

Composición y estructura de comunidades asociadas de pino-izotal (*Pinus pseudostrobus-Nolina parviflora*), en Puebla, México

Structure and composition of associated communities of pine-izote (*Pinus pseudostrobus-Nolina parviflora*) from Puebla, Mexico

Eduardo Fernando Pompa-Castillo ¹ | Mario Luna-Cavazos ^{1*} | Edmundo García-Moya ¹

- Recibido: 10/Oct/2019
- Aceptado: 18/Nov/2020
- Publicación en línea: 01/Dec/2020

Citación: Pompa-Castillo EF, Luna-Cavazos M, García-Moya E. 2021. Composición y estructura de comunidades asociadas de pino-izotal (*Pinus pseudostrobus-Nolina parviflora*), en Puebla, México. *Caldasia* 43(1):65-79. doi: <https://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v43n1.82394>

ABSTRACT

The analysis of the structure and flora of the plant communities allows knowing the interrelations of the community with the environment. In Puebla, Mexico, there are plant communities composed of pine and izotal that suggest the following question: What is the similarity or floristic difference between both types of vegetation found in nearby areas? The objective was to analyze the richness, diversity, and floristic similarity in the pine forest and izotal to contribute to the knowledge of the diversity of this type of plant communities. Sampling units (SU) of 1000 m², 16 m², and 1 m² were established for the high, medium, and low strata, respectively. Species were recorded, and density, dominance, and frequency were estimated to calculate the Importance Value Index. Diversity was calculated with the Shannon-Wiener index and the true diversity indexes. Cluster analysis was applied to assess floristic similarity and the species-SU association through ordination Bray-Curtis index. The floristic richness in the pine forest was 79 species and 86 in the izotal; the Shannon indices were 1.47 and 1.34, respectively and these indices were significantly different; the true diversity indices were 4.34 and 3.81, respectively. Both communities share 53 species, and they have a floristic similarity of 49 %. Pine forest and izotal showed significant differences in the density and coverage of species. This study contributes to the understanding of the structure and exchange of species in the flora of communities in dry areas of Mexico.

Keywords. Flora species exchanges, floristic similarity, floristic structure

¹ Posgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. México. biopompa@gmail.com, mluna@colpos.mx, edmund@colpos.mx

* Autor para correspondencia



RESUMEN

El análisis de la estructura y flora de las comunidades vegetales permite conocer las interrelaciones de la comunidad con su entorno. En Puebla, México, existen comunidades vegetales compuestas de pino e izotal, por lo que surge la pregunta ¿Cuál es la similitud o diferencia florística entre ambos tipos de vegetación que se encuentran en áreas cercanas? El objetivo fue analizar la estructura de la vegetación con base en la riqueza y semejanza florística en el pinar e izotal para contribuir al conocimiento de la diversidad de este tipo de comunidades vegetales. Se establecieron unidades de muestreo (UM) de 1000 m², 16 m² y 1 m² para el estrato alto, medio y bajo respectivamente. Se registraron las especies y se estimó la densidad, dominancia y frecuencia, para calcular el Índice de Valor de Importancia. Se calculó el índice de diversidad de Shannon-Wiener y el de diversidad verdadera. La semejanza florística se estimó mediante análisis de agrupamiento; la asociación de especies y UM con ordenación por el índice Bray-Curtis. La riqueza florística en el pinar fue de 79 especies y en izotal 86; el índice de Shannon fue 1,47 y 1,34, respectivamente y fueron significativamente diferentes; el de diversidad verdadera 4,34 y 3,81 respectivamente. Ambas comunidades comparten 53 especies y presentan una semejanza florística del 49 %; mostraron diferencias significativas en la densidad y cobertura de especies. Este estudio contribuye al entendimiento de la estructura y el recambio de especies en la flora de comunidades de zonas secas de México.

Palabras clave. Estructura florística, intercambio de especies de plantas, semejanza florística

INTRODUCCIÓN

Las comunidades vegetales consisten en un conjunto de especies que crecen asociadas (Alcaraz Ariza 2013). Dos o más comunidades pueden traslaparse en espacios de transición ecológica, llamados ecotonos, los cuales son de gran interés ecológico por la diversidad vegetal que albergan (Van der Maarel 1990). El conocimiento florístico de las comunidades vegetales es importante en varios aspectos pues permiten describir similitudes y diferencias en la composición florística, analizar la estructura de la vegetación y, conocer las relaciones de las comunidades con el entorno (González Medrano 2004).

El caso de estudio se ubica en una zona con dos tipos de vegetación aledaños que se entremezclan, el bosque de *Pinus pseudostrobus* Brongn. y el izotal de *Nolina parviflora* (Kunth) Hemsl. Los bosques de *Pinus* en el estado de Puebla, México abarcan 99 593 ha (CONABIO 2011), e integran dos tipos principales: bosques mixtos de pino-encino (*Pinus-Quercus*) y bosques con dominio pleno de pinos. Los primeros son los más abundantes en el territorio nacional (Challenger 2014), se desarrollan en un intervalo muy variable de condiciones climáticas: en altitudes que

van de 2350 a 4000 m; precipitación media anual de 600 a 1200 mm y una temperatura entre 10 y 20 °C (Rzedowski 2006). Las especies más comunes en los bosques de pino templado-secos son: *Pinus cembroides* Zucc., *Pinus remota* (Little) D.K. Bailey & Hawksw., *Fraxinus greggii* A. Gray, *Juglans microcarpa* Berland., *Juniperus flaccida* Schltld. y *J. deppeana* Steud. (Encina y Villarreal 2002). Fuentes (1992) indica que la riqueza florística de un piñonar en la zona seca de Puebla consta de 46 especies agrupadas en 19 familias, de las cuales, Asteraceae, Poaceae y Polypodiaceae son las más representativas; la flora incluye árboles bajos (8-10 m) y de cobertura discontinua, estrato arbustivo discontinuo con altura de 0,5-0,7 m, mientras que las hierbas se presentan con distribución agregada (50 cm de altura máxima).

Frecuentemente, los bosques de pino de zonas secas están asociados con matorrales xerófilos, con los cuales comparten diferentes especies, como en el caso del bosque de piñonero con matorral xerófilo, el cual cubre 9,6 % de la vegetación de la Sierra de Zapalinamé en Coahuila, México (Encina-Domínguez et al. 2007).

Los izotales integran parte de los matorrales xerófilos de acuerdo con la clasificación de Rzedowski (2006); sin

embargo, Miranda y Hernández-X (2014) los identifican como un tipo de vegetación diferente denominado matorral desértico rosetófilo. Estos autores indican que especies de los géneros *Yucca*, *Beaucarnea* y *Nolina* dominan estas zonas, y están presentes en climas áridos subcálidos o subtemplados.

Los izotales del estado de Puebla abarcan 122 785 ha (CONABIO 2011). Esta comunidad vegetal está integrada por especies del género *Nolina*, plantas arbustivas tolerantes a climas secos y semisecos, con espinas en tallos y ramas, caducifolias. Algunas especies tienen tallos globosos o columnares, y en plantas foliosas, es común que las hojas y tallos tengan la superficie protegida con ceras y resinas (Fernández-Nava et al. 1997). La altura del estrato alto de los izotales puede llegar a 10 m (Rzedowski 2006) aunque Valiente-Banuet et al. (2000) mencionan alturas de 4 m en el izotal de Tehuacán, Puebla, con densidades de *Yucca periculosa* Baker., entre 500 a 1000 individuos/ha⁻¹; en este mismo estudio se registra un izotal de *Beaucarnea purpusii* Rose., con altura de 5 a 7 metros. Conocida la fisonomía

del izotal poblano, surgen algunas interrogantes ¿Cuál es la riqueza y diversidad florística en la zona de convergencia (ecotonía) del bosque de pino y el izotal? ¿Cuál es la similitud o diferencia florística en ambos tipos de vegetación cuando forman masas diferenciadas en áreas cercanas? El objetivo del presente estudio fue estimar atributos ecológicos como la riqueza, diversidad y semejanza florística en la comunidad vegetal de pino e izotal de Puebla, México, con el propósito de contribuir al conocimiento en la composición y recambio de especies en estos tipos de vegetación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

Es una zona montañosa de 897 ha, ubicada a 1,75 km al sur del ejido El Fuerte de la Unión, municipio de Tepeyahualco, Puebla, México (Fig. 1). Se localiza entre las coordenadas geográficas 19°23' a 19°26' Norte y 97°31' a 97°35' Oeste. La elevación varía de 2380 a 2540 m. La precipitación media anual es de 449 mm (CONAGUA c2017); temperatura

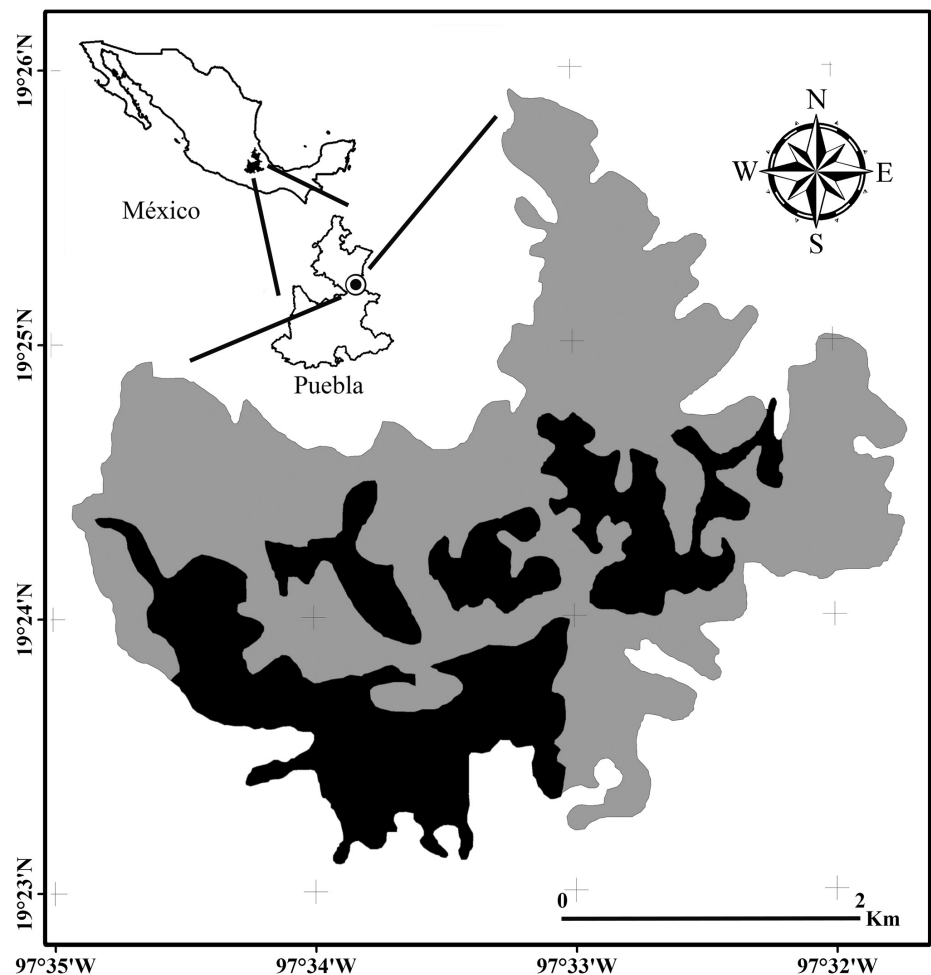


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Bosque de pino (gris), izotal (negro).

mínima de 9 °C y máxima de 24 °C (INEGI 2016). El sustrato es de rocas ígneas extrusivas, principalmente basalto (INEGI 1984); suelos Feozem calcárico y Regosol eútrico de textura arenosa (INEGI 1983). Se encuentran dos tipos de vegetación, el bosque de *P. pseudostrobus* y el izotal de *N. parviflora*, que pueden mezclarse en ecotonías.

Unidades de muestreo

Se revisó la carta de uso de suelo y vegetación de INEGI (1983), y con ayuda de imágenes de Google Earth® se delimitaron las zonas con los dos tipos de vegetación mencionados, los cuales tienen una extensión de 602 y 295 ha, respectivamente. Para corroborar que las zonas correspondieran con los mapas se realizó un recorrido de reconocimiento en el área de estudio. Las unidades de muestreo se establecieron cada 500 m, con un inicio al azar y después de manera sistemática con el propósito de incluir una mayor área representativa de la comunidad. Una unidad de muestreo (UM) estuvo representada por una subunidad para el estrato alto (1000 m²), cuatro para el estrato medio (16 m²) y cuatro para el estrato bajo (1 m²) con base en el método de unidades de muestreo jerárquicas propuesto por Mostacedo y Fredericksen (2000). Derivado del diseño de muestreo anterior se seleccionaron 17, 66 y 63 muestras de vegetación en el bosque de *P. pseudostrobus* y 19, 70 y 73 en el matorral de *N. parviflora* para los estratos alto, medio y bajo, respectivamente. En cada UM se determinó la posición topográfica, la exposición, el relieve, la pendiente y el porcentaje de suelo desnudo.

Registro de flora

En cada UM, las especies se registraron en la época lluviosa (20 de agosto al 19 de octubre de 2017) y el estiaje (28 de enero al 8 de febrero de 2018). En el estrato alto se registró a cada uno de los individuos arbóreos, se midió el perímetro a la altura del pecho (1,30 m de altura); después mediante la fórmula del círculo se estimó el diámetro a la altura del pecho (DAP). En el estrato medio y bajo se estimó la densidad, frecuencia, y cobertura de todas las especies. La densidad se obtuvo por el recuento de individuos de cada especie dentro de la unidad muestreada; la frecuencia mediante el registro de la presencia de las especies en cada UM; la cobertura, se evaluó al medir el radio de la copa de árboles, arbustos y herbáceas a lo largo y ancho, luego se calculó el promedio por cada individuo y mediante la fórmula del área del círculo se obtuvo el dato correspondiente. El cálculo de los valores relativos de los atributos ecológicos y valores de importancia en

cada estrato para los dos tipos de vegetación se efectuó con las ecuaciones mencionadas en Mostacedo y Fredericksen (2000). También, se recolectó material botánico para hacer la determinación taxonómica.

Determinación de especies

Esta se hizo en el herbario Hortorio (CHAPA) del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo con base en Dávila Aranda *et al.* (1993), Calderón de Rzedowski y Rzedowski (2005), Castillo-Campos (2018), Rzedowski Rotter y Calderón de Rzedowski (c2018). La nomenclatura de las especies y las autoridades se cotejaron con la base de datos Trópicos del Missouri Botanical Garden (c2018).

Riqueza florística e índices de diversidad. Se cuantificaron las especies del pinar e izotal y se calculó el índice de entropía de Shannon-Wiener (Moreno 2001). Para determinar diferencias significativas en el índice de Shannon-Wiener (H') entre tipos de vegetación, se empleó la prueba t modificada por Hutcheson (Magurran 2004). Además, se calculó el índice de diversidad verdadero de acuerdo con el procedimiento de Jost (2006) y Jost y González-Oreja (2012).

Análisis de agrupamiento. La similitud entre UM y tipos de vegetación se caracterizó mediante un análisis de agrupamiento con el coeficiente de Bray-Curtis (Sorensen) como medida de distancia y el procedimiento Beta-Flexible para la integración de los grupos (Peck 2010). Este y el resto de los análisis multivariados se efectuaron en una matriz de cobertura de 35 UM y 50 especies, que aparecen en al menos tres UM dado que, de acuerdo con Peck (2010), las especies que ocurren una o dos veces en las UM contribuyen con muy poca información al análisis de semejanza entre sitios. A fin de estimar diferencias estadísticas en la composición de especies y atributos ecológicos de densidad y cobertura entre los tipos de vegetación, se efectuó un análisis de permutación de respuesta múltiple (MRPP, por sus siglas en inglés; McCune y Grace 2002).

Análisis de ordenación. Aplicamos una ordenación de la vegetación mediante el procedimiento de Bray-Curtis, ya que este método es una de las técnicas más útiles para analizar comunidades vegetales (McCune y Grace 2002, Huerta-Martínez *et al.* 2004). En este caso se usó una matriz de datos de cobertura de las especies, con el fin de explorar las relaciones florísticas entre los tipos de vegetación del área. Los análisis multivariados se efectuaron con el programa PC-ORD versión 6 (McCune y Mefford 2011).

RESULTADOS

Riqueza florística

La riqueza florística incluyó 79 especies en el bosque de *P. pseudostrobus* y 86 en el izotal de *N. parviflora*. Se encontraron 111 especies, pertenecientes a 59 géneros y 37 familias; las mejor representadas fueron Asteraceae (20 y 27), Poaceae (seis y trece) y Fabaceae (ocho y once) géneros y especies, respectivamente. En ambos tipos de vegetación se presentó el mismo orden de abundancia de las familias más representativas. El bosque de pino presentó 25 especies exclusivas, mientras que el izotal tuvo 32 (Tabla 1).

Caracterización ecológica y estructura del bosque de P. pseudostrobus. Este bosque se encuentra entre los 2380 a 2540 m de altitud, con orientación principalmente al norte, noreste y noroeste, microrrelieve ondulado y pendientes de 5 a 65 %. La vegetación cubre 40 % de la superficie del terreno, el suelo desnudo es del 10 %, hojarasca 45 %, gravas y rocas ocupan el 5 %.

El estrato alto del pinar presentó una altura promedio de $3,9 \pm 3,2$ m (intervalo de 4-18 m); *P. pseudostrobus* tiene

una altura promedio de $7,47 \pm 4,1$ m.; la densidad arbórea fue de 210 individuos ha^{-1} ; está compuesto por seis especies, de las cuales, *P. pseudostrobus* y *N. parviflora* fueron dominantes (Tabla 2). El estrato medio contiene 23 especies; altura promedio de $0,8 \pm 0,4$ m (intervalo 0,2-1,8 m); la densidad fue de 3568 individuos ha^{-1} ; los mayores valores de importancia (VI) lo presentaron *Dalea melantha* S. Schauer, *Bouvardia ternifolia* (Cav.) Schltldl. y *Ageratina calaminthifolia* (Kunth) R.M. King & H. Rob. (Tabla 2). El estrato bajo fue el de mayor cobertura e incluyó 48 especies; con altura promedio de $0,44 \pm 0,34$ m (intervalo 0,04-1,60 m) y densidad de cuatro individuos/ m^2 ; las especies con mayor VI pertenecen a la familia Poaceae, entre ellas *Muhlenbergia montana* (Nutt.) Hitchc., *M. dubia* E. Fourn. y *Jarava ichu* Ruiz & Pav. (Tabla 2).

Caracterización ecológica y estructura del izotal de N. parviflora

El izotal se localiza entre 2380 a 2540 m, con exposición principalmente al S, SE y SW, microrrelieve accidentado y pendientes de 5 a 80 %. La vegetación cubre un 40 % del terreno, el suelo desnudo aproximadamente del 20 %, hojarasca 20 %, gravas y rocas el 20 %.

Tabla 1. Especies registradas en el bosque de pino (Bp) y el Izotal (Iz)

Familia	Especie	Acronimo	Bp	Iz
Amaranthaceae	<i>Chenopodium graveolens</i> Willd.			X
Anacardiaceae	<i>Rhus standleyi</i> F.A. Barkley	Rhusta	X	X
Apiaceae	<i>Eryngium monocephalum</i> Cav.	Erymon	X	
Apocynaceae	<i>Metastelma angustifolium</i> Turcz.		X	
Asparagaceae	<i>Agave kerchovei</i> Lem.		X	
	<i>Agave potatorum</i> Zucc.			X
	<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck	Agasal		X
	<i>Dasyllirion lucidum</i> Rose	Dasluc	X	X
	<i>Echeandia gracilis</i> Cruden	Echgra	X	X
	<i>Milla biflora</i> Cav.			X
	<i>Nolina parviflora</i> (Kunth) Hemsl.	Nolpar	X	X
	<i>Yucca periculosa</i> Baker		X	X
Asteraceae	<i>Ageratina calaminthifolia</i> (Kunth) R.M. King & H. Rob.	Agecal	X	X
	<i>Ageratina schaffneri</i> (Sch. Bip. ex B.L. Rob.) R.M. King & H. Rob.	Agesch	X	X
	<i>Ageratina wrightii</i> (A. Gray) R.M. King & H. Rob.	Agewri	X	X
	<i>Ageratum paleaceum</i> (Gay ex DC.) Hemsl.			X

(Continúa)

Tabla 1. Especies registradas en el bosque de pino (Bp) y el Izotal (Iz)

Familia	Especie	Acrónimo	Bp	Iz
	<i>Aster gymnocephalus</i> (DC.) A. Gray		X	
	<i>Baccharis conferta</i> Kunth			X
	<i>Bahia pringlei</i> Greenm.	Bahpri	X	X
	<i>Bidens bigelovii</i> A. Gray	Bidbig	X	X
	<i>Chrysactinia mexicana</i> A. Gray	Chrmex	X	X
	<i>Dahlia merckii</i> Lehm.		X	
	<i>Erigeron delphinifolius</i> Willd.		X	X
	<i>Erigeron galeottii</i> (A. Gray) Greene		X	
	<i>Flaveria angustifolia</i> (Cav.) Pers.	Flaang	X	X
	<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.		X	
	<i>Gnaphalium arizonicum</i> A. Gray	Gnaari	X	
	<i>Hymenoxys chrysanthemoides</i> (Kunth) DC.			X
	<i>Psacalium sinuatum</i> (Cerv.) H. Rob. & Brettell		X	X
	<i>Sanvitalia procumbens</i> Lam.			X
	<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill			X
	<i>Stevia elatior</i> Kunth			X
	<i>Stevia eupatoria</i> (Spreng.) Willd.		X	
	<i>Stevia serrata</i> Cav.	Steser	X	
	<i>Tagetes coronopifolia</i> Willd.		X	
	<i>Tagetes linifolia</i> Seaton		X	
	<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.		X	
	<i>Tridax coronopifolia</i> (Kunth) Hemsl.			X
	<i>Tridax luisana</i> Brandegee			X
Brassicaceae	<i>Eruca sativa</i> Mill.		X	
Bromeliaceae	<i>Tillandsia recurvata</i> (L.) L.		X	
	<i>Tillandsia usneoides</i> (L.) L.		X	
Cactaceae	<i>Mammillaria discolor</i> Haw.			X
	<i>Mammillaria magnimamma</i> Haw.			X
	<i>Opuntia robusta</i> H.L. Wendl. ex Pfeiff.	Opurob	X	X
	<i>Opuntia</i> sp. Mill	Opusp	X	X
Caryophyllaceae	<i>Arenaria lycopodioides</i> Willd. ex D.F.K. Schltld.	Arelyc	X	
Commelinaceae	<i>Commelina pallida</i> Willd.			X
Convolvulaceae	<i>Ipomoea stans</i> Cav.	Iposta	X	X
Crassulaceae	<i>Echeveria mucronata</i> Schltld.			X
Cupressaceae	<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	Jundep	X	X

(Contiúna)

Tabla 1. Especies registradas en el bosque de pino (Bp) y el Izotal (Iz)

Familia	Especie	Acrónimo	Bp	Iz
Cyperaceae	<i>Cyperus manimae</i> Kunth			X
Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth			X
	<i>Comarostaphylis polifolia</i> (Kunth) Zucc. ex Klotzsch	Compol	X	X
Euphorbiaceae	<i>Acalypha phleoides</i> Cav.	Acaphl	X	X
	<i>Croton dioicus</i> Cav.		X	X
	<i>Euphorbia serpens</i> Kunth			X
Fabaceae	<i>Astragalus mollissimus</i> Torr.		X	X
	<i>Brongniartia discolor</i> Brandegees			X
	<i>Dalea bicolor</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Dalbic	X	X
	<i>Dalea melantha</i> S. Schauer	Dalmel	X	X
	<i>Dalea versicolor</i> Zucc.	Dalver	X	X
	<i>Lotus oroboides</i> (Kunth) Ottley		X	
	<i>Lupinus leptophyllus</i> Cham. & Schltdl.			X
	<i>Macroptilium atropurpureum</i> (Moc. & Sessé ex DC.) Urb.			X
	<i>Macroptilium gibbosifolium</i> (Ortega) A. Delgado	Macgib	X	X
	<i>Mimosa texana</i> (A. Gray) Small	Mimtex		X
	<i>Phaseolus coccineus</i> L.		X	
Fagaceae	<i>Quercus greggii</i> (A. DC.) Trel.			X
	<i>Quercus rugosa</i> Née		X	X
	<i>Quercus</i> × <i>dysophylla</i> Benth.	Quedys	X	X
Geraniaceae	<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér. ex Aiton	Erocic	X	X
	<i>Geranium cruceroense</i> R. Knuth	Gercru	X	X
Iridaceae	<i>Tigridia ehrenbergii</i> (Schltdl.) Molseed		X	
Lamiaceae	<i>Salvia helianthemifolia</i> Benth.		X	
	<i>Salvia laevis</i> Benth.	Sallae		X
	<i>Salvia melissodora</i> Lag.		X	
	<i>Salvia microphylla</i> Kunth	Salmic	X	X
	<i>Salvia thymoides</i> Benth.	Salthy	X	X
	<i>Salvia venturana</i> B.L. Turner	Salven	X	X
Nyctaginaceae	<i>Allionia choisyi</i> Standl.		X	X
Onagraceae	<i>Oenothera suffrutescens</i> (Ser.) W.L. Wagner & Hoch		X	
Orchidaceae	<i>Deiregyne eriophora</i> (B.L. Rob. & Greenm.) Garay			X
	<i>Hexalectris grandiflora</i> (A. Rich. & Galeotti) L.O. Williams		X	

(Contiúna)

Tabla 1. Especies registradas en el bosque de pino (Bp) y el Izotal (Iz)

Familia	Especie	Acronimo	Bp	Iz
Orobanchaceae	<i>Castilleja tenuiflora</i> Benth.			X
Oxalidaceae	<i>Oxalis divergens</i> Benth. ex Lindl.			X
	<i>Oxalis pes-caprae</i> L.		X	
Plantaginaceae	<i>Penstemon barbatus</i> (Cav.) Roth			X
Pinaceae	<i>Pinus pseudostrobus</i> Brongn.	Pinpse	X	X
Poaceae	<i>Achnatherum constrictum</i> (Hitc.) Valdés-Reyna & Barkworth	Achcon	X	X
	<i>Aristida laxa</i> Cav.	Arilax	X	X
	<i>Aristida schiedeana</i> Trin. & Rupr.	Arisch	X	X
	<i>Bouteloua gracilis</i> (Kunth) Lag. ex Griffiths		X	X
	<i>Jarava ichu</i> Ruiz & Pav.	Jarich	X	X
	<i>Muhlenbergia dubia</i> E. Fourn.	Muhdub	X	X
	<i>Muhlenbergia glabrata</i> (Kunth) Trin.		X	X
	<i>Muhlenbergia longiligula</i> Hitc.	Muhlon	X	X
	<i>Muhlenbergia macroura</i> (Kunth) Hitc.	Muhmac	X	X
	<i>Muhlenbergia montana</i> (Nutt.) Hitc.	Muhmon	X	X
	<i>Muhlenbergia rigida</i> (Kunth) Kunth	Muhrig	X	X
	<i>Piptochaetium brevicalyx</i> (E. Fourn.) Ricker	Pipbre	X	X
	<i>Piptochaetium virescens</i> (Kunth) Parodi	Pipvir	X	X
Polemoniaceae	<i>Loeselia coerulea</i> (Cav.) G. Don	Loecoe	X	X
Rhamnaceae	<i>Ceanothus greggii</i> A. Gray	Ceagre	X	X
Rosaceae	<i>Amelanchier denticulata</i> (H.B.K.) Koch.	Ameden	X	X
Rubiaceae	<i>Bouvardia tenuiflora</i> Schtdl.	Bouten	X	X
Scrophulariaceae	<i>Buddleja cordata</i> Kunth			X
	<i>Buddleja perfoliata</i> Kunth			X
Solanaceae	<i>Solanum douglasii</i> Dunal		X	X
	<i>Solanum nigrescens</i> M. Martens & Galeotti		X	X
Verbenaceae	<i>Verbena elegans</i> Kunth			X
	Total de especies		79	86

El estrato alto tuvo una altura promedio de $3,61 \pm 2,1$ m (intervalo 0,6-15 m); densidad de 220 individuos ha^{-1} ; compuesto por siete especies, de las cuales, *N. parviflora*, *Juniperus deppeana* y *Quercus x dysophylla* Benth. fueron las dominantes (Tabla 2). El estrato medio incluyó 30 especies; altura promedio de $0,94 \pm 0,41$ m (intervalo 0,3-2,2 m); densidad de 2875 individuos ha^{-1} ; Las especies dominantes fueron *D. melantha*, *Dasylyrion lucidum* Rose, *Dalea versicolor* Zucc. y *B. ternifolia* (Tabla 2). Es notable la presencia de *Arbutus xalapensis* Kunth y

Comarostaphylis polifolia (Kunth) Zucc. ex Klotzsch, las cuales son comunes en áreas post-incendios. El estrato bajo fue el más conspicuo, con 49 especies; altura promedio de $0,43 \pm 0,71$ m (intervalo 0,05-3,40 m); densidad de cuatro individuos/ m^2 ; las especies más representativas fueron *M. rigida*, *J. ichu*, *M. montana* y *M. longiligula* Hitc. (Tabla 2).

Diversidad alfa y semejanza florística. El bosque de *P. pseudostrobus* registró un valor de índice de entropía de

Tabla 2. Valores de importancia de las especies más conspicuas de los estratos alto, medio y bajo en el bosque de *Pinus pseudostrobus* y en el izotal de *Nolina parviflora*.

Estrato alto	Bosque de pino				Izotal			
	DR	DoR	FR	VI	DR	DoR	FR	VI
<i>Pinus pseudostrobus</i>	35,90	76,75	26,53	139,18	3,29	21,57	15,56	40,42
<i>Nolina parviflora</i>	47,12	7,08	30,61	84,81	85,41	25,74	42,22	153,37
<i>Juniperus deppeana</i>	8,01	5,46	28,57	42,04	7,53	12,69	24,44	44,66
<i>Quercus x dysophylla</i>	7,05	8,54	10,20	25,79	1,88	35,39	11,11	43,38
Estrato medio								
<i>Dalea melantha</i>	22,02	17,09	18,18	57,29	22,67	17,66	15,11	55,44
<i>Bouvardia ternifolia</i>	24,14	9,18	20,45	53,77	18,01	2,30	10,79	31,10
<i>Ageratina calaminthifolia</i>	6,37	13,80	5,30	25,47	3,11	3,42	3,60	10,13
<i>Dalea versicolor</i>	6,63	3,37	6,06	16,06	14,29	11,45	8,63	34,37
<i>Dasyilirion lucidum</i>					9,32	15,68	14,39	39,39
Estrato bajo								
<i>Muhlenbergia montana</i>	13,71	20,21	12,00	45,92	5,16	15,28	6,20	26,64
<i>Muhlenbergia dubia</i>	4,84	13,56	4,00	22,40				
<i>Muhlenbergia rigida</i>					5,16	20,38	5,43	30,97
<i>Muhlenbergia longiligula</i>					6,13	13,32	6,20	25,65
Jarava ichu	4,03	9,86	6,40	20,29	7,74	14,14	7,75	29,63

DR= densidad relativa; DoR= dominancia relativa; FR= frecuencia relativa; VI= valor de importancia.

Shannon de 1,47, significativamente diferente ($P < 0,05$) al del izotal de *N. parviflora* (1,34). El índice de diversidad verdadera produjo valores de 4,34 y 3,81 para el bosque e izotal, respectivamente.

El agrupamiento de las unidades de muestreo mostró un patrón claro de separación entre las UM de ambos tipos de vegetación (Fig. 2). El grupo 1 (G1) se diferencia por integrar UM principalmente del bosque de pino y algunas del izotal básicamente caracterizadas por la presencia de *P. pseudostrobus*; el grupo 1,1 (G1,1) asocia en mayor medida UM del bosque de pino e izotal, mientras que el grupo 1,2 incluye solo UM del bosque de pino. Las UM del grupo 2 (G2), están caracterizadas mayormente por *Nolina parviflora*, y en algunas UM por *Quercus x dysophylla* Benth. y *Muhlenbergia montana* (Nutt.) Hitchc., como el caso de las UM grupo 2,1; mientras que el grupo 2,2 corresponde a UM del izotal. Entre las UM del G1 es notable la presencia de *Juniperus deppeana* Steud. y *Bouvardia tenuiflora* Schltld., esta última escasa o ausente en UM del G2, a pesar de que este incluye UM del pinar (G2,1).

El análisis de permutación de respuesta múltiple mostró diferencias significativas en los valores de densidad ($T = -3,518$, $P = 0,003$) y cobertura ($T = -7,090$, $P = 0,0002$) pero no en la composición de especies ($T = -0,232$, $P = 0,4$) entre los dos tipos de vegetación.

Análisis de ordenación

El análisis Bray-Curtis explicó el 88,14 % de variación de los datos, donde el eje uno, con un aporte 71,22 % de variación explicada y el eje dos con el 16,92 %, diferenciaron a los sitios de la siguiente manera (Fig. 3). El grupo uno (G1) incluyó unidades principalmente de laderas, de las cuales el 64 % se orientan hacia el norte y noreste; pendientes por lo común menores al 15 % y cobertura del 20 al 70 %; las especies características fueron *P. pseudostrobus*, *M. dubia*, *Bouvardia tenuiflora* Schltld., *Echeandia gracilis* Cruden y *Piptochaetium virescens* (Kunth) Parodi. El grupo 2 (G2) estuvo formado por cuatro UM del pinar ubicados en laderas con exposición N, NE y NO, pendientes del 10 al 60 % y cobertura entre 20 - 80 %; las especies características fueron *Muhlenbergia macroura* (Kunth)

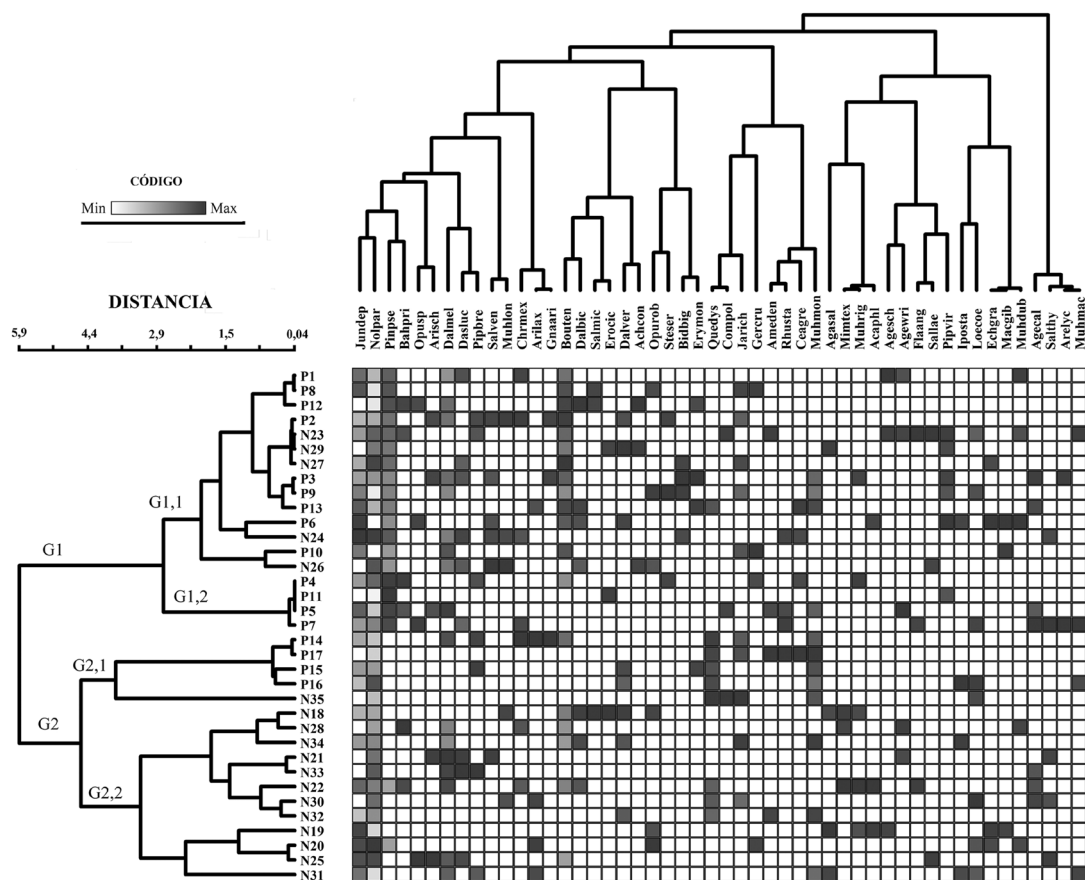


Figura 2. Dendrograma de similitud florística entre las unidades de muestreo del pino e izotal del área de estudio. Los acrónimos de las especies incluidas en el análisis se describen en la Tabla 1; G= grupo.

Hitchc. y *Arenaria lycopodioides* Willd. ex D.F.K. Schtdl. Los grupos tres y cuatro corresponden ampliamente con UM del izotal; el grupo 3 (G3) formado por tres UM ubicadas en barrancas y laderas, exposición NE y S, pendientes del 25 al 75 % y cobertura de 35 al 90 %; las especies representativas son *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, *Comarostaphylis polifolia* (Kunth) y *Rhus standleyi* F.A. Barkley. El grupo 4 (G4) incluye a la mayor parte de las UM del izotal y unas pocas del pinar; principalmente de laderas, algunas en barrancas y crestas; diferente exposición que incluye NE, SE y S; pendientes menores del 30 %; cobertura regularmente del 30 al 90 %; caracterizadas principalmente por *N. parviflora*, *Mimosa texana* (A. Gray) Small, *Dasyllirion lucidum* Rose, *Loeselia coerulea* (Cav.) G. Don, y *Muhlenbergia rigida* (Kunth) Kunth.

DISCUSIÓN

La riqueza florística es una de las medidas más importantes de la biodiversidad y puede ser comparada con la de

otras regiones; además, es uno de los aspectos más invocados al tomar decisiones sobre la conservación de los recursos naturales y el impacto ambiental de distintas acciones (Villaseñor 2003, Cabrera-Luna y Gómez-Sánchez 2005). En nuestro estudio, Asteraceae, Poaceae y Fabaceae fueron las familias más numerosas; la predominancia de estas familias corresponde a regiones montañosas, áridas y semiáridas de México (Villaseñor 2003, 2016), de allí su prevalencia en el área de estudio con características ambientales de zonas secas. En los matorrales xerófilos, las Asteraceae pueden representar hasta la cuarta parte de la flora (Rzedowski 2006). La máxima diversidad de plantas en México se concentra en los estados de Chiapas, Oaxaca y Veracruz; el estado de Puebla ocupa el lugar número doce (Villaseñor 2003). Aunque Asteraceae es la familia más rica en especies en México (casi 16 %), en Puebla sobrepasa este porcentaje por un 4 %, lo que indica un mayor número de especies en esa familia botánica (CONABIO 2011). De acuerdo con Villaseñor (2016), en Puebla, México existen 247 familias, 1483 géneros y 5232 especies, por lo

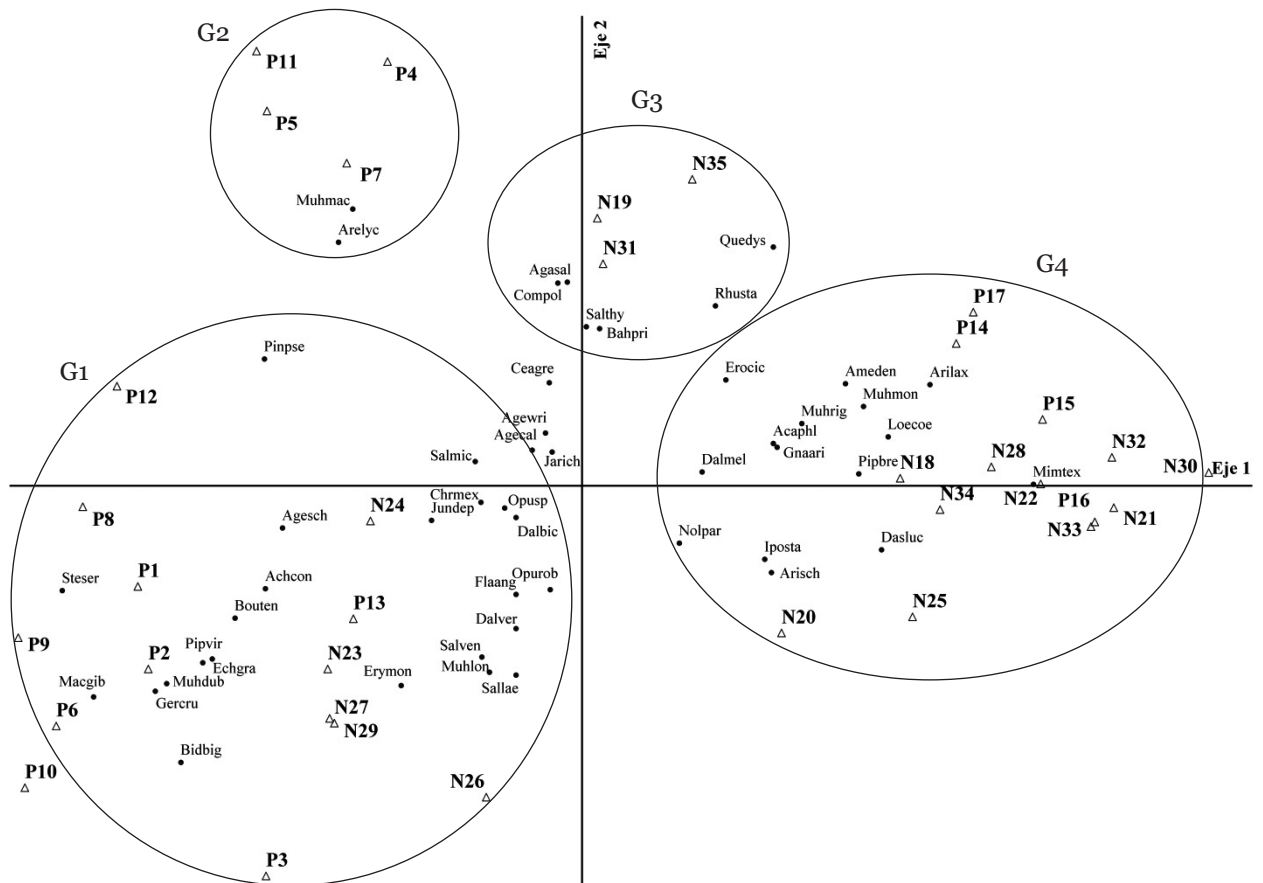


Figura 3. Asociación de unidades de muestreo y de especies derivada del análisis de ordenación Bray-Curtis. Los acrónimos de las especies incluidas en el análisis se describen en la Tabla 1; G= grupo.

que, en el área de estudio esa riqueza representa un 14,9, 3,9 y 2,1, respectivamente de la flora registrada para el estado de Puebla (Villaseñor 2016). La riqueza de especies encontrada en el presente trabajo puede ser consecuencia de la variación ambiental que resulta en una combinación de tipos de vegetación como lo encontrado en el área de estudio.

La estructura y dinámica de la vegetación es el resultado de las propiedades de las poblaciones de plantas y de su respuesta a la naturaleza y dinamismo del entorno; de allí que las condiciones ambientales determinan la complejidad de la vegetación (Alcaraz Ariza 2013). La estructura de una comunidad vegetal refiere a las principales características de los distintos estratos vegetales con especial importancia en la distribución de las especies por clases de tamaño (Gadow et al. 2007). En este contexto, la estructura del bosque de *P. pseudostrobus* coincide con el patrón de la flora vascular mexicana, con menor riqueza de especies arbóreas seguida de las arbustivas y una mayor diversidad de herbáceas (Villaseñor 2004). Ellas desempeñan un importante papel en el mantenimiento de la estructura

y función de los bosques (Gilliam 2007); las herbáceas llegan a ser dominantes bajo condiciones de suelos someros y limitantes de humedad como en el caso documentado por Cabrera-Luna y Gómez-Sánchez (2005). Condiciones semejantes a lo anterior, se encuentran en nuestra área de estudio donde las gramíneas principalmente del género *Muhlenbergia* son frecuentes. Otro factor que favorece el desarrollo del estrato herbáceo y, por lo general a las gramíneas (Rzedowski 2006), son los incendios forestales, eventos que son frecuentes en el área (EFPC observación personal).

El índice de valor de importancia que permite comparar el peso ecológico de las especies en la comunidad (López-Hernández et al. 2017), mostró la esperable dominancia de *P. pseudostrobus* en el pinar; sin embargo, debe ser mencionado el elevado valor de importancia de *Nolina parviflora* en esa comunidad vegetal, especie característica del izotal, por lo que no debe descartarse que dicha especie esté invadiendo el entorno del pinar por efecto, probablemente, de una mayor capacidad de adaptación a diferentes condiciones de suelo y topografía.

En relación con la fisonomía y estructura, el matorral xerófilo, incluido el izotal, presenta una gran diversidad (Rzedowski 2006), de allí la notable variedad de formas biológicas en esta vegetación. De acuerdo con los resultados, el izotal se localiza en condiciones de suelo desnudo, con gravas y rocas en mayor proporción que en el bosque de pino, lo cual parece favorecer el desarrollo de las comunidades dominadas por *N. parviflora*, como ha sido documentado para otras comunidades caracterizadas por *Nolina longifolia*, de ambientes semejantes (Valiente-Banuet *et al.* 2000). González-Medrano (2012) indica también que matorrales de *Nolina* asociados a *Dasyllirion* y *Agave* son característicos de lomeríos pedregosos derivados de roca caliza, lo cual ratifica en cierta medida, las condiciones del entorno que favorecen la dominancia de *Nolina* en nuestra área de estudio. Sin embargo, es preciso mencionar que también otras comunidades dominadas por *N. parviflora* se encuentran sobre laderas de roca volcánica en localidades de Puebla y Veracruz con un estrato arbóreo de 2 a 4 m de alto, y un estrato arbustivo con varias especies de *Dalea* entre otras (Rzedowski 2006), como lo observado en el área de estudio. Adicionalmente, Rzedowski (2006) menciona que en otras localidades del centro de México se encuentran áreas con abundancia de *N. parviflora*, que al parecer son comunidades secundarias mantenidas por el fuego; al respecto, vale recordar que en el área de estudio los incendios han sido frecuentes (EFPC observación personal) lo que probablemente ha influido para la persistencia y expansión del izotal hacia las áreas del bosque de pino.

Nolina parviflora es la especie dominante en el izotal, pero también *Q. x dysophylla*, lo anterior es importante pues en otras localidades de ambiente semejante del estado de Veracruz, *N. parviflora* se encuentra asociada mayormente a *Quercus sebifera* formando comunidades extensas en zonas medias y altas de cerros entre los 1900 a 2500 m de altitud (Valiente-Banuet *et al.* 2000, 2009, Rivera-Hernández *et al.* 2019), lo que supone que ambas especies y la flora asociada responden a condiciones semejantes del entorno.

Respecto a la semejanza entre los tipos de vegetación Badii *et al.* (2007) consideran que, al expresar numéricamente la semejanza, pueden establecerse límites con una base matemática que reduce considerablemente la subjetividad. Los resultados de nuestro estudio demostraron diferencias significativas en el índice de entropía entre ambos tipos de vegetación, así como diferencias en el índice de diversidad verdadera. El índice de diversidad verdadera

(IDV) indicó valores de 4,34 y 3,81 en el bosque de pino e izotal del área de estudio respectivamente, lo que revela que estos tipos de vegetación son más diversos de lo que comúnmente suponen otros índices; con base en lo anterior, resulta conveniente usar IDV para evaluar de modo adecuado los cambios espaciales y temporales en la diversidad de especies (Jost y González-Oreja 2012).

El análisis de permutación de respuesta múltiple derivado de la comparación de grupos producto del análisis de agrupamiento, mostró diferencias en densidad y cobertura, pero no en la composición de especies entre ambas comunidades vegetales. Es probable que las diferencias observadas en los atributos mencionados sean debidas a condiciones propias del entorno donde se asientan las diferentes unidades de muestreo, pues tal como lo menciona González-Medrano (2012), es posible que en una misma zona climática se localicen zonas de contacto entre material parental diferente que sustenten distintos tipos de vegetación contiguos, como es el caso del bosque de pino e izotal encontrados en el área de estudio. No obstante, esta aseveración debe tomarse con reserva toda vez que, en nuestro estudio, no caracterizamos el material parental o condiciones de suelo de las unidades de estudio de ambas comunidades vegetales. Sin embargo, otros estudios han llegado a conclusiones semejantes donde se considera que las condiciones del entorno influyen en las semejanzas o diferencias entre tipos de vegetación, lo cual está influido por el tipo de suelo y sustrato, además de otros factores como relieve y pendiente (López-Galindo *et al.* 2003).

El hecho de que el análisis de permutación de respuesta múltiple no haya mostrado diferencias en la composición de especies entre ambas comunidades vegetales, indica una alta proporción de especies compartidas; lo anterior posiblemente se explica porque en diferentes tipos de vegetación encontrados en áreas cercanas, frecuentemente los elementos florísticos de una comunidad vegetal se internan en la otra mediante ecotonos donde, entre el 60 - 80 % puede corresponder a un tipo bien definido, mientras que el resto no es del todo preciso debido a la transición entre ellos (Alcaraz Ariza 2013).

Un aspecto importante en el estudio de la vegetación es determinar la correlación entre la distribución de las especies y los factores del medio físico y biótico que influyen en ella (Rzedowski 2006); este autor menciona que en regiones de clima árido la topografía influye en la distribución de la vegetación. Al respecto, cabe mencionar que, en el área de estudio, diferentes unidades de muestreo (UM)

del izotal se ubicaron en barrancas y laderas con pendientes superiores al 60 %, de allí que este posiblemente sea un factor que determinó la ocurrencia de este tipo de vegetación. En esta misma área, cada tipo de vegetación mostró una tendencia específica a ubicarse, con las UM del pinar hacia orientaciones norte, noreste y noroeste, mientras que las del izotal se ubicaron preferentemente hacia orientaciones sur y sureste, lo que posiblemente influyó en diferencias menores en la composición florística puesto que a nivel general, no hubo diferencias significativas. Al respecto, González-Medrano (2012) menciona que, a nivel local, las diferencias en la orientación de las laderas influyen sobre la distribución de la vegetación, que da como consecuencia que, en regiones semejantes al área de estudio, en las laderas orientadas al sur, más secas y cálidas (Del Castillo 2000, López-Gómez *et al.* 2012), soportan una vegetación de matorral rosetófilo; mientras que en las laderas norte existe vegetación de matorral alto subinerno o un bosque bajo de pinos. Otros estudios han encontrado que la topografía y exposición de los sitios influyen en la distribución de las especies vegetales (González-Medrano 2012, Ramírez-Prieto *et al.* 2016, López-Palacios *et al.* 2018)

Los resultados indicaron un mayor número de especies y de cobertura vegetal (hasta 90 %) en el izotal respecto al pinar, lo cual posiblemente se deba a condiciones del sustrato y tipo de suelo, tal como lo sugiere Rzedowski (2006); el autor menciona que la cubierta vegetal y biomasa de terrenos contiguos, como en el caso del área de estudio, esos atributos pueden ser más abundantes bajo condiciones de suelo somero con abundantes piedras y grava como en el caso del izotal, a diferencia de suelos más profundos como puede ser el caso del pinar, aunque faltaría probar esta aseveración. Es probable también que la menor cobertura en el pinar sea debida a la influencia de actividades humanas como el establecimiento de pastizales inducidos y al avance del izotal hacia áreas del pinar, tal como ha ocurrido en otras comunidades de pino piñonero-*Nolina parviflora* (Granados Victorino *et al.* 2015).

Un factor que no fue estudiado en esta ocasión, pero consideramos debería ser analizado más a fondo es el referente a las características fisicoquímicas del suelo que probable-

mente proporcionen información adicional para caracterizar la flora de ambas comunidades vegetales que coexisten en ecotonía. Al respecto, diferentes investigaciones han concluido que en comunidades vegetales bajo un mismo régimen climático, como en el caso del área de estudio, la distribución de la vegetación está determinada por las características edáficas (Osorio Beristain *et al.* 1996, Valiente-Banuet *et al.* 2000, Granados Victorino *et al.* 2015), de allí que aún existen factores importantes por analizar en la asociación pino-izotal de esta comunidad del estado de Puebla, México que contribuirían a un mejor conocimiento de la vegetación de zonas secas.

Finalmente, consideramos que los resultados de esta investigación aportan información relevante para el entendimiento de las relaciones florísticas y el recambio de especies entre los tipos de vegetación aquí considerados. Esta información sería importante para continuar estudios adicionales que incluyan la relación especies-ambiente desde el punto de vista climático y edáfico, como base para entender la dinámica de estas comunidades vegetales.

LITERATURA CITADA

- Alcaraz Ariza FJ. 2013. Fundamentos de la clasificación de la vegetación. [Revisada en: 22 Ago 2018]. <https://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema10.pdf>
- Badii MH, Landeros J, Cerna E. 2007. Patrones de asociación de especies y sustentabilidad (Species association patterns and sustainability). *Int. J. Good Consc.* 3(1):632-660.
- Cabrera-Luna JA, Gómez-Sánchez M. 2005. Análisis florístico de la cañada, Querétaro, México. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 77:35-50. doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.1711>
- Calderón de Rzedowski G, Rzedowski J. 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. Pátzcuaro, Michoacán, México: Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Castillo-Campos G, editor. 2018. Flora de Veracruz. Xalapa, Veracruz: Instituto de Ecología, A.C. [Revisada en: 10 Mar 2018]. <http://www.inecol.edu.mx/publicaciones/LISTADOFLOWER.htm>
- Challenger A. 2014. Paisajes naturales y humanos de México. En: Valdez R, Ortega J, editores. *Ecología y manejo de fauna silvestre en México*. México: Colegio de Postgraduados. p. 21-52.

PARTICIPACIÓN DE AUTORES

EFPC, diseño, trabajo de campo y gabinete, análisis de datos. MLC, diseño, análisis de datos, escritura del documento. EGM, diseño, revisión y correcciones al documento.

AGRADECIMIENTOS.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (México) por la beca (Clave: 456356) otorgada a EFPC para sus estudios de Maestría en Ciencias. Agradecemos a Angélica Romero-Manzanares, la lectura crítica y observaciones al manuscrito

- [CONABIO] Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2011. La Biodiversidad en Puebla, Estudio de Estado. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Puebla, Benemérita Universidad de Puebla.
- [CONAGUA] Comisión Nacional del Agua. 2017. Normales climatológicas del estado de Puebla. [Revisada en: 9 Mar 2017]. <http://smn.cna.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales5110/NORMAL21244.TXT>
- Del Castillo RF. 2000. Composición y estructura de una nopalera bajo situaciones contrastantes de exposición de ladera y herbivoría. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 65:5-22. doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.1591>
- Dávila Aranda P, Villaseñor Ríos JL, Medina Lemos R, Téllez Valdez O, editores. 1993. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Encina J, Villarreal J. 2002. Distribución y aspectos ecológicos del género *Quercus* (Fagaceae), en el estado de Coahuila, México. *Polibotánica.* 13:1-23.
- Encina-Domínguez JA, Zárate-Lupercio A, Valdés-Reyna J, Villarreal-Quintanilla JA. 2007. Caracterización ecológica y diversidad de los bosques de encino de la sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 81:51-63. doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.1765>
- Fernández-Nava R, Robles C, Aurelio J. 1997. Notas sobre la vegetación y flora de San Joaquín, Querétaro, México. *Polibotánica.* 4:10-36.
- Fuentes B. 1992. Caracterización y clasificación fisonómica del bosque de pino piñonero (*Pinus cembroides* var. *orizabensis*) del municipio de Guadalupe Victoria, Puebla. [Tesis]. [Estado de México]: Universidad Autónoma Chapingo.
- Gadow KV, Sánchez Orois S, Álvarez JG. 2007. Estructura y crecimiento del bosque. Alemania: Universidad de Göttingen.
- Gilliam FS. 2007. The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems. *BioScience.* 57(10):845-858. doi: <http://dx.doi.org/10.1641/B571007>
- González Medrano F. 2004. Las comunidades vegetales de México. México D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.
- González-Medrano F. 2012. Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología.
- Granados Victorino RL, Granados Sánchez D, Sánchez-González A. 2015. Caracterización y ordenación de los bosques de pino piñonero (*Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*) de la Cuenca Oriental (Puebla, Tlaxcala y Veracruz). *Madera Bosques.* 21(2):23-42. doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2015.212443>
- Huerta-Martínez FM, Vázquez-García JA, García-Moya E, López-Mata L, Vaquera-Huerta H. 2004. Vegetation ordination at the southern Chihuahuan Desert (San Luis Potosi, Mexico). *Plant Ecol.* 174:79-87. doi: <https://doi.org/10.1023/B:VEGE.0000046063.12313.74>
- [INEGI] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 1983. Carta edafológica de Guadalupe Victoria. Escala 1:50 000. México.
- [INEGI] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 1984. Carta geológica de Guadalupe Victoria. Escala 1:50 000. México.
- [INEGI] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2016. Normales Climatológicas del municipio de Tepeyahualco, estado de Puebla. [Revisada en: 9 Mar 2017]. <http://www.inegi.org.mx/>
- Jost L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos.* 113(2): 363-375. doi: <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- Jost L, González-Oreja JA. 2012. Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta Zool. lillo.* 56(1-2): 3-14.
- López-Galindo F, Muñoz-Iniestra D, Hernández-Moreno M, Soler-Aburto A, Castillo-López MC, Hernández-Arzate I. 2003. Análisis integral de la toposecuencia y su influencia en la distribución de la vegetación y la degradación del suelo en la Subcuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla. *Bol. Soc. Geol. Mex.* 56(1):19-41. doi: <https://doi.org/10.18268/BSGM2003v56n1a3>
- López-Gómez V, Zedillo-Avelleyra P, Anaya-Hong S, González-Lozada E, Cano-Santana Z. 2012. Efecto de la orientación de la ladera sobre la estructura poblacional y ecomorfología de *Neobuxbaumia tetetzo* (Cactaceae). *Bot. Sci.* 90(4):453-457. doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.473>
- López-Hernández JA, Aguirre-Calderón OA, Alanís-Rodríguez E, Monarrez-Gonzalez JC, González-Tagle MA, Jiménez-Pérez J. 2017. Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México. *Madera Bosques.* 23:39-51. doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311518>
- López-Palacios LM, Fortanelli-Martínez J, Flores-Flores JL, García-Pérez J. 2018. Análisis de la cobertura vegetal en el gradiente topográfico del cráter la Joya Honda San Luis Potosí. *Polibotánica.* 46:119-137. doi: <https://doi.org/10.18387/polibotanica.46.6>
- Magurran AE. 2004. Measuring biological diversity. Oxford: Blackwell Science.
- McCune B, Grace JB. 2002. Analysis of ecological communities. Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.: MjM Software Design.
- McCune B, Mefford MJ. 2011. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, version 6. Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.: MjM Software.
- Miranda F, Hernández-X E. 2014. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. México: Fondo de Cultura Económica, Sociedad Botánica de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.
- Moreno CE. 2001. Métodos para medir la biodiversidad, Volumen 1. Zaragoza, España: M & T – Manuales y Tesis SEA.
- Mostacedo B, Frederiksen T. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Santa Cruz, Bolivia: Editora El País.
- Osorio-Beristain O, Valiente-Banuet A, Dávila P, Medina R. 1996. Tipos de vegetación y diversidad β en el valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 59:35-58. doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.1504>

- Peck JE. 2010. *Multivariate analysis for community ecologists: Step by step using PC-ORD*. Glenden Beach, Oregon, USA: MjM Software.
- Ramírez-Prieto J, Koch-Olt S, Balleza-Cadengo JJ, Adame-González M, Romero-Nápoles J. 2016. Flora de la cima de la Mesa Alta, Jerez, Zacatecas, México. *Bot. Sci.* 94(2):357-375. doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.246>
- Rivera-Hernández JE, Flores-Hernández N, Vargas-Rueda AF, Alcántara-Salinas G, Cházaro-Basáñez MJ, García-Albarado JC. 2019. Flora y vegetación de la región semiárida de Acultzingo-Maltrata, Veracruz, México. *Acta Bot. Mex.* 126: e14339. doi: <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1433>
- Rzedowski J. 2006. *Vegetación de México*. 1ra. Edición digital. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Rzedowski Rotter J, Calderón de Rzedowski G, editores. 2018. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. Pátzcuaro, Michoacán: Instituto de Ecología. [Revisada en: 10 Mar 2018]. <http://inecolbajio.inecol.mx/floradelbajio/index.php/fasciculos/publicados>
- Tropicos del Missouri Botanical Garden. 2018. *Missouri Botanical Garden*. [Revisada en: 10 Abr 2018]. <http://www.tropicos.org/>
- Valiente-Banuet A, Casas A, Alcántara A, Dávila P, Flores-Hernández N, Arizmendi MC, Villaseñor JL, Ortega Ramirez J. 2000. La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 67:25-74. doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.1625>
- Valiente-Banuet A, Solís L, Dávila P, Arizmendi MC, Silva-Pereyra C, Ortega-Ramírez J, Treviño-Carreón J, Rangel-Landa S, Casas A. 2009. *Guía de la vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Laboratorio de Geofísica, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Universidad Autónoma de Tamaulipas y Fundación para la Reserva de la Biosfera Cuicatlán, A.C.
- Van der Maarel E. 1990. Ecotones and ecoclines are different. *J. Veg. Sci.* 1(1):135-138. doi: <https://doi.org/10.2307/3236065>
- Villaseñor JL. 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de Mexico. *Interciencia.* 28 (3):160-167.
- Villaseñor JL. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Rev. Mex. Biodiv.* 87(3):559-902. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Villaseñor JL. 2004. Los géneros de plantas vasculares de la flora de México. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 75:105-135. doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.1694>