



Artículo / Article

Diversidad arbórea a diferentes niveles de altitud en la región de El Salto, Durango

Tree diversity at different altitude levels in the *El Salto, Durango* region

María de Jesús Medrano Meraz*¹, Francisco Javier Hernández²,
Sacramento Corral Rivas² y Juan Abel Nájera Luna²

Resumen

La presencia de especies vegetales está en función de la altitud, por lo que, el propósito de este estudio fue estimar y comparar la diversidad arbórea sobre un gradiente altitudinal entre los 1 500 a los 3 000 m de la región de El Salto, Durango, que fue dividido en cinco intervalos de 300 m cada uno. Se seleccionaron doce comunidades forestales, y se ubicaron 268 sitios circulares de 0.1 ha de manera aleatoria, distribuidos de forma proporcional por cada intervalo, dentro del cual se estimó la riqueza de especies (S), los índices de diversidad proporcional de Shannon-Wiener (H') y Simpson (λ), los de equidad de Pielou (J') y de dominancia de Simpson (E_{λ}). La comparación de la diversidad arbórea entre altitudes se hizo sobre el índice de Shannon-Wiener mediante la prueba de t de Hutcheson. La riqueza de especies varió de 14 a 25 taxa, el índice de Shannon de 1.94 a 2.67 y el de Simpson de 0.09 a 0.18. Los de equidad y dominancia de Pielou y Simpson sugieren que la abundancia de las especies tiende a ser heterogénea. La prueba de t de Hutcheson demostró que existen diferencias significativas en la diversidad de especies entre los intervalos altitudinales.

Palabras clave: Diversidad arbórea, gradiente altitudinal, índice de Pielou, índice de Shannon-Wiener, índice de Simpson, riqueza de especies.

Abstract

The presence of plant species is a function of altitude; therefore, the purpose of this study was to estimate and compare tree diversity on the altitudinal gradient of the *El Salto, Durango* region. Twelve forest communities were selected from between 1 500 and 3 000 m, which was divided into five intervals of 300 m each. A total of 268 circular sites of 0.1 ha were randomly distributed proportionally for each interval, where species richness (S), proportional diversity indexes of Shannon-Wiener (H') and Simpson (λ), of Pielou's equity (J') and dominance of Simpson (E_{λ}) were determined. Comparison of tree diversity between altitudes was made on the Shannon-Wiener index using the Hutcheson t -test. Species richness varied from 14 to 25 taxa, the Shannon-Wiener index from 1.94 to 2.67 and Simpson's 0.09 to 0.18. Equity and dominance by Pielou and Simpson suggest that species abundance tends to be heterogeneous. The Hutcheson t test showed that there are significant differences in species diversity between altitudinal intervals.

Key words: Tree diversity, altitudinal gradient, Pielou index, Shannon-Wiener index, Simpson index, species richness.

Fecha de recepción/Reception date: 9 de diciembre de 2015; Fecha de aceptación/Acceptance date: 12 de febrero de 2017.

¹*Programa de Maestría en Ciencias Forestales, Instituto Tecnológico de El Salto, Durango, México. Correo-e del autor para correspondencia: marychu0103@gmail.com

² División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de El Salto, Durango, México.

Introducción

Los sistemas montañosos reúnen condiciones ambientales relacionadas con las variaciones climáticas y edáficas que ocurren a pequeños intervalos temporales y espaciales, lo que garantiza la conservación de la biodiversidad (Körner *et al.*, 2005; Nogués *et al.*, 2007). La temperatura, la precipitación pluvial, la radiación solar y la humedad favorecen el desarrollo de algunos taxa más que de otros, a partir de su adaptación a las características del medio (Gutiérrez y Canales, 2012).

De manera general, los factores ambientales alteran la riqueza de especies a lo largo de un gradiente porque los recursos disponibles varían; así, en las áreas favorables habrá más posibilidades para la existencia de una mayor diversidad (McCarthy *et al.*, 2001). Los gradientes altitudinales en particular están estrechamente asociados a las modificaciones ambientales, las que llevan implícitas, a su vez, un cambio en la biodiversidad.

El estudio de este gradiente en relación a la presencia de las especies vegetales es importante para conocer la diferenciación entre hábitats respecto a su composición; para determinar las áreas de distribución de cada uno de los taxa y su arreglo espacial; para calcular las dimensiones de los espacios de las especies endémicas; entender cómo se estructura el traslape y ensamble entre especies; proyectar el nicho ecológico fundamental y realizado y el movimiento de las especies causado por los cambios ambientales naturales y las actividades antrópicas (Koleff *et al.*, 2008). Al respecto, la evaluación de la diversidad en diferentes intervalos altitudinales contribuye al entendimiento de los cambios que experimenta la biodiversidad en ese contexto.

A pesar de que la región de El Salto está integrada por condiciones topográficas contrastantes, propias de las zonas montañosas, existe escasa información sobre la diversidad de especies y sus patrones de distribución en relación al gradiente altitudinal. Por lo tanto, se considera que el estudio que se describe a continuación constituye una aportación importante al conocimiento de la estructuración de los taxa y los determinantes en su composición para su incorporación en los programas de manejo con fines de aprovechamiento y conservación de las especies maderables. El objetivo del presente trabajo fue evaluar y caracterizar los cambios en diversidad de la vegetación arbórea en relación al gradiente altitudinal de la región.

Introduction

Mountain systems meet environmental conditions related to climatic and edaphic variations that occur at small temporal and spatial ranges, which ensures the conservation of biodiversity (Körner *et al.*, 2005; Nogués *et al.*, 2007). Temperature, rainfall, solar radiation and humidity favor the development of some more than others, based on their adaptation to the characteristics of the environment (Gutiérrez and Canales, 2012).

In general, environmental factors modify species richness along some gradient because the available resources vary; thus, in the more favorable areas there will be greater possibilities for the existence of a higher diversity of species (McCarthy *et al.*, 2001). Altitudinal gradients in particular are closely associated with environmental modifications, which implies, in turn, a change in species diversity.

The study of this gradient in relation to the presence of plant species is important to know the differentiation between habitats with respect to their composition; to determine the distribution areas of each of the species and their spatial arrangement; to calculate the dimensions of the spaces of the endemic species; to understand how the structure of overlap and assembly between species; projecting the fundamental and realized ecological niche of species and the movement of species caused by natural environmental changes and anthropogenic activities (Koleff *et al.*, 2008). In this sense, the evaluation of the diversity of species in different altitudinal ranges contributes to the understanding of the changes that biodiversity undergoes in this context.

Although the region includes contrasting topographic conditions typical of mountainous areas, there is little information on the diversity of species and their distribution patterns in relation to the altitudinal gradient. Therefore, it is considered that the study described below constitutes an important contribution to the knowledge of the structuring of the species and the determinants in their composition for incorporation into the management programs for the purposes of harvesting and conservation of timber species. Thus, the objective of the present work was to evaluate and characterize the changes in the diversity of the arboreal vegetation in relation to the altitudinal gradient of the region.

Materials and Methods

The study area

Field work was carried out in the *El Salto* region at the southwestern part of the state of *Durango* (Figure 1), which is located in the mountainous massif of the *Sierra Madre Occidental*. The forest region of *El Salto* covers around 507 127 ha. The heights above sea level are distributed between 1 400 and 3 000 m (Inegi, 2017).



Materiales y Métodos

El área de estudio

El trabajo de campo se realizó en la región de El Salto, ubicada en la parte suroeste del estado de Durango (Figura 1), misma que se localiza en el macizo montañoso de la Sierra Madre Occidental. El Salto abarca aproximadamente 507 127 ha. Las altitudes sobre el nivel del mar se distribuyen entre los 1 400 y los 3 000 m (Inegi, 2017).

According to the climatic classification of Köeppen, adapted for Mexico by García (1981), the predominant climate in the study area is C (W₂), which corresponds to a subhumid temperate. The average annual rainfall is 1 200 mm, with rainfall in the months of June, July, August and September. This area has been subject to the application of the *Método de Desarrollo Silvícola* (Silvicultural Development Method) for about 35 years, a treatment that tends to the formation of regular forests.

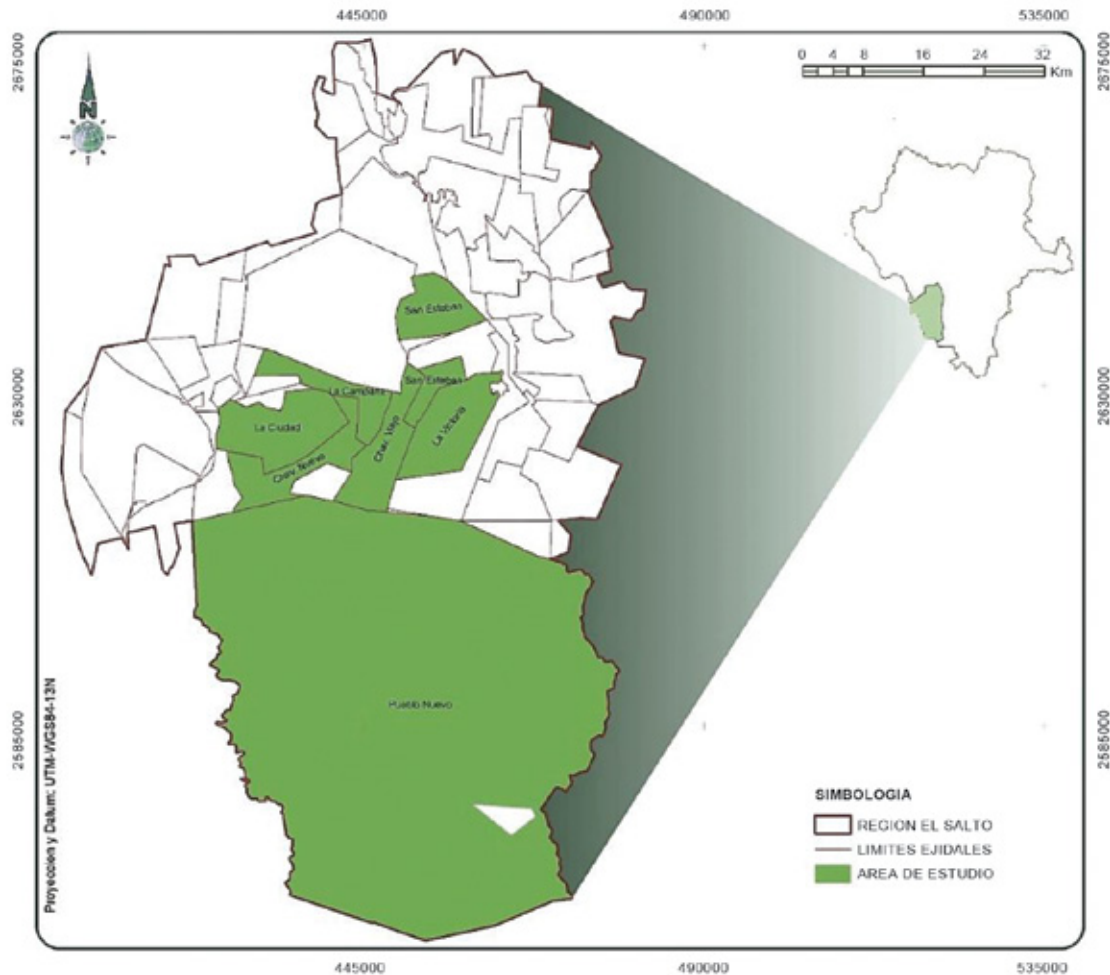


Figura 1. Área de estudio.
Figure 1. Study area.

Según la clasificación climática de Köeppen, adaptada para México por García (1981), el clima que predomina en el área de estudio es el C(W₂), que corresponde a un templado subhúmedo; la precipitación media anual es de 1 200 mm, con régimen de lluvias en los meses de junio, julio, agosto y septiembre. Esta área ha estado sujeta a la aplicación del

Sampling

Twelve forest communities were selected on an altitudinal gradient from 1 500 to 3 000 m, where all species of the temperate climate forests of the *El Salto* region grow. The gradient was divided into five ranges of 300 m each. In, 268 circular sites of 0.1 ha which were randomly distributed in regard to

Método de Desarrollo Silvícola por aproximadamente 35 años, tratamiento que tiende a la formación de bosques regulares.

Muestreo

Se seleccionaron 12 comunidades forestales sobre un gradiente altitudinal de 1 500 a 3 000 m, el cual se dividió en cinco intervalos de 300 m cada uno, donde crecen todas las especies de los bosques de clima templado de la región de El Salto. De manera aleatoria, se ubicaron 268 sitios circulares de 0.1 ha, que fueron distribuidos de manera proporcional en los intervalos de altitud. Dentro de cada sitio se registró el nombre de la especie y su abundancia.

Índices de Diversidad y Equidad

Se estimó la riqueza de especies (S), índice de diversidad proporcional de Shannon-Wiener-Wiener (H'), el índice de Simpson (λ) e índices de equidad de Pielou (J) y de dominancia de Simpson (E_λ). Los cálculos se hicieron de manera independiente por intervalo:

$$H' = -\sum_{i=1}^s p_i \ln(p_i) \quad (1)$$

$$\lambda = 1 / \sum p_i^2 \quad (2)$$

$$J = H' / H'_{max} = H' / \ln S \quad (3)$$

$$E_\lambda = \sum p_i^2 \quad (4)$$

Donde:

p_i = Abundancia proporcional del número de individuos de cada especie (n_i) entre el número total de individuos (N)

H'_{max} = Máxima diversidad de Shannon-Wiener, la cual es igual al logaritmo natural (\ln) del número de especies (S)

Comparación de la diversidad

Para determinar si hay diferencias significativas en la diversidad entre los intervalos de altitud, se utilizó la prueba estadística t de Hutcheson (1970), con base en la ecuación 5.

$$t = \frac{H'_1 - H'_2}{(\text{Var}H'_1 + \text{Var}H'_2)^{1/2}} \quad (5)$$

La varianza se estimó a partir de la ecuación 6.

$$\text{var } H' = \frac{\sum p_i (\ln p_i)^2 - (\sum p_i \ln p_i)^2}{N} + \frac{S - 1}{2N^2} \quad (6)$$

each altitude range. Within each site, the name of the species and its abundance were recorded.

Diversity and Equity Indices

Within each altitude range, species richness (S), Shannon-Wiener-Wiener proportional diversity index (H'), Simpson index (λ) and Pielou (J) equity index and the Simpson for Dominance (E_λ) were estimated.

$$H' = -\sum_{i=1}^s p_i \ln(p_i) \quad (1)$$

$$\lambda = 1 / \sum p_i^2 \quad (2)$$

$$J = H' / H'_{max} = H' / \ln S \quad (3)$$

$$E_\lambda = \sum p_i^2 \quad (4)$$

p_i = Proportional abundance of the number of individuals of each species (n_i) divided by the total number of individuals (N)

H'_{max} = Maximum diversity of Shannon-Wiener, which equals the natural logarithm (\ln) of the number of species (S)

Comparison of diversity

To determine if there were significant differences in the diversity between altitude ranges, the statistical test of Hutcheson (1970) was used, based on equation 5.

$$t = \frac{H'_1 - H'_2}{(\text{Var}H'_1 + \text{Var}H'_2)^{1/2}} \quad (5)$$

Variance was estimated from equation 6.

$$\text{var } H' = \frac{\sum p_i (\ln p_i)^2 - (\sum p_i \ln p_i)^2}{N} + \frac{S - 1}{2N^2} \quad (6)$$

Once the value of t was known, the degrees of freedom (equation 7) were calculated to perform the hypothesis test.

$$df = \frac{(\text{Var}H'_1 + \text{Var}H'_2)^2}{[(\text{Var}H'_1)^2 / N_1] + [(\text{Var}H'_2)^2 / N_2]}$$

Where:

H'_1, H'_2 = Shannon-Wiener indices of altitude ranges subject to comparison

$\text{Var}H'_1, \text{Var}H'_2$ = Shannon-Wiener variances of altitude ranges subject to comparison

N_i = Total number of individuals in the i^{th} gradient

Una vez conocido el valor de t se procedió a calcular los grados de libertad (ecuación 7) para realizar la prueba de hipótesis.

$$df = \frac{(\text{Var}H'_1 + \text{Var}H'_2)^2}{\{(\text{Var}H'_1)^2 / N_1\} + \{(\text{Var}H'_2)^2 / N_2\}}$$

Donde:

H'_1, H'_2 = Índices de Shannon-Wiener de los intervalos de altitud sujetos a comparación
 $\text{Var}H'_1, \text{Var}H'_2$ = Varianzas de Shannon-Wiener de los intervalos de altitud sujetos a comparación
 N_i = Número total de individuos en el i -ésimo gradiente

Resultados

Riqueza de especies y el gradiente altitudinal

De manera global, se registraron seis familias, ocho géneros y 30 especies; las familias más abundantes fueron Pinaceae con 12 y Fagaceae con 11 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Riqueza de especies arbóreas por intervalos de altitud en la región de El Salto, Durango.

Familia	Género	Especie	Intervalo de altitud (m)
Betulaceae	<i>Alnus</i>	<i>Alnus jorullensis</i> Kunth	2 400-2 700
Cupressaceae	<i>Juniperus</i>	<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	1 800-3 000
Ericaceae	<i>Arbutus</i>	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	2 100-3 000
		<i>Arbutus tessellata</i> P. D. Sørensen	1 500-3 000
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Quercus candicans</i> Née	2 100-2 400
		<i>Q. castanea</i> Née	1 500-2 700
		<i>Q. crassifolia</i> Humb. & Bonpl.	1 500-3 000
		<i>Q. conzattii</i> Trel.	1 800-2 700
		<i>Q. durifolia</i> Seemen ex Loes	1 800-3 000
		<i>Q. eduardii</i> Trel.	1 500-2 700
		<i>Q. fulva</i> Liebm.	1 800-2 400
		<i>Q. rugosa</i> Née	1 500-3 000
		<i>Q. sideroxylo</i> Humb. & Bonpl.	1 500-3 000
		<i>Q. urbanii</i> Trel.	1 800-2 400
		<i>Q. viminea</i> Trel.	1 800-2 100
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>Pinus strobiformis</i> Engelm.	1 500-3 000
		<i>P. chihuahuana</i> Engelm.	2 100-3 000
		<i>P. cooperi</i> C. E. Blanco	1 500-3 000

Continúa Cuadro 1...

Results

Species richness and the altitudinal gradient

Overall, six families, eight genera and 30 species were recorded; the most abundant families were Pinaceae with 12 and Fagaceae with 11 (Table 1).

Based on the different gradient ranges, the greatest number of species was found in the 2 100-2 400 m ($S = 25$ species), followed by the one of 1 800 to 2 100 m, by the one of 2 400 to 2 700 m, ($S = 24$ species each), 2 700 to 3 000 m ($S = 20$ species) and 1 500 to 1 800 m (14 species). This indicates that the greatest richness was located in the intermediate altitude ranges (1 800-2 700 m) and, in contrast, in the lowest (1 500-1 800 m) the smallest amount of taxa are found.



Continúa Cuadro 1...

Familia	Género	Especie	Intervalo de altitud (m)
		<i>P. douglasiana</i> Martínez	1 500-2 700
		<i>P. durangensis</i> Martínez	1 500-3 000
		<i>P. engelmannii</i> Carr.	1 800-3 000
		<i>P. herrerae</i> Martínez	1 800-3 000
		<i>P. leiophylla</i> Schl. & Cham.	1 800-3 000
		<i>P. lumholtzii</i> B.L.Rob. & Fernald	1 500-3 000
		<i>P. devoniana</i> Lindl.	1 500-3 000
		<i>P. teocote</i> Schiede ex Schltdl.	1 500-3 000
		<i>P. oocarpa</i> Schiede ex Schltdl.	1 500-2 100
	<i>Pseudotsuga</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	2 700-3 000
	<i>Abies</i>	<i>Abies durangensis</i> Martínez	2 400-2 700
Salicaceae	<i>Populus</i>	<i>Populus tremuloides</i> Michx.	2 400-2 700

Table 1. Tree species richness by altitude ranges within the *El Salto* region.

Family	Genus	Species	Altitude range (masl)
Betulaceae	<i>Alnus</i>	<i>Alnus jorullensis</i> Kunth	2 400-2 700
Cupressaceae	<i>Juniperus</i>	<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	1 800-3 000
Ericaceae	<i>Arbutus</i>	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	2 100-3 000
		<i>Arbutus tessellata</i> P. D. Sørensen	1 500-3 000
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Quercus candicans</i> Née	2 100-2 400
		<i>Q. castanea</i> Née	1 500-2 700
		<i>Q. crassifolia</i> Humb. & Bonpl.	1 500-3 000
		<i>Q. conzattii</i> Trel.	1 800-2 700
		<i>Q. durifolia</i> Seemen ex Loes	1 800-3 000
		<i>Q. eduardii</i> Trel.	1 500-2 700
		<i>Q. fulva</i> Liebm.	1 800-2 400
		<i>Q. rugosa</i> Née	1 500-3 000
		<i>Q. sideroxylo</i> Humb. & Bonpl.	1 500-3 000
		<i>Q. urbanii</i> Trel.	1 800-2 400
		<i>Q. viminea</i> Trel.	1 800-2 100
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>Pinus strobiformis</i> Engelm.	1 500-3 000
		<i>P. chihuahuana</i> Engelm.	2 100-3 000
		<i>P. cooperi</i> C. E. Blanco	1 500-3 000
		<i>P. douglasiana</i> Martínez	1 500-2 700
		<i>P. durangensis</i> Martínez	1 500-3 000
		<i>P. engelmannii</i> Carr.	1 800-3 000

Continue Table 1...

Continue Table 1...

Family	Genus	Species	Altitude range (masl)
		<i>P. herrerae</i> Martínez	1 800-3 000
		<i>P. leiophylla</i> Schl. & Cham.	1 800-3 000
		<i>P. lumholtzii</i> B.L.Rob. & Fernald	1 500-3 000
		<i>P. devoniana</i> Lindl.	1 500-3 000
		<i>P. teocote</i> Schiede ex Schltld.	1 500-3 000
		<i>P. oocarpa</i> Schiede ex Schltld.	1 500-2 100
	<i>Pseudotsuga</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	2 700-3 000
	<i>Abies</i>	<i>Abies durangensis</i> Martínez	2 400-2 700
Salicaceae	<i>Populus</i>	<i>Populus tremuloides</i> Michx.	2 400-2 700

Con base en los diferentes intervalos del gradiente, el mayor número de especies se identificó en el de 2 100-2 400 m (S=25 especies); seguido por el de los 1 800 a 2 100 m, por el de 2 400 a 2 700 m, (S=24 especies, cada uno); el de 2 700 a 3 000 m (S=20 especies); y el de 1 500 a 1 800 m (14 especies). Lo anterior indica que la mayor riqueza se ubicó en los intervalos de altitud intermedios (1 800-2 700 m) y, en contraste, en el inferior (1 500-1 800 m) se reúne la menor cantidad de taxa.

Las especies que se reconocieron a lo largo de todo el gradiente de altitud estudiado fueron *Arbutus tessellata* P. D. Sørensen, *Q. crassifolia* Humb. & Bonpl., *Q. rugosa* Née, *Q. sideroxyla* Humb. & Bonpl., *Pinus strobiformis* Engelm., *P. cooperi* C. E. Blanco, *P. durangensis* Martínez, *P. lumholtzii* B.L.Rob. & Fernald, *P. devoniana* Lindl. y *P. teocote* Schiede ex Schltld. Se restringieron a un solo intervalo: *Q. viminea* Trel. (1 800-2 100 m), *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (2 700-3 000 m), *Abies durangensis* Martínez y *Populus tremuloides* Michx. (2 400-2 700 m). Los taxa restantes presentaron un intervalo de distribución intermedio.

Diversidad proporcional

En el Cuadro 2 se muestran los valores del índice de Shannon-Wiener de 1.94 a 2.67, lo que significa que existe una diversidad superior en los intervalos de altitud de 1 500-1 800 m, 1 800-2 100 m, 2 100-2 400 m y 2 400-2 700 m; en comparación con el de 2 700 a 3 000 m. Los indicadores de dominancia de Simpson variaron de 0.82 a 0.91, y se refieren a los de 2 700-3 000 m y de 1 800-2 100 m la menor y mayor dominancia, respectivamente. Por otra parte, los resultados del índice de equidad de Pielou (J') son entre 0.54 y 0.74, que corresponden a una baja y alta homogeneidad en los intervalos de 2 700-3 000 m y de 1 800 a 2 100 m.

The species that were recognized along the altitude gradient studied were *Arbutus tessellata* P. D. Sørensen, *Q. crassifolia* Humb. & Bonpl., *Q. rugosa* Née, *Q. sideroxyla* Humb. & Bonpl., *Pinus strobiformis* Engelm., *P. cooperi* C. E. Blanco, *P. durangensis* Martínez, *P. lumholtzii* B.L.Rob. & Fernald, *P. devoniana* Lindl. and *P. teocote* Schiede ex Schltld. In contrast, species restricted to a single range were *Q. viminea* Trel. (1 800-2 100 m), *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (2 700-3 000 m), *Abies durangensis* Martínez and *Populus tremuloides* Michx. (2 400-2 700 m). The other species had an in-between distribution range.

Proportional Diversity

Table 2 shows the values of the Shannon-Wiener index of 1.94 to 2.67, which means that there is greater diversity in the altitude ranges of 1 500-1 800 m, 1 800-2 100 m, 2 100-2 400 m and 2 400-2 700 m, compared to 2 700 to 3 000 m. Simpson's dominance indicators varied from 0.82 to 0.91, and refer to the ranges 2 700-3 000 m and 1 800-2 100 m the lowest and highest dominance, respectively. On the other hand, the results of the Pielou Equity Index (J') are between 0.54 and 0.74, corresponding to the lowest and highest homogeneity in the ranges of 2 700-3 000 m and from 1 800 to 2 100 m.

The Shannon-Wiener indices of each altitude range and significance levels (P-value) define the difference in diversity between them. Most of them presented statistically different indicators of diversity of Shannon-Wiener (P-value <0.05). The opposite was verified (P-value > 0.05) among the 1 500-1 800 vs. 2 400-2 700 and 1 800-2 100 vs. 2 100-2 400 (Table 3).



Cuadro 2. Diversidad y equidad en diferentes intervalos altitudinales de la región de El Salto, Durango.

Índice	Altitud (msnm)				
	1 500-1 800	1 800-2 100	2 100-2 400	2 400-2 700	2 700-3 000
Diversidad Shannon-Wiener-Wiener)	2.29	2.67	2.53	2.28	1.94
Equidad (Pielou)	0.63	0.74	0.70	0.63	0.54
Dominancia (Simpson)	0.86	0.91	0.90	0.87	0.82
Diversidad (Simpson)	0.14	0.09	0.10	0.13	0.18

Table 2. Diversity and equity in different altitudinal ranges of the region of *El Salto, Durango*.

Index	Altitude (masl)				
	1500-1800	1800-2100	2100-2400	2400-2700	2700-3000
Shannon-Wiener Diversity	2.29	2.67	2.53	2.28	1.94
Equity (Pielou)	0.63	0.74	0.70	0.63	0.54
Dominance (Simpson)	0.86	0.91	0.90	0.87	0.82
Diversity (Simpson)	0.14	0.09	0.10	0.13	0.18

Los índices de Shannon-Wiener en los intervalos de altitud y los niveles de significancia (P-valor) definen la diferencia en diversidad entre ellos. La mayoría tuvieron indicadores de Shannon-Wiener estadísticamente diferentes (P-valor <0.05). Lo contrario se verificó (P-valor>0.05) entre los de 1 500-1 800 vs. 2 400-2 700 y 1 800-2 100 vs. 2 100-2 400 (Cuadro 3).

Discussion

There is a variety of hypotheses that seek to explain the patterns of specific wealth in relation to altitude. Among them, Stevens (1992), Alvizu (2004) and Botero (2011) point out that species richness decreases as altitude increases, while

Cuadro 3. Prueba de t de Hutcheson para cada par de intervalos de altitud evaluado.

Altitud (msnm)	1 800-2 100	2 100-2 400	2 400-2 700	2700-3000
	2.290	2.290	2.290	2.290
1 500-1 800	2.673	2.533	2.287	1.944
	P-valor< 0.01	P-valor < 0.05	P-valor > 0.05	P-valor < 0.01
		2.673	2.673	2.673
1 800-2 100		2.533	2.287	1.944
		P-valor >0.05	P-valor < 0.005	P-valor< 0.001
			2.533	2.533
2 100-2 400			2.287	1.944
			P-valor < 0.005	P-valor < 0.001
				2.287
2 400-2 700				1.944
				P-valor < 0.001



Table 3. Hutcheson *t* test for each pair of assessed altitude ranges.

Altitude (masl)	1 800-2 100	2 100-2 400	2 400-2 700	2 700-3 000
	2.290	2.290	2.290	2.290
1500-1800	2.673	2.533	2.287	1.944
	P- value < 0.01	P-value < 0.05	P- value > 0.05	P- value < 0.01
		2.673	2.673	2.673
1800-2100		2.533	2.287	1.944
		P- value >0.05	P- value < 0.005	P- value < 0.001
			2.533	2.533
2100-2400			2.287	1.944
			P- value < 0.005	P- value < 0.001
				2.287
2400-2700				1.944
				P- value < 0.001

Discusión

Existe una variedad de hipótesis para explicar los patrones de la riqueza específica en relación a la altitud. Entre ellas, Stevens (1992), Alvizu (2004) y Botero (2011) señalan que la riqueza de especies disminuye conforme se incrementa la altitud, mientras que Colwell y Hurt (1994), Rahbek (1995), Colwell y Lees (2000), Brown (2001) y McCain y Grytnes (2010) argumentan que existe un mayor número de especies en intervalos de altitud intermedios. Sin embargo, de acuerdo a McCain (2005), las tendencias específicas de la riqueza de especies que se presentan en cada región dependen de los factores climáticos y edáficos que están ligados al gradiente tales como la precipitación y la temperatura, el tipo de suelo y su contenido de humedad. Lamprecht (1990) menciona que la temperatura en particular desciende entre 0.4 a 0.7 °C por cada 100 m de incremento en altitud; variación que está en función de la humedad relativa del aire, y llega incluso a disminuir hasta 1 °C cuando el aire de la atmósfera es completamente seco. Con respecto al presente estudio, el patrón de distribución de la riqueza específica en función de los cambios de altitud, muestra la existencia de un gran número de especies en los intervalos intermedios, mismos que asumen una altitud de 2 100 a 2 700 m, contra las altitudes menores y mayores.

Margalef (1972) refiere que el índice de Shannon-Wiener, normalmente, varía de 1 a 5, e interpreta a valores menores de 2 como diversidad baja, de 2 a 3.5 media y superiores a 3.5 como diversidad alta. De acuerdo a ese criterio, los resultados del presente estudio sugieren que a las comunidades forestales de los intervalos de 1 500-1 800 m, 1 800-2 100 m, 2 100-2 400 m y 2 400-2 700 m les corresponde una diversidad media; a

Colwell and Hurt (1994), Rahbek (1995), Colwell and Lees (2000) Brown (2001) and McCain and Grytnes (2010) argue that there is a greater number of species in intermediate range ranges. However, according to McCain (2005), specific trends of species richness occurring in each region depend on climatic and edaphic factors that are linked to the range of altitude such as precipitation and temperature as well as soil type and its moisture content. Lamprecht (1990) mentions that the temperature in particular descends between 0.4 to 0.7 °C per 100 m of increase in altitude. This variation is in function of the relative humidity of the air, even decreasing until 1 °C when the air of the atmosphere is completely dry. In relation to the present study, the pattern of distribution of specific richness as a function of altitude changes, shows the presence of a greater number of species in the intermediate ranges, which assume an altitude of 2 100 to 2 700 m, against high and low altitudes.

Margalef (1972) reports that the Shannon-Wiener index usually ranges from 1 to 5, and interprets values lower than 2 as low diversity, from 2 to 3.5 mean diversity and greater than 3.5 as high diversity. According to this criterion, the results of the present study suggest that the forest communities of the ranges 1 500-1 800 m, 1 800-2 100 m, 2 100-2 400 m and 2 400-2 700 m present a mean diversity in contrast to the altitudinal range of 2 700 to 3 000 m, classified as little diverse. The Shannon-Wiener diversity indexes obtained in this study are much higher than those estimated in other studies in mixed coniferous forests with broadleaved conifers (Villavicencio *et al.*, 2005, Díaz *et al.*, 2012).

Regardless of the variations in the environmental conditions attributed to the altitude gradient over changes in biodiversity, in the particular case of other mixed coniferous and broadleaved

diferencia con el intervalo altitudinal de 2 700 a 3 000 m, clasificado como poco diverso. Los índices de diversidad de Shannon-Wiener son muy superiores a los estimados en otros estudios realizados en bosques mixtos de coníferas con latifoliadas (Villavicencio *et al.*, 2005; Díaz *et al.*, 2012).

Independientemente de las variaciones de las condiciones ambientales atribuidas al gradiente de altitud sobre los cambios en la biodiversidad, en el caso particular de otras áreas mixtas de coníferas y latifoliadas su escasez parece estar influenciada por las prácticas silvícolas aplicadas. En este contexto, Nívar y González (2009), en bosques vecinos del área de estudio, señalan que el índice de diversidad de Shannon-Wiener disminuye conforme se acentúa la intensidad de corta. El valor máximo y mínimo estimado fue de 1.33 y 0.53, respectivamente, mientras que Castellanos-Bolaños *et al.* (2008) calcularon resultados inferiores a 2.17 para el mismo índice en un bosque de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham., en Oaxaca. De manera similar, García *et al.* (2012) determinaron cifras entre 1.82 y 2.02, de los cuales la máxima diversidad corresponde a bosques propios de áreas inaccesibles de la Sierra Madre Oriental del estado de Nuevo León.

A pesar de que los indicadores de Simpson sugieren una alta diversidad en cada uno de los intervalos de altitud ($\lambda < 0.17$), su comportamiento es semejante al del índice de Shannon-Wiener, pues la máxima diversidad se verifica en el intervalo de 1 800-2 100 m ($\lambda = 0.09$) y la mínima en el intervalo de 2 700 a 3 000 m ($\lambda = 0.18$). Así, la interpretación de los resultados del índice de equidad de Shannon (índice de equidad de Pielou) es congruente con los obtenidos con el índice de dominancia de Simpson (E_{λ}) que varían de 0.82 a 0.91. De acuerdo a los dos, el intervalo de altitud de 2 700-3 000 m reúne algunas especies dominantes, y en orden decreciente los de 1 500-1 800 m, 2 400-2 700 m, 2 100-2 400 m y 1 800-2 100 m (Cuadro 2).

Con base en los indicadores de Simpson estimados en el trabajo aquí descrito, y si se considera que una comunidad es más compleja mientras mayor sea el número de especies que la conforman y menos dominancia presente, uno o pocos taxa, con respecto a las demás (Baca, 2000), las comunidades evaluadas en esta ocasión se clasifican como diversas.

La prueba de *t* de Hutcheson reveló diferencias estadísticas significativas en la mayoría de los pares de intervalos altitudinales evaluados. De manera particular, el de 1 500-1 800 m contra el de 2 400-2 700 m, aunque sugiere una diferencia en la riqueza específica (14 vs 24 especies), el índice de Shannon-Wiener indicó homogeneidad en la diversidad proporcional. Resultado que se atribuye a la influencia que tienen las especies dominantes, reflejadas en los índices de equidad y dominancia. Al respecto, Alanís *et al.* (2010) citan que el número de individuos afecta la diferenciación de la composición de las especies existentes en cada comunidad comprendida entre intervalos de altitud.

areas, their scarcity seems to be influenced by applied silvicultural practices. In this context, Nívar and González (2009), when studying the subject in neighboring forests of the study area, found that the Shannon-Wiener diversity index decreases as the cutting intensity is accentuated. The estimated maximum and minimum values were 1.33 and 0.53, respectively, while Castellanos-Bolaños *et al.* (2008) calculated results lower than 2.17 for the same index in a forest of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. of the state of Oaxaca. Similarly, García *et al.* (2012) determined figures between 1.82 and 2.02, of which the maximum diversity corresponds to forests belonging to inaccessible areas of the Sierra Madre Oriental of the state of Nuevo León.

Although Simpson's indicators suggest a high diversity in each of the altitude ranges ($\lambda < 0.17$), their behavior is similar to the Shannon-Wiener index, since the maximum diversity is verified in the range of 1 800- 2 100 m ($\lambda = 0.09$) and the minimum in the range of 2 700 to 3 000 m ($\lambda = 0.18$). In this way the interpretation of the results of the Shannon-Wiener Equity Index (Pielou Equity Index) is congruent with those obtained with the Simpson Dominance Index (E_{λ}) ranging from 0.82 to 0.91. According to the two, the altitude range of 2 700-3 000 m brings together some dominant species, and in decreasing order those of 1 500-1 800 m, 2 400-2 700 m, 2 100-2 400 m and 1 800-2 100 m (Table 2).

Based on the Simpson indicators estimated in the present case, and if a community is considered more complex the greater the number of species that comprise it and the less dominance present one or a few species with respect to the others (Baca, 2000), the communities evaluated on this occasion are classified as diverse.

The Hutcheson *t* test revealed statistically significant differences in most of the pairs of altitudinal intervals evaluated. In particular, the 1 500-1 800 m versus the 2 400-2 700 m, although suggesting a difference in specific richness (14 vs 24 species), the Shannon-Wiener index indicated homogeneity in proportional diversity. This result is attributed to the influence of dominant species, reflected in the indexes of equity and dominance. In this sense, Alanís *et al.* (2010) mentioned that the number of individuals affects the differentiation of the composition of the species present in each community between altitude ranges.



Conclusiones

En el gradiente altitudinal estudiado se identifican 30 especies arbóreas, distribuidas en las familias Betulaceae, Cupressaceae, Ericaceae, Fagaceae, Pinaceae y Salicaceae. La riqueza específica varía de 14 a 25 taxa, los índices de diversidad de Shannon-Wiener son de 1.94 a 2.67 y el de Simpson de 0.09 a 0.18; la mayor riqueza y diversidad corresponde a los intervalos altitudinales intermedios. La comparación del índice de diversidad de Shannon-Wiener indica que existe diferencia significativa entre la mayoría de los intervalos de altitud. Asimismo, se observa que la dominancia de especies arbóreas influye en la diferenciación de diversidad entre los intervalos altitudinales. Estos resultados hacen suponer que la variabilidad ambiental atribuida al gradiente altitudinal juega un papel importante en la presencia y abundancia de las especies.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su reconocimiento al Instituto Tecnológico de El Salto por el apoyo económico aportado para la realización de este proyecto y a la Unidad de Prestación de Servicios Forestales de El Salto Durango (UPSE) por el apoyo prestado en la toma de información de campo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

María de Jesús Medrano Meraz y Francisco Javier Hernández: elaboración del proyecto, planeación de actividades, levantamiento de información de campo, identificación de especies, captura de información, análisis de datos y redacción del manuscrito; Sacramento Corral Rivas y Juan Abel Nájera Luna: identificación de especies, análisis de datos y redacción del manuscrito.

Referencias

- Alanís, E., R. Aranda, J. M. Mata, P. A. Canzales, J. Jiménez, J. I. Uvalle, A. Valdecantos y M. G. Ruiz. 2010. Riqueza y diversidad de especies leñosas del bosque tropical caducifolio en San Luis Potosí, México. *Ciencia UANL* 13: 287-294.
- Alvizu D., P. A. 2004. Complejidad y respuesta funcional de la vegetación de páramo a lo largo de gradientes altitudinales. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. 66 p.
- Baca V., J. M. 2000. Caracterización de la estructura vertical y horizontal en bosques de pino-encino. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N L., México. 105 p.
- Botero A., M. A. 2011. Estructura de las comunidades de mamíferos carnívoros en un gradiente altitudinal en el estado de Oaxaca, México. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Santa Cruz Xoxocotlán, Oax., México. 53 p.
- Brown J., H. 2001. Mammals on mountain sides: elevational patterns of diversity. *Global Ecology and Biogeography* 10: 101-109.
- Castellanos-Boñalos, J. F., E. J. Treviño-Garza, O. A. Aguirre-Calderón, J. Jiménez-Pérez, M. Musalem-Santiago y P. López-Aguillón. 2008. Estructura del bosque de pino patula bajo manejo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera y Bosques* 14 (2): 51-63.

Conclusions

Within the altitudinal gradient studied 30 tree species distributed in the Betulaceae, Cupressaceae, Ericaceae, Fagaceae, Pinaceae and Salicaceae families were recorded. Species richness varied from 14 to 25, the Shannon-Wiener diversity indexes from 1.94 to 2.67 and Simpson's from 0.09 to 0.18; the greatest richness and diversity at intermediate altitudinal intervals was found. Comparison of the Shannon-Wiener diversity index indicates that there is a significant difference between most of the altitude ranges. It was also observed that the dominance of tree species influences the differentiation of diversity between the altitudinal intervals. These results suggest that the environmental variability attributed to the altitudinal gradient plays an important role in the presence and abundance of the species.

Acknowledgements

The authors wish to express their appreciation to the *Instituto Tecnológico de El Salto* (El Salto Technological Institute) for the financial support provided to accomplish this project and to the *Unidad de Prestación de Servicios Forestales de El Salto Durango* (UPSE) (El Salto Durango Forest Services Provision Unit) for the help in the field data collection.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Contribution by author

María de Jesús Medrano Meraz and Francisco Javier Hernández: elaboration of the project, planning of activities, survey of field information, identification of species, information capture, data analysis and writing of the manuscript; Sacramento Corral Rivas and Juan Abel Nájera Luna: species identification, data analysis and writing of the manuscript.

End of the English version

- Colwell, R. K. and D. C. Lees. 2000. The mid-domain effect: geometric constraints on the geography of species richness. *Trends in Ecology & Evolution* 15 (2): 70-76.
- Colwell, R. K. and G. C. Hurt. 1994. Nonbiological gradients in species richness and a spurious Rapoport effect. *The American Naturalist* 144: 570-595.
- Díaz, V., R. J. Sosa y S. D. Pérez. 2012. Distribución y abundancia de las especies arbóreas y arbustivas en la Sierra Fría, Aguascalientes, México. *Polibotánica* 34: 99-126.
- García A., M. A., A. E. Estrada C. y C. M. Cantú A. 2012. Clasificación de nueve sitios de bosque mixto de coníferas con presencia de *Taxus glubosa* en la Sierra Madre Oriental, Nuevo León y Tamaulipas, México. *Botanical Sciences* 90 (1): 53-62.
- García M., E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México. 252 p.
- Gutiérrez F., I. R. y G. A. Canales. 2012. Evaluación comparativa de la diversidad de flora silvestre entre la isla Taquile y el cerro Chiani en relación a la altitud, Puno, Perú. *Ecología Aplicada* 11: 40-46.
- Hutcheson, K. 1970. A test for comparing diversities based on the Shannon-Wiener formula. *Journal of Theoretical Biology* 29 (1): 151-154.

- Instituto Nacional de Geografía y Estadística. (Inegi). 2017. Espacio y datos de México. Pueblo Nuevo, Durango. <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/espaciodydatos/default.aspx?o=1008858001> (4 de mayo del 2017).
- Koleff, P., J. Soberón, H. T. Arita, P. Dávila, O. Flores-Villela, J. Golubov, G. Halfter, A. Lira-Noriega, C. E. Moreno, E. Moreno, M. Munguía, M. Murguía, A. G. Navarro-Sigüenza, O. Téllez, L. Ochoa-Ochoa, A. Townsend P. y P. Rodríguez. 2008. Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies. *In: Soberón, J., G. Halfter y J. Llorente-Bousquets (comps.). Capital Natural de México, Vol. 1: conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F., México, pp. 323-364.*
- Körner, C., M. Ohsawa, E. Spehn, E. Berge, H. Bugmann, B. Groombridge, H. Thomas, J. Ives, N. Jodha, B. Messerli, P. Price, M. Reasoned, A. Rodgers, J. Thonell, M. Yashino, J. Baron, B. Barry, J. Blais, R. Bradley, R. Hofstede, V. Kapos, P. Leavitt, R. Monson, L. Nagy, D. Schindler, R. Vinebrooke and T. Watanabe. 2005. Mountain systems. *In: Hassan, R., R. Scholes and N. Ash (eds.). Ecosystems and human well-being: current state and trends. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press. Washington, DC, USA. Vol 1. pp. 681-716.*
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Eschborn, Hesse, Alemania. 340 p.
- McCain, C. M. 2005. Elevational gradients in diversity of small mammals. *Ecology* 86 (2): 366-372.
- McCain, C. M. and J. A. Grytnes. 2010. Elevational gradients in species richness. *In: Encyclopedia of Life Sciences (ELS). John Wiley & Sons, Ltd: Chichester, UK. 10 p. DOI: 10.1002/9780470015902.a0022548.*
- McCarthy J. J., O. F. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken and K. S. White. 2001. Climate change: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 1005 p.
- Margalef, R. 1972. Homage to E. Hutchison, or why is there an upper limit to diversity. *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences* 44: 211-235.
- Návar Ch., J. J. y S. González E. 2009. Diversidad, estructura y productividad de bosques templados de Duintervalo, México. *Polibotánica* 27: 71-87.
- Nogués B., D., M. B. Araújo, M. P. Errea and J. P. Martínez R. 2007. Exposure of global mountain systems to climate warming during the 21st Century. *Global Environmental Change* 17: 420-428.
- Rahbek, C. 1995. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern. *Ecography* 18 (2): 200-205.
- Stevens, G. C. 1992. The elevational gradient in altitudinal range: an extension of the Rapoport's latitudinal rule to altitude. *The American Naturalist* 140: 893-911.
- Villavicencio G., R., P. Bauche P., A. Gallegos R., A. Santiago P. y F. Huerta M. 2005. Caracterización estructural y diversidad de comunidades arbóreas de La Sierra de Quila. *Ibugana, Boletín Ibug* 13 (1): 67-76.

