

BIODIVERSIDAD DE LAS PRADERAS TEMPLADAS DEL NORTE DE OAXACA, MÉXICO

¹ CARLOS MARTORELL¹, ^{1*} DIEGO GARCÍA-MEZA^{1*}, ¹ RUBÍ BUSTAMANTE-GARCÍA¹, ² JOSÉ LUIS VILLASEÑOR²,
³ JORGE GABRIEL SÁNCHEZ KEN³, ² LETICIA TORRES-COLÍN², ² ALFONSO DELGADO-SALINAS², ³ VÍCTOR W. STEINMANN³,
⁴ ERNESTO VELÁZQUEZ-MONTES⁴, ⁵ ADOLFO ESPEJO-SERNA⁵, ⁵ ANA ROSA LÓPEZ-FERRARI⁵, ⁶ M. SOCORRO GONZÁLEZ-ELIZONDO⁶,
⁶ JESÚS GUADALUPE GONZÁLEZ-GALLEGOS⁶, ⁶ LEONARDO OSVALDO ALVARADO-CÁRDENAS⁶,
⁴ CARLA SOFÍA ISLAS-HERNÁNDEZ⁴, ⁴ ROSA MARÍA FONSECA-JUÁREZ⁴, ⁷ ELEAZAR CARRANZA⁷, ⁸ FRANCISCO LOREA-HERNÁNDEZ⁸,
² CARLOS GÓMEZ-HINOSTROSA², ² HÉCTOR M. HERNÁNDEZ², ² HILDA FLORES-OLVERA², ³ EMMANUEL PÉREZ-CALIX³,
² LUIS HERNÁNDEZ-SANDOVAL², ³ MARIE-STÉPHANIE SAMAIN³ Y ³ PATRICIA HERNÁNDEZ-LEDESMA³

¹ Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

² Departamento de Botánica, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

³ Red de Diversidad Biológica del Occidente Mexicano, Centro Regional del Bajío, Instituto de Ecología A.C., Pátzcuaro, Michoacán, México.

⁴ Departamento de Biología Comparada, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

⁵ Herbario Metropolitano, Departamento de Biología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, Ciudad de México, México.

⁶ Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional, Durango, Durango, México.

⁷ Investigador independiente, San Luis Potosí, México.

⁸ Instituto de Ecología, A. C., Xalapa, Veracruz, México.

⁹ Laboratorio Nacional de Identificación y Caracterización Vegetal (LaniVeg), Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Juriquilla, Querétaro, México.

*Autor de correspondencia: dgm@ciencias.unam.mx

Resumen

Antecedentes: A pesar de su gran diversidad y la grave amenaza a la que están expuestos, los pastizales templados han recibido escasa atención.

Pregunta: Este estudio examina la biodiversidad de paisajes y taxonomía en los pastizales templados de Oaxaca.

Especies estudiadas: Flora vascular.

Sitio de estudio y fechas: Los pastizales volcánicos (PV), calcícolas (PC) y sabanas de encino (SE) del norte de Oaxaca entre 2021 y 2022.

Métodos: Tras delimitar los tres sistemas realizamos colectas, describimos la vegetación y discutimos su estado de conservación.

Resultados: Los PV y PC son los más diversos. En los PV, la diversidad se ve favorecida por el pastoreo, cuya ausencia promueve la invasión por plantas exóticas y pérdida de especies. Los PC han sufrido graves impactos debido a la agricultura, el sobrepastoreo y la plantación de pinos. Las SE son las menos diversas, aunque las menos muestreadas, y albergan especies importantes para su conservación. En total se documentaron 857 especies de plantas vasculares (aunque los datos indican que esto es una subestimación considerable), siendo el segundo pastizal más diverso de Norteamérica y comprendiendo 25 % de las especies del Valle de Tehuacán-Cuicatlán en 0.7 % de su superficie. Las familias más diversas fueron Asteraceae, Poaceae, Fabaceae, Lamiaceae y Euphorbiaceae. El 37 % de las especies son endémicas de México, algunas especies microendémicas (3) y 26 amenazadas. Además, se descubrieron tres nuevos taxones.

Conclusiones: Nuestros resultados subrayan la importancia de conocer y conservar las praderas intertropicales templadas de México ante la rápida destrucción que enfrentan.

Palabras clave: Amenazas, diversidad de paisajes, diversidad taxonómica, inventario florístico, pastizal, sabana de encino.

Abstract

Background: Despite their great diversity and the grave threats they face, temperate prairies have been overlooked.

Question: This study addresses the ecosystem and taxonomic diversity of plants in the temperate prairies of Oaxaca.

Studied species: All vascular plants.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License CCBY-NC (4.0) internacional.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Study site and dates: The volcanic (VG) and calcicole grasslands (CG) and the oak savannas (OS) of northern Oaxaca in 2021 and 2022.

Methods: After delimiting these three systems, we collected vouchers and described the vegetation and its conservation status.

Results: VG and CG were the most diverse. In VG diversity is favored by grazing, and its suppression promotes exotic-plant invasion and diversity losses. CG has been heavily impacted by agriculture, overgrazing and pine afforestation. OS were the least diverse but the least sampled, and harbor plants that are important for conservation. In total we found 857 vascular plant species (although data show that this is a substantial underestimation), being the second most diverse grasslands in North America and encompassing 25 % of the species in the Tehuacán-Cuicatlán Valley in just 0.7 % of its area. The most diverse families were Asteraceae, Poaceae, Fabaceae, Lamiaceae and Euphorbiaceae. 37 % of the species are endemic to Mexico, with some microendemisms (3) and 26 threatened species. Four new taxa were discovered.

Conclusions: Our results highlight the importance of studying and preserving the intertropical temperate prairies of Mexico due to the rapid destruction they face.

Keywords: Ecosystem diversity, floristic inventory, grassland, oak savanna, taxonomic diversity, threats.

Los pastizales templados son quizá el bioma más amenazado en el mundo (Mace *et al.* 2005). Constituyen el sistema que había perdido la mayor proporción de su superficie hacia mediados del siglo XX y el que sufrió la destrucción más rápida a partir de 1950 (Mace *et al.* 2005). También es el bioma que tiene menor superficie resguardada por áreas naturales protegidas (Hoekstra *et al.* 2005). Además, están siendo destruidos en nombre del cuidado de la naturaleza gracias a la generalización acrítica de nociones conservacionistas aplicables a otros biomas. El ganado ha sido responsable de mantener la enorme diversidad y funcionamiento de los pastizales templados tras la extinción de la fauna pleistocénica (Feurdean *et al.* 2018) y actualmente enfrentan el retiro indebido de este. Hay también proyectos colosales de “reforestación” que pretenden transformar 9,000,000 km² de pastizales naturales en plantaciones forestales o sembrar un billón de árboles (Veldman *et al.* 2011, 2019), lo cual es particularmente grave ya que, una vez que un pastizal ha sido destruido, requiere al menos 200 años para recuperar su diversidad (Nerlekar & Veldman 2020).

La razón detrás de este abandono (y franco ecocidio) es principalmente la ignorancia y el inadecuado manejo que se le ha dado a este bioma. La proliferación de pastizales secundarios como resultado de la deforestación, incendios o cambio de uso de suelos ha promovido una fuerte descalificación ecológica de todos los herbazales, incluidos los pastizales naturales. Sin embargo, estos últimos destacan por su enorme diversidad, la gran cantidad de fauna silvestre que depende de ellos, y sus endemismos (Pärtel *et al.* 2005, Bond 2016, 2019, Murphy *et al.* 2016). Junto con los bosques tropicales húmedos, los pastizales templados constituyen el único bioma que ostenta récords mundiales de diversidad vegetal (Wilson *et al.* 2012).

El único de estos récords mundiales de diversidad que se ha documentado en México se encuentra en los pastizales templados del norte de Oaxaca, donde es posible encontrar hasta 25 especies de plantas en un decímetro cuadrado (Martorell *et al.* 2017). Estos pastizales albergan también al menos 20 especies amenazadas (Martorell *et al.* 2022), como por ejemplo una de las poquísimas parejas reproductivas de águila real (*Aquila chrysaetos*) de México (Fariás *et al.* 2016). Sin embargo, estos pastizales han sido destruidos de forma extensiva y acelerada para sembrar árboles o parcelas agroforestales (Martorell *et al.* 2022). De este modo, la ganadería que mantiene la salud y diversidad de estos pastizales (Vázquez-Ribera & Martorell 2022) está siendo remplazada por una producción agrícola que lleva muchos años fracasando por falta de lluvias y suelos apropiados.

Las praderas del norte de Oaxaca ya habían sido documentadas como sistemas naturales desde hace medio siglo por Cruz-Cisneros & Rzedowski (1980). La región corresponde cercanamente con el territorio donde han vivido los chocholtecos o *Ngiwa*, nombre que significa “gente del llano”, lo que ecológicamente en esa región equivale a decir “gente de la pradera”. Existen múltiples evidencias de que esta región de Oaxaca estuvo cubierta por pastizales desde tiempos anteriores a la llegada de los primeros humanos, en lugar de bosques; los suelos en la zona son muy delgados y tienen una baja capacidad de retención de agua, lo que limita el crecimiento de plantas de gran tamaño como los árboles. Este tipo de condiciones permiten la presencia de tres especies microendémicas de plantas que no pueden crecer bajo la sombra de los árboles: *Mammillaria hernandezii* Glass & R.A.Foster, *Echinocereus acanthosetus* (S.Arias & U.Guzmán) Gómez-Quint. & Dan.Sánchez y *Sedum oteroi* Moran (Cruz-Cisneros & Rzedowski 1980, Martorell *et al.* 2022). La región sostuvo por cientos de miles de años grandes poblaciones de una variedad consi-

derable de grandes herbívoros propios de pastizales (Guerrero-Arenas & Jiménez-Hidalgo 2015). Finalmente, hay documentos coloniales muy tempranos que muestran que la región seguía cubierta por praderas antes de la expansión del ganado europeo (Martorell *et al.* 2022).

El objetivo de este trabajo es resaltar el valor excepcional de las praderas del norte de Oaxaca en términos de su biodiversidad. Nos concentramos en dos aspectos de la biodiversidad: la diversidad de paisajes y la diversidad taxonómica vegetal. En lo referente a la primera, describimos los tres tipos de vegetación dominados por hierbas que reconocemos en la zona: pastizal calcícola, pastizal volcánico y las sabanas de encino. Para comprender la diversidad taxonómica se presenta y analiza un listado florístico.

Materiales y métodos

Los pastizales del norte de Oaxaca aquí estudiados se encuentran entre los 17° 40' 30" y 17° 58' 30" N y 97° 19' 30" y 97° 31' 00" O. La precipitación anual en la región va de 400 a 600 mm, y la temperatura media anual es de 16 °C (Martorell *et al.* 2022). Los pastizales los dividimos en tres tipos dependiendo del estrato en donde crecen y el tipo de vegetación. Los pastizales volcánicos (PV) comprenden los municipios de Concepción Buenavista, Ihuatlán y Tlacotepec Plumas, San Francisco Teopan, Magdalena Jicotlán, Tlapiltepec y Tepelmeme (Figura 1). Las sabanas de encino se encuentran en los municipios de Ihuatlán y Tlacotepec Plumas, San Francisco Teopan y Magdalena Jicotlán. Los pastizales calcícolas se encuentran en los municipios de Concepción Buenavista, Tepelmeme, Tequixtepec,

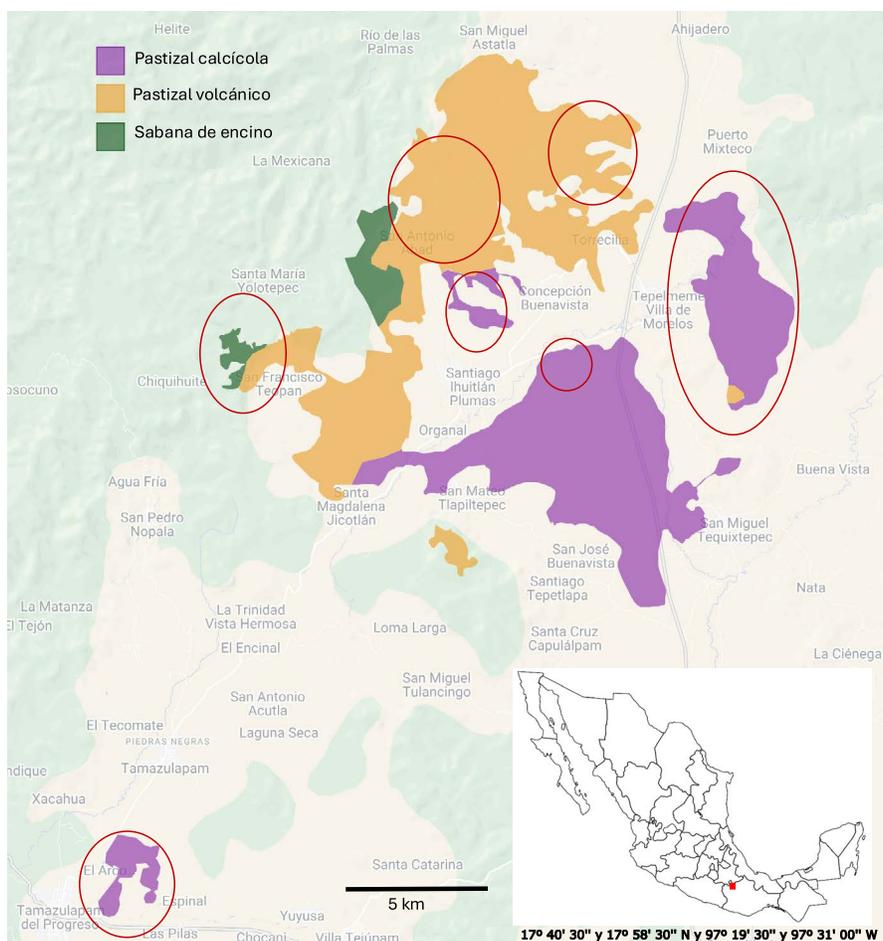


Figura 1. Área de estudio. La zona en colores corresponde al área que actualmente está cubierta por pastizales. Mapa subyacente ©2024 Google. Los círculos rojos representan las zonas en donde los muestreos fueron realizados.

Tlapiltepec, Ihuatlán y Tlacotepec Plumas y Magdalena Jicotlán, con un manchón distante en Tamazulapan del Progreso. Antes de que iniciaran los proyectos masivos de aforestación en la zona, el área remanente de estos pastizales era de 70 km² (Figura 1) (Martorell *et al.* 2022). Podría haber otros pastizales naturales hacia la zona de Coixtlahuaca y en las sierras ubicadas hacia el oeste. La zona de estudio está completamente inmersa en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán (sensu Dávila *et al.* 2002), y en el área de influencia de la reserva de la biósfera homónima.

La región es geológicamente compleja. En las partes más bajas se pueden encontrar calizas y en las altas hay grandes planchas de toba volcánica, las cuales se encuentran salpicadas por derrames de basalto y diques riolíticos (Martorell *et al.* 2022). La vegetación refleja este mosaico; Cruz-Cisneros & Rzedowski (1980) reconocieron 20 asociaciones vegetales en la región, que, si bien en su mayoría está cubierta por pastizales, presenta bosques de encino donde el sustrato lo permite, bosques espinosos en las partes altas de varios cerros, sabanas de encino en las zonas frías, chaparrales y diversos tipos de vegetación secundaria.

Tras hacer varios recorridos prospectivos por la región en las últimas dos décadas se definieron las zonas cubiertas por vegetación nativa herbácea. Con esta información se realizaron búsquedas en diversas bases de datos (REMIB 2024, CONABIO 2015, UNIBIO 2024, GBIF 2024, y una base desarrollada por J.L. Villaseñor y su equipo que contempla varias revisiones de herbarios (inédita), para ubicar ejemplares de herbario que se hubieran recolectado dentro de los polígonos. También se incluyeron los ejemplares de herbario que estaban a una distancia menor a 3 km de nuestros pastizales y que habían sido reportados por Cruz-Cisneros & Rzedowski (1980) y Weller (2010a, b) como especies presentes en estos pastizales. Cuando no fue posible verificar la presencia de estas especies con ejemplares de herbario o con las recolectas efectuadas para este trabajo, fueron descartadas del inventario y se enlistaron por separado. Consideramos también en el inventario aquellas observaciones de la plataforma de ciencia ciudadana iNaturalistMX (mexico.inaturalist.org), siempre que la identidad fuera confirmada por los autores de este trabajo con base en las fotografías que allí se incluyen y que pueden ser consultadas por cualquier interesado (short-url.at/vz11i). Finalmente, realizamos colectas en los municipios de Concepción Buenavista, Tepelmeme Villa de Morelos, San Francisco Teopan y Tamazulapan del Progreso. Para este proyecto se realizaron tres muestreos entre fines de 2021 y otoño de 2022 repartidos de la siguiente manera: seis días en temporada de secas (abril), 23 al inicio de la temporada de lluvias (julio) y 30 días al final de misma (septiembre-octubre). Además, se incluyeron algunos ejemplares recolectados por nuestro grupo de trabajo entre 2001 y 2020. Durante el trabajo de campo se observaron las características de cada tipo de vegetación, su ambiente, estado de conservación y factores que los amenazan.

El material se identificó con la ayuda de claves taxonómicas electrónicas e impresas. A nivel de familia, se utilizaron las claves de Nixon (2014), Hutchinson (1967) y la plataforma ABATAX (Murguía-Romero *et al.* 2021), mientras que para la identificación de los géneros y las especies se hicieron con diversos tratamientos florísticos. El material identificado se cotejó con ejemplares de los herbarios ENCB, MEXU, IEB, UAMIZ, QMEX (Thiers 2024) y SEINET (2024), ejemplares tipo en Global Plants (JSTOR 2000) y Tropicos (www.tropicos.org). También se revisaron nombres aceptados y se depuraron las sinonimias usando plataformas como POWO (2024) y Tropicos (www.tropicos.org), así como por literatura especializada.

La lista florística obtenida se ordenó por familias de acuerdo con la clasificación de *Pteridophyte Phylogeny Group* (PPG I 2016) para helechos y licofitas, la de Christenhusz *et al.* (2011) para gimnospermas y las de *Angiosperm Phylogeny Group* (APGIV 2016) y Stevens (2017), para angiospermas. Los autores de los taxones identificados se abreviaron de acuerdo con Brummitt & Powell (1992). Para cada una de las especies registradas se revisó su nivel de endemismo, consultando tratamientos taxonómicos, monografías, artículos enfocados en la distribución, así como los datos proporcionados en las diversas floras. También se consultaron bases de datos (GBIF 2024, REMIB 2024 y UNIBIO 2024) y se complementó con los datos de Enciclovida (enciclovida.mx) y iNaturalistMX (mexico.inaturalist.org). El endemismo se clasificó en tres categorías: a) endémica de México; b) endémica de Oaxaca y c) microendémica (Endémica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán).

Los ejemplares recolectados e identificados fueron depositados en diferentes herbarios (ver Apéndice 1). Una vez identificados los ejemplares, se verificó el estatus de conservación de las especies encontradas en la Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT 2010) y en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN 2010).

Con la lista de nuestras recolectas se construyó una curva de acumulación de especies tomando 100 muestras aleatorias de distinto tamaño y promediando el número de especies en cada una de ellas. Para estimar la riqueza total se ajustó la función de Clench (Soberón *et al.* 2000) a la curva de acumulación observada incluyendo únicamente nuestras recolectas, y se calculó el índice de Chao1 con el paquete *bbmle* (Bolker 2023) en R (R Core Team 2024) contando además las especies incluidas en la plataforma iNaturalistMX.

Resultados

Los recorridos que realizamos en los pastizales de norte de Oaxaca nos permitieron reconocer tres tipos de vegetación bien diferenciados debido a su composición florística y los estratos en los que estos se desarrollan. A estos tipos de vegetación los hemos denominado pastizal volcánico (sobre toba volcánica y con pocos o ningún árbol), de caliza (sobre roca caliza) y sabana de encino (sobre toba volcánica y con numerosos árboles dispersos).

Para este proyecto se contó con 1,573 números de colecta. Se recolectaron en campo 1,135 números, a los que se sumaron 438 que se habían obtenido en años previos (2001-2023). En promedio, cada ejemplar colectado contó con 1.83 individuos. Además, se agregaron 43 registros de iNaturalistMX correspondientes a especies que presentes en el área de estudio que no fueron recolectadas. También, se incluyeron 37 especies que se presentan dentro del área de estudio, cuyos ejemplares están depositados en diversos herbarios como ENCB, FCME, MEXU y UAMIZ.

En total se encontraron 857 especies, incluyendo aquellas que sólo pudieron identificarse hasta el nivel de género pero que representan distintos taxones ([Material suplementario 1](#); [Figuras 2 y 3](#)). El inventario abarca 104 familias, entre las cuales las más diversas a nivel de especies ([Figura 4A](#)) fueron Asteraceae (124), Poaceae (99), Fabaceae (73), Lamiaceae (28), Euphorbiaceae (26), Cactaceae (24) y Asparagaceae (23). De los 370 géneros registrados, los más diversos a nivel especie ([Figura 4B](#)) fueron *Salvia* (20), *Muhlenbergia* (18), *Euphorbia* (17), *Agave*, *Stevia* (11 cada uno), *Ipomoea*, *Mammillaria* (10 cada uno), *Bouteloua*, *Aristida* y *Quercus* (9 cada uno). El número de especies fue similar en los pastizales calcícolas y volcánicos con 427 y 424 especies, respectivamente ([Figura 5](#)). Las sabanas tuvieron la menor riqueza con 264 especies. En general, la cantidad de especies compartidas entre las diferentes asociaciones fue similar ([Figura 6](#)).

En cuanto al esfuerzo de recolecta, la curva de acumulación de especies no muestra una meseta, lo que sugiere que aún faltan muchas especies por registrar en el sistema ([Figura 7](#)). Tanto la función de Clench como el índice Chao1 sugieren que la riqueza podría duplicarse, estimando 1,632 y 1,560 especies respectivamente.

Una tercera parte de las especies registradas son endémicas de México, mientras que un 2 % que son endémicas de Oaxaca y otro 2 % del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Estas proporciones son casi idénticas entre los tres tipos de pastizal estudiados ([Figura 5](#)). Durante este estudio se identificaron cuatro taxones nuevos para la ciencia: *Clinopodium eplingianum* J.G.González, Martorell & D.García (González-Gallegos *et al.* 2024), *Ainea conzattii* var. *macropetala* Martorell, Espejo & López-Ferr. (Martorell *et al.* 2023) y una especie aún no descrita del género *Andropogon*. Además, se registraron 26 especies incluidas bajo alguna categoría de riesgo en la Norma Oficial Mexicana (SEMARNAT 2010) o en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN 2010, [Tabla 1](#)).

Discusión

Diversidad de paisajes: descripción, ecología y amenazas. Pastizal volcánico (PV).- Este tipo de pastizal se establece principalmente en suelos muy delgados sobre toba volcánica, aunque también se le encuentra con variaciones mínimas sobre basaltos y andesitas. Su distribución geográfica se localiza en el norte y el occidente de la cuenca ([Figura 1](#)), en un rango altitudinal de 2,150 a 2,300 m. La vegetación dominante alcanza una altura promedio de apenas unos 2.5 cm y está compuesta principalmente por las especies *Bouteloua chondrosioides* (Kunth) Benth. ex S.Watson, *B. polymorpha* (E.Fourn.) Columbus y *Microchloa kunthii* Desv. También se observan algunos manchones



Figura 2. Algunas dicotiledóneas de los pastizales de Oaxaca. A) *Florestina purpurea*, B) *Hebecarpa obscura*, C) *Dahlia australis*, D) *Stevia ephemera*, E) *Plantago nivea*, F) *Euploca foliosissima*, G) *Euphorbia indivisa*, H) *Scoparia annua*, I) *Richardia tricocca*, J) *Valeriana laciniosa*, K) *Salvia variana*, L) *Thymophylla aurantiaca* (Fotografías C. Martorell, A. Narváez, M. Martínez-López y A. Martínez-Blancas)

Biodiversidad de las praderas de Oaxaca



Figura 3. Algunas monocotiledóneas de los pastizales de Oaxaca. A) *Bouteloua chondrosioides*, B) *Viridantha plumosa*, C) *Agave applanata*, D) *Sprekelia formosissima*, E) *Bouteloua polymorpha*, F) *Cyperus seslerioides*, G) *Dichromanthus zinabarinu*, H) *Echeandia parviflora*, I) *Microchloa kunthii*, J) *Tripogonella spicata*, K) *Bouteloua hirsuta*, L) *Echeandia flavescens*, M) *Callisia navicularis* (Fotografías: C. Martorell, A. Martínez-Blancas, D. García-Meza y A. Narváez).

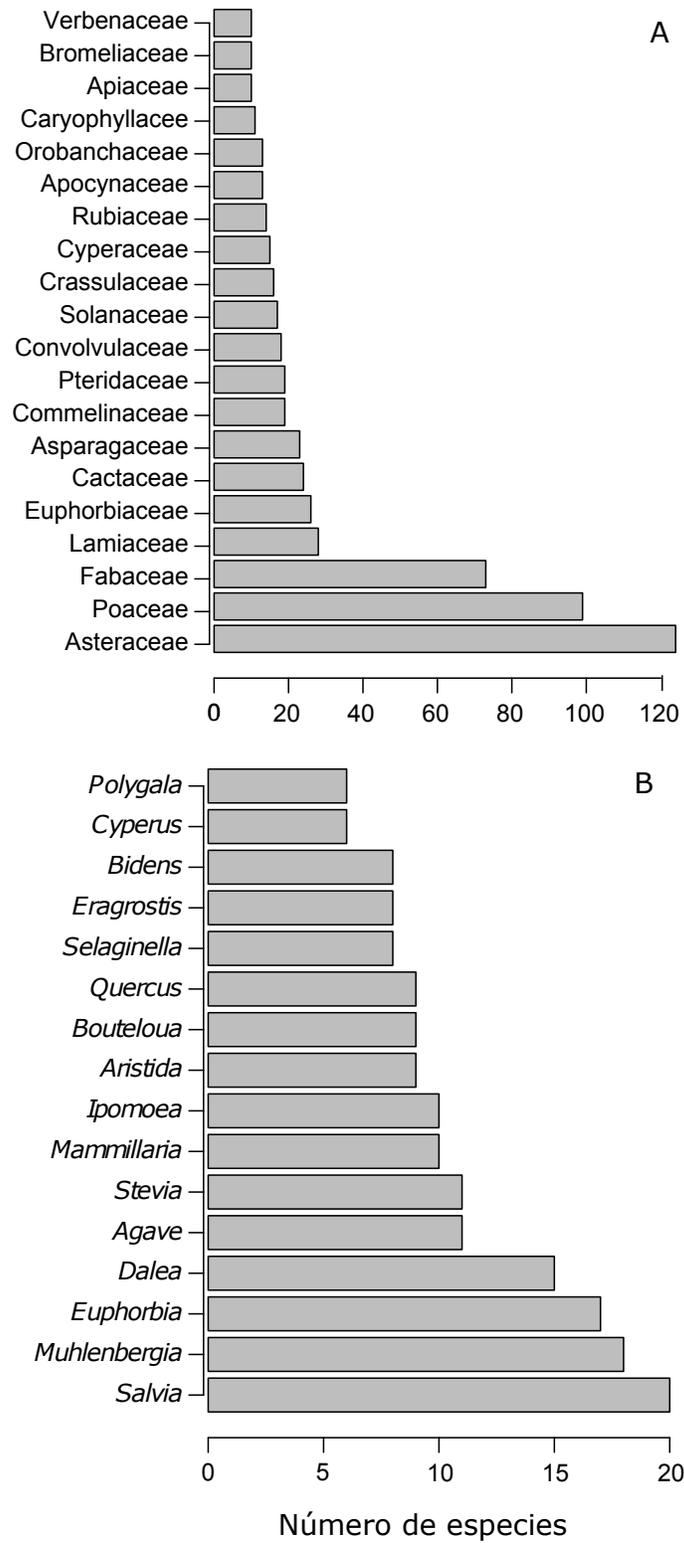


Figura 4. Taxones con mayor riqueza en los pastizales del norte de Oaxaca. A: Familias, B: Géneros

Biodiversidad de las praderas de Oaxaca

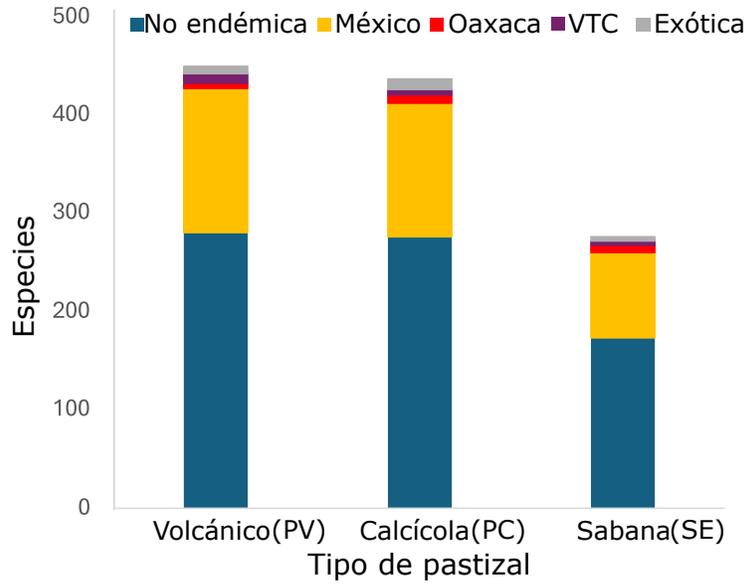


Figura 5. Riqueza y proporción de especies según su endemismo en los pastizales volcánicos y calcícolos y en las sabanas de encino. Los colores de las barras representan el endemismo; No endémicas (azul), endémicas de México (amarillo), de Oaxaca, del Valle de Tehuacán Cuicatlán (morado) y exóticas (gris).

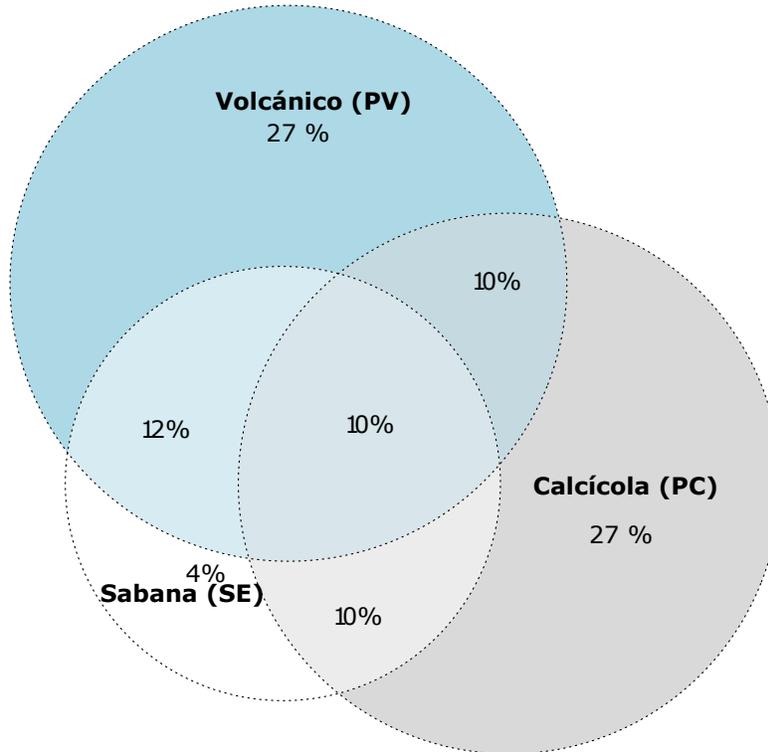


Figura 6. Fracción de las especies de los pastizales del norte de Oaxaca que se encuentran en los tres tipos de vegetación.

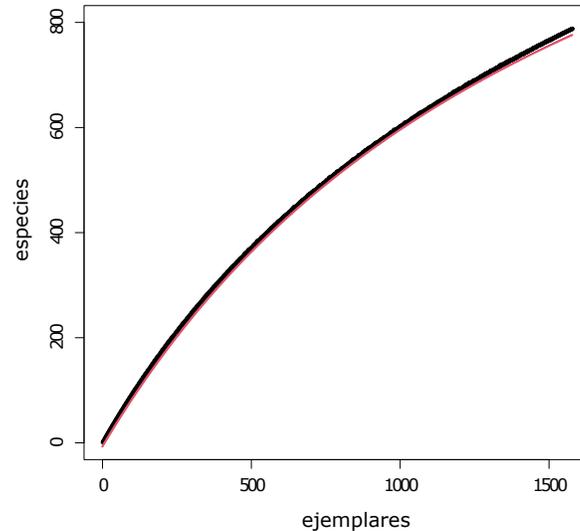


Figura 7. Curva de acumulación de especies. En negro se indica la curva obtenida aleatorizando los datos y en rojo la función de Clench ajustada.

dispersos de pastos amacollados compuestos principalmente por *Muhlenbergia rigida* (Kunth) Kunth. Igualmente en este pastizal se encuentran dispersos algunos árboles, principalmente *Quercus castanea* Née, *Mimosa aculeaticarpa* Ortega e *Ipomoea murucoides* Roem. & Schult., bajo los cuales se crece una flora distintiva. Muchas de las especies ruderales del pastizal están asociadas a la sombra de estos árboles, pues son zonas con disturbio frecuentemente causado por el ganado bovino que ahí descansa (Figura 8).

A diferencia de otros ecosistemas, el ganado cumple un rol fundamental en el mantenimiento de la diversidad y la conservación de las especies microendémicas de los pastizales de *Bouteloua* (*Mammillaria hernandezii*, *Echinocereus acanthosetus* y *Sedum oteroi*) (Ureta *et al.* 2012, Vázquez-Ribera & Martorell 2022). Fuera de la sombra de los árboles y los manchones de macollos, estos pastizales pueden considerarse como un césped de pastoreo (*grazing lawn*), un tipo de pastizal corto y muy diverso que se desarrolla como resultado de la actividad de la fauna silvestre o domesticada en todos los continentes. Algunos ejemplos de esto han sido documentados para ñus, hipopótamos y rinocerontes en África (Hempson *et al.* 2015, McCauley *et al.* 2018); ganado mayor en Chile (Nai-Bregaglio *et al.* 2002) y bisontes en Estados Unidos de América (Trager *et al.* 2004). Es en estos céspedes que se encuentran, en el área de estudio, la mayor diversidad vegetal y las especies microendémicas. Los efectos positivos del ganado pueden ser una herencia evolutiva de la megafauna extinta que pacía en los céspedes de pastoreo que debieron existir en el pasado en la región.

Otro factor importante que promueve la diversidad vegetal en estos pastizales es la heterogeneidad ambiental. Esta variabilidad está estrechamente ligada a la profundidad del suelo, la cual determina en gran medida la disponibilidad de agua (Martorell *et al.* 2015), así como a la presencia de pequeños afloramientos rocosos. Éstos contienen una parte importante de la diversidad de arbustos y árboles encontrada en este estudio.

Los pastizales volcánicos han enfrentado diversas amenazas a lo largo de su historia. Una gran parte de su extensión se ha erosionado. Esto pudo haber sido provocado en parte por la práctica de aflojar los suelos de las laderas para que sean acarreados a las terrazas que se construyen en las barrancas para establecer cultivos. Esta práctica ya había sido reportada anteriormente por Spores (1969) y sigue empleándose actualmente. El ganado probablemente también ha sido responsable de la erosión (Rincón-Mautner 1999). Si bien es muy probable que buena parte del pastizal volcánico se haya perdido por erosión antropogénica, es posible que la región siempre haya experimentado una dinámica natural de formación y erosión de suelos. Así lo sugiere la existencia de *Sedum oteroi*, una especie microendémica que se ha especializado en parches donde la erosión expone la toba desnuda. En las últimas dos décadas, diversos programas sociales han promovido la colocación de cercas que impiden el paso del ganado. Esto ha provocado su subpastoreo y la invasión por parte del pasto exótico *Melinis repens* (Willd.) Zizka, con la consecuente pérdida de diversidad y un elevado riesgo de incendios asociado a la acumulación de biomasa en los macollos de dicha especie (Tisshaw & Menges 2018).

Biodiversidad de las praderas de Oaxaca

Tabla 1. Especies del pastizal con algún grado de amenaza en las listas rojas. Las categorías de la Norma Oficial Mexicana (SEMAR-NAT 2010) son A: amenazada, P: en peligro de extinción, Pr: Protección especial. Las de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) son EN: En peligro de extinción, NT: Casi amenazada, VU: Vulnerable. Se indica también el tipo de vegetación en que se encuentra cada una: Pastizal calcícola (PC), pastizal volcánico (PV) o Sabana de encino (SE). * Esta especie aparece como *Echinocereus pulchellus* en las listas, especie de la que recientemente fue separada *E. acanthosetus*.

Especie	NOM	UICN	Tipo de pastizales
<i>Agave macroacantha</i> Tod.		EN	PV
<i>Agave nuusaviorum</i> Garcia-Mend.		VU	PV
<i>Agave titanota</i> Gentry	A	EN	PV
<i>Ainea conzattii</i> (R.C.Foster) Ravenna var. <i>macropetala</i> Martorell, Espejo & López-Ferr.	A		PC
<i>Brahea dulcis</i> (Kunth) Mart.	Pr		PC
<i>Bursera biflora</i> (Rose) Standl.		NT	PV
<i>Calochortus nigrescens</i> Ownbey	Pr		SE
<i>Cercocarpus pringlei</i> (C.K.Schneid.) Rydb.		VU	PC
<i>Coryphantha retusa</i> (Pfeiff.) Britton & Rose	Pr		SE
<i>Echeveria longissima</i> E. Walther	A		PV, SE
<i>Echeveria setosa</i> Rose & Purpus	P		PV, SE
<i>Echinocereus acanthosetus</i> (S.Arias & U.Guzmán) Gómez-Quint. & Dan.Sánchez		VU*	PV
<i>Erythrina oaxacana</i> (Krukoff) Barneby		EN	PV
<i>Ferocactus macrodiscus</i> (Mart.) Britton & Rose		VU	SE
<i>Ficus cotinifolia</i> Kunth		EN	PV
<i>Furcraea longaeva</i> Karw. & Zucc.	A		PV, SE
<i>Laelia furfuracea</i> Lindl.	Pr		SE
<i>Mammillaria flavicentra</i> Backeb. ex Mottram	Pr		PV, SE
<i>Mammillaria hernandezii</i> Glass & R.C.Foster	Pr	EN	PV
<i>Mammillaria kraehenbuehlii</i> (Krainz) Krainz	Pr		PC
<i>Mammillaria zephyranthoides</i> Scheidw.	A		PC
<i>Nolina excelsa</i> García-Mend. & E.Solano		VU	PV, SE
<i>Nolina parviflora</i> (Kunth) Hemsl.		VU	PC
<i>Quercus diversifolia</i> Née		EN	SE
<i>Stevia cruzii</i> Grashoff	Pr		PC
<i>Tigridia bicolor</i> Molseed	Pr		PV



Figura 8. Imágenes del pastizal volcánico en Tepelmeme (arriba) y Concepción Buenavista (centro y abajo; Fotografías C. Martorell y D. García Meza).

Sabanas de encino (SE).- En este estudio sólo se presentan datos de una franja de sabanas relativamente estrecha en el extremo occidental de la cuenca. Sin embargo, es probable que las sabanas de encino se extiendan mucho más al oeste. Por todo el terreno montañoso y poco habitado que se extiende unos 15 km desde nuestros sitios de estudio se aprecian zonas con árboles dispersos.

Estas comunidades vegetales se encuentran a elevaciones entre los 2,300 y 2,700 m, sobre roca volcánica (primordialmente toba y andesita) y donde la densidad de encinos aumenta progresivamente con la altitud. La especie predominante es *Quercus deserticola* Trel., que forma un dosel abierto permitiendo el desarrollo de un estrato herbáceo continuo dominado por *Bouteloua chondrosioides*, *Microchloa. kunthii*, *Cyperus seslerioides* Kunth y *Tridax coronopifolia* (Kunth) Hemsl. A pesar de la ausencia de cuerpos de agua en la zona, destaca la presencia de plantas

típicamente acuáticas como *Limosella acuatica* L. e *Isoetes mexicana* Underw. Esta última especie incluso es la dominante en varias porciones de estas sabanas, formando verdaderos tapetes. La densidad de epífitas es muy alta, comprendiendo una veintena de especies, principalmente de las familias Bromeliaceae y Orchidaceae, así como helechos y plantas suculentas (Figura 9).



Figura 9. Imágenes de la sabana de encino en San Francisco Teopan (Fotografías C. Martorell y D. García Meza).

El clima en las sabanas de encino es mucho más frío y húmedo que en las partes más bajas. Los lugareños afirman que ocurrían nevadas hasta hace unos años. Tal vez por ello, las especies que sólo se encuentran bajo la copa de los árboles en los pastizales volcánicos crecen a cielo abierto en estas sabanas, mientras que a la sombra de los árboles de la sabana hay un conjunto característico de especies. Este último parece incluir especies de los bosques cercanos y también más especies arbustivas que en los pastizales.

Las sabanas de encino se caracterizan por una gran densidad poblacional de especies raras, tales como *Echeveria longissima* E. Walther, *Calochortus nigrescens* Ownbey, *Lobelia oaxacana* Rzed., y *Salvia tetramerioides* Mart. Gord., Fragoso & García-Peña. Esta última especie sólo se conoce de las sabanas de encino de San Francisco Teopan y lo que parece ser una comunidad vegetal semejante en Santa Catarina Zapoquila, un poco más al norte de nuestros sitios de estudio. También se descubrió allí a *Clinopodium eplingianum* J.G. González, Martorell & D. García (González-Gallegos *et al.* 2024).

La cercanía entre los bosques de encino y las sabanas podría sugerir erróneamente que éstas últimas son el producto de la tala de árboles. Sin embargo, en las zonas donde observamos evidencia de que los bosques han sido talados, y donde los habitantes de la zona así lo indicaron, se desarrollan pastizales muy pobres y fuertemente dominados por *Hilaria cenchroides* Kunth o la especie exótica *Digitaria ternata* (A. Rich.) Stapf. Tampoco se encuentran en ellas las especies endémicas de la región. La gran diferenciación florística entre estos pastizales secundarios y las sabanas de encino aquí estudiadas apoya la idea de que estas últimas son naturales y no producto de las actividades humanas (López-Olmedo *et al.* 2007).

Estas sabanas experimentan una presión de pastoreo considerable y en las áreas por donde transita el ganado con frecuencia, (p. ej. en los caminos que parten de los corrales) hay poca diversidad de plantas. No hay aforestaciones importantes, pero sí zanjas-bordos y tinas ciegas en grandes cantidades. Este tipo de obras ponen en riesgo los suelos (Cotler *et al.* 2015). Además, se observa en las sabanas tala ocasional de árboles, así como un notable crecimiento de asentamientos humanos en zonas como La Mexicana y Llano Grande en los últimos años.

Pastizal calcícola (PC).- La vegetación que se incluye bajo este nombre en el presente trabajo corresponde principalmente a lo que Cruz-Cisneros & Rzedowski (1980) llamaron Pastizal de *Aristida*, pero también abarca algunas zonas de lo que ellos denominaron matorrales de *Salvia thymoides* y de *Gymnosperma*, así como el pastizal con arbustos. Esta comunidad vegetal se encuentra a altitudes de entre 2,000 y 2,200 m al este y sur de la zona de estudio. Este pastizal se desarrolla sobre rocas calizas, por lo que las especies dominantes son muy diferentes a las de las otras dos comunidades estudiadas. Sus suelos son más profundos, por lo que, a diferencia de las otras comunidades, han estado sometidos a disturbios por agricultura probablemente desde hace 3,400 años (Leigh *et al.* 2013). Por ello, Cruz-Cisneros & Rzedowski (1980) consideran que los pastizales que vemos hoy se derivan de pastizales naturales, pero están sustancialmente modificados. Esto concuerda con datos isotópicos y de paleosuelos que sugieren que, efectivamente, la zona que nos ocupa tuvo una cubierta de pastizales antes de que la agricultura comenzara a modificar el paisaje (Holdridge & Leigh 2018).

Este es un pastizal bastante más alto que el volcánico, alcanzando en general una estatura de entre 15 y 25 cm. Las especies dominantes son *Aristida curvifolia* E.Fourn., *A. pansa* Wooton & Stand. y *A. havardii* Vasey, a las que, conforme la precipitación aumenta hacia el centro y oeste de la cuenca, se añaden *Bouteloua triaena* (Trin.) Scribn., *B. hirsuta* Lag. y *B. curtispindula* (Michx.) Torr. Hay algunos árboles dispersos, principalmente *Vachellia schaffneri* (S.Watson) Seigler & Ebinger en el este, *Juniperus flaccida* Schltl. hacia el oeste, e *Ipomoea murucoides* Roem. & Schult. en el sur (Figura 10).

Grandes extensiones de los pastizales calcícolas de Tamazulapan, Tepelmeme y Tlapiltepec han sido invadidas por arbustos, principalmente por *Salvia thymoides* Benth., *Gymnosperma glutinosum* (Spreng.) Less. y en menor medida *Dalea greggii* A.Gray. La llamada arbustización (*shrub encroachment*) es un problema frecuente en pastizales que han sido sobrepastoreados por periodos prolongados (D'Odorico *et al.* 2012). El pastizal calcícola también es el más afectado por las aforestaciones. Prácticamente la totalidad de los pastizales calcícolas de Tamazulapan, Tlacotepec Plumas y Tlapiltepec, y la mayor parte de los de Tepelmeme, ha sido cubierta en los últimos quince años por plantaciones de pinos que no son nativos de la zona. Hay que destacar que muchas de estas aforestaciones se han implantado en el hábitat de especies protegidas por las leyes mexicanas como *Mammillaria kraehenbuehlii* (Krainz) Krainz (Protección especial), *M. zephyranthoides* Scheidw. (Amenazada) y la única población conocida de *Ainea conzattii* var. *macropetala* Martorell, Espejo & López-Ferr. (Martorell *et al.* 2023).

Diversidad taxonómica. Tanto las familias como los géneros más diversos muestran un patrón similar a lo observado a nivel nacional (Villaseñor 2016), aunque con variaciones en la posición de la diversidad de los taxones por los requerimientos del hábitat. Esto reafirma la importancia de las zonas de estudio al presentar esa heterogeneidad florística. En esta lista, llama la atención la relevancia de plantas con metabolismo CAM pertenecientes a los géneros *Agave* y *Mammillaria*, o que presentan metabolismo C₄ como sucede con las especies de los géneros *Muhlenbergia*, *Bouteloua*, *Aristida* y los representantes de *Euphorbia* del subgénero *Chamaesyce*, que hace la contribución más importante a la diversidad del taxón en el sitio de estudio (Sage 2016). Esto probablemente refleje las fuertes restricciones hídricas que los suelos delgados de estos pastizales imponen a la vegetación (Martorell & Martínez-López 2014), así como el costo fotorrespirativo que resulta de la enorme radiación lumínica y que el metabolismo C₄ minimiza (Begon *et al.* 2006).

A pesar de que el área remanente de los pastizales calcícolas es aproximadamente tres veces mayor que la de los pastizales volcánicos (Martorell *et al.* 2022), el número de especies registradas fue similar en ambos, con 427 y 424 especies, respectivamente (Figura 5). Este hallazgo puede explicarse por tres factores: primero, el esfuerzo de muestreo ha sido comparable en ambos sistemas; segundo, la dificultad para obtener permisos de acceso en ciertas áreas de caliza; y tercero, la significativa destrucción ambiental ocasionada por las aforestaciones en los pastizales



Figura 10. Imágenes del pastizal calcícola. Todas las fotos son de Tepelmeme, excepto la inferior derecha, que muestra las lomas con pastizal y campos de cultivo en los valles en Tamazulapan (Fotografías C. Martorell y D. García Meza).

calcícolas. Las sabanas tuvieron la menor riqueza con 264 especies, pero fueron también las menos muestreadas debido a que ocupan la superficie más pequeña en el sitio de estudio y la dificultad de acceso. No deja de llamar la atención que la similitud geológica entre los pastizales volcánicos y las sabanas de encino no se reflejó en un fuerte parecido entre ambas comunidades cuando se considera únicamente la presencia de las especies (Figura 6), tal vez como resultado de las diferencias climáticas. Sin embargo, las especies dominantes en las dos comunidades sí son más o menos las mismas.

Probablemente la estimación de la riqueza total por encima de 1,500 especies sea imprecisa dada la gran extrapolación involucrada. Sin embargo, este análisis indica que hay un número muy grande de especies sumamente escasas en estos pastizales que no fueron recolectadas. Pudimos documentar parte de esta diversidad faltante al incluir en nuestro inventario registros procedentes de herbarios y bases de datos, los cuales no fueron considerados al elaborar la curva de acumulación de especies. Otro factor importante es que la detectabilidad de muchas especies es muy baja

debido a su tamaño y que muchas de ellas sólo florecen esporádicamente o por periodos muy cortos. Todo esto subraya la importancia de hacer recolectas sistemáticas, intensivas y por periodos prolongados en este tipo de comunidades.

Los pastizales de Oaxaca destacan por su muy alta diversidad a pesar de la subestimación de su riqueza. La comparación con otros pastizales va más allá de los objetivos del presente estudio. Sin embargo, en una revisión de 78 listados florísticos de pastizales de Norte y Centroamérica, sólo en uno se encuentra una diversidad mayor que la observada en este estudio: el del Centro de Investigación Ecológica Jones (Ichauway), Georgia, EE.UU con 1,013 especies. Se trata de un remanente intensamente estudiado de 113 km² caracterizado por *Pinus palustris* Mill. y *Aristida stricta* Michx. La zona presenta, como la nuestra, una elevada heterogeneidad ya que incluye pastizales más o menos abiertos, sabanas de pino y de encino, así como comunidades xéricas, riparias e inundables (Drew *et al.* 1998). Por otra parte, los pastizales que aquí se discuten se encuentran en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, un sitio reconocido mundialmente por su gran diversidad biológica. A pesar de cubrir sólo 0.7 % de su superficie, los pastizales albergan 25 % de la diversidad del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, la cual comprende unas 3,400 especies (R. Medina, com. pers). Un total de 66 especies (8 %) de las especies encontradas en este estudio son nuevos registros para este sitio considerado Patrimonio de la Humanidad.

Esta gran diversidad depende en parte de la heterogeneidad ambiental. La geología es importante, ya que 70 % de las especies se restringen a suelos volcánicos o calizos (Figura 6). Los árboles dispersos también hacen una contribución importante. Como resultado probable de un efecto de nodricismo, 86 especies (10 % del total documentado) se encuentran restringidas bajo su copa en alguno de los tres tipos de pastizal. Otras 31 especies se encontraron creciendo sólo en zonas inundables y junto a cauces de arroyuelos intermitentes. Finalmente, 49 especies se observaron en suelos perturbados o erosionados, donde crecen varias de las 16 especies exóticas. Sin embargo, muchas de estas últimas se han integrado al pastizal sin ser invasoras. No obstante, otras especies de origen foráneo (p.ej. *Asphodelus fistulosus* L., *Melinis repens*) ya son invasoras o pueden ser un problema a largo plazo por su dinámica de crecimiento rápido y competitivo.

Más allá del número de especies, la identidad de estas también indica la importancia de preservar estos sistemas. Hay numerosas especies endémicas de México (Figura 11) que constituyen aproximadamente un tercio de la flora de estos pastizales. Esta proporción es casi la mitad que la que Rzedowski (1975) intuyó para los pastizales mexicanos. Sin embargo, si se considera el endemismo de los pastizales de Oaxaca en relación a Megaméxico, la proporción se acerca al 50 % (Martorell *et al.* 2022). Además, varias especies se encuentran clasificadas en alguna categoría de riesgo (Figura 12). Entre ellas, los taxones restringidos a este pastizal, como *Sedum oteroi* o *Ainea conzattii* var. *macropetala*, debieran ser considerados como amenazados debido a la rápida destrucción de su hábitat.

Los pastizales templados del centro-sur de México han recibido poca atención por parte de los biólogos. Este trabajo ilustra la enorme diversidad vegetal que pueden albergar, situándose entre los pastizales más diversos de Norteamérica. Los datos sugieren que nuestro inventario aún está incompleto, poniendo en relieve la necesidad e importancia de seguir enfocando más energía y recursos para documentar mejor la diversidad de estos pastizales. Esto requiere de un esfuerzo colectivo e interdisciplinario en el campo que involucre a taxónomos y ecólogos, pues aún después de haber recolectado más de 1,500 ejemplares, parece haber un faltante sustancial. En la zona hay además varias especies de animales amenazadas (Martorell *et al.* 2022), por lo que sería necesario involucrar, además de los botánicos, a otros especialistas. Es igualmente importante reconocer la relevancia de la diversidad de paisajes. Los diferentes pastizales tienen floras muy contrastantes, lo que eleva la riqueza del conjunto. En particular las sabanas templadas requieren de atención. Las estadísticas oficiales y los estudios académicos las han ignorado considerándolas hasta ahora como bosques. Sin embargo, suelen tener dinámicas muy diferentes de estos últimos, determinadas por el fuego y el herbivorismo que ejercen los grandes ungulados. Los pastizales de Oaxaca están siendo destruidos rápidamente evitando que podamos documentar su diversidad, e incluso ignorándola deliberadamente. El reconocimiento de la diversidad de los pastizales es un arma contra su destrucción y la forma de vida de millones de pastores en el mundo. Ante este escenario, la Organización de las Naciones Unidas ha declarado el 2026 como el Año Internacional de los Pastizales y los Pastores para eliminar estigmas asociados erróneamente a estos tipos de vegetación. Invitamos a la sociedad, científicos y actores políticos a tomar conciencia sobre la

Biodiversidad de las praderas de Oaxaca



Figura 11. Algunas especies endémicas del Valle de Tehuacán que se encuentran en los pastizales del norte de Oaxaca. A) *Dalea mixteca*, B) *Deiregyne tenorioi*, C) *Ainea conzattii*, D) *Carex paneroi*, E) *Sedum oteroi*, F) *Dasyllirion lucidum*, G) *Lobelia oaxacana*, H) *Salvia tetrameriodes*, I) *Phemeranthus oligospermus*, J) *Milla valliflora*, K) *Schoenocaulon tenorioi*, L) *Loeselia purpusii* (Fotografías: A. Martínez-Blancas, C. Martorell, L. Soriano).



Figura 12. Especies amenazadas de los pastizales del norte de Oaxaca. A) *Mamillaria zephyranthoides*, B) *Agave nuusaviorum*, C) *Laelia furturaceae*, D) *Echinocereus acanthocetus*, E) *Tigridia bicolor*, F) *Furcraea longaeva*, G) *Ferocactus macrodiscus*, H) *Echeveria setosa*, I) *Brahea dulcis*, J) *Mamillaria hernandezii*, K) *Calochortus nigrescens*, L) *Echeveria longissima* (Fotografías: D. García-Meza, L. Soriano, A. Martínez-Blancas, C. Martorell).

existencia y necesidad de protección de este tipo de sistemas que han sido ignorados y, como consecuencia, están fuertemente amenazados.

Material suplementario

El material suplementario de este artículo se puede encontrar aquí: <https://doi.org/10.17129/botsci.3594>

Agradecimientos

Agradecemos calurosamente a las comunidades y autoridades de Concepción Buenavista, Tepelmeme Villa de Morelos, San Francisco Teopan y Tamazulapan del progreso por habernos abierto las puertas para realizar el trabajo de campo en su tierra y organizar las pláticas que impartimos. La ayuda del Biól. Fernando Reyes y la Biól. Leticia Soriano de la Reserva de la Biósfera de Tehuacán-Cuicatlán, fue invaluable. A. Martínez-Blancas, O. Tabares, A. Texcalpa, y C. Vázquez-Ribera nos ayudaron en el campo. A. Adame, O. Dorado, M. Galván, S. Gama, R. Lira, L. Lozada, M. Martínez Díaz de Salas, M.J. Martínez, R. Medina, N. Mendoza, G. Ortiz, I. Sánchez del Pino, A. Rodríguez, S. Valencia y L. Vigosa identificaron algunos ejemplares. L.E. González-Campos nos facilitó su revisión de la riqueza de 78 pastizales. A. Martínez-Blancas, M.K. Paredes, A. Madariaga y F. Rojas ayudaron con el manejo de los ejemplares en gabinete. Este trabajo contó con el permiso de recolecta N° SGPA/DGVS/07061/21.

Literatura citada

- APG IV [Angiosperm Phylogeny Group]. 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society* **181**: 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1111/boj.12385>
- Begon M, Townsend CR, Harper JL. 2006. *Ecology: from individuals to ecosystems* Reino Unido, Oxford: Blackwell. ISBN:978-1-4051-1117-1
- Bolker B. 2023. *bbmle: Tools for General Maximum Likelihood Estimation (Versión 1.0.25.1)* Paquete de software de R. DOI: <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.bbmle>
- Bond WJ. 2016. Ancient grasslands at risk. *Science* **351**: 120-122. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aad5132>
- Bond WJ. 2019. *Open ecosystems: ecology and evolution beyond the forest edge*. Oxford: University Press. ISBN: 9780191850318. DOI: <https://doi.org/10.1093/oso/9780198812456.001.0001>
- Brummitt RK, Powell CE. 1992. *Authors of plant names. A list of authors of scientific names of plants, with recommended standard form of their names including abbreviations*. Kew: Royal Botanic Gardens. ISBN: 1842460854
- Christenhusz MJM, Reveal JL, Farjon A, Gardner MF, Mill RR, Chase MW. 2011. A new classification and linear sequence of extant gymnosperms. *Phytotaxa* **19**: 55-70. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.19.1.3>
- CONABIO [Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad]. 2015. Red mundial de información sobre biodiversidad (REMIB). DF, México: CONABIO. http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib_esp.html (accessed June 1, 2024).
- Cotler H, Cram S, Martínez Trinidad S, Bunge V. 2015. Conservation practices assessment in forest soils of Mexico: The case of the ditches. *Investigaciones Geográficas* **88**: 6-18. DOI: <https://doi.org/10.14350/rig.47378>
- Cruz-Cisneros R, Rzedowski J. 1980. Vegetación de la cuenca del río Tepelmeme, Alta Mixteca. *Anales de La Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* **22**: 19-84.
- Dávila P, Arizmendi MDC, Valiente-Banuet A, Villaseñor JL, Casas A, Lira R. 2002. Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán valley, Mexico. *Biodiversity & Conservation* **11**: 421-442. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1014888822920>
- Drew MB, Kirkman LK, y Gholson Jr. AK. 1998. The Vascular Flora of Ichauway, Baker County, Georgia: A Remnant Longleaf Pine/Wiregrass Ecosystem. *Castanea* **63**: 1-24.

- D'Odorico P, Okin GS, Bestelmeyer BT. 2012. A synthetic review of feedbacks and drivers of shrub encroachment in arid grasslands. *Ecohydrology* **5**: 520-530. DOI: <https://doi.org/10.1002/eco.259>
- Farías V, Hernández O, Arizmendi M del C, Téllez O, Botello F, Olivares SJ, Correa M. 2016. Registro notable de águila real (*Aquila chrysaetos*) en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, Puebla, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **87**: 1153-1158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.001>
- Feurdean A, Ruprecht E, Molnár Z, Hutchinson SM, Hickler T. 2018. Biodiversity-rich European grasslands: Ancient, forgotten ecosystems. *Biological Conservation* **228**: 224-232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.09.022>
- GBIF [Global Biodiversity Information Facility]. 2024. Free and open access to biodiversity data DOI: <https://doi.org/10.15468/dl.j8je7n> (accessed June 1, 2024)
- González-Gallegos JG, Martorell C, García-Meza D. 2024. *Clinopodium eplingianum* (Lamiaceae), a new species from Oaxaca, Mexico. *Phytotaxa* **653**: 197-207. DOI: <https://doi.org/10.11646/PHYTOTAXA.653.3.1>
- Guerrero-Arenas R, Jiménez-Hidalgo E. 2015. Las comunidades del Pleistoceno Tardío de la Mixteca Alta Oaxaqueña: cómo el pasado nos permite conservar el presente. In: Ortiz-Escamilla, R. comp. *El Pasado Lejano de La Mixteca: Huajuapán de León, Oaxaca, México*. pp 25-38. Huajuapán de León, Oaxaca: Universidad Tecnológica de La Mixteca. ISBN: 978-607-96303-4-8
- Hempson GP, Archibald S, Bond WJ, Ellis RP, Grant CC, Kruger FJ, Kruger LM, Moxley C, Owen-Smith N, Peel MJS. 2015. Ecology of grazing lawns in Africa. *Biological Reviews* **90**: 979-994. DOI: <https://doi.org/10.1111/brv.12145>
- Hoekstra JM, Boucher TM, Ricketts TH, Roberts C. 2005. Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection. *Ecology Letters* **8**: 23-29. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00686.x>
- Holdridge G, Leigh DS. 2018. Stable carbon analysis of alluvial paleosols in the Mixteca Alta, Oaxaca, Mexico. *Quaternary International* **490**: 60-73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.05.020>
- Hutchinson J. 1967. *Key to the families of flowering plants of the World*. Oxford: Clarendon Press.
- JSTOR. 2000. JSTOR Global Plants. <https://plants.jstor.org> (accessed February 28, 2014)
- Leigh DS, Kowalewski SA, Holdridge G. 2013. 3400 years of agricultural engineering in Mesoamerica: lama-bor-dos of the Mixteca Alta, Oaxaca, Mexico. *Journal of Archaeological Science* **40**: 4107-4111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.05.009>
- López-Olmedo LI, Meave JA, Pérez-García EA. 2007. Floristic and structural contrasts between natural savannas and anthropogenic pastures in a tropical dry landscape. *The Rangeland Journal* **29**: 181-190. DOI: <https://doi.org/10.1071/RJ07007>
- Mace GM, Masundire H, Baillie J. 2005. Biodiversity. In: Hassan R, Scholes R. eds. *Ecosystems and Human Well Being: Current State and Trends*. Vol. 1. Washington: Island Press, pp. 755-775. ISBN 1-55963-227-5
- Martorell C, Almanza-Celis CAI, Pérez-García EA, Sánchez-Ken JG. 2015. Co-existence in a species-rich grassland: Competition, facilitation and niche structure over a soil depth gradient. *Journal of Vegetation Science* **26**. DOI: <https://doi.org/10.1111/jvs.12283>
- Martorell C, García-Meza D, Martínez-Blancas A, Zepeda VN, Vázquez-Ribera C. 2022. Pastizales de la región Chocholteca: un despreciado récord mundial de diversidad vegetal. In: CONABIO. *La biodiversidad en Oaxaca. Estudio de Estado*. Vol. 1. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 290-301 pp. ISBN: 978-607-8570-61-4
- Martorell C, López-Ferrari AR, Espejo-Serna A, García-Meza D, Clayton R. 2023. *Ainea konzattii* (Iridaceae: Tigridiae) revisited: description of a new variety. *Phytotaxa* **600**: 1-6. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.600.1.1>
- Martorell C, Martínez-López M. 2014. Informed dispersal in plants: *Heterosperma pinnatum* (Asteraceae) adjusts its dispersal mode to escape from competition and water stress. *Oikos* **123**: 225-231. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2013.00715.x>
- Martorell C, Zepeda V, Martínez-Blancas A, García-Meza D, Pedraza F. 2017. A diversity world record in a grassland at Oaxaca, Mexico. *Botanical Sciences* **95**: 1-7. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.689>
- McCauley DJ, Graham SI, Dawson TE, Power ME, Ogada M, Nyingi WD, Githaiga JM, Nyunja J, Hughey LF,

- Brashares JS. 2018. Diverse effects of the common hippopotamus on plant communities and soil chemistry. *Oecologia* **188**: 821-835. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-018-4243-y>
- Murguía-Romero M, Serrano-Estrada B, Ortiz E, Villaseñor JL. 2021. Taxonomic identification keys on the web: tools for better knowledge of biodiversity. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **92**: e923592. DOI: <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3592>
- Murphy BP, Andersen AN, Parr CL. 2016. The underestimated biodiversity of tropical grassy biomes. *Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences* **371 (1703)**: 20150319. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0319>
- Nai-Bregaglio M, Pucheta E, Cabido M. 2002. El efecto del pastoreo sobre la diversidad florística, estructural en pastizales de montaña del centro de Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural* **75**: 613-623.
- Nerlekar AN, Veldman JW. 2020. High plant diversity and slow assembly of old-growth grasslands. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **117**: 18550-18556. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.192226611>
- Nixon KC. 2024. Plant Keys. Families of Dicotyledons. <http://www.plantsystematics.org/> (accessed June 10, 2024).
- Pärtel M, Bruun HH, Sammuli M. 2005. Biodiversity in temperate European grasslands: origin and conservation. In: *Grassland Science in Europe* **10**: 1-14 pp. <https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/5528474/625284.pdf> (accessed June 1, 2024)
- POWO [Plants of the World Online]. 2024. Plants of the World Online. Edinburg: Royal Botanic Gardens, Kew. <http://www.plantsoftheworldonline.org/> (accessed June 10, 2024)
- PPG I [Pteridophyte Phylogeny Group]. 2016. A community-derived classification for extant Lycophytes and ferns. *Journal of Systematics and Evolution* **54**: 563-603. DOI: <https://doi.org/10.1111/jse.12229>
- R Core Team. 2024. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Rincón-Mautner C. 1999. *Man and the environment in the Coixtlahuaca Basin of northwestern Oaxaca, Mexico*. PhD Thesis. University of Texas.
- Rzedowski J. 1975. An ecological and phytogeographical analysis of the grasslands of Mexico. *Taxon* **24**: 67-80. DOI: <https://doi.org/10.2307/1219002>
- Sage RF. 2016. A portrait of the C4 photosynthetic family on the 50th anniversary of its discovery: species number, evolutionary lineages, and Hall of Fame. *Journal of Experimental Botany* **67**: 4039-4056. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erw156>
- SEMARNAT [Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales]. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*. 2da Sección, 30 de diciembre de 2010.
- SEINET. 2024. <http://swbiodiversity.org/seinet/index.php> (accessed April-June 2024)
- Soberón JM, Llorente JB, Oñate L. 2000. The use of specimen-label databases for conservation purposes: an example using Mexican Papilionid and Pierid butterflies. *Biodiversity & Conservation* **9**: 1441-1466. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1008987010383>
- Spores R. 1969. Settlement, farming technology, and environment in the Nochixtlan Valley. *Science* **166(3905)**: 557-569. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.166.3905.55>
- Stevens PF. 2017. Angiosperm phylogeny website. Versión 14. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/> (accessed June 10, 2024)
- Thiers B. 2024-actualizado constantemente. Index Herbariorum, a global directory of public herbaria and associated staff. New York, USA: New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. <http://sweetgum.nybg.org/ih> (accessed april-june 2024).
- Tisshaw KE, Menges ES. 2018. The influence of management regimes and habitat characteristics on the persistence and current occupancy of the non-native *Melinis repens* (natalgrass). *Southeastern Naturalist* **17**: 654-670. DOI: <https://doi.org/10.1656/058.017.0419>

- Trager MD, Wilson GWT, Hartnett DC. 2004. Concurrent effects of fire regime, grazing and bison wallowing on tallgrass prairie vegetation. *The American Midland Naturalist* **152**: 237-247.
- Tropicos. 2024. Missouri Botanical Garden. <http://www.tropicos.org> (accessed June 10, 2024)
- UICN [The International Union for Conservation of Nature]. 2010. Red List of Threatened Species, v. 2015.4. <http://www.iucnredlist.org/> (accessed June 10, 2025).
- UNIBIO [Unidad de Informática para la Biodiversidad]. 2024. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.unibio.unam.mx> (accessed June 10, 2024)
- Ureta C, Martorell C, Hortal J, Fornoni J. 2012. Assessing extinction risks under the combined effects of climate change and human disturbance through the analysis of life-history plasticity. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* **14**: 393-408. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2012.09.001>
- Vázquez-Ribera C, Martorell C. 2022. The effects of livestock grazing on vegetation in a semiarid grassland: a test of three hypotheses. *Applied Vegetation Science* **25**: e12656. DOI: <https://doi.org/10.1111/avsc.12656>
- Veldman JW, Aleman JC, Alvarado ST, Anderson TM, Archibald S, Bond WJ, Boutton TW, Buchmann N, Buisson E, Canadell JG, Dechoum MdS, Diaz-Toribio MH, Durigan G, Ewel JJ, Fernandes GW, Fidelis A, Fleischman F, Good SP, Griffith DM, Hermann JM, Zaloumis NP. 2019. Comment on “The global tree restoration potential”. *Science* **336(6463)**: eaay7976-7. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aay7976>
- Veldman JW, Overbeck GE, Negreiros D, Mahy G, Le Stradic S, Fernandes GW, Durigan G, Buisson E, Putz FE, Bond WJ. 2011. Tyranny of trees in grassy biomes. *Science* **1967**: 259-271. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.347.6221.484-c>
- Villaseñor JL. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **87**: 559-902. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Weller SA. 2010a. *Plantas de la Reserva de Tehuacán Cuicatlán volumen I*. Peace Corps/USAID.
- Weller SA. 2010b. *Plantas de la Reserva de Tehuacán-Cuicatlán volumen II*. Peace Corps/USAID.
- Wilson JB, Peet RK, Dengler J, Pärtel M. 2012. Plant species richness: the world records. *Journal of Vegetation Science* **23**: 796-802. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2012.01400.x>

Editor de sección: María Silvia Ferrucci

Contribuciones de los autores: CM y DGM trabajo de campo y primera versión del texto. RBG: compilación del listado y primera versión del texto. JLV, JGSK, LTC, ADS, VS, EVM, AES, ARLF, SG, JGGG, LOAC, CSH, RMF, EC, FL, CGH, HMM, MHF, EPC, LHS, MSS, y PHL): identificación de ejemplares y revisión del listado y texto final.

Entidades Financiadoras: Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México financió la investigación con el proyecto PAPIIT IN215422.

Conflictos de interés: Los autores declaramos que no existe ningún conflicto de intereses financieros, personales ni en cuanto a la presentación de la información y resultados de este artículo.

Biodiversidad de las praderas de Oaxaca

Apéndice 1. Herbarios en donde fueron depositados los ejemplares colectados. Los acrónimos se encuentran de acuerdo con el *Index Herbariorum*; Thiers 2024.

IEB (Crassulaceae, Euphorbiaceae [excepto *Acalypha*], Hypoxidaceae, Malvaceae, Montiaceae, Nyctaginaceae, Oxalidaceae, Piperaceae, Phytolaccaceae, Plantaginaceae, y Poaceae).

FCME (Apocynaceae, Boraginaceae, Caprifoliaceae Euphorbiaceae [*Acalypha*], Fagaceae, Gentianaceae, Lythraceae, Onagraceae, Orobanchaceae, Passifloraceae, Violaceae y Viscaceae).

UAMIZ (Amaryllidaceae, Apiaceae, Asparagaceae, Bromeliaceae, Commelinaceae, Iridaceae, Liliaceae y Melanthiaceae), CIDIIR (Acanthaceae, Cyperaceae, Ericaceae, Lamiaceae y Scrophulariaceae).

QMEX (Brassicaceae, Juncaceae, Solanaceae, Ranunculaceae y Typhaceae, y algunas monocotiledóneas).

XAL (Rubiaceae y Lauraceae).

MEXU (el resto de las familias).
