



Artículo / Article

## Clasificación y ordenación de bosques de pino piñonero del estado de Querétaro

## Classification and ordination of pinyon pine forests of Querétaro State

Marcela Rosas Chavoya<sup>1</sup>, Diódoro Granados Sánchez<sup>1</sup>, Ro Linx Granados Victorino<sup>2</sup> y Salvador Esparza Govea<sup>3</sup>

### Resumen

El desierto queretano, en especial el que está dentro de la Sierra Gorda, incluye una de las áreas con mayor abundancia de pinos piñoneros en México. El estudio descrito se llevó a cabo en 14 localidades de bosques de estas coníferas con el objetivo de caracterizarlos estructural y florísticamente, así como establecer una relación entre la estructura y la composición de especies de las comunidades con su ambiente físico. Se realizaron muestreos estacionales de junio del 2013 a junio del 2014, y recorridos de 2 000 m por localidad, donde se recolectaron e identificaron herbáceas anuales y perennes, arbustos y árboles. Los resultados indican la existencia de tres *taxa* pertenecientes al grupo de los piñoneros: *P. cembroides*, *P. cembroides* var. *bicolor* y *P. pinceana*; mismos que junto con *Juniperus flaccida* forman cuatro diferentes asociaciones de dominancia y codominancia, cada una con distintos grados de similitud florística, los cuales fueron definidos por un análisis de agrupamiento. La ordenación mediante un análisis de correspondencias canónicas sugiere que las variables que rigen la composición de la vegetación y los grupos ecológicos son de origen multifactorial; de ellos, los más relevantes para su establecimiento son la materia orgánica, la pendiente y la altitud. *P. pinceana* es la única dentro de la NOM-059, de las tres registradas en el estado de Querétaro, y ha sido catalogada como en peligro de extinción.

**Palabras clave:** Análisis de correspondencias canónicas, asociaciones vegetales, composición florística, comunidad vegetal, estructura forestal, *Pinus cembroides* Zucc.

### Abstract

The Queretanian desert, particularly that part within the Sierra Gorda, includes an area with the greatest abundance of pinyon pines in Mexico. The study here described was carried out in 14 locations of this kind of forests with the aim to make the structural and floristic characterization as well as to establish a relationship between the structure and the species composition with their physical environment. Seasonal samplings were performed from June 2013 to June 2014 and 2 000 m long walk rounds by location were made; thus annual and perennial herbs, shrubs and trees were collected and identified. Results show the existence of three *taxa* that belong to this group: *P. cembroides*, *P. cembroides* var. *bicolor* and *P. pinceana*; which, together with *Juniperus flaccida* make up four different associations of dominance and codominance, each one with different degrees of floristic similitude, which were defined by a cluster analysis. The ordination by a correspondence canonical analysis suggests that the variables that govern the floristic composition and the ecological groups have a multifactorial origin of variables where the most outstanding which affect their establishment were the organic matter, slope and altitude. Of the three *taxa* in record in Querétaro State, *P. pinceana* is the only one considered in the NOM-059 regulation and has been classified as endangered species.

**Key words:** Canonical Correspondence Analysis, plant association, plant composition, plant community, forest structure, *Pinus cembroides* Zucc.

Fecha de recepción/ Date of receipt: 27 de enero de 2015; Fecha de aceptación/Date of acceptance: 21 de diciembre de 2015.

<sup>1</sup> División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, México. Correo-e: didorog@latinmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Preparatoria Agrícola, Área de Biología, Universidad Autónoma Chapingo, México.

<sup>3</sup> Posgrado en Hidrociencias, Colegio de Postgraduados Chapingo, México.

## Introducción

Se estima que en México existen 46 especies del género *Pinus* y de ellas, los piñoneros producen semillas comestibles. Son endémicos de Norteamérica, en donde tienen una distribución extendida, desde el sur de Idaho (*Pinus monophylla* Torr. & Frém, 42° 16' N) en el suroeste de Estados Unidos de América, hasta el sur de Puebla en México (*Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* D. K. Bailey, 18°27' N), y se desarrollan bajo diferentes regímenes climáticos. Pueden habitar lugares altos como *P. edulis* Engelm. en las Montañas Rocallosas o tierras bajas muy calurosas como *P. cembroides* Zucc. (Armentrout y Pieper, 1988; Richardson, 1998).

El desierto queretano, en especial el área correspondiente a la Sierra Gorda, contiene una de las áreas con mayor abundancia de estos pinos en el territorio nacional. En el centro coexisten, principalmente, dos especies, *Pinus cembroides* y *Pinus pinceana* Gordon. Además, Zavala y Campos (1993) registraron una población importante de *P. cembroides* var. *bicolor* Little en el municipio Cadereyta, Querétaro.

Los pinos piñoneros son de gran relevancia para las zonas áridas del país, ya que algunas veces constituyen el único recurso forestal presente, del cual los pobladores locales obtienen madera para leña o construcción, alimento y ganancias económicas por el aprovechamiento del piñón, a lo que habría que agregarse que dichas comunidades naturales proporcionan una variedad de servicios ambientales (Villarreal *et al.*, 2009). Por otro lado, estos pinos son reconocidos por su amplia adaptabilidad y resistencia a condiciones adversas, lo que les confiere un estatus de especies con gran potencial para la restauración ecológica (Ríos *et al.*, 2008).

Las comunidades dominadas por ellos en el estrato arbóreo ocupan, en general, un lugar transitorio entre los bosques templados de las áreas montañosas y los matorrales xerófilos, de lo que resulta que tengan una composición florística mixta (Granados *et al.*, 2012; Granados *et al.*, 2015). Además de las complejas relaciones que se establecen entre ellas, el intercambio de especies de dos floras distintas le da a los bosques de este tipo una fisonomía única.

Los distintos taxa de plantas que componen un ecosistema determinado tienen dimensiones (altura, cobertura y diámetro) muy variadas y por lo regular ocupan sitios bien definidos, en respuesta a cambios en los factores climáticos, gradientes ambientales o al disturbio, natural o provocada por el hombre (Remmert, 1991).

La clasificación es un método ampliamente utilizado para identificar las asociaciones entre la composición florística de las comunidades, y así poder distinguirlas de manera más precisa y sintética; a su vez, un método complementario es

## Introduction

It is estimated that there are 46 species of the *Pinus* genus in Mexico and from them, pinyon pines produce edible seeds. They are endemic to North America, where they have a broad distribution, from south Idaho (*Pinus monophylla* Torr. & Frém, 42° 16' N) in the southwest of the United States of America, up to the south of Puebla State in Mexico (*Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* D. K. Bailey, 18°27' N) and they grow under different climate regimes. They may live in high places as *P. edulis* Engelm. does in the Rocky Mountains or in warm low lands as *P. cembroides* Zucc. (Armentrout and Pieper, 1988; Richardson, 1998).

The Queretanian desert, particularly that part within the Sierra Gorda, includes an area with the greatest abundance of pinyon pines in Mexico. Mainly, two species coexist at the central part, *Pinus cembroides* and *Pinus pinceana* Gordon. In addition, Zavala and Campos (1993) recorded an important population of *P. cembroides* var. *bicolor* Little in Cadereyta Municipality.

Pinyon pines are very relevant species for the arid zones of the country, since sometimes they are the only forest resource there. From this species, the locals get firewood or building material, as well as nourishment and economic profit from the seed, to which it must be added the fact that such natural communities provide a several environmental services (Villarreal *et al.*, 2009). On the other hand, these pines are acknowledged for their great adaptability and resistance to adverse conditions, which confers them a status of great potential for ecological restoration (Ríos *et al.*, 2008).

The communities dominated by pinyon pines in the tree stratum have, in general, a transitional place between the mild-weather forests of the mountain areas and the xerophytic scrubland, from which the result is a mixed floral composition (Granados *et al.*, 2012; Granados *et al.*, 2015). In addition to the complex relationships established between them, the species interchange of two different floras provide a unique physiognomy to this kind of forests.

The different species of plants that make up a particular ecosystem have very different tree dimensions (height, cover and diameter) and regularly are in specific sites as a response to changes in climate factors, environmental gradients or to disturb, being natural or from human origin (Remmert, 1991).



la ordenación, la cual determina la influencia de los factores ambientales o edáficos sobre la presencia y dinámica de ciertos gremios (Sánchez y López, 2003; Alcaraz, 2013; Granados *et al.*, 2015)

Harris *et al.* (2003) señalan la importancia del uso de las técnicas de análisis multivariado en los estudios sinecológicos como un mecanismo para detectar los factores ambientales responsables del cambio en la estructura y distribución de la vegetación. Aunque existen diversos trabajos que han contribuido al conocimiento biológico y ecológico de los bosques de piñoneros en otras regiones, este tipo de estudio resulta pertinente debido a que el entendimiento de la estructura de las comunidades vegetales propicia una buena toma de decisiones, en cuanto a su aprovechamiento y conservación.

Los objetivos del presente trabajo consistieron en caracterizar fisonómica y florísticamente la vegetación comprendida en los bosques de pino piñonero del estado de Querétaro, así como establecer una relación entre la estructura y composición de las comunidades con su ambiente físico.

## Materiales y Métodos

### Localización del área de estudio

El área de estudio se ubica en la región árida de Querétaro y sus sistemas montañosos circundantes que en su conjunto se denominan Sierra Gorda. Esta zona forma parte de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, con una altitud entre 2 000 y 2 900 m. Predomina el clima semicálido subhúmedo, mismo que abarca parte de los municipios Arroyo Seco, Jalpan de Serra, Pinal de Amoles y Landa de Matamoros; y al suroeste; el clima es seco y semicálido con lluvias en verano (Conagua, 2002).

El trabajo de campo se desarrolló en las 14 localidades con bosques de pino piñonero siguientes: Cadereyta 1 y 2, Los Juárez, Maguey Verde 1 y 2, Pinal de Amoles, Puerto Hondo, Río Blanco 1 y 2, San Javier, San Joaquín, Sombrerete, Villitas y Vizarrón (Figura 1).

Classification is a widely used method to identify the associations in the floristic composition of the communities and therefore, to distinguish in a more precise and synthetic way the different ecological associations of vegetation; ordination, on the other side, is a complementary method by which the influence of the environmental or edaphic factors upon the presence and dynamics of some groups is determined (Sánchez and López, 2003; Alcaraz, 2013; Granados *et al.*, 2015).

Harris *et al.* (2003) mentioned the importance of using multivariate techniques in synecological studies as a mechanism to detect the environmental factors responsible of the changes in the structure and distribution of vegetation. Although there are several works that have made a contribution to the biological and ecological knowledge of the pinyon forests in other regions, this kind of study, is convenient as the understanding of the structure of the vegetal communities favors a right decision taking in terms of use and conservation.

The aims of this work were to describe the physiognomy and flora of the vegetation in the pinyon pine forests of Querétaro State, as well as to establish a relation between the structure and composition of the communities with their physical environment.

## Materials and Methods

### Study area

The study area is located in the arid region of Querétaro State and its surrounding mountain system that, as a whole, is known as Sierra Gorda. This zone is part of the physiographic province of the Sierra Madre Oriental, at an altitude of 2 000 to 2 900 m. The semi-warm semi-humid weather prevails, which includes Arroyo Seco, Jalpan de Serra, Pinal de Amoles and Landa de Matamoros Municipalities; and to the southwest, the weather is dry and semi-warm with summer rains (Conagua, 2002).

Field work was performed in the following 14 locations of pinyon pine forests: Cadereyta 1 and 2, Los Juárez, Maguey Verde 1 and 2, Pinal de Amoles, Puerto Hondo, Río Blanco 1 and 2, San Javier, San Joaquín, Sombrerete, Villitas and Vizarrón (Figure 1).



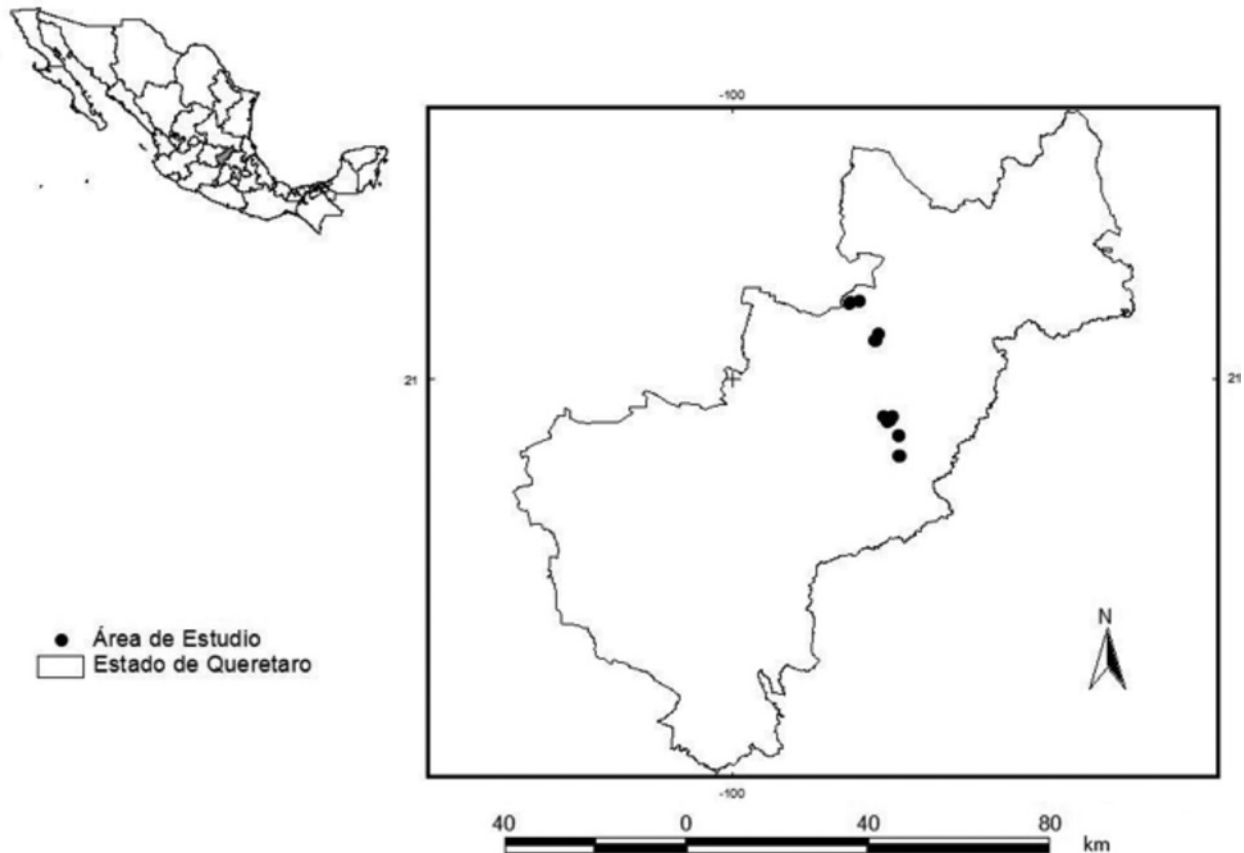


Figura 1. Área de estudio.  
Figure 1. Study area.

### Composición florística

Se hicieron muestreos estacionales de junio del 2013 a junio del 2014, así como recorridos de 2 000 m por localidad, donde se recolectaron e identificaron especies herbáceas anuales y perennes, arbustos y árboles. Los especímenes que no fue posible identificar *in situ* se recolectaron y procesaron para su identificación en el herbario de la División de Ciencias Forestales y en el de la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo.

### Caracterización de la vegetación

El análisis estructural se basó en la caracterización fisonómica de las localidades, en donde se tomaron 12 puntos seleccionados al azar, distanciados entre sí por lo menos 20 m. En cada punto se aplicó la técnica de Punto Cuadrante Centrado (Cottam y Curtis, 1956), en el cual se toman como referencia especies con forma de vida arbórea, con DAP (diámetro a la altura del pecho, 130 cm) mayor a 10 cm; por sitio se trazan dos líneas perpendiculares que forman cuadrantes, dentro de cada uno se mide la distancia al árbol más cercano al punto central, y se registra el nombre de la especie, su altura y su DAP.

### Floristic composition

Seasonal samplings were performed from June 2013 to June 2014, as well as 2 000 m long walk rounds by location were made and, thus, annual and perennial herbs, shrubs and trees were collected and identified. The specimens that were not identified *in situ* were collected and processed for that purpose in the herbarium of the *División de Ciencias Forestales* and of the *Preparatoria Agrícola* of the *Universidad Autónoma Chapingo*.

### Description of vegetation

The structural analysis was based on the physiognomical characterization of each location, in which 12 points selected at random were taken at a distance of 20 m at least between them. In each point was applied the central quadrant point technique (Cottam and Curtis, 1956), in which species with a tree life form with a BHD over 10 cm were taken as a reference; in each site two parallel perpendicular lines that form quadrants were drawn, and in each of them the distance to the closest tree to the central point were measured, and the name of the species, height and BHD were recorded.

Estas variables permitieron estimar los valores de frecuencia, dominancia y densidad de las especies más representativas por localidad, y se calcularon de la siguiente manera:

$$\text{Frecuencia} = \frac{\text{Número de puntos con la especie } a}{\text{Total de puntos}} \times 100$$

*Dominancia = Área basal media por especie x Número de árboles de la especie*

El área basal media es igual al promedio de las áreas basales de todos los individuos de cada especie, y se calculó con la fórmula:

$$\text{Área basal} = \pi \left( \frac{\text{DAP}}{2} \right)^2$$

La densidad se definió como el número total de individuos de todas las especies en 100 m<sup>2</sup> y se determinó con la expresión:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Área}}{\text{Distancia media}^2}$$

La distancia media es el promedio de las distancias de todos los individuos de las especies registradas con respecto al punto central.

Los valores relativos de frecuencia, densidad y dominancia se combinaron en el Valor de Importancia Relativa (VIR), con base en la fórmula definida por Müller-Dombois y Ellenberg (1974):

$$\text{VIR} = \frac{\text{Frecuencia relativa} + \text{Densidad relativa} + \text{Dominancia relativa}}{3}$$

Con los Valores de Importancia Relativa de las especies para cada localidad se hizo la representación gráfica de la estructura vertical y horizontal de las comunidades, mediante perfiles fisonómicos dimensionales de tipo semirrealista, según el método de Richards (1952). También se elaboraron esquemas llamados danserogramas, los cuales tienen como objetivo principal facilitar la comprensión de la organización de las comunidades vegetales, su clasificación y la selección de métodos para su estudio sistemático (Granados y Tapia, 1990). La simbología utilizada en dichos gráficos para describir las características más representativas por taxon se ilustran en la Figura 2.

This variables allowed to make an estimation of the frequency, dominance and density values of the more representative species in each location and were calculated as follows:

$$\text{Frequency} = \frac{\text{Number of points with species } a}{\text{Total of points}} \times 100$$

*Dominance = Mean basal area by species x number of trees by species*

The mean basal area is the average of the basal area of all the members of each species; it was calculated with the following formula:

$$\text{Basal area} = \pi \left( \frac{\text{DAP}}{2} \right)^2$$

Density was defined as the total number of individuals of all species in 100 m<sup>2</sup> and was determined as follows:

$$\text{Basal area} = \pi \left( \frac{\text{DAP}}{2} \right)^2$$

Mean distance is the average of all de distances among the individuals of the species recorded in regard to the central point.

The relative values of frequency, density and dominance were combines in the Relative Importance Value (VIR, for its Spanish acronym) based upon de formula by Müller-Dombois and Ellenberg (1974):

$$\text{VIR} = \frac{\text{Relative frequency} + \text{Relative Density} + \text{Relative Dominance}}{3}$$

With the Relative Importance Values of the species for each locality, the graphical representation of the vertical and horizontal structure of communities through physiognomic type semi-realistic dimensional profiles was performed according to the method of Richards (1952). Schemes called danserograms were also developed, which are aimed to facilitate understanding of the organization of plant communities, their classification and selection of methods for their systematic study (Granados and Tapia, 1990). The symbols used in these graphics to describe the most representative characteristics of each species are illustrated in Figure 2.





Figura 2. Símbolos para la descripción estructural de la comunidad propuestos por Dansereau, 1957 (modificado de Valenzuela y Granados, 2009).

Figure 2. Symbols for the structural description of the community proposed by Dansereau, 1957 (Adapted by Valenzuela and Granados, 2009).

## Clasificación y Ordenación

En cuanto a las variables ambientales, en los sitios se registraron: la exposición, la pendiente y la altitud de cada comunidad. En el caso de las edáficas, fue necesario tomar muestras de 1 kg, aproximadamente, por sitio con bosque de pino piñonero, para su análisis posterior en el Laboratorio Central Universitario del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo, en donde se hicieron las siguientes determinaciones:

1. pH, mediante potenciómetro con relación suelo-agua 1:2.
2. N (Nitrógeno), extraído con cloruro de potasio a una concentración 2N y se determinó mediante arrastre de vapor.

## Classification and Ordination

About the environmental variables, in each site the exposition, slope and altitude of each community were noted. In the case of the edaphic variables, it was necessary to take a 1 kg of soil samples from each site with pinyon pine forest for their subsequent analysis at the *Laboratorio Central Universitario* of the *Departamento de Suelos* of the *Universidad Autónoma Chapingo*, where the following was determined:

1. pH, by a potentiometer with a 1:2 soil-water ratio.
2. N (Nitrogen), extracted by a 2N potassium chloride concentration and was determined by steam stripping.
3. P (Phosphorous), obtained by the Bray P-1 (Bray and Kurtz, 1945) and Olsen (Olsen and Sommers, 1982) extraction methods.

3. P (Fósforo), obtenido por los métodos de extracción Bray P-1 (Bray y Kurtz, 1945). y Olsen (Olsen y Sommers, 1982).
4. K (Potasio), extraído en acetato de amonio a una concentración 1N con, pH 7 en una relación 1:20 y se cuantificó por espectrofotometría de emisión de flama.
5. Ca (Calcio), extraído en acetato de amonio en una concentración 1N, con pH 7 en una relación 1:20 y se determinó por espectrofotometría de absorción atómica.
6. Fe (Hierro), extraído con DTPA en una relación 1:4 y fue determinado por espectrofotometría de absorción atómica.
7. Materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black (1934).
8. Textura del suelo, mediante un hidrómetro de Bouyoucos.

La vegetación se clasificó con base en un análisis *cluster* o de agrupamiento, de lo que resultó un dendrograma general de áreas, con atributos binarios (presencia-ausencia) de las especies que componen cada una de las localidades. Se utilizó el índice de semejanza de *Bray-Curtis* como medida de distancia, y como algoritmo de unión el promedio entre grupos y un nivel de corte de 0.5. El análisis se realizó con el programa de cálculo PAST 3.01 (Hamer *et al.*, 2001).

Posteriormente, se hizo un análisis de correspondencias canónicas (ACC), con una ordenación directa, en la que la composición de especies se relaciona directamente con el gradiente de las variables ambientales (Sánchez y López, 2003). Los componentes que se correlacionaron con el ACC fueron las especies, los sitios y las variables ambientales registradas para cada localidad. Se trabajó con el programa de cálculo CANOCO (Ter Braak y Smilauer, 1998).

## Resultados

### Composición florística

Se identificó un total de 78 especies de plantas vasculares en los bosques de pino piñonero del estado de Querétaro, pertenecientes a 63 géneros y 39 familias (Cuadro 1).

Vegetation was classified by a cluster or grouping analysis, from which a general area dendrogram came, with binary properties (presence-absence) of the species present at each one of the localities. The Bray-Curtis similitude index was used a distance measure and as a link algorithm of the average among groups at a cut level of 0.5. The analysis were made with the calculation PAST 3.01 program (Hamer *et al.*, 2001)

Later, a Canonical Correspondence Analysis (ACC, for its acronym in Spanish), with a direct ordination, in which the species composition is directly related with the environmental variable gradient (Sánchez and López, 2003). Species, sites and the environmental variables taken at each locality were the components correlated with ACC. The calculation program that was used was CANOCO (Ter Braak and Smilauer, 1998).

## Results

### Floristic composition

A total of 78 species of vascular plants in the pinyon pine forests of Querétaro State were identified, which belong to 63 genera and 39 families (Table 1).

Cactaceae followed by Asteraceae were the families with a greater number of species (Table 2).



Cuadro 1. Composición florística de los bosques de pino piñonero del estado de Querétaro.  
Table 1. Floristic composition of the pinyon pine forests of Querétaro State.

Familia	Especie	Localidad													
		1: San Javier	2: Vizarrón	3: San Joaquín	4: Pinal de Anoles	5: Río Blanco	6: Puerto Hondo	7: Río Blanco 2	8: Maguey Verde	9: Maguey Verde 2	10: Sombrerete	11: Cadereyta	12: Cadereyta 2	13: Los Juárez	14: Villitas
Agavaceae	<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck	X		X	X		X	X	X	X				X	
Agavaceae	<i>Agave gentryi</i> B. Ullrich	X										X			
Agavaceae	<i>Agave ferox</i> K. Koch														
Agavaceae	<i>Agave xylonacantha</i> Salm-Dyck											X			
Agavaceae	<i>Manfreda scabra</i> (Ortega) McVaugh														X
Anacardiaceae	<i>Rhus standleyi</i> F. A. Barkley					X	X	X	X	X		X	X	X	
Anacardiaceae	<i>Pistacia mexicana</i> Kunth						X								
Apiaceae	<i>Arracacia toluensis</i> (Kunth) Hemsl.												X	X	
Apocynaceae	<i>Asclepias linaria</i> Cav.									X	X				
Asparagaceae	<i>Dasylirion acrotrichum</i> (Schiede) Zucc.													X	
Asteraceae	<i>Senecio</i> sp.	X									X			X	X
Asteraceae	<i>Gnaphalium</i> sp.	X		X					X	X	X	X	X	X	
Asteraceae	<i>Melampodium</i> sp.	X	X	X					X	X	X	X	X	X	X
Asteraceae	<i>Stevia salicifolia</i> Cav.	X	X	X		X			X	X	X	X	X	X	X
Asteraceae	<i>Ageratina espinosarum</i> (A. Gray) R. M. King & H. Rob								X						
Asteraceae	<i>Eupatorium</i> sp.								X	X					
Asteraceae	<i>Erigeron longipes</i> DC.	X		X					X	X					
Asteraceae	<i>Baccharis conferta</i> Kunth														X
Asteraceae	<i>Senecio albonervius</i> Greenm.														X
Asteraceae	<i>Baccharis salicifolia</i> Nutt.														X
Bignoniaceae	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	X	X								X				
Bromeliaceae	<i>Tillandsia recurvata</i> (L.) L.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bromeliaceae	<i>Tillandsia usneoides</i> (L.) L.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cactaceae	<i>Opuntia streptacantha</i> Lem.	X				X									
Cactaceae	<i>Coryphantha erecta</i> Lem. ex Pfeiff.	X										X			
Cactaceae	<i>Echinocactus grusonii</i> Hildm.		X												
Cactaceae	<i>Ferocactus echinde</i> (DC.) Britton & Rose														
Cactaceae	<i>Opuntia rastrera</i> F. A. C. Weber		X									X			
Cactaceae	<i>Cylindropuntia imbricata</i> (Haw.) F. M. Kunth			X								X	X		
Cactaceae	<i>Opuntia leucotricha</i> DC.					X				X					
Cactaceae	<i>Opuntia tomentosa</i> Salm-Dyck							X		X	X				
Cactaceae	<i>Echinocereus pentalophus</i> (DC.) Lem.						X	X							

Continúa Cuadro 1...



Continúa Cuadro 1...

Familia	Especie	Localidad													
		1: San Javier	2: Vizarrón	3: San Joaquín	4: Pinal de Amoles	5: Río Blanco	6: Puerto Hondo	7: Río Blanco 2	8: Magüey Verde	9: Magüey Verde 2	10: Sombrerete	11: Cadereyta	12: Cadereyta 2	13: Los Juárez	14: Villitas
Cactaceae	<i>Stenocactus ochoterenus</i> Tiegel													X	
Cactaceae	<i>Mammillaria uncinata</i> Zucc. ex Pfeiff.						X	X							
Caprifoliaceae	<i>Symphoricarpos microphyllus</i> (Humb. & Bonpl. ex Schltdl.) Kunth				X										
Caryophyllaceae	<i>Arenaria lanuginosa</i> (Michx.) Rohrb.				X										
Convolvulaceae	<i>Ipomoea orizabensis</i> (G. Pelletan) Ledeb. ex Steud.	X								X			X	X	
Convolvulaceae	<i>Maurandya antirrhiniflora</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.								X				X		
Crassulaceae	<i>Sedum moranense</i> Kunth	X										X	X	X	
Crassulaceae	<i>Echeveria elegans</i> Rose												X	X	
Cupressaceae	<i>Juniperus flaccida</i> Schltdl.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Cupressaceae	<i>Juniperus deppeana</i> Steud.			X	X				X				X	X	
Euphorbiaceae	<i>Codiaeum variegatum</i> (L.) Rumph. ex A. Juss.	X				X	X	X							
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia antisiphilitica</i> Zucc.										X	X			
Fabaceae	<i>Brongniartia intermedia</i> Moric.	X	X	X						X			X	X	
Fabaceae	<i>Dalea lutea</i> (Cav.) Willd.	X	X						X	X	X	X			
Fabaceae	<i>Senna mexicana</i> (Jacq.) H. S. Irwin & Barneby					X	X		X					X	
Fabaceae	<i>Vicia ludoviciana</i> Nutt.				X										
Fabaceae	<i>Phaseolus</i> sp.				X										
Fabaceae	<i>Acacia schaffneri</i> (S. Watson) F. J. Herm.					X									
Fagaceae	<i>Quercus mexicana</i> Bonpl.				X	X									
Fagaceae	<i>Quercus germana</i> Schltdl. & Cham.				X										
Fabaceae	<i>Sophora secundiflora</i> (Ortega) DC.						X	X							
Fouquieriaceae	<i>Fouquieria splendens</i> Engelm.										X				
Geraniaceae	<i>Geranium latum</i> Small	X	X	X					X	X	X	X	X	X	
Krameriaceae	<i>Krameria cytisoides</i> Cav.			X								X			
Krameriaceae	<i>Krameria ixine</i> L.						X	X							
Lamiaceae	<i>Salvia coccinea</i> Buch'hoz ex Etl.	X	X	X			X		X	X	X	X	X	X	
Lamiaceae	<i>Salvia ballotiflora</i> Benth.	X	X	X							X		X	X	
Lamiaceae	<i>Salvia microphylla</i> Kunth						X		X				X	X	
Lamiaceae	<i>Poliomntha</i> sp.				X										
Lentibulariaceae	<i>Pinguicula acuminata</i> Benth.												X	X	
Onagraceae	<i>Fuchsia thymifolia</i> Kunth														
Pinaceae	<i>Pinus cembroides</i> Zucc.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Continúa Cuadro 1...

Continúa Cuadro 1...

Familia	Especie	Localidad													
		1: San Javier	2: Vizarrón	3: San Joaquín	4: Pinal de Amoles	5: Río Blanco	6: Puerto Hondo	7: Río Blanco 2	8: Maguay Verde	9: Maguay Verde 2	10: Sombrerete	11: Cadereyta	12: Cadereyta 2	13: Los Juárez	14: Villitas
Pinaceae	<i>Pinus pinceana</i> Gordon		X		X				X	X					
Piperaceae	<i>Peperomia campylotrapa</i> A. W. Hill	X								X				X	X
Ranunculaceae	<i>Thalictrum fendleri</i> Englem. ex A. Gray				X										
Rhamnaceae	<i>Condalia mexicana</i> Schltld.						X	X							
Rosaceae	<i>Malacomeles denticulata</i> (Kunth) G. N. Jones	X	X	X		X	X	X		X	X	X			
Rubiaceae	<i>Bouvardia ternifolia</i> (Cav.) Schltld.	X			X				X	X	X	X	X		
Rubiaceae	<i>Bouvardia longiflora</i> (Cav.) Kunth	X								X				X	X
Rutaceae	<i>Decatropis bicolor</i> (Zucc.) Radlk.											X			
Sapindaceae	<i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq.		X				X	X	X	X		X	X	X	X
Scrophulariaceae	<i>Castilleja tenuiflora</i> Benth.	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Verbenaceae	<i>Lantana velutina</i> M. Martens & Galeotti	X	X	X					X	X	X	X	X	X	
Verbenaceae	<i>Glandularia bipinnatifida</i> (Schauer) Nutt.									X				X	X

Las familias con mayor número de especies fueron Cactaceae, seguida por Asteraceae (Cuadro 2).



Cuadro 2. Familias con mayor número de especies asociadas a bosques piñoneros.

Familia	Número de géneros	Número de especies	% de especies
Cactaceae	8	12	15
Asteraceae	7	10	13
Fabaceae	7	7	9
Agavaceae	2	5	6
Lamiaceae	2	4	5

## Clasificación

A partir de la composición de especies de cada sitio se obtuvo un dendrograma con el análisis de agrupamiento; con un nivel de corte del 4.8, se registraron cuatro grupos diferentes que corresponden a cuatro asociaciones florísticas distintas (Figura 3): bosque de *Pinus cembroides*-*Juniperus flaccida* Schltld.; bosque dominado en el dosel por *Pinus cembroides*, algunas veces acompañado de *Pinus pinceana*; bosque de *Pinus cembroides*-*Pinus cembroides* var. *bicolor*; y bosque dominado por *Juniperus flaccida* acompañado de *Pinus cembroides*.

Table 2. Families with greater number of species associated to pinyon forests.

Family	Number of genera	Number of species	Species %
Cactaceae	8	12	15
Asteraceae	7	10	13
Fabaceae	7	7	9
Agavaceae	2	5	6
Lamiaceae	2	4	5

## Classification

From the composition of species in each site, a dendrogram with the cluster analysis was obtained; with a cutoff level of 4.8, four different groups corresponding to four different floristic associations (Figure 3) were recorded; the *Pinus cembroides* forest -*Juniperus flaccida* Schltld., dominated at the canopy by the *Pinus cembroides* forest, sometimes accompanied by *Pinus pinceana*, *Pinus cembroides*-*Pinus cembroides* var. *bicolor* forest and forest dominated by *Juniperus flaccida* accompanied by *Pinus cembroides*.

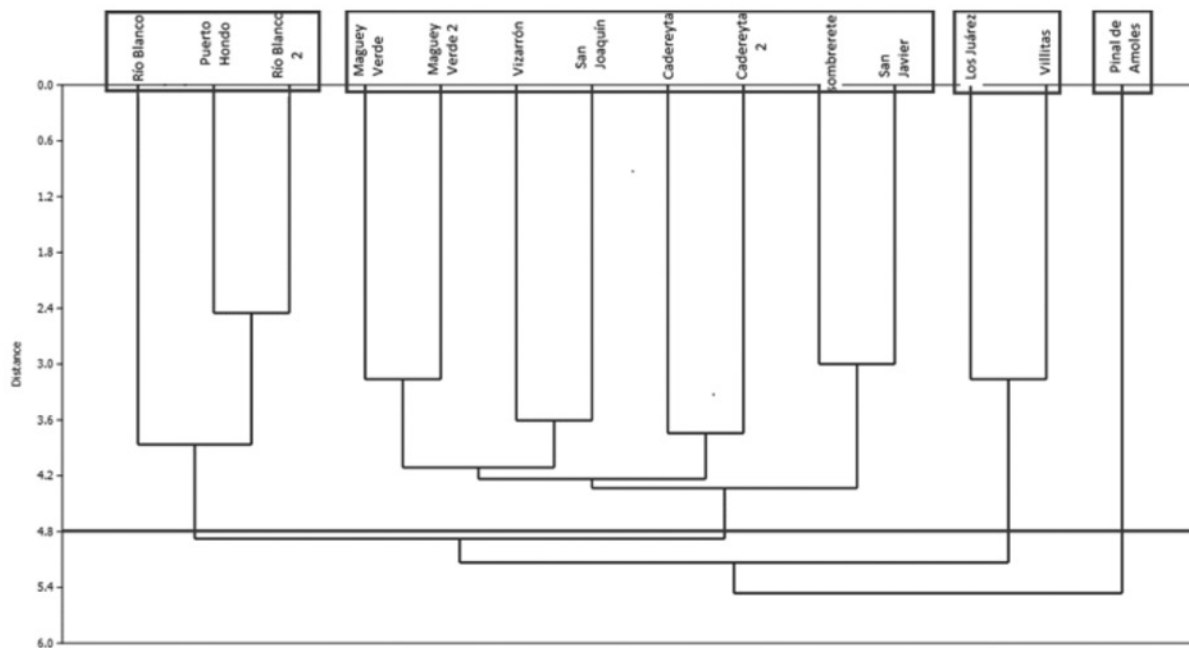


Figura 3. Semejanza florística de los 14 sitios determinada con el uso del coeficiente de Bray-Curtis.  
 Figure 3. Floristic similitude of the 14 sites determined by the Bray-Curtis coefficient.

A continuación se describe la estructura y fisionomía general de cada una de las asociaciones vegetales:

Bosque de *Pinus cembroides-Juniperus flaccida*. Dominada en el dosel por *Pinus cembroides* y *Juniperus flaccida*, de las cuales la primera especie es la más frecuente, más abundante y dominante por área basal; incluye pocos individuos acompañantes de porte arbóreo, como *Rhus standleyi* F. A. Barkley y *Acacia schaffneri* (S. Watson) F. J. Herm. (Figura 4).

La estructura vertical y horizontal se muestran en el perfil fisionómico y danserograma de las figuras 4 y 6; el estrato superior está compuesto por *P. cembroides* y *J. flaccida*, con una altura de 7 a 11 m y una cobertura abierta; el estrato medio de 3 a 6 m reúne a individuos de *Acacia schaffneri* y árboles juveniles de pinos piñoneros, principalmente. El estrato arbustivo está constituido por *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, *Echinocereus pentalophus* (DC.) Lem., *Mammillaria uncinata* Zucc. ex Pfeiff., *Croton incanus* Kunth, *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.; mientras que en el estrato herbáceo se reconoce a *Senna mexicana* (Jacq.) H. S. Irwin & Barneby, *Krameria ixine* L., *Condalia mexicana* Schltldl., *Amelanchier denticulata* (Kunth) K. Koch y *Castilleja tenuifolia* Benth., como taxa más importantes.

The structure and general physiognomy of each one of the vegetal associations is described as follows.

*Pinus cembroides-Juniperus flaccida* forest. This vegetal association is dominated at the canopy by *Pinus cembroides* and *Juniperus flaccida*, of which the first species is the most common, most abundant and dominant by basal area; includes few companions arboreal individuals, such as *Rhus standleyi* F. A. Barkley and *Acacia schaffneri* (S. Watson) F. J. Herm. (Figure 4).

The vertical and horizontal structure may be observed in the physiognomical profile and the danserogram of figures 4 and 6; the upper stratum is made up by *P. cembroides* and *J. flaccida*, with a height of 7 to 11 m and an open cover; the middle stratum, from 3 to 6 m high, gathers, mainly, individuals of *Acacia schaffneri* and young pinyon pine trees. The shrub stratum is made up by *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, *Echinocereus pentalophus* (DC.) Lem., *Mammillaria uncinata* Zucc. ex Pfeiff., *Croton incanus* Kunth, *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq., while in the herb stratus, can be found *Senna mexicana* (Jacq.) H. S. Irwin & Barneby, *Krameria ixine* L., *Condalia mexicana* Schltldl., *Amelanchier denticulata* (Kunth) K. Koch and *Castilleja tenuifolia* Benth., as the most important species.



Esta asociación se registró en tres localidades: Río Blanco 1 y 2 y Puerto Hondo, todas con un clima semiseco cálido y suelos de tipo Castañozem calcáreo. La exposición es predominantemente hacia el O, con pendientes promedio de 35 %. La menor altitud en todos los bosques corresponde a estas asociaciones, de 2 011 a 2 071 m, lo que propicia la alta representatividad de elementos xerófilos.

Bosques de *Pinus cembroides* y *P. cembroides*-*Pinus pinceana*. Asociación que se caracteriza por la dominancia total de *Pinus cembroides* en el estrato arbóreo, o bien por ser codominante con *Pinus pinceana*, sin embargo en ambos casos la composición florística presenta gran similitud, razón por la cual forman un solo grupo florístico. Algunas de las especies arbóreas acompañantes en son *J. flaccida*, *J. deppeana* Steud. y *R. standleyi*.

Ocho localidades comparten semejanza en composición de especies: San Joaquín, Cadereyta 1 y 2, Sombrerete, San Javier, en las que *P. cembroides* es dominante y Vizarrón, Maguey Verde 1 y 2 en codominancia con *Pinus pinceana*. Estos últimos sitios tienen pendientes pronunciadas (~42 %), con exposiciones NW y W. El intervalo altitudinal de es de 2 070 a 2 820 m, con predominancia de un clima templado subhúmedo.

*P. cembroides* y *P. pinceana* dominan el dosel en el estrato superior con una altura de 8 a 11 m y el estrato inferior de 4 a 7 m está representado, principalmente, por *Juniperus flaccida* y *J. deppeana* (Figura 5).

This association was recorded in three localities, *Río Blanco* 1 y 2 and *Puerto Hondo*, all with a semidry warm climate and soils of the Calcareous castañozem type. The prevailing exposition of these sites is W, with average slopes of 35 %. The least altitude in all forests for these associations is 2 011 - 2 071 m, which favors the high representation of the xerophyllic elements.

*Pinus cembroides* and *P. cembroides*-*Pinus pinceana* forests. This association is characterized by the total dominance of *Pinus cembroides* in the tree layer or even codominant with *Pinus pinceana*, but in both cases the floristic composition has great similarity, and that is why they form a single floristic group. Some of the accompanying tree species in these communities are *J. flaccida*, *J. deppeana* Steud. and *R. standleyi*.

Eight localities share similarity in species composition: *San Joaquín*, *Cadereyta* 1 and 2, *Sombrerete*, *San Javier*, where *P. cembroides* is dominant and *Vizarrón*, *Maguey Verde* 1 and 2 in codominance with *Pinus pinceana*. The latter sites have steep slopes (~ 42 %), with NW and W expositions. The altitudinal range of these communities is 2 070-2 820 m, with a predominant temperate subhumid climate.

*P. cembroides* and *P. pinceana* dominate the canopy in the upper layer with a height of 8 to 11 m and the lower layer of 4 to 7 m is represented mainly by *Juniperus flaccida* and *J. deppeana* (Figure 5).

## Clasificación y ordenación de bosques de pino piñonero del estado de Querétaro

Marcela Rosas Chavoya<sup>1</sup>, Diódoro Granados Sánchez<sup>1</sup>, Ro Linx Granados Victorino<sup>2</sup> y Salvador Esnarza Govea<sup>3</sup>.

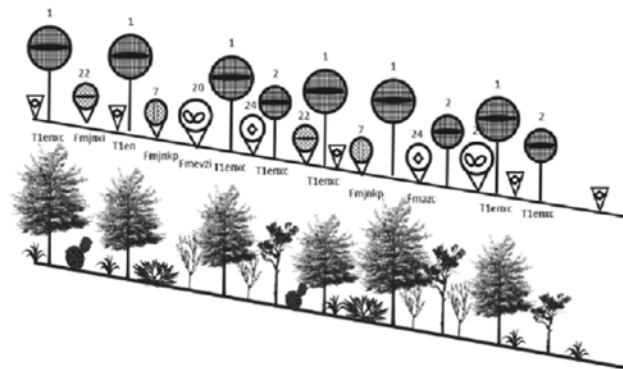


Figura 4. Danserograma y perfil fisonómico del bosque de *Pinus cembroides* Zucc.-*Juniperus flaccida* Schltdl. 1. *Pinus cembroides* Zucc., 2. *Juniperus flaccida* Schltdl., 7. *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, 20. *Rhus standleyi* F. A. Barkley, 22. *Opuntia tomentosa* Salm-Dyck, 24. *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.

Figure 4. Danserogram and physiognomical profile of the *Pinus cembroides* Zucc.-*Juniperus flaccida* Schltdl. forest. 1. *Pinus cembroides* Zucc., 2. *Juniperus flaccida* Schltdl., 7. *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, 20. *Rhus standleyi* F. A. Barkley, 22. *Opuntia tomentosa* Salm-Dyck, 24. *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.

La flora herbácea asociada está constituida por *Castilleja tenuifolia*, *Stevia salicifolia* Cav., *Geranium latum* Small, *Melampodium* sp., *Dalea lutea* (Cav.) Willd., *Echinocactus grusonii* Hilm. y *Opuntia rastrera* F.A.C. Weber, entre otras; el estrato arbustivo por *Lantana velutina* M. Martens & Galeotti, *Dodonaea viscosa*, *Amelanchier denticulata*, *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth, *Brongniartia intermedia* Moric. y *Salvia ballotiflora* Benth. Además, las epifitas *Tillandsia usneoides* y *T. recurvata* son abundantes.

The herbaceous layer is made up by *Castilleja tenuifolia*, *Stevia salicifolia* Cav., *Geranium latum* Small, *Melampodium* sp., *Dalea lutea* (Cav.) Willd., *Echinocactus grusonii* Hilm. and *Opuntia rastrera* F.A.C. Weber; the associated shrubby flora consists mainly of *Lantana velutina* M. Martens & Galeotti, *Dodonaea viscosa*, *Amelanchier denticulata*, *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth, *Brongniartia intermedia* Moric. and *Salvia ballotiflora* Benth. In addition, epiphytic *Tillandsia recurvata* and *T. usneoides* are plentiful.

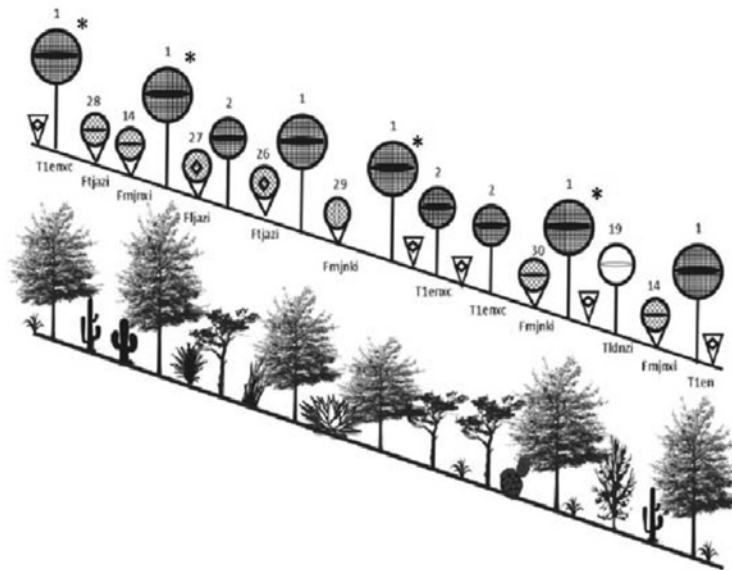


Figura 5. Danserograma y perfil fisonómico del bosque de *Pinus cembroides* Zucc. 1. *Pinus cembroides* Zucc., 2. *Juniperus flaccida* Schltldl., 14. *Cylindropuntia imbricata* (Haw.) F. M. Kunth, 19. *Acacia schaffneri* (S. Watson) F. J. Herm., 26. *Fouquieria splendens* Engelm., 27. *Euphorbia antisiphilitica* Zucc., 28. *Coryphanta erecta* (Lem. ex Pfeiff.) Lem., 29. *Agave gentryi* B. Ullrich, 30. *Opuntia cantabrigiensis* Lynch.

Figure 5. Danserogram and physiognomical profile of the *Pinus cembroides* Zucc. forest. 1. *Pinus cembroides* Zucc., 2. *Juniperus flaccida* Schltldl., 14. *Cylindropuntia imbricata* (Haw.) F. M. Kunth, 19. *Acacia schaffneri* (S. Watson) F. J. Herm., 26. *Fouquieria splendens* Engelm., 27. *Euphorbia antisiphilitica* Zucc., 28. *Coryphanta erecta* (Lem. ex Pfeiff.) Lem., 29. *Agave gentryi* B. Ullrich, 30. *Opuntia cantabrigiensis* Lynch.

Bosque de *Pinus cembroides* - *P. cembroides* var. *bicolor*. Los Juárez y Villitas presentan este tipo de asociación vegetal y en ambas localidades los taxa con mayor VIR fueron *P. cembroides* y *P. cembroides* var. *bicolor*, ya que son las especies más frecuentes y con mayor densidad; sin embargo, la primera ocupa mayor área basal en promedio (Figura 6).

*Pinus cembroides* - *P. cembroides* var. *bicolor* forest. Los Juárez and Villitas have this kind of vegetal association, both in which the taxa with highest RIV were *P. cembroides* and *P. cembroides* var. *bicolor*, as they are the most frequent species with the highest density; however, the first one has the greatest average basal area (Figure 6).

El estrato superior del dosel es bajo y alcanza 7.5 m de altura, las especies codominantes coexisten con *Juniperus flaccida* y *Juniperus deppeana*. El estrato arbustivo se compone



de *Gnaphalium* sp., *Lantana velutina*, *Dodonaea viscosa*, *Bouvardia ternifolia*, *Agave salmiana*, *Dasyliion acrotrichum* (Schiede) Zucc. y *Pinguicula acuminata* Benth.

Esta agrupación ecológica se desarrolla en las partes más altas entre los 2 850 y 2 890 msnm, y con pendiente promedio de 40 %, con exposición S y clima templado subhúmedo, principalmente.

Bosque de *Juniperus flaccida* - *Pinus cembroides*. La última asociación es dominada en el dosel por *Juniperus flaccida* y *Pinus cembroides*; el primero es un taxón más frecuente, con mayor densidad y área basal; es decir, la especie más importante para el ecosistema. Dicha agrupación se registró en una sola localidad, Pinal de Amoles, y fue la comunidad más rica en composición del estrato arbóreo, con especies acompañantes como *Quercus germana* Schltdl. & Cham., *J. deppeana*, *P. pinceana* y *Q. mexicana* Bonpl.

El estrato arbóreo alcanza 11 m de altura, en el cual *P. cembroides* es el taxón sobresaliente. El estrato arbustivo se compone de *Baccharis conferta* Kunth, *Bouvardia ternifolia*, *Baccharis salicifolia* (Ruiz & Pav.) Pers., *Fuchsia thymifolia* Kunth, *Scenecio albonervius* Greenm., *Symphoricarpos microphyllus* HBK. y *Agave salmiana*. Las herbáceas más relevantes identificadas fueron *Thalictrum fendleri* Engelm. ex A. Gray, *Arenaria lanuginosa* (Michx.) Rohrb. y *Vicia ludoviciana* Nutt. (Figura 7).

The highest level of the canopy is rather low and is 7.5 m tall and in it the co-dominant species coexist with *Juniperus flaccida* and *Juniperus deppeana*. The shrub stratum is made up of *Gnaphalium* sp., *Lantana velutina*, *Dodonaea viscosa*, *Bouvardia ternifolia*, *Agave salmiana*, *Dasyliion acrotrichum* (Schiede) Zucc. and *Pinguicula acuminata* Benth.

This ecological group develops in the higher parts in record, from 2 850 to 2 890 masl with a mean slope of 40 %, a S exposition and a sub-humid mild-weather, mainly.

*Juniperus flaccida* - *Pinus cembroides* forest. The last association in record is dominated at the canopy by *Juniperus flaccida* and *Pinus cembroides*; the first one being a more frequent taxon, with greatest density and basal area, that is, the most important species for the ecosystem. Such association was found just in one location, *Pinal de Amoles*, and was the richest community in species composition of the tree stratum, with related species such as *Quercus germana* Schltdl. & Cham., *J. deppeana*, *P. pinceana* and *Q. mexicana* Bonpl.

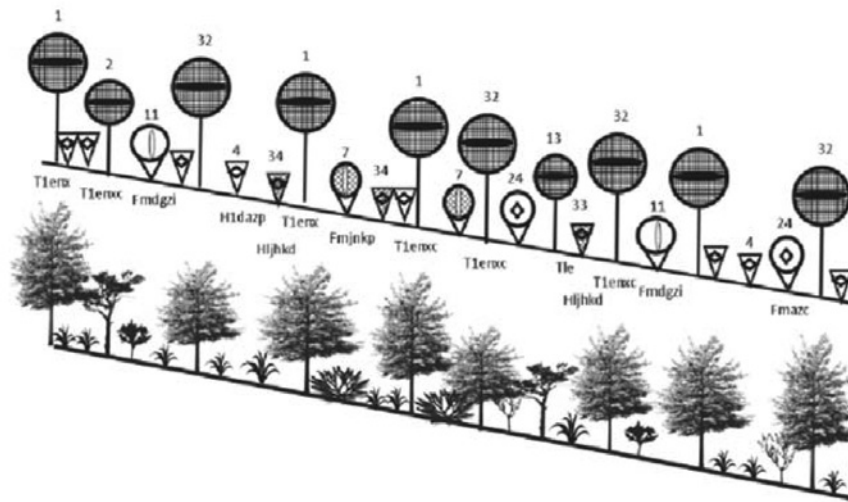


Figura 6. Danserograma y perfil fisonómico semirrealista de la vegetación característica del grupo tres. 1. *Pinus cembroides* Zucc., 2. *Juniperus flaccida* Schltdl., 4. *Bouvardia longiflora*, 7. *Agave salmiana*, 11. *Stevia saliciflora*, 13. *Juniperus deppeana*, 24. *Dodonaea viscosa*, 32. *Pinus cembroides* var. *discolor*, 34. *Pinguicula acuminata*.

Figure 6. Danserogram and physiognomical semi-realistic profile of the proper vegetation of group 3. 1. *Pinus cembroides* Zucc., 2. *Juniperus flaccida* Schltdl., 4. *Bouvardia longiflora*, 7. *Agave salmiana*, 11. *Stevia saliciflora*, 13. *Juniperus deppeana*, 24. *Dodonaea viscosa*, 32. *Pinus cembroides* var. *discolor*, 34. *Pinguicula acuminata*.

Esta localidad presenta mayor afinidad con las especies del bosque templado, lo que se refleja en su alta diversidad arbórea; se desarrolla en pendientes escarpadas (73 %), a una altitud de 2 427 m con una exposición predominante hacia NO y un clima templado subhúmedo con lluvias solo en verano.



The tree stratum gets up to 11 m high, in which *P. cembroides* is the most outstanding species. The shrub layer includes *Baccharis conferta* Kunth, *Bouvardia ternifolia*, *Baccharis salicifolia* (Ruiz & Pav.) Pers., *Fuchsia thymifolia* Kunth, *Scenecio albonervius* Greenm., *Symphoricarpos microphyllus* HBK and *Agave salamiana*. The most relevant herbs that were identified were *Thalictrum fendleri* Engelm. ex A. Gray, *Arenaria lanuginosa* (Michx.) Rohrb. and *Vicia ludoviciana* Nutt. (Figure 7).

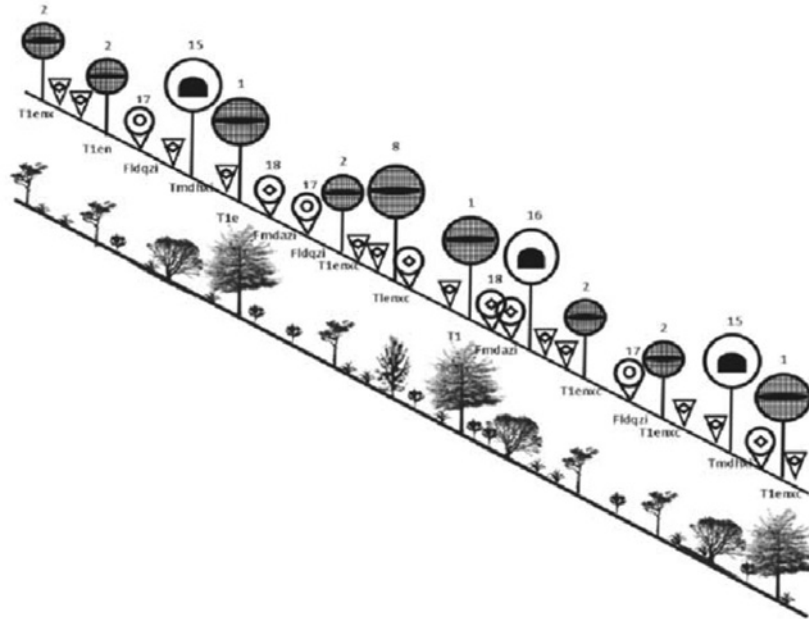


Figura 7. Danserograma y perfil fisonómico semirrealista de la vegetación en el sitio de Pinal de Amoles. 1. *Pinus cembroides* Zucc., 2. *Juniperus flaccida* Schltdl., 8. *Pinus pinceana* Gordon, 15. *Quercus germana* Schltdl. & Cham., 16. *Quercus mexicana* Bonpl., 17. *Senecio* sp., 18. *Baccharis conferta* Kunth.

Figure 7. Danserogram and physiognomical semi-realistic profile of the vegetation of the site in Pinal de Amoles. . *Pinus cembroides*, 2. *Juniperus flaccida* Schltdl., 8. *Pinus pinceana* Gordon, 15. *Quercus germana* Schltdl. & Cham., 16. *Quercus mexicana* Bonpl., 17. *Senecio* sp., 18. *Baccharis conferta* Kunth.

## Ordenación

Algunos de los factores físicos más relevantes para el establecimiento de las comunidades se utilizaron para ordenar a los bosques de pino piñonero a partir de un análisis de correspondencias canónicas, el cual reconoce la correlación entre las variables ambientales y la composición de cada una de las localidades. Los valores estadísticos para los tres primeros ejes de ordenación se muestran en el Cuadro 2, lo que sugiere que los factores ambientales analizados están correlacionados con la flora asociada a bosques piñoneros de Querétaro y que estos tres ejes pueden explicar 60 % de la variación en las localidades.

This locality shows a greater affinity with the species of mild-weather forest, which become evident in its high tree diversity; it grows in steep slopes (73 %), at 2 427 masl with a prevailing side slope towards NW and a mild-subhumid weather with summer rains.



En cuanto a la correlación de las variables ambientales más relevantes para la ordenación de los datos (Cuadro 3), se destaca que a medida que la altitud aumenta, el pH disminuye mientras que el fierro se incrementa; por otro lado, la mayor cantidad de materia orgánica implica lo mismo en las concentraciones de potasio y de calcio, ambos macronutrientes indispensables para la nutrición de las plantas.

Las variables más importantes que definen el establecimiento diferenciado de especies en las comunidades de pino piñonero de Querétaro son la materia orgánica, el potasio, el calcio, la altitud y la pendiente (Cuadro 3).

## Ordination

Some of the most relevant physical factors for the establishment of the communities were used to manage the pinyon pine forests from a canonical correspondence analysis, which detects the correlation between the environmental variables and the composition of each of the locations. The statistical values for the three first ordination axis are shown in Table 2, which suggests that the environmental factors that were analyzed are correlated with the flora associated to the pinyon forests of Querétaro and that these three axes may explain 60 % of the variation in the localities.

Cuadro 2. Resultados del análisis de correspondencias canónicas, para los tres primeros ejes de ordenación.

Ejes	1	2	3	Inercia total
Raíces características	0.674	0.407	0.338	2.946
Correlación especies-factores ambientales	0.998	0.964	0.996	
Varianza acumulada (%)				
De las especies	22.9	36.7	48.2	
De las relaciones especie - ambiente	27	43.3	56.9	

Table 2. Results of the for the first three ordination axes.

Axis	1	2	3	Total inertia
Characteristic roots	0.674	0.407	0.338	2.946
Species-environmental factors correlation	0.998	0.964	0.996	
Accumulated variance (%)				
Of the species	22.9	36.7	48.2	
Of the species-environment relations	27	43.3	56.9	





Cuadro 3. Matriz de correlación entre las variables ambientales evaluadas en el presente estudio.  
Table 3. Correlation matrix between the environmental variables that were assessed in the actual study.

Variable	Altitud	Pendiente	pH	N	P	K	Ca	Fe	M.O.	Arena	Limo	Arcilla
Altitud	1											
Pendiente	-0.03	1										
pH	<b>-0.65</b>	0.06	1									
N	0.44	0.2	-0.02	1								
P	0.19	-0.1	0.18	0.23	1							
K	-0.15	0.22	-0.22	-0.14	-0.2	1						
Ca	-0.44	-0.09	0.34	-0.39	0.23	<b>0.6</b>	1					
Fe	<b>0.81</b>	0.17	<b>-0.75</b>	0.4	-0.15	0.03	-0.41	1				
M.O.	-0.08	0.47	-0.27	-0.07	-0.15	<b>0.87</b>	0.46	0.06	1			
Arena	-0.31	-0.04	-0.11	-0.04	0.18	0.16	0.14	-0.19	0.11	1		
Limo	0.46	0.51	0.03	0.37	0.22	-0.17	-0.29	0.35	-0.03	<b>-0.54</b>	1	
Arcilla	0.18	-0.16	0.11	-0.1	-0.3	-0.11	-0.05	0.08	-0.12	<b>-0.94</b>	0.22	1

M. O. = Materia orgánica. Los valores de las correlaciones estadísticamente significativas están en negritas.  
The correlations with significant values are in bold.

El comportamiento de las localidades, y por ende, de las asociaciones vegetales, de acuerdo con las variables ambientales se observa en la Figura 8, en la que sobresale la formación de tres agregados, en uno de los cuales se agrupan dos asociaciones distintas: bosques *Pinus cembroides* y bosques de *P. cembroides* y *P. cembroides* var. *bicolor*.

Cuadro 4. Matriz de correlación entre los tres primeros ejes y 12 variables ambientales.

Table 4. Correlation matrix between the first three axes and the 12 environmental variables.

Variable	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Altitud	-0.03	<b>-0.66</b>	<b>-0.66</b>
Pendiente	<b>0.66</b>	0	-0.21
pH	-0.37	0.13	0.48
N	-0.15	-0.28	-0.52
P	-0.19	-0.46	-0.01
K	<b>0.74</b>	-0.08	0.21
Ca	0.28	-0.25	<b>0.79</b>
Fe	0.18	-0.47	-0.5
M.O.	<b>0.92</b>	-0.05	0.09
Arena	0.18	0.31	0.04
Limo	0.1	-0.55	-0.27
Arcilla	-0.25	-0.14	0.06

Las correlaciones con valores significativos se expresan en negritas.  
The correlations with significant values are in bold.

In regard to the most relevant environmental variables for the ordination of data (Table 3) it may be noted that as altitude becomes higher, pH descends while iron increases; on the other hand, the increment in the amount of organic matter means the same for the potassium and calcium concentrations, both essential macronutrients for the nourishment of plants.

The most important variables that define the differential establishment of species in the pinyon pine communities of Querétaro are the organic matter, potassium, calcium, altitude and slope (Table 3).

The behavior of the locations, and therefore, of the vegetal associations, according to the environmental variables, may be observed in Figure 8, in which three clusters can be seen, in one of which two different associations are together: *Pinus cembroides* and *P. cembroides* and *P. cembroides* var. *bicolor*.

## Discussion

Pinyon pine forests are very particular plant communities, which form a true ecotone between xerophyllic and temperate vegetation, and endow these forests a unique physiognomy, ecologically complex and highly vulnerable (Granados et al., 2015). The constant pressure on these ecosystems alter their components, which affects their natural regeneration (Fernández, 1997).



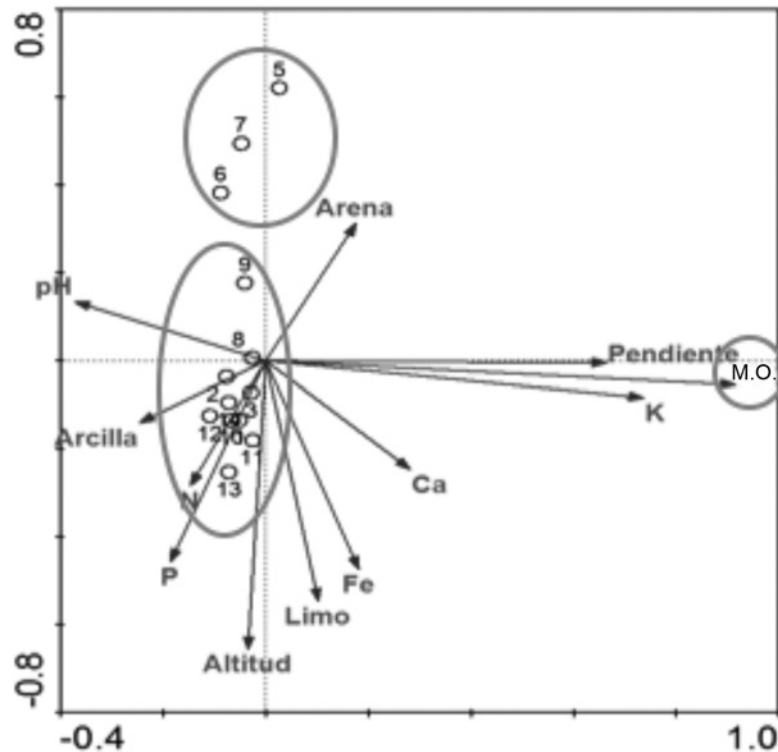


Figura 8. Análisis de correspondencias canónicas de 14 sitios de muestreo con 78 especies de plantas y 12 variables ambientales.

Figure 8. Canonical correspondence analysis of 14 sampling sites with 78 plant species and 12 environmental variables.

## Discusión

Los bosques de pinos piñonero son comunidades vegetales muy particulares, las cuales forman un verdadero ecotono entre la vegetación xerofita y templada, y dotan a estos bosques de una fisionomía única, ecológicamente compleja y muy vulnerable (Granados *et al.*, 2015). La constante presión ejercida sobre dichos ecosistemas altera sus componentes, lo que repercute en su regeneración natural (Fernández, 1997).

La alta biodiversidad y vulnerabilidad de los bosques de pino piñonero los convierte en focos de atención para implementar planes de manejo y aprovechamiento sustentable, programas de regeneración y, específicamente, de conservación (Myers *et al.*, 2000).

El primer paso para esto último es inventariar la biodiversidad. En el presente estudio se integró una lista florística de 78 especies, lo que sugiere que si se conservara el hábitat de los pinos piñoneros de Querétaro, esos taxa funcionarían como sombrilla (Bifulchi y Lodé, 2005), extenderían su protección a más de 77 especies de plantas, sin contar a las no vasculares, los hongos, bacterias y animales asociados a estos ecosistemas, que al ser ecotonos promoverían la preservación de varios biomas.

The high biodiversity and vulnerability of forests of pinyon pine turns them into focal points to implement management plans and sustainable use, as well as regeneration and specifically, conservation programs (Myers *et al.*, 2000).

The first step for the latter is to make an inventory of biodiversity. In this study a flora list of 78 species was made, which suggests that if the habitat of the pinyon pines of Querétaro is conserved, such species would act as umbrella (Bifulchi and Lodé, 2005), they would extend their protection to more than 77 species of plants, without including the non-vascular, fungi, bacteriae and animals associated to these ecosystems, that as ecotones, would promote the preservation of several biomes.



La familia mejor representada fue Cactaceae; Reynolds (2005) afirma que los ambientes perturbados conjuntan una mayor cantidad de especies con afinidad a climas xerófilos, y, por lo tanto, disminuye el número de las que se asocian a climas templados. La dominancia de xerofitas es un indicativo del estado de conservación deficiente en que están los bosques piñoneros de Querétaro (Romero *et al.*, 2012).

Las distintas asociaciones de dominancia en el dosel y la composición florística de cada una de ellas es el resultado de una interacción multifactorial, cuyas variables más influyentes son la materia orgánica y sus elementos asociados (potasio y calcio), la pendiente y la altitud.

La localidad que registró la concentración de materia orgánica en el suelo más alta fue la de mayor riqueza de especies arbóreas, además de ser la más diferenciada florísticamente. La afinidad más alta de la localidad de Pinal de Amoles a la vegetación templada hace que contenga especies con hojas laminadas como los encinos, que contribuye al aumento en la hojarasca y, en consecuencia, en la materia orgánica, lo cual favorece que los suelos tengan más nutrientes. Sin embargo, en dicha localidad, *Juniperus flaccida* registró un valor de importancia superior al de *P. cembroides*, condición que pudo deberse a que los pinos piñoneros y en especial esta conífera, alcanzan su óptimo adaptativo al crecer sobre suelos pobres, pedregosos, calcáreos con un alto contenido de yeso, delgados y con buen drenaje (Granados *et al.*, 2015). *J. flaccida* tiene más capacidad de reacción a los cambios ambientales (Himmelsbach *et al.*, 2008), y sus poblaciones se benefician por los disturbios, principalmente por los de origen antropogénico (Ayerde y López, 2006)

Por otro lado, las asociaciones más extendidas dentro del estado de Querétaro fueron los bosques dominados por *Pinus cembroides* o en codominancia con *P. pinceana*, presentes en ocho localidades, en donde la mayoría son de exposición sur, que determina un ambiente más seco (Romero y García, 2002; Luna *et al.*, 2008).

Ambas asociaciones tienen una gran similitud florística, por lo que se conglomeran en un solo grupo, pues sus regímenes climáticos y edáficos son muy parecidos, pero la existencia de una u otra asociación es dependiente de la topografía. Ríos *et al.* (2008) registraron que *P. pinceana* se desarrolla mejor en pendientes muy pronunciadas y que es común que crezca dentro de las cañadas, tal y como se confirmó en esta investigación.

El factor que define la presencia de las comunidades codominadas por *P. cembroides* y *P. cembroides* var. *bicolor* es la altitud, pues se desarrollan en las localidades de altura superior, 2 853 a 2 882 msnm, lo cual está directamente relacionado con la precipitación y la temperatura (Xianping *et al.*, 2006). Romero *et al.* (2012) citan que *P. cembroides*

Cactaceae was the best represented family in this study; Reynolds (2005) stated that disturbed environments gather a greater number of species with affinity to xerophyllic climates, and therefore, those related to mild-weather climate are reduced. The xerophytic dominance of xerophytes is an indicator of an inefficient conservation condition in which the pinyon pine forests of Querétaro are (Romero *et al.*, 2012).

The different associations of dominance at the canopy and the floral composition of each one of them is the result of a multifactorial interaction, in which the most influential variables are the organic matter and their linked elements (potassium and calcium), slope and altitude.

The locality with the highest concentration of organic matter in the soil was the richest in tree species, besides being the most differentiated floristically. The higher affinity of Pinal de Amoles to the temperate vegetation has favored the inclusion of species with laminated leaves such as oaks, which contributes to increase litter and therefore organic matter, which favors that soils become richer in nutrients. However in this location, *Juniperus flaccida* recorded higher value of importance than *P. cembroides*, a condition that could be due because pinyon pines and especially this conifer, reach their adaptive optimal to grow on poor, stony, calcareous soils with a high content of gypsum, thin and well drained (Granados *et al.*, 2015). *J. flaccida* is more responsive to environmental changes (Himmelsbach *et al.*, 2008) and their populations benefit from disturbance, mainly those of anthropogenic origin (Ayerde and López, 2006).

On the other hand the most widespread associations within the state of Querétaro were the forests dominated by *Pinus cembroides* or in codominance with *P. pinceana*, present in eight locations where most of which had a southern exposition, which determines a drier environment (Romero and García 2002; Luna *et al.*, 2008).

Both associations have a great floristic similarity, so conglomerate in one group, because its climate and soil regimes are very similar, but the existence of one or another association is dependent on the topography. Ríos *et al.* (2008) reported that *P. pinceana* does best in steep slopes and is common to grow within the creeks, as confirmed in this investigation.



var. *bicolor* establece una estrecha relación con ambientes templados, lo que explica su distribución en sitios con mayor altitud.

Nueve especies de pinos piñoneros se califican dentro de una categoría de riesgo; de los tres taxa registrados en el estado de Querétaro, *P. pinceana* es la única dentro de la NOM-059 (Semarnat, 2010), catalogada como en peligro de extinción. En la zona de estudio tiene una amplia distribución y cobertura que se restringe, principalmente, a cañadas de pendiente pronunciada y difícil acceso, lo que ha mantenido a sus poblaciones resguardadas de las actividades humanas como la agricultura, el pastoreo y la recolección de piñón. Situación que permite observar la relevancia de esas localidades como sitios prioritarios para la conservación de especies en peligro de extinción y con potencial de aprovechamiento y manejo sustentable.

## Conclusiones

Los pinos piñoneros son especies con una gran amplitud ambiental y resisten exitosamente condiciones adversas como la sequía, las heladas y los suelos pobres; sin embargo, a pesar de estos atributos, las actividades humanas como el pastoreo, la agricultura, la extracción de madera y principalmente la recolección del piñón diezman sus poblaciones: Por lo tanto, es inminente implementar acciones que fomenten su conservación, la cual es asunto prioritario.

Los resultados aquí presentados son la base para elaborar planes de manejo que ayuden a proteger la biodiversidad de estos bosques, ya que a partir de la composición florística y los análisis estructurales se puede promover el pago por servicios ambientales y de esta manera mitigar la presión ejercida sobre los piñoneros, que muchas veces son el único ingreso económico de las poblaciones. Por otro lado la ordenación según los gradientes físicos y edáficos es de utilidad para conocer los sitios más adecuados para la reforestación de cada especie, así como para su producción en vivero.

Finalmente propiciar el uso de los pinos piñoneros como especies sombrilla para conservar por lo menos tres biomas diferentes (matorral xerófilo, bosque de pino piñonero y bosque templado) parece ser una alternativa viable para aumentar el alcance de su protección en un lapso de tiempo corto. 🌱

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer al personal de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo por haber otorgado las facilidades, recursos y espacio para la realización de este proyecto, así como a los revisores del manuscrito por sus acertadas observaciones.

The factor that defines the presence of communities codominated by *P. cembroides* and *P. cembroides* var. *bicolor* is altitude, as they developed in the localities of greater height 2 853-2 882 m, which is directly related to precipitation and temperature (Xianping *et al.*, 2006). Romero *et al.* (2012) mention that *P. cembroides* var. *bicolor* establishes a close relationship with temperate environments, which explains their distribution in higher altitude sites.

Nine species of pinyon pine trees are classified within a risk category; of the three taxa registered in the state of Querétaro, *P. pinceana* is the only one within the NOM-059 (Semarnat, 2010), classified as endangered. In the study area it has a wide distribution and coverage that is limited to steep creeks and difficult to access, which has kept these populations away from human activities such as agriculture, grazing and seed collecting. This situation allows to observe the relevance of these locations as priority sites for conservation of endangered species and species with potential use and sustainable management.

## Conclusions

Pinyon pines are species of a great environmental scope and have a great resistance to adverse conditions such as droughts, frosts and poor soil, but in spite of these attributes, human activities such as grazing, agriculture, wood harvest and mainly the collection of their edible seeds are reducing their numbers. Therefore, to take actions focused on their conservation is a priority.

The results shown here are the foundation to make management plans that may help to protect the biodiversity of these forests, since from the floristic composition and the structural analysis, the payment for environmental services may be promoted and thus, to mitigate the pressure over the pinyon trees, which many times are the only resources of financial resources for some people. On the other hand, the ordination according to the physical and edaphic gradients is useful to know the most convenient sites for the reforestation of each species, as well as for their cultivation at the nursery.

Finally, to favor the use of pinyon pines as umbrella species in order to preserve at least three different biomes (xerophyll scrubland, pinyon pine forest and mild-weather forest) seems to be a viable short-cut to increase the scope of their protection in a short time. 🌱

## Acknowledgements

The authors would like to thank the personnel of the División de Ciencias Forestales of the Universidad Autónoma Chapingo for having conferred the conditions, resources and space to accomplish the actual project, as well as to the reviewers of the manuscript for their correct observations.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## Contribución por autor

El trabajo de campo, así como la identificación de las especies se llevó a cabo en conjunto por todos los autores del presente manuscrito. Marcela Rosas Chavoya: análisis fisionómico, elaboración de las bases de datos, y elaboración del primer manuscrito; Diódoro Granados Sánchez: responsable del proyecto, elaboración y revisión del escrito y aplicación de las correcciones arbitrales; Ro Linx Granados Victorino: análisis estadísticos, elaboración del manuscrito y aplicación de las correcciones arbitrales y editoriales; Salvador Esparza Govea: elaboración de los perfiles semirrealistas y los danserogramas de la fisionomía de la vegetación.

## Referencias

- Acaraz A., F. J. 2013. Formas vitales, estratificación y fenología. Universidad de Murcia. Murcia, España. 20 p.
- Armentrout, S. M. and R. D. Pieper. (1988). Plant distribution surrounding Rocky Mountain pinyon pine and one seed jumper in south-central New Mexico. *Journal of Range Management Archives* 41: 139-143.
- Ayerde L., D. y L. López M. 2006. Estructura poblacional y parámetros demográficos de *Juniperus flaccida* Schlttdl. *Madera y Bosques* 12(2): 65-76.
- Bifolchi, A. and T. Lodé. 2005. Efficiency of conservation shortcuts: an investigation with otters as umbrella species. *Biological Conservation* 126(4): 523-527.
- Bray, R. H. and L. T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59: 39-45.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). 2000. Servicio Meteorológico Nacional. [http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=42&Itemid=75](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75) (8 de septiembre de 2014).
- Cottam, G. and J. Curtis. 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology* 32 (2): 172-229.
- Fernández N., R. 1997. Notas sobre la vegetación y flora del municipio de San Joaquín Querétaro, México. *Polibotánica* 4: 10-36.
- Granados, D., M. A. Hernández y G. López. 2012. Ecología de los desiertos del mundo. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 503 p.
- Granados, S. y V. Tapia. 1990. Métodos de estudio de la vegetación. Chapingo, Estado de México: Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Mexico, Mexico. 235 p.
- Granados V., R. L., D. Granados S. y A. Sánchez G. 2015. Caracterización y ordenación de los bosques de pino piñonero (*Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*) de la Cuenca Oriental (Puebla, Tlaxcala y Veracruz). *Madera y Bosques* 21(2): 23-43.
- Hamer, Ø., D. Harper and P. Ryan. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Paleontología Electrónica* 4: 1-9.
- Harris, T. A., G. P. Asner and M. E. Miller. 2003. Changes in vegetation structure after long-term grazing in Pinyon-Juniper Ecosystems: integrating imaging spectroscopy and field studies. *Ecosystems* 6: 368-383.
- Himmelsbach W., E., E. Treviño, H. González and T. González. 2008. Drought resistance of mixed pine-oak forest species in the Sierra Madre Oriental, México. *Tropentag* 7: 1-4
- Luna C., M., A. Romero M. y E. García M. 2008. Afinidades en la flora genérica de piñonares del norte y centro de México análisis genético. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 449-458.
- Müller-Dombois, D. and H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley and Sons, Co. New York, NY, USA. 547 p.

## Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

## Contribution by author

Field work as well as the identification of species was accomplished by all the authors. Marcela Rosas Chavoya: physiognomical analysis, building of data bases and writing of the first manuscript; Diódoro Granados Sánchez: responsible of the project, writing and review of the manuscript and implementation of the arbitral observations to the document; Ro Linx Granados Victorino: statistical analysis, writing of the manuscript and implementation of the arbitral and editorial observations to the document; Salvador Esparza Govea: making of the semi-realistic profiles and daserograms of the physiognomy of vegetation.

*End of the English version*

- Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. Da Fonseca and J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403(6772): 853-858.
- Olsen, S. R. and L. E. Sommers. 1982. Phosphorus. In: Page, A. L. I (ed.). *Methods of soil analysis, Part 2, Agronomical Monographs* 9. Madison, WI, USA, pp. 403-430.
- Remmert, H. 1991. The mosaic-cycle concept of ecosystems. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 21 p.
- Reynolds, J. 2005. Aspectos socioeconómicos y biofísicos de la desertificación. *Ecosistemas* 14(3): 3-21.
- Richards, P. W. 1952. The tropical rain forest, an ecological study. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 450 p.
- Richardson, D. 1998. Ecology and biogeography of *Pinus*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 527 p.
- Ríos, E., R. Hoogh y J. Navar. 2008. Ensayo de especies con pinos piñoneros en el nordeste de México. *Revista Chapingo, Serie: Ciencias Forestales y del Ambiente* 14(2): 97-104.
- Romero M., A. y E. García M. 2002. Estabilidad y elasticidad de la composición florística de los piñonares de San Luis Potosí, México. *Agrociencia* 36(2): 242-254.
- Romero M., A., J. L. Flores F., M. Luna C. and E. García M. 2012. Effect of slope and aspect on the associated flora of pinyon pines in central Mexico. *The Southwestern Naturalist* 57(4): 452-456.
- Sánchez G., A. y L. López M. 2003. Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal. *Anales del Instituto de Biología, Serie: Botánica* 74(1): 47-71.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 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. Secretaría de Gobernación. México, D. F., México. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010) (6 de noviembre, 2014)
- Ter Braak, C. and P. Smilauer. 1998. CANOCO reference manual and user's guide to CANOCO for Windows: software for canonical community ordination (v.4). Microcomputer Power. New York, NY, USA. 500 p.
- Valenzuela, N. y S. D. Granados. 2009. Caracterización fisionómica y ordenación de la vegetación en el área de influencia de El Salto, Durango, México. *Revista Chapingo, Serie: Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(1): 29-41.
- Villarreal Q., J. A., O. Mares A., E. Cornejo O. y M. A. Capó. 2009. Estudio florístico de los piñonares de *Pinus pincheana* Gordon. *Acta Botánica Mexicana* (89): 97-124.

Walkley, A. and I. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.

Xianping, Z., W., Mengben, S. Bo and X. Yang. 2006. Quantitative classification and ordination of forest communities in Panguangou Nacional Nature Reserve. English edition of the Chinese Language Journal 26(3): 754-761.

Zavala C., F. and J. L. Campos. 1993. Una nueva localidad de *Pinus discolor* Bailey y Hawksworth en el centro de México. *Acta Botánica Mexicana* (25): 21-25.

