



Tipos de vegetación leñosa y su composición florística en el Geoparque Mundial Unesco **Mixteca Alta, Oaxaca**

Woody Vegetation Types and floristic composition in the Unesco Global Geopark Mixteca Alta, Oaxaca

Rosario Ramírez Santiago^{1*}, Quetzalcóatl Orozco-Ramírez¹, Ricardo Clark Tapia² y Miguel Ángel Cruz Ramírez¹

¹ Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. Unidad Académica de Estudios Territoriales - Oaxaca. Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México.

² Universidad de la Sierra Juárez. Instituto de Estudios Ambientales. Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.

* Autora de correspondencia. chayoixt@hotmail.com

RESUMEN

Se describe la cobertura del suelo y la composición florística de los tipos de vegetación leñosa del geoparque Mixteca Alta (GMA), del estado de Oaxaca, mismos que se identificaron mediante una clasificación visual sobre una imagen de satélite Google Earth (2016) y luego fueron verificados en campo. Se identificaron nueve tipos de cobertura del suelo y cuatro tipos de vegetación leñosa, que fueron muestreados para conocer su composición. En los tipos de vegetación leñosa, se establecieron 70 sitios temporales de 500 m² cada uno, en los que se censaron árboles y arbustos. En total se registraron 91 especies, pertenecientes a 55 géneros y 31 familias. La composición florística es similar a la de otras zonas templadas de México, aunque la riqueza de especies es menor. Sin embargo, el bosque de encino y el de pino y encino tienen una mayor riqueza de especies en comparación con el matorral xerófilo y con el de enebro. La composición y estructura muestran que la vegetación es de tipo secundaria, que se ha repoblado mediante un proceso de sucesión secundaria. Debe reconocerse que actualmente el GMA es una zona donde la cobertura forestal se está recuperando y que las comunidades locales han desempeñado un papel en este proceso.

PALABRAS CLAVE: bosque de encino, enebro, estructura, número efectivo de especies, matorral xerófilo, tipos de coberturas.

ABSTRACT

We describe land cover and floristic composition of woody vegetation in the Mixteca Alta Geopark (GMA), in the state of Oaxaca. Land cover types were identified by a visual classification on a satellite imagery from Google Earth (2016). Land cover types were verified on the ground doing fieldtrips. We identified nine land cover types. Four of them were woody vegetation, which were sampled to determine their floristic composition. We set 70 temporal sampling sites of 500 m² each. We counted and measured trees and bushes. In total 91 species were recorded from 55 genus and 31 families. Floristic composition is like other temperate zones in Mexico but, richness in our study site is lower. However, oak forest and oak and pine forest are richer in species than xerophytic scrub and scrub with juniper. The composition and structure show that the vegetation is secondary, it means that it has regrown by secondary succession processes. Currently the GMA area forest cover is growing, and local communities have had a role in this process.

KEYWORDS: oak forest, juniper, structure, effective number of species, xerophytic scrub, cover types.

INTRODUCCIÓN

La región de la Mixteca Alta, localizada al noroeste de Oaxaca, ha sido caracterizada como de alta biodiversidad, con un alto nivel de endemismo (García-Mendoza, Tenorio y Reyes-Santiago, 1994) y una compleja heterogeneidad ambiental y cultural (Palacio-Prieto *et al.*, 2016). No obstante, la región registra una marcada degradación histórica de la cobertura forestal y una intensa erosión del suelo (Guerrero-Arenas, Jiménez-Hidalgo y Santiago-Romero, 2010; Fernández de Castro, Vásquez, Palacio, Peralta y García, 2018) que han modificado la composición de especies y la pérdida de endemismos a escala local (Asbjornsen, Ashton, Vogt y Palacios, 2004a; Aguilar-Santelises y del Castillo, 2013). A la fecha existen pocos estudios ecológicos sobre la estructura, composición y diversidad de los principales tipos de vegetación arbórea que allí se desarrollan (ej. Aguilar-Santelises y del Castillo, 2013; Silva-Aparicio, Castro y Castillo-Campos, 2018), en comparación con otras áreas aledañas como la Reserva de Tehuacán-Cuicatlán (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [semarnat], 2013), los trabajos en la Mixteca Alta se han centrado en listados florísticos (García-Mendoza *et al.*, 1994).

La confluencia de las provincias florístico-fisiográficas de la Mixteca Alta y la Depresión del Balsas (Solano, 1997) propició que la Mixteca Alta albergue más de 1550 taxa nativos, 163 endémicas y 922 exclusivas de la región (García-Mendoza *et al.*, 1994). Sin embargo, la cobertura forestal original de la región no ha estado exenta de cambios y modificaciones, debido a actividades productivas como la agricultura y la ganadería, principalmente. Un estudio retrospectivo de Smith (1976) propone que ciertas zonas del Valle de Nochixtlán se componían de bosques de pino y encino muy cerrados, que no permitían el desarrollo de herbáceas y arbustos en el sotobosque, así como bosques de galería sobre los cauces de ríos.

Para el geoparque Mundial Unesco Mixteca Alta (GMA), se han descrito diversos tipos de vegetación

reconocidos de manera general para toda la región Mixteca Alta, conformados por bosques de pino y encino, matorrales xerófilos (básicamente esclerófilos), palmares y pequeñas áreas con bosque tropical caducifolio y bosque mesófilo de montaña (García-Mendoza *et al.*, 1994). De manera particular para el GMA, se han identificado hasta 13 tipos de vegetación tales como, bosque de encino, bosque de encino y pino, vegetación secundaria arbórea y arbustiva de bosque de encino, matorral secundario, matorral espinoso, pastizal inducido y vegetación ribereña para la cuenca de Yanhuitlán (Oropeza, Vences, Cram, Ortiz y Hermann, 2016), así como bosque de enebro, bosque de encino, bosque tropical caducifolio, matorral xerófilo, matorral subtropical y bosque de galería para una localidad del distrito de Huajuapán (Solano, 1997).

Dentro del GMA, en un estudio sobre transición forestal, se ha observado en los últimos 30 años una recuperación de 20% para la vegetación de pino y encino, y de 80% para vegetación de matorral debido a la migración, abandono parcial de la agricultura, disminución del pastoreo y regulación interna de las comunidades locales sobre el uso de los recursos (Lorenzen, Orozco-Ramírez, Ramírez-Santiago, y Garza, 2020). Sin embargo, desde el punto de vista ecológico y de diversidad, los estudios que se han llevado a cabo en el área son escasos, sobre todo considerando los diversos ambientes y tipos de vegetación que integran al GMA.

OBJETIVOS

Este estudio tuvo como objetivo identificar los tipos de coberturas del suelo, así como caracterizar la estructura, composición y diversidad de los tipos de vegetación leñosa del GMA, desde un punto de vista florístico y fisonómico, con la finalidad de generar información que pueda ser utilizada en los futuros proyectos de restauración y conservación de las comunidades locales que integran el geoparque.



MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Este estudio se llevó a cabo en el territorio del GMA (Fig. 1). El cual se encuentra al noroeste de la ciudad de Oaxaca, en la región de la Mixteca Alta, posee una extensión de 415.4 km² y fue declarado como tal en el año 2017 por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [Unesco]. Lo conforman nueve municipios con dieciséis comunidades agrarias; los municipios que abarca son San Andrés Sinaxtla, San Bartolo Soyaltepec, San Juan Teposcolula, San Juan Yucuita, San Pedro Topiltepec, Santa María Chachoápam, Santiago Tillo, Santo Domingo Tonaltepec y Santo Domingo Yanhuitlán, Topográficamente se considera uno de los territorios más complejos de México, por el contacto

entre la Sierra Madre del Sur y la Sierra Madre Oriental (Rosado, 2016), con un intervalo altitudinal de 2050 m a 2892 m s.n.m. El clima del área presenta tres subtipos de climas templado subhúmedo (C): el Cw0, Cw1 y el Cw2, así como un cuarto subtipo perteneciente al clima semiseco templado BS1Kw (García, 2004; Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [Inegi], 2008). La precipitación anual oscila entre 480 mm y 869 mm en el periodo 1927 a 2016 (Comisión Nacional del Agua [Conagua], 2019). Los suelos dominantes en la región corresponden a los tipos Feozem Cambisol, Castañozem, Litosol, Luvisol, Regosol y Vertisol (Inegi, 1998). El Feozem calcárico, es el dominante, se caracteriza por presentar un color pardo rojizo, de textura arcillosa, con altos contenidos de carbonato de calcio (16.9 %) (Contreras *et al.*, 2003).

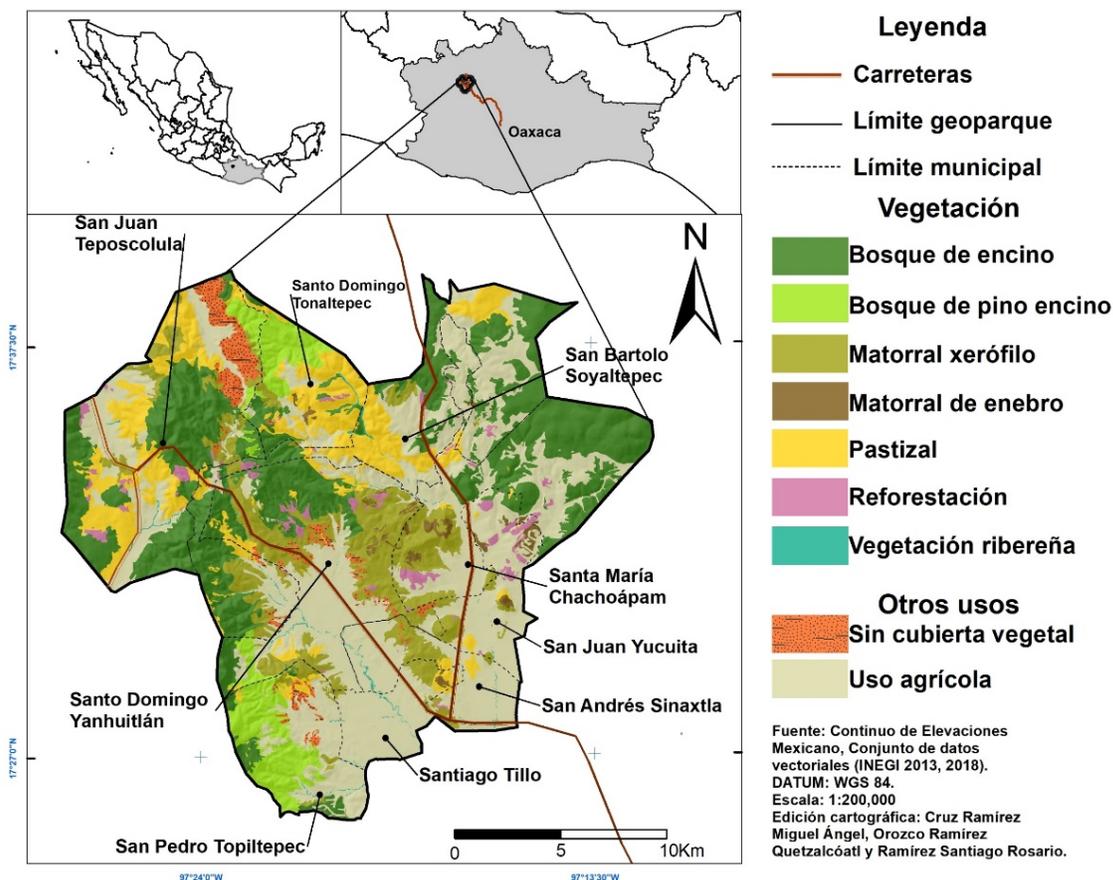


FIGURA 1. Mapa de ubicación y tipos de cobertura del geoparque Mixteca Alta.

Tipos de coberturas del suelo del GMA

El mapa de uso de suelo y vegetación se construyó a partir de la interpretación visual (Lillesand, Kiefer y Chipman, 2015) realizada por expertos en la zona, utilizando como base la imagen de satélite de alta resolución (Maxar Technologies, del 19 de febrero de 2016), disponible en Google Earth. La digitalización de los tipos de cobertura se hizo en Qgis 2.18, que permite importar directamente la imagen de Google Earth georeferenciada. A cada tipo de cobertura se le asignó un tipo de vegetación con base en la clasificación de Rzedowski (2006) y en concordancia con los tipos de vegetación señalados por Smith (1976), García-Mendoza *et al.* (1994) y Oropeza *et al.* (2016). Para verificar la correcta asignación de los tipos de vegetación, se hicieron recorridos de campo. Con la información de estos recorridos, se corrigieron algunos polígonos, para asignarles el tipo de vegetación encontrada en campo.

Composición y diversidad de la vegetación leñosa del GMA

En forma paralela a los recorridos de verificación del mapa de vegetación, se llevó a cabo el muestreo de la vegetación leñosa. Para ello se utilizaron sitios temporales en forma de transectos de 10 m × 50 m (500m²) (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Se aplicó un diseño de muestreo aleatorio simple, el número de cuadrantes varió en función de la superficie del tipo de vegetación. Todos los árboles y arbustos mayores a un metro de altura fueron medidos. Para cada individuo se tomó registro de especie, altura (m), cobertura (mediante la medición de los diámetros mayor y menor en metros) y, solo para los árboles, el diámetro a la altura del pecho (cm). En el centro de cada sitio, se registró localización geográfica, altitud, topografía, orientación, exposición, pendiente del terreno y tipo de vegetación. En total se muestrearon 70 sitios, distribuidos de la siguiente manera: 24 sitios para el bosque de encino; 22 sitios para el bosque de pino y encino; 19 sitios para la vegetación de matorral xerófilo y 5 sitios para el matorral de enebro.

Se colectaron muestras botánicas de las especies registradas en cada sitio, las cuales fueron identificadas

mediante claves taxonómicas y se hicieron consultas al portal en línea del Herbario Nacional de México [MEXU], de la Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM]. Los ejemplares se encuentran depositados en el herbario del GMA. En el caso de los ejemplares de encinos, estos fueron identificados por la Dra. Susana Valencia Ávalos de la Facultad de Ciencias de la UNAM, por lo quedaron depositados en el herbario de la Facultad de Ciencias, UNAM.

Análisis de datos

Los individuos de árboles y arbustos medidos fueron registrados en una base de datos de Excel, agrupándose por tipo de vegetación. Posteriormente, se obtuvo el índice de valor de importancia (IVI) para cada especie y tipo de vegetación para lo cual se calcularon tres variables: dominancia relativa (en este caso se utilizó la cobertura), densidad relativa y frecuencia relativa (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Las dos mediciones de cobertura se utilizaron para obtener el diámetro de copa y posteriormente la superficie de la copa, esta última se utilizó para el cálculo de la dominancia.

Se estimó la completitud del muestreo para cada tipo de vegetación, mediante un análisis de la cobertura de la muestra. La completitud considera la proporción del número total de individuos de las especies representadas en el inventario, por lo que es considerada una medida de la integridad del muestreo (Chao y Jost, 2012). Los valores de completitud varían de 0 (mínima completitud) a 1 (máxima completitud) (Chao y Jost, 2012; González-Tokman, Cultid, Díaz, Ocampo y Martínez, 2018), donde valores mayores a 0.5 son considerados dentro de un inventario aceptable (Hsieh, Ma y Chao, 2016; López-Segoviano, Díaz-Verdugo, Arenas-Navarro y Arizmendi, 2019). Ambos análisis se realizaron con el paquete “iNEXT” 2.0.5 (Hsieh *et al.*, 2016) y “vegan” v. 2.3.-2 (Oksanen, *et al.*, 2015) en el software R versión 3.0.3 (R Core Team, 2014), con intervalos de confianza de 95%.

La diversidad alfa de cada tipo de vegetación se estimó como el número de especies efectivas (Hill, 1973; Jost,



2006; Moreno, Barragán, Pineda y Pavón, 2011). Donde la diversidad de orden cero ($q = 0$, Riqueza de especies) es igual a la riqueza de especies, la diversidad del orden 1 ($q = 1$, Shannon) pesa proporcionalmente todas las especies de acuerdo con su abundancia en la comunidad y la diversidad de orden 2 ($q = 2$, Simpson) da más peso a las especies dominantes.

RESULTADOS

Tipos de coberturas del suelo del GMA

Siguiendo la clasificación de Rzedoswki (2006) para la vegetación, se identificaron nueve tipos de vegetación y dos tipos de coberturas en el GMA (Fig. 1). De estos, el de mayor extensión es el uso agrícola, que cubre 154 km² y representa 37% de la superficie del geoparque; el bosque de encino es el segundo tipo de cobertura más extenso y cubre una superficie de 101 km² (24%); el matorral xerófilo ocupa una superficie de 77 km² (18.6 %), siendo el tercero en extensión; le sigue el pastizal que ocupa una superficie de 39 km² (9%); el bosque de pino y encino que cubre 20 km²

(5%); y el matorral de enebro que ocupa una superficie reducida, de apenas 4 km² (1%).

Se identificaron otros tipos de vegetación y coberturas, como la vegetación ribereña, reforestaciones de *Pinus sp.* y áreas sin cubierta vegetal, que ocupan superficies reducidas y no superan, en conjunto, 6% de la superficie total del geoparque. Cabe destacar que la superficie sin cubierta vegetal solo representa 3% del área de GMA.

Composición y diversidad de la vegetación leñosa del GMA

En relación con el muestreo efectuado, los valores de completitud para cada tipo de vegetación fueron satisfactorios, ya que se obtuvieron valores por arriba de 0.88 en bosque de encino, pino-encino, matorral xerófilo y matorral de enebro; obteniendo el valor más bajo el bosque de encino con 0.88 y el más alto el matorral xerófilo con 0.96, mientras la cobertura de la muestra total para el área fue de 97% de las especies posibles (Fig. 2). Un listado completo de las especies registradas en este estudio se incluye en el suplemento 1.

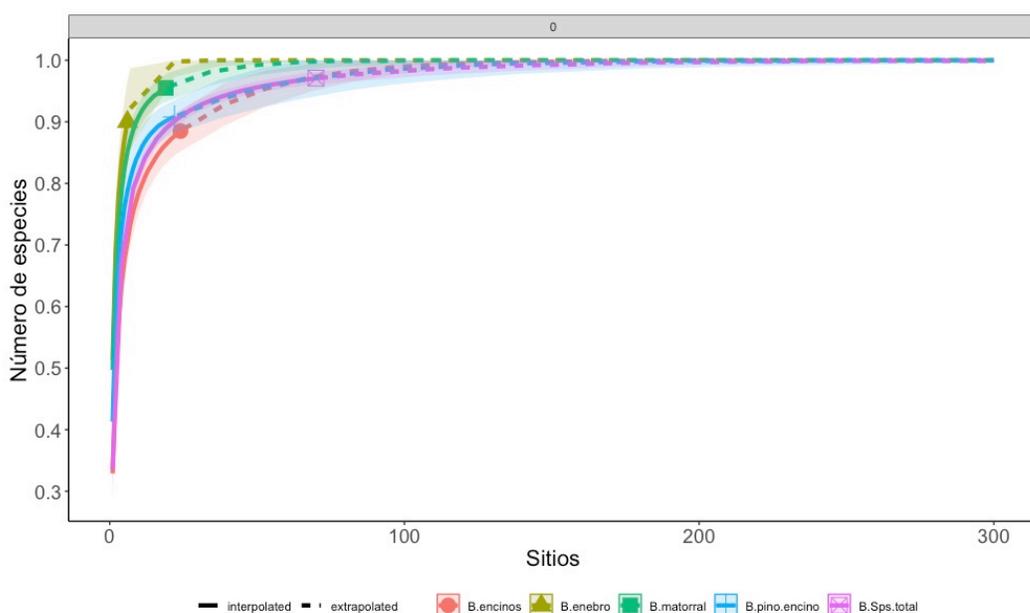


FIGURA 2. Análisis de la cobertura de la muestra basado en el número de individuos recolectados en cuatro tipos de vegetación del geoparque Mixteca Alta (encino, pino y encino, matorral y enebro), así como el total del inventario (B.Sptotal).

Las bandas corresponden al intervalo de confianza a 95%.

En total se registraron 31 familias, distribuidas en 55 géneros y 91 especies, de las cuales 62 son arbustos, 28 corresponden a especies de árboles y una especie de palma del género *Brabea*. Las familias mejor representadas en el GMA, en términos de abundancia relativa son Fagaceae (22%), Compositae (10%) y Ericaceae (9.8%), Rosaceae (8%), Sapindaceae (8%) y Pinaceae (7%). Las tres primeras, son las que registraron el mayor número de especies (Suplemento 1). Además, se registró que 20% de las especies están presentes en los cuatro tipos de vegetación. De estas especies las más representativas por su dominancia son: *Juniperus fláccida*, *Pinus oaxacana*, *Comarostaphylis polifolia*, *Dodonaea viscosa*, *Cercocarpus fothersgilloides*, *Rhus standleyi*, *Quercus liebmanni*, *Garrya laurifolia*, *Malacomeles denticulata*, *Ageratina tomentella* y *Archibaccharis asperifolia* (Tabla 1; Suplemento 1).

A escala de especies, en los cuatro tipos de vegetación (bosque de encino, bosque de pino y encino, matorral de enebro y matorral xerófilo), el estrato arbustivo (48, 38, 18 y 26 especies, respectivamente) fue más rico que el estrato arbóreo (23, 19, 11 y 16 especies respectivamente). Sin embargo, a escala de IVI, los árboles contribuyeron más, que los arbustos en el bosque encino (71% y 29%, respectivamente) y bosque pino-encino (63.1% y 36.9%, respectivamente), aspecto contrario en el matorral de enebro (48.8% y 51.2%, respectivamente) y matorral xerófilo (46.7% y 53.3%, respectivamente) donde la contribución de los arbustos fue ligeramente mayor (Tabla 1).

En el bosque de encino, son precisamente las especies del género *Quercus* las que tuvieron la mayor contribución al IVI, siendo *Quercus rugosa* la de mayor aportación (68%), mientras que en arbustos fueron las especies *A. asperifolia* (9%) y *A. tomentella* (8%). En cambio, en el bosque de pino-encino, la aportación de *Quercus* al IVI fue mucho menor y *P. oaxacana* es la especie con mayor contribución (72%), mientras que en los arbustos fue *D. viscosa* (16.3%). En el matorral de enebro sobresalen entre los árboles *J. fláccida* y *C. fothersgilloides*, con una contribución al IVI de 58% y 31%, respectivamente, mientras que, a nivel arbustivo, sobresalieron *D. viscosa* y *R. standleyi* con un aporte de 30% y 22%, respectivamente. Finalmente, en el matorral xerófilo

las especies arbóreas con mayor contribución al IVI, fueron *C. polifolia* (35%) y *C. fothersgilloides* (23%), y en el arbustivo fueron las mismas especies que en el matorral de enebro, *D. viscosa* (20%) y *R. standleyi* (19%) (Tabla 1). Los valores de IVI para todas las especies registradas se incluyen en el suplemento 1.

Al comparar la riqueza efectiva de especies entre tipos de vegetación, con referencia a la abundancia total de especies de árboles y arbustos del área de estudio (91 especies), el número efectivo de especies ($q=0$) fue de 71 para el bosque de encino, 57 para el pino-encino, y significativamente diferente con respecto a matorral xerófilo (43) y al matorral de enebro (29) (Fig. 3.0). La diversidad de especies medianamente abundantes, que corresponde al exponente de la diversidad de Shannon ($q=1$), fue de 49 y 40 para bosque de encino y pino-encino, difiriendo significativamente del matorral xerófilo y el matorral de enebro, que presentaron 29 y 22, respectivamente (Fig. 3.1). De igual manera, los valores de $q = 2$ (el inverso del índice de Simpson) muestran que el matorral xerófilo y matorral de enebro presentaron significativamente menor número de especies dominantes (25), con respecto al bosque de encino (34) y al de pino-encino (29) (Fig. 3.2).

DISCUSIÓN

Tipos de coberturas del suelo del GMA

Los tipos de vegetación señalados en este estudio coinciden con los mencionados para la región Mixteca por García-Mendoza *et al.* (1994), por Torres-Colín (2004,) y por Oropeza *et al.* (2016). Su presencia y desarrollo están relacionados con las condiciones geológicas, topográficas y climáticas de la región, pero sobre todo han estado sujetos a cambio, por las actividades humanas, que se llevan a cabo por parte de las comunidades locales (García-Mendoza *et al.*, 1994; Solano, 1997). Lo que provocó que, en décadas pasadas, gran parte de la vegetación fuera eliminada en la región de la Mixteca, incluida el área de estudio del GMA (Smith, 1976; García-Mendoza *et al.*, 1994; Solano, 1997; Oropeza *et al.*, 2016).



TABLA 1. Índice de valor de importancia para las especies de árboles y arbustos (> 1 m de altura) de mayor dominancia en los tipos de vegetación leñosa del geoparque Mixteca Alta.

Tipo de vegetación	Forma de vida	Especie	IVI %
Bosque de encino	Árbol	<i>Quercus rugosa</i> Née	68.205
Bosque de encino	Árbol	<i>Quercus castanea</i> Née	31.506
Bosque de encino	Árbol	<i>Quercus liebmannii</i> Oerst. ex Trel.	21.440
Bosque de encino	Árbol	<i>Quercus deserticola</i> Trel.	19.197
Bosque de encino	Árbol	<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.	14.385
Bosque de encino	Árbol	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	11.452
Bosque de encino	Árbol	<i>Comarostaphylis polifolia</i> (Kunth) Zucc. ex Klotzsch	11.407
Bosque de encino	Árbol	<i>Juniperus flaccida</i> Schldt.	10.546
Bosque de encino	Arbusto	<i>Archibaccharis asperifolia</i> (Benth.) S.F.Blake	9.187
Bosque de encino	Arbusto	<i>Ageratina tomentella</i> (Schrad.) R.M.King & H.Rob.	8.928
Bosque de pino y encino	Árbol	<i>Pinus oaxacana</i> Mirov	72.658
Bosque de pino y encino	Árbol	<i>Juniperus flaccida</i> Schldt.	22.471
Bosque de pino y encino	Árbol	<i>Quercus rugosa</i> Née	19.344
Bosque de pino y encino	Arbusto	<i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq.	16.145
Bosque de pino y encino	Arbusto	<i>Garrya laurifolia</i> Benth.	16.039
Bosque de pino y encino	Árbol	<i>Quercus liebmannii</i> Oerst. ex Trel.	15.268
Bosque de pino y encino	Árbol	<i>Quercus deserticola</i> Trel.	14.289
Bosque de pino y encino	Árbol	<i>Comarostaphylis polifolia</i> (Kunth) Zucc. ex Klotzsch	11.820
Bosque de pino y encino	Arbusto	<i>Rhus standleyi</i> F.A. Barkley	10.189
Bosque de pino y encino	Árbol	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	8.840
Matoterral xerófilo	Árbol	<i>Comarostaphylis polifolia</i> (Kunth) Zucc. ex Klotzsch	35.438
Matoterral xerófilo	Árbol	<i>Cercocarpus fothersgilloides</i> Kunth	23.958
Matoterral xerófilo	Arbusto	<i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq.	20.944
Matoterral xerófilo	Árbol	<i>Juniperus flaccida</i> Schldt.	20.815
Matoterral xerófilo	Arbusto	<i>Rhus standleyi</i> F.A. Barkley	19.894
Matoterral xerófilo	Arbusto	<i>Garrya laurifolia</i> Benth.	17.100
Matoterral xerófilo	Árbol	<i>Quercus grahamii</i> Benth.	14.603
Matoterral xerófilo	Arbusto	<i>Malacomeles denticulata</i> (Kunth) G.N.Jones	12.775
Matoterral xerófilo	Palma	<i>Brahea</i> sp.	11.462
Matoterral xerófilo	Árbol	<i>Quercus liebmannii</i> Oerst. ex Trel.	11.046
Matorral de enebro	Árbol	<i>Juniperus flaccida</i> Schldt.	58.715
Matorral de enebro	Árbol	<i>Cercocarpus fothersgilloides</i> Kunth	31.680
Matorral de enebro	Arbusto	<i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq.	30.113
Matorral de enebro	Arbusto	<i>Rhus standleyi</i> F.A. Barkley	22.831
Matorral de enebro	Árbol	<i>Comarostaphylis polifolia</i> (Kunth) Zucc. ex Klotzsch	21.343
Matorral de enebro	Arbusto	<i>Malacomeles denticulata</i> (Kunth) G.N.Jones	18.385
Matorral de enebro	Arbusto	<i>Salvia semiatrata</i> Zucc.	17.128
Matorral de enebro	Árbol	<i>Pinus oaxacana</i> Mirov	15.369
Matorral de enebro	Arbusto	<i>Mimosa</i> sp.	12.073
Matorral de enebro	Arbusto	<i>Archibaccharis asperifolia</i> (Benth.) S.F.Blake	10.696

El orden de las especies es de acuerdo con su valor de IVI.

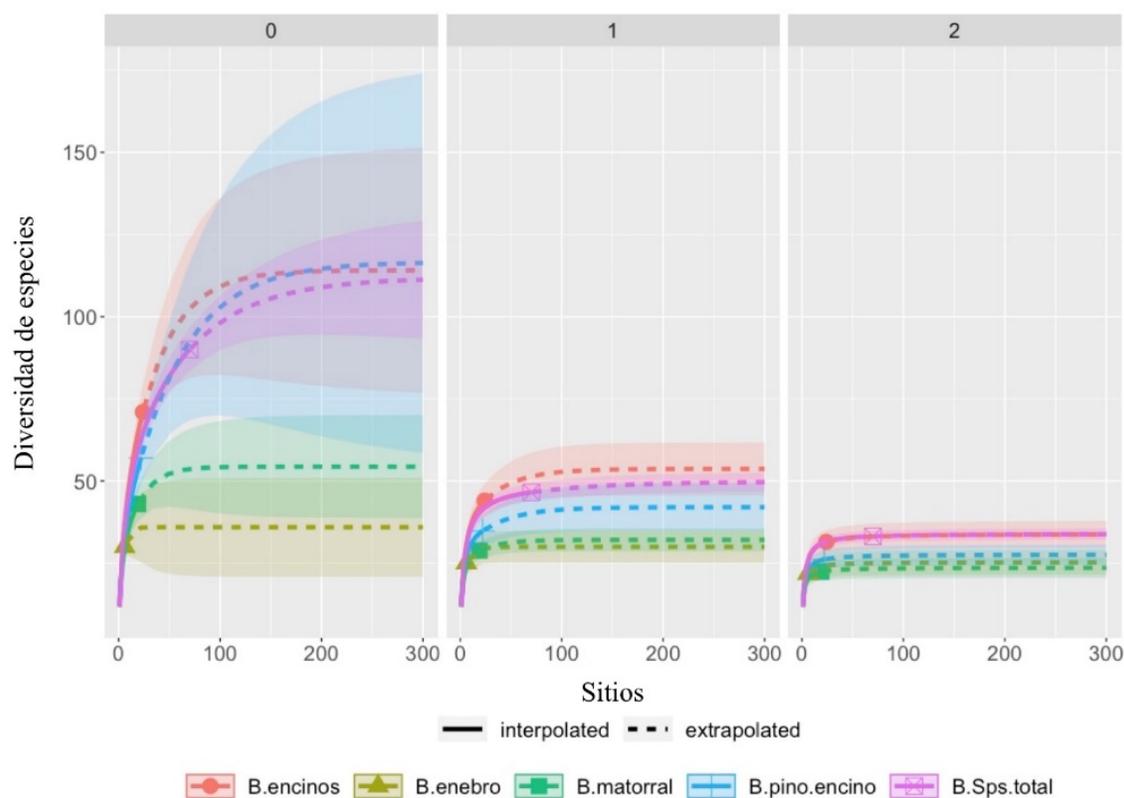


FIGURA 3. Curvas de interpolación (rarefacción)/extrapolación de la diversidad de especies arbóreas y arbustivas en cuatro tipos de vegetación leñosa del geoparque Mixteca Alta (encino, pino y encino, matorral y enebro), con base en los números de Hill: a) $q=0$: riqueza (número efectivo de especies), b) $q=1$: exponente de la diversidad Shannon, c) $q=2$: inverso del índice de diversidad de Simpson. B.Sptotal es de referencia al acumulado total de especies que presentó la región.

Las bandas corresponden al intervalo de confianza a 95%.

No obstante, en las últimas décadas, esta región ha tenido cambios en el uso del suelo, como consecuencia del abandono de la agricultura debido a la migración de la población, así como a la modificación en las actividades productivas en los medios de vida de los pobladores y a la regulación sobre el acceso y uso de los recursos naturales, que ha conducido a un incremento en la superficie que ocupa actualmente la vegetación leñosa (Lorenzen *et al.*, 2020), lo cual es ratificado en este estudio.

Aunque la agricultura es la cobertura dominante del suelo, el incremento de la vegetación se ve reflejado en los bosques de encino y matorral xerófilo que, sumados, representan 42.6% de la cobertura vegetal dentro del GMA

y, en menor medida, también contribuye la cobertura del bosque de pino y encino, así como la del matorral de enebro.

La sucesión secundaria ha sido el factor clave en el aumento de la cobertura leñosa, en comparación con otros mecanismos de restauración como las reforestaciones locales de *Pinus sp.*, como lo confirman las características de composición y estructura registrados en este estudio para el GMA, y en concordancia con lo expuesto por Oropeza *et al.* (2016) y Lorenzen *et al.* (2020). Por lo que, de acuerdo con Almazán, Corcuera, Parra, Jiménez y Charre (2016) y Zakkak *et al.* (2018), el mecanismo de restauración mediante sucesión secundaria debería ser considerado de forma más



amplia ya que, como Uriarte y Chazdon (2016) sugieren, este mecanismo presenta ventajas no solo ecológicas, sino también económicas y sociales para las poblaciones locales y bien puede aplicarse en combinación con la reforestación con especies nativas.

Composición y diversidad de la vegetación leñosa del GMA

Con respecto al muestreo efectuado, los valores de completitud obtenidos en los cuatro tipos de vegetación (> 0.8) sugieren un buen esfuerzo de muestreo (Hsieh *et al.*, 2016; López-Segoviano *et al.* 2019), sin embargo, como indican López-Segoviano *et al.* (2019), ello no implica que no se puedan registrar nuevas especies, en estudios futuros fuera de los puntos de muestreo.

En cuanto a la composición florística, las familias de mayor abundancia relativa coinciden con las registradas para otras áreas de bosque templado de México (Vásquez, Clark, Manzano, González y Aguirre, 2018; Zacarías y del Castillo, 2010; Aguilar-Santelises y del Castillo, 2013; Almazán *et al.*, 2016). En el caso particular del GMA, la composición florística está caracterizada por la dominancia de especies que han sido consideradas en otros estudios como pioneras o adaptadas a ambientes perturbados (P. ej. *C. polifolia*, *C. fobergilloides*, *D. viscosa*, *J. flácida*, *Rhus sp.*, *P. Oaxacana*, *Q. rugosa*, *Q. liebmanii*, entre otras) (Smith, 1976; García *et al.*, 1994; Asbjornsen, Vogt y Ashton, 2004b; Acosta, González y Ruacho, 2014; Almazán *et al.*, 2016; Oropeza *et al.*, 2016), así como por la dominancia de formas de vida arbustiva. Rasgos que, de acuerdo con Bongers, Poorter, Hawthorne y Sheil (2009), son representativos de estadios sucesionales tempranos.

Aunque los tipos de vegetación comparten la composición florística caracterizada por especies pioneras, estos difieren entre sí, en cuanto a la especie y a la forma de vida dominante. Resultados que concuerdan con lo señalado por Almazán *et al.* (2016), quienes indican que las especies pioneras presentes en los estadios sucesionales tempranos también pueden estar presentes en los estadios subsecuentes y promover el establecimiento de especies

sucesionales tardías. En el caso del GMA, la vegetación de matorral (matorral xerófilo y matorral de enebro) ha sido considerada una fase sucesional derivada de la eliminación del bosque de encino (Oropeza *et al.*, 2016), lo que confirma los resultados de este estudio.

Por otro lado, la riqueza de especies de los tipos de vegetación leñosa, en general, es baja en comparación con otras áreas de bosque templado del país (Valenzuela-Núñez y Granados-Sánchez, 2009; Aguilar-Santelises y del Castillo, 2013; Almazán *et al.*, 2016; Ramírez-Santiago *et al.*, 2019). Lo anterior puede ser atribuido a factores ambientales y antrópicos. Como Torres (2004) señala, los bosques templados del interior del estado de Oaxaca, como en el caso de la Mixteca Alta, suelen presentar una menor riqueza de especies debido a una menor incidencia de humedad y precipitación (Torres, 2004), así lo señalan también Zacarías y del Castillo (2010) para bosques templados ubicados en regiones de sotavento de Oaxaca. Aunque también influye el uso histórico del suelo que la región ha tenido (tala, pastoreo, uso agrícola) y que ha propiciado la pérdida de diversidad (García-Mendoza *et al.*, 1994; Aguilar-Santelises y del Castillo, 2013).

No obstante lo anterior, cabe destacar que en cuanto a la diversidad de especies (Shannon y Simpson) registrada en los tipos de vegetación estudiados existe una mayor diversidad en los bosques de encino y pino-encino, en comparación con el matorral xerófilo y con el matorral de enebro, lo que puede ser resultado de una mayor estabilidad de las especies, debido a un menor impacto de actividades humanas y a un estadio sucesional más avanzado (Almazán *et al.*, 2016), lo que permite la presencia de un mayor número de especies arbóreas, sobre todo encinos y algunas coníferas, que contribuyen a aumentar la diversidad vegetal (Estrada *et al.*, 2012). Esto se ve reflejado en los valores del IVI, donde las especies arbóreas tienen una mayor contribución, caso contrario al matorral xerófilo y al matorral de enebro, donde sobresalen especies arbustivas, lo cual es una característica en bosques templados sometidos a procesos de perturbación antrópica como la agricultura, el pastoreo y la tala (Encina *et al.*, 2009;

González *et al.*, 2009; Aguilar-Santelises y del Castillo, 2013; Granados, Giné y García, 2014).

CONCLUSIONES

La vegetación arbórea del GMA es de tipo secundario, está caracterizada por una composición florística dominada por especies pioneras y con una riqueza comparativamente baja en relación con otros bosques templados. Los tipos de vegetación del GMA revelan que existe una recuperación de la cobertura vegetal mediante el mecanismo de sucesión secundaria.

El conocimiento de las características de las áreas de vegetación leñosa del GMA puede contribuir con información que enriquezca las acciones de reforestación y proyectos de conservación locales. Por ejemplo, las características de la vegetación leñosa aportan información sobre las especies de árboles y arbustos que podrían utilizarse para llevar a cabo reforestaciones en las áreas más degradadas del GMA.

Las comunidades que integran el geoparque han llevado a cabo acciones que han contribuido al mantenimiento de la cobertura vegetal. No obstante, aún se requiere de más investigaciones sobre las características de la vegetación, que incluya las especies de herbáceas y los procesos de sucesión secundaria que tienen lugar en el GMA, así como el papel de los factores ambientales y de las actividades humanas, principalmente del pastoreo, sobre estas áreas.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM por el financiamiento para el trabajo de campo a través de los proyectos: PAPIIT IA300819 (Paisaje, agricultura y agrobiodiversidad en el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta) y PAPIME PE303519 (Diseño de un manual de prácticas de campo para el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta) y por la beca de posdoctorado otorgada a Rosario Ramírez; también agradecen la colaboración de la Dra. Susana Valencia Ávalos de la Facultad de Ciencias de la UNAM, a la Dra. María A. Guillermo y al M.C. Juvenal Aragón Parada

por la identificación de las especies listadas en este artículo. De manera especial, se agradece a las comunidades locales y guías del GMA por la autorización y colaboración en la realización de este estudio. Así mismo, a todos los estudiantes que colaboraron con la toma de datos en campo.

REFERENCIAS

- Acosta, C.A., González, M., & Ruacho, L. (2014). Conocimiento actual de *Dodonaea viscosa* (Sapindaceae) en Durango: una revisión. *Vidsupra*, 6(1), 19-22. Recuperado de <http://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/20732>
- Aguilar-Santelises, R., & del Castillo, R.F. (2013). Factors affecting woody plant species diversity of fragmented seasonally dry oak forests in the Mixteca Alta, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84, 575-590. doi: 10.7550/rmb.30458
- Almazán, C.R., Corcuera, P., Parra, L., Jiménez, J., & Charre, G. (2016). Changes in structure and diversity of woody plants in a secondary mixed pine-pak forest in the Sierra Madre del Sur of Mexico. *Forests*, 7(4), 90. doi:10.3390/f7040090
- Asbjornsen, H., Ashton, M. A., Vogt, D. J., & Palacios, S. (2004a). Effects of habitat fragmentation on the suffering capacity of edge environments in a seasonally dry tropical oak forest ecosystem in Oaxaca, Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 103(3), 481-495. doi: 10.1016/j.agee.2003.11.008
- Asbjornsen, H., Vogt, K. A., & Ashton, M. S. (2004b). Synergistic responses of oak, pine and shrub seedlings to edge environments and drought in a fragmented tropical highland oak forest, Oaxaca, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 192(2-3), 313-334. doi: 10.1016/j.foreco.2004.01.035
- Bongers, F., Poorter, L., Hawthorne, W.D., Sheil, D. (2009). The intermediate disturbance hypothesis applies to tropical forests, but disturbance contributes little to tree diversity. *Ecology Letters*, 12(8), 798-805. doi: 10.1111/j.1461-0248.2009.01329.x12, 1-8.
- Chao, A., & Jost, L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93(12), 2533-2547. doi:10.1890/11-1952.1
- Comisión Nacional del Agua [Conagua]. (2019). *Registro mensual de precipitación pluvial en mm*. México: Conafor. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/app/cuadroentidad/Oax/2019/01/1_6_3
- Contreras, J. R., Volke, V., Oropeza, J. L., Rodríguez, C., Martínez, T., & Martínez, A. (2003). Estado actual y causas de la degradación



- de los agostaderos en el municipio de Yanhuitlán, Oaxaca. *Terra Latinoamericana*, 21(3), 427–435.
- Encina, A. J., Zárate, A., Estrada, E., Valdés, J., & Villarreal, J. A. (2009). Composición y aspectos estructurales de los bosques de encino de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Acta Botánica Mexicana*, 86, 71-108. doi: 10.21829/abm86.2009.1078
- Estrada, E., Villarreal, J. A., Jurado, E., Cantú, C., García, M. A., Sánchez, J., Jiménez, J., & Pando, M. (2012). Clasificación, estructura y diversidad del matorral submontano adyacente a la planicie costera del Golfo Norte en el Noreste de México. *Botanical Sciences*, 90(1), 37-52.
- Fernández de Castro, G., Vázquez Selem, L., Palacio Prieto, J. L., Peralta Higuera, A., & García Romero, A. (2018). Geomorfometría y cálculo de erosión hídrica en diferentes litologías a través de fotogrametría digital con drones. *Investigaciones Geográficas*, 96, 0-0. doi: 10.14350/ig.59548
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- García-Mendoza, A., Tenorio, P., & Reyes, J. (1994). El endemismo en la flora fanerogámica de la Mixteca Alta, Oaxaca-Puebla, México. *Acta Botánica Mexicana*, 27, 53-73. doi: 10.21829/abm27.1994.710
- González, M., Ramírez, N., Galindo, L., Camacho, A., Golicher, D., Cayuela, L., & Rey, J. M. (2009). Tendencias y proyecciones del uso del suelo y la diversidad florística en Los Altos de Chiapas, México. *Investigación Ambiental*, 1(1), 40-53.
- González-Tokman, D., Cultid, C., Díaz, A., Ocampo, L., & Martínez, C. (2018). Success or failure: the role of ecological restoration on the recovery of dung beetle diversity and function in a tropical rainforest. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89, 232–242. doi:10.22201/ib.20078706e.2018.1.2132
- Granados, C., Giné, D. S., & García, A. (2014). Efecto de borde en la composición y en la estructura de los bosques templados, Sierra de Monte-Alto, Centro de México. *Caldasia*, 36(2), 269-287. doi: 10.15446/caldasia
- Guerrero-Arenas, R., Jiménez-Hidalgo, E., & Santiago-Romero, H. (2010). La transformación de los ecosistemas de la Mixteca Alta oaxaqueña desde el Pleistoceno Tardío hasta el Holoceno. *Ciencia y Mar*, 14(40), 61-68.
- Hill, M. O. (1973). Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54, 427–432. doi: 10.2307/1934352
- Hsieh, T. C., Ma, K. H., & Chao, A. (2016). iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, 7(12), 1451-1456. doi: 10.1111/2041-210X.12613
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [Inegi] (1998). *Conjunto de datos vectoriales de la carta Edafológica*, serie I, Oaxaca, escala 1:250 000. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825234393>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [Inegi] (2008). *Conjunto de datos vectoriales. Unidades climáticas*, escala 1: 1000 000. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113, 363-375. doi: 10.1111/2041-210X.12613
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons.
- López-Segoviano, G., Díaz-Verduzco, L., Arenas-Navarro, M., & Arizmendi, M. C. (2019). Diversidad estacional de aves en una región prioritaria para la conservación en el centro oeste de la Sierra Madre Occidental. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90, e902754. doi: 10.22201/ib.20078706e.2019.90.2754
- Lorenzen, M., Orozco-Ramírez, Q., Ramírez-Santiago, R., & Garza, G.G. (2020). Migration, socioeconomic transformation, and land-use change in Mexico's Mixteca Alta: Lessons for forest transition theory. *Land Use Policy*, 95, 104580. doi: 10.1016/j.landusepol.2020.104580
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T.S. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. Santa Cruz, Bolivia: Bolfor.
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., & Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(4), 1249-1261.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H., & Wagner, H. (2015). *The vegan package. Community ecology package*. R package version 2.3-2. Recuperado de <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Oropeza, O., Vences, D., Cram, S., Ortiz, M., & Hermann, M. (2016). Caracterización del medio natural de la cuenca de Yanhuitlán. En M. Hermann (Coord.), *Configuraciones territoriales en la Mixteca. Volumen II. Estudios de geografía y arqueología* (pp. 35-76). México: Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social.
- Palacio-Prieto, J. L., Rosado-González, E., Ramírez-Miguel, X., Oropeza-Orozco, O., Cram-Heydrich, S., Ortiz-Pérez, M. A., & Fernández de Castro-Martínez, G. (2016). Erosion, culture and

- geohéritage; the case of Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca, México. *Geohéritage*, 8(4), 359-369. doi: 10.1007/s12371-016-0175-2
- R Core Team (2014). *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Recuperado de <https://www.R-project.org/>
- Ramírez-Santiago, R., Ángeles, G., Hernández de La Rosa, P., Cetina, V.M., Plascencia, F.O., & Clark, R. (2019). Efectos del aprovechamiento forestal en la estructura, diversidad y dinámica de rodales mixtos en la Sierra Juárez de Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 25(3), e2531818. doi: 10.21829/myb.2019.2531818
- Rosado, E. (2016). *El Geoparque de la Mixteca Alta, propuesta de incorporación a los Geoparques Globales de la UNESCO, Oaxaca, México*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat]. (2013). *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán*. México: Semarnat. Recuperado de https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/tehuacan_2013.pdf
- Silva-Aparicio, M., Castro, A., & Castillo-Campos, G. (2018). Estructura y composición de leñosas en dos bosques de las regiones Mixteca y Valles Centrales de Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 24(1), e2411445. doi: 10.21829/myb.2018.2411445
- Smith, C. E. (1976). *Modern vegetation and ancient plant remains of the Nochistlan Valley, Oaxaca*. Publication in Anthropology no. 16. Nashville, Tennessee: Vanderbilt University.
- Solano, L. (1997). Estudio florístico y descripción de la vegetación del municipio de Asunción Cuyotepeji, distrito de Huajuapán de León, Oaxaca, México. *Polibotánica*, 5, 37-35.
- Torres, C. (2004). Tipos de vegetación. En A. Mendoza, M. J. Ordoñez, & M. Briones (Eds.), *Biodiversidad de Oaxaca* (pp. 105-117). México: Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund.
- Uriarte, M., & Chazdon, R. (2016). Incorporating natural regeneration in forest landscape restoration in tropical regions: synthesis and key research gaps. *Biotropica*, 48(6), 915-924. doi.org/10.1111/btp.12411
- Valenzuela-Núñez, L. M., & Granados-Sánchez, D. (2009). Caracterización fisonómica y ordenación de la vegetación en el área de influencia de El Salto, Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 15(1), 29-42.
- Vásquez, V. F., Clark, R., Manzano, F., González, G., & Aguirre, V. (2018). Estructura, composición y diversidad arbórea y arbustiva en tres condiciones de manejo forestal de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Madera y Bosques*, 24(3), 1-13. doi: 10.21829/myb.2018.2431649
- Zacarias, Y., & del Castillo, R.F. (2010). Comunidades vegetales templadas de la Sierra Juárez, Oaxaca: Pisos altitudinales y sus posibles implicaciones ante el cambio climático. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 87, 13-28.
- Zakkak, S., Radović, A., Panitsa, M., Vassilev, K., Shuka, L., Kuttner, M., Schindler, S., & Vassiliki, K. (2018). Vegetation patterns along agricultural land abandonment in the Balkans. *Journal of Vegetation Science*, 29(5), 877-886. doi: 10.1111/jvs.12670

Manuscrito recibido el 23 de julio de 2020

Aceptado el 12 de junio de 2021

Publicado el 30 de diciembre de 2021

Este documento se debe citar como:

Ramírez Santiago, R., Orozco-Ramírez, Q., Clark Tapia, R., & Cruz Ramírez, M. Á. (2021). Tipos de vegetación leñosa y su composición florística en el Geoparque Mundial Unesco, Mixteca Alta, Oaxaca. *Madera y Bosques*, 27(3), e2732228. doi: 10.21829/myb.2021.2732228



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.