis, Nottingham, NG11 0AE, UK. https://seea.un.org/sites/seea.un.org/files/lg23_cices_v5.1_final_revised_guidance_03-10-2017.pdf. <https://cices.eu/>
- Salas-Aguilar, V., Carrillo-Anzures, F., & González-Montero, G. (2021). Application of a Bayesian approach to adjust biomass allometric equations: Context Mexico. *Scientia Forestalis*, 49(130), e3682. <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n130.13>
- Saavedra R.L.L., Alvarado R.D., Martínez T.T. & Hernández R.P. (2019). Identification of defects and risks in trees of San Juan de Aragon Forest, Mexico City. *Rev Chapingo Serie Cienc Forestales Amb.* 25 (1), 31- 47. Doi: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.06.049>
- Sánchez Reyes U. J., Niño-Maldonado S., Barrientos- Lozano L., Treviño-Carreón J, Almaguer- Sierra P. (2019). Seasonal microclimatic Variation in a secession gradient of low thorn forest in Northeastern Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 67 (1), 266-277.
- Soto-Correa, J. C., Cambrón-Sandoval, V. H., & Renaud-Rangel, R. (2019). Atributos de las especies arbóreas y su carbono almacenado en la vegetación del municipio de Querétaro, México. *Madera y Bosques*, 25(1), e2511699
- Valenzuela N.L.M., Ríos S.J.C., Barrientos A.K.R., Muro P.G., Sánchez S.J. & Briceño C.E.A. (2015). Estructura y composición florística en dos comunidades de mezquite (*Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) M. C. Johnst.) en Durango, México. *Interc.*, 40 (7), 465-472. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=339400000005>
- Valverde T. & Bernal R. (2010). Hay asincronía demográfica entre poblaciones locales de *Tillandsia recurvata*? Evidencias de su funcionamiento metapoblacional. *Bol Soc Bot Mex*, 86, 23-36. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0366-21282010000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Wang, H., Schurgers, G., Rademacher, T. T., & Smith, M. J. (2022). Stronger wind, smaller tree: Testing tree growth plasticity through a

- modeling approach. *Frontiers in Plant Science*, 13, 971690. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.971690>
- Weather Atlas. (2025) (s. f.). Anual y mensual del tiempo – Lagos de Moreno, México. Recuperado el [17 sep 2025], de <https://www.weather-atlas.com/es/mexico/lagos-de-moreno-clima>
- Yuan, M., Yin, C., Sun, Y., & Chen, W. (2019). Examining the associations between urban built environment and noise pollution in high-density high-rise urban areas: A case study in Wuhan, China. *Sustainable Cities and Society*, 50, 101678. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101678>
- Zarate VJL. (2018). Estudio regional forestal de la UMAFOR Laguna. *Rev Chapingo Serie Cienc Fores Amb*, 25 (1), 31- 47. Doi: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.06.049>

SÍNTESIS CURRICULAR

Lilia García-Azpeitia

Doctora en Ciencia y Tecnología por el Centro Universitario de los Lagos de la Universidad de Guadalajara con enfoque en valoración y caracterización bioquímica de especies nativas con potencial alimentario en ecosistemas semiáridos. Maestra en Ciencias en Alimentos e Ingeniero Bioquímico por el Instituto Tecnológico de Tepic-Tecnológico Nacional de México. Desde 2008 docente investigador en el Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez UA Lagos de Moreno (ITJMMPyH UA LM). Candidato SNII, Profesor de Tiempo Completo-Perfil Deseable PRODEP, coordinadora del cuerpo académico “Sostenibilidad agroindustrial y ambiental”. Proyectos en el área de desarrollo de alimentos y ambiental. Correo electrónico: lilia.garcia@lagos.tecmm.edu.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2942-4248>