

**COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD ARBÓREA EN UN GRADIENTE
ALTITUDINAL DE UN BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA EN LA SIERRA MADRE
DE CHIAPAS, MÉXICO**

Edwin Geyner Verdugo-Morales, Eduardo Alanís-Rodríguez, Gerardo Cuellar-Rodríguez, José Israel Yerena-Yamalle, Alejandro Collantes-Chávez-Costa y Jesús Eduardo Silva-García

RESUMEN

En porciones de bosques mesófilos de montaña, en Motozintla, Chiapas, México, se establecieron nueve sitios circulares de muestreo de 1000m² cada uno, distribuidos uniformemente a lo largo de un gradiente, en tres rangos de altitud: superior (2650-2367msnm), intermedio (2367-2084msnm) e inferior (2084-1800msnm). Se consideraron todos los individuos a partir de un DAP \geq 2,5cm. Tanto la riqueza de especies como la estructura horizontal en número de individuos/ha fueron significativa-

mente mayores en el rango inferior. La diversidad alfa medida con el índice de Shannon-Wiener no cambió a lo largo del gradiente entre rangos. El rango superior e intermedio comparten el 56% de las especies, el rango intermedio y el inferior el 39% y el rango superior e inferior el 16%. *Hedyosmum mexicanum* C. Cordenum, *Quercus benthamii* A. DC y *Hesperocyparis lusi-tanica* (Mill.) Bartel, son las especies de mayor valor ecológico para el rango superior, intermedio e inferior respectivamente.

Introducción

De los múltiples factores ambientales, la altitud es uno de los componentes físicos que propicia distintas condiciones ambientales en los ecosistemas

(Williams *et al.*, 1996). Las especies vegetales responden a las variaciones en las condiciones ambientales, produciéndose en consecuencia cambios significativos en la composición y estructura de las comunidades

(Mazzola *et al.*, 2008). El cambio en la estructura y diversidad arbórea propicia condiciones ambientales diferentes para otros organismos asociados y, por ende, también en la diversidad de otros seres vivos (Smith

and Smith, 2007). El bosque mesófilo de montaña (BMM) es un sistema importante por su diversidad (Pérez-Farrera *et al.*, 2010); contiene al menos el 10% de las plantas vasculares de la flora mexicana

PALABRAS CLAVE / Bosque Mesófilo de Montaña / Gradiente Altitudinal / Índice de Valor de Importancia / Morisita-Horn / Shannon-Wiener /

Recibido: 17/05/2021. Modificado: 01/06/2022. Aceptado: 02/06/2022.

Edwin Geyner Verdugo-Morales. Ingeniero Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México. Estudiante de Maestría en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), México.

Eduardo Alanís-Rodríguez (Autor de correspondencia). Ingeniero Forestal, Maestro en Ciencias Forestales y Doctor en Ciencias en Manejo de Recursos

Naturales, UANL, México. Profesor investigador, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Dirección: Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Carretera Nacional km. 135, Linares, Nuevo León, C.P. 67700, México. e-mail: eduardo.alanisrd@uanl.edu.mx

Gerardo Cuéllar-Rodríguez. Doctor en Entomología y Acarología, Colegio de Posgraduados, México. Profesor

investigador, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

José Israel Yerena-Yamalle. Ingeniero Forestal. Maestro en Ciencias Forestales y Doctor en Ciencias en Manejo de Recursos Naturales, UANL, México. Profesor investigador, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

Alejandro Collantes-Chávez-Costa. Doctor en Biotecnología

de Plantas, Centro de Investigación Científica de Yucatán, México. Profesor Investigador, Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, México.

Jesús Eduardo Silva-García. Estudiante de Doctorado en Ciencias en Manejo de Recursos Naturales, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

COMPOSITION, TREE STRUCTURE AND DIVERSITY IN AN ALTITUDINAL GRADIENT OF A CLOUD FOREST IN THE SIERRA MADRE DE CHIAPAS, MEXICO

Edwin Geyner Verdugo-Morales, Eduardo Alanís-Rodríguez, Gerardo Cuellar-Rodríguez, José Israel Yerena-Yamallel, Alejandro Collantes-Chávez-Costa and Jesús Eduardo Silva-García

SUMMARY

In portions of montane cloud forests, in Motozintla, Chiapas, Mexico, nine circular sampling sites of 1000m² each were established, uniformly distributed along a gradient, in three altitude ranges: upper (2650-2367masl), intermediate (2,367-2,084masl), and lower (2,084-1,800masl). Individuals from DBH \geq 2.5cm were included in the study. Both species richness and horizontal structure in number of individuals/ha were significantly higher in the lower range. Alpha diver-

sity measured with the Shannon-Wiener index did not change along the gradient between ranges. The upper and intermediate range share 56% of the species, the intermediate and lower range 39% and the upper and lower range 16%. *Hedyosmum mexicanum* C. Cordenum, *Quercus benthamii* A. DC and *Hesperocyparis lusitanica* (Mill.) Bartel, are the species with the highest ecological value for the upper, intermediate and lower range, respectively.

COMPOSIÇÃO, ESTRUTURA E DIVERSIDADE DE ARVÓRES EM UM GRADIENTE ALTITUDINAL DE UMA FLORESTA MESÓFILA DE MONTANHA NA SERRA MADRE DE CHIAPAS, MÉXICO

Edwin Geyner Verdugo-Morales, Eduardo Alanís-Rodríguez, Gerardo Cuellar-Rodríguez, José Israel Yerena-Yamallel, Alejandro Collantes-Chávez-Costa e Jesús Eduardo Silva-García

RESUMO

Em porções de florestas mesófilas de montanha, em Motozintla, Chiapas, México, foram estabelecidos nove locais circulares de amostragem de 1000m² cada, distribuídos uniformemente ao longo de um gradiente, em três faixas de altitude: superior (2650-2367msnm), intermediário (2367-2084msnm) e inferior (2084-1800msnm). Consideraram-se todos os indivíduos com DAP \geq 2,5cm. Tanto a riqueza de espécies como a estrutura horizontal em número de indivíduos/ha foram significativamente

maiores na faixa inferior. A diversidade alfa medida com o índice de Shannon-Wiener não mudou ao longo do gradiente entre faixas. A faixa superior e intermediária compartilham 56% das espécies, a faixa intermediária e inferior 39% e a faixa superior e inferior 16%. *Hedyosmum mexicanum* C. Cordenum, *Quercus benthamii* A. DC e *Hesperocyparis lusitanica* (Mill.) Bartel, são as espécies de maior valor ecológico para a faixa superior, intermediária e inferior, respectivamente.

(González-Espinoza *et al.*, 2012) en tan solo el 1% de la superficie nacional (INEGI, 2013).

Este estudio se llevó a cabo para conocer los cambios en la composición, estructura y diversidad del estrato arbóreo a lo largo de un gradiente altitudinal. Se comparó la composición arbórea a través de la riqueza de especies, la estructura horizontal usando el dato de densidad (N° individuos/ha), la diversidad alfa con el índice de Shannon-Wiener y la diversidad beta con el índice de Morisita-Horn. Como hipótesis de investigación se consideraron las siguientes: Ha: 1. La riqueza de especies, la estructura horizontal y la diversidad alfa cambian a lo largo del gradiente, y son significativamente diferentes entre los rangos altitudinales. Ha:2. Existe

un alto recambio de especies entre los gradientes, al encontrar en por lo menos dos gradientes valores menores al 40% de similitud.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en bosques ubicados en los ejidos Benito Juárez, Justo Sierra, Motozintla y Niquivil-Tonincanaque, del municipio de Motozintla, Chiapas, México. A través de entrevistas con pobladores y con apoyo del archivo vectorial de uso de suelo y vegetación serie VI (INEGI, 2013), utilizando los programas informáticos Google earth pro y Qgis 2.8.1., se ubicaron macizos boscosos con baja o nula perturbación, entre los 1800 y 2650msnm. A lo

largo del gradiente de altura se delimitaron tres rangos altitudinales (superior, intermedio e inferior), de ~283m de amplitud para su análisis y comparación. El rango superior quedó delimitado entre 2650-2367msnm, el intermedio entre 2367-2084msnm y el inferior entre 2084-1800msnm (Tabla I).

El clima de la zona es templado húmedo de tipo C(m)(w) de la clave de Köppen modificado por García (2004). En donde se ubicaron los sitios de los rangos altitudinales inferiores e intermedios se registran lluvias de 3000 a 3500mm de promedio anual. En donde se ubicaron los sitios del rango altitudinal superior, se tiene una isoyeta de 4000mm de precipitación promedio anual. La temperatura media anual donde se ubicaron los sitios

del rango inferior va de 18-16°C, en los sitios del rango intermedio están entre 16-14°C y en el rango superior el promedio anual es de 16-15°C (Figura 1).

Muestreo

En cada uno de los tres rangos altitudinales se distribuyeron tres sitios de muestreo circulares de 1000m² (en total nueve sitios, con un tamaño total de muestra de 9.000m²). Se incluyeron individuos con un DAP \geq 2,5cm, tal como lo consideró Campo (2010). Las especies se identificaron en campo o se tomaron muestras para su identificación.

Trabajo de gabinete

La identificación se realizó con apoyo de especialistas del herbario del Colegio de la

TABLA I
DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO

Rangos	Sitios	Rangos de altitud (msnm)	Altura	Coordenadas	
			(msnm)	Latitud	Longitud
1	1.1	Superior 2650-2367	2560	15,255217°	-92,226414°
	1.2		2640	15,239138°	-92,237972°
	1.3		2635	15,257464°	-92,219924°
2	2.1	Intermedio 2367-2084	2108	15,319867°	-92,273115°
	2.2		2253	15,322240°	-92,263400°
	2.3		2268	15,320882°	-92,262781°
3	3.1	Inferior 2084-1800	2007	15,327332°	-92,275036°
	3.2		1815	15,319042°	-92,283458°
	3.3		1890	15,305128°	-92,294738°

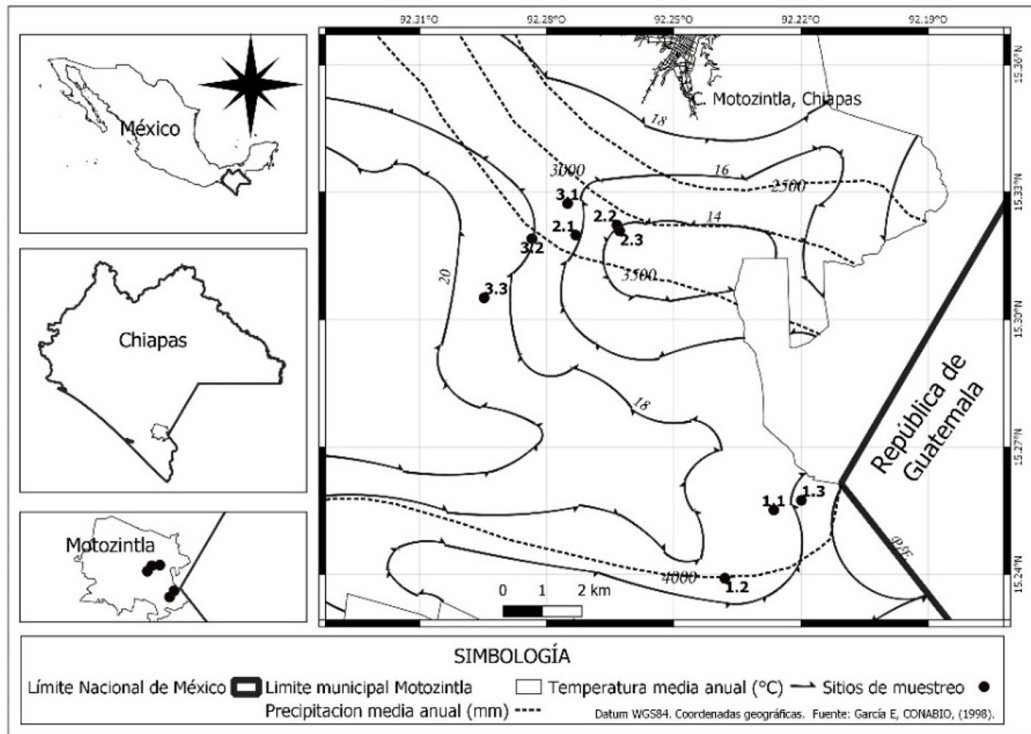


Figura 1. Mapa de ubicación de los sitios: rango superior (sitios 1.1, 1.2 y 1.3), rango intermedio (sitios 2.1, 2.2, 2.3) y rango inferior (sitios 3.1, 3.2 y 3.3). Se muestran también las isoyetas e isotermas correspondientes. Fuente: García (1998).

Frontera Sur de San Cristóbal de las Casas, Chiapas. La nomenclatura fue corroborada en la base de datos TROPICOS del Missouri Botanical Garden (<http://www.tropicos.org>).

Análisis ecológico

Se estimó la riqueza específica (S), que es la forma más sencilla de representar la diversidad basada en el número de especies presentes en

determinado sitio. Para la diversidad alfa, se consideró el índice de Shannon-Wiener. También se analizó la equidad de Pielou para explicar el comportamiento del índice de Shannon-Wiener. La fórmula usada para determinar el Índice de Shannon-Wiener fue

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

donde p_i : proporción de las especies ($p_i = n_i/N$), \ln : logaritmo

natural, n_i : número de individuos de la especie i , y N : número total de individuos.

Para el índice de equidad de Pielou se utilizó

$$J' = \frac{H'}{\ln H'}$$

donde J' : índice de equidad de Pielou, H' : índice de Shannon, y $\ln H'$: logaritmo natural de H' .

Para la diversidad beta se consideró el índice de

Morisita-Horn, que estima el porcentaje de similitud de especies compartidas entre rangos (Alanís *et al.*, 2020). De igual manera para obtener una descripción visual del agrupamiento por similitud entre de los sitios usando datos de presencia/ausencia, se elaboró un dendrograma utilizando el método *Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean* (UPGMA) o Método de agrupamiento con el Coeficiente de Sorensen. El índice de Morisita-Horn se evaluó con la fórmula

$$I_{M,H} = \frac{2 \sum_{i=1}^n (a_i \cdot b_i)}{(da + db)aN + bN}$$

donde a_i : número de individuos de la i -ésima especie en el sitio A, y b_i : número de individuos de la j -ésima especie en el sitio B, y

$$da = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^2}{aN^2} \quad \text{y} \quad db = \frac{\sum_{j=1}^n b_j^2}{bN^2}$$

Para el análisis de la estructura horizontal se consideró la densidad (individuos/ha) y se añadió el dato de área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$), buscando diferencias significativas entre rangos. Para el área basal se utilizó la fórmula

$$AB_{ha} = \left(\sum_{i=1}^n 0.7854 \cdot DAP_i^2 \right) 10$$

donde AB_{ha} : área basal/ha, y DAP_i : diámetro a la altura del pecho (m).

Además de los datos anteriores se elaboró un cuadro con el índice de Valor de Importancia para conocer las especies de mayor importancia ecológica por cada rango altitudinal, cuya magnitud determina la presencia de cada especie dentro de la comunidad (Alanís *et al.*, 2020). Para ello se utilizó la fórmula

$$IVI = \frac{\sum_{i=1}^n (AR_i \cdot DR_i \cdot FR_i)}{3}$$

donde AR_i : abundancia relativa, DR_i : dominancia relativa, y FR_i : frecuencia relativa.

De los datos obtenidos por cada rango, de riqueza de especies (N° de especies/ha),

densidad (individuos/ha y área basal/ha) e índices de Shannon-Wiener, se verificaron los supuestos de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk, y de homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene. Una vez verificados los supuestos se procedió a realizar el análisis de varianzas al 95% de confianza y la comparación de medias con la prueba de Tukey. Se realizaron las comparaciones entre los tres rangos altitudinales (1: superior, 2: intermedio, y 3: inferior). Para estas comparaciones se utilizó el software IBM Statistical Package for Social Sciences 22 (Nie *et al.*, 1968). Las comparaciones para la diversidad beta, fueron con los datos en porcentaje, directamente arrojadas por el índice de Morisita-Horn y el dendrograma.

Resultados

Riqueza de especies

Se presenta la composición a través de la riqueza de especies por sitio de muestreo. En el rango superior se registraron 17 ± 2 ($\bar{x} \pm SD$) especies, en el intermedio 22 ± 5 especies y en el inferior 44 ± 5 especies. El análisis de varianzas arrojó diferencias significativas ($p=0,009$). El gráfico de comparación de medias muestra que el rango inferior, que va de 1800 a 2084 msnm, es el de mayor riqueza (Figura 2).

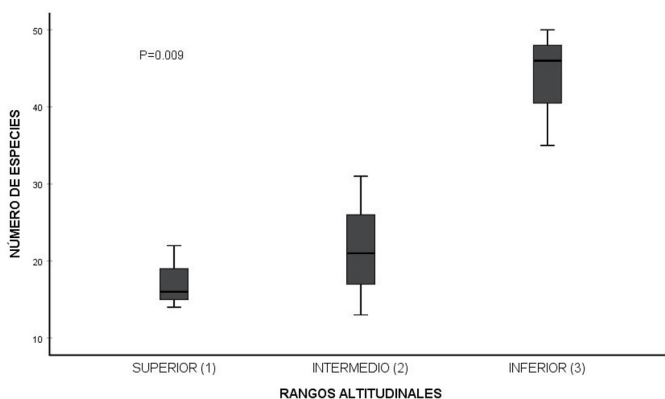


Figura 2. Número de especies por rango altitudinal: superior (1), intermedio (2), inferior (3).

Diversidad alfa y beta

El índice de Shannon-Wiener (H'), en el rango superior (1) registró un valor promedio de $H' = 2,4 \pm 0,2$ ($\bar{x} \pm SD$), el rango intermedio (2) un valor de $H' = 2,6 \pm 0,2$ y el inferior (3) de $H' = 3,1 \pm 0,2$. Al realizar el análisis de varianzas, no se observó diferencia significativa entre los valores de diversidad por rango altitudinal ($p=0,073$).

Se calculó el Índice de Equidad de Pielou (J') para conocer la equitatividad de la distribución de los individuos en las especies, considerando que mientras el resultado se acerque a la unidad es más equitativo y viceversa. Para el rango superior se obtuvo un valor de $J' = 0,85 \pm 0,02$ ($\bar{x} \pm SD$), el rango intermedio $J' = 0,85 \pm 0,03$ y el inferior $J' = 0,83 \pm 0,02$. En el análisis de varianzas no se encontró diferencias significativas en valores de equidad.

De acuerdo con el índice cuantitativo de Morisita-Horn, el rango superior y el intermedio resultaron tener un 56% de similitud en la composición de especies. El rango intermedio e inferior un 39% y el superior y el inferior un 16%. El dendrograma mostró tres agrupaciones principales: un grupo formado por todos los sitios del rango 1, otro grupo intermedio formado por los sitios del rango 2 más el sitio 3.1 y un tercer grupo

formado por los sitios 3.3 y 3.2 (Figura 3c).

Estructura

A medida que se descendió en el gradiente aumentó significativamente el número de individuos/ha. En el rango superior se registraron 647 ± 67 ($\bar{x} \pm SD$) individuos/ha, seguido por el intermedio con 1.290 ± 434 y para el rango inferior el valor mayor con 3.267 ± 228 individuos/ha. Si bien el rango inferior contó con mayor número de individuos, se encontró que el 63% de los individuos tiene diámetros entre 2,5 y 7,5cm, y el 19% los tiene entre 7,5 y 12cm. El análisis de varianzas

mostró diferencias significativas ($p=0,002$), donde el rango inferior presenta mayor densidad de individuos/hectárea, en comparación a los rangos intermedio y superior.

De manera complementaria se realizó el cálculo del área basal/ha y al compararlas entre rangos, se encontró que el rango superior tiene un área basal de $34,84 \pm 9,32m^2$ ($\bar{x} \pm SD$), el intermedio $53,4 \pm 9,77m^2$ y el inferior $55,41 \pm 12,99m^2$. El análisis de varianzas no mostró diferencias significativas ($p=0,359$).

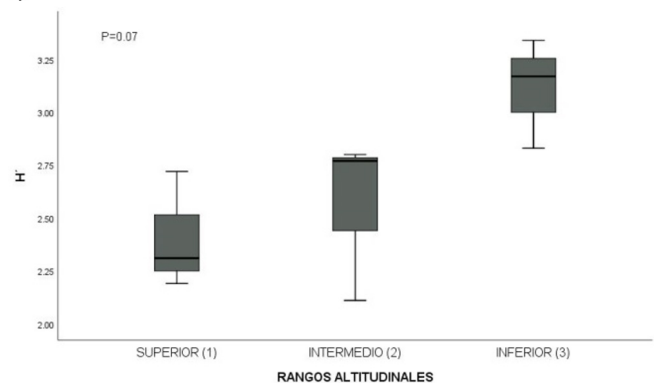
Índice de Valor de Importancia (IVI)

En el rango superior (1) las especies con mayores valores

a)

Rangos altitudinales	Índice M-H	%
Superior - Intermedio	0,56	56
Intermedio - Inferior	0,39	39
Superior - Inferior	0,16	16

b)



c)

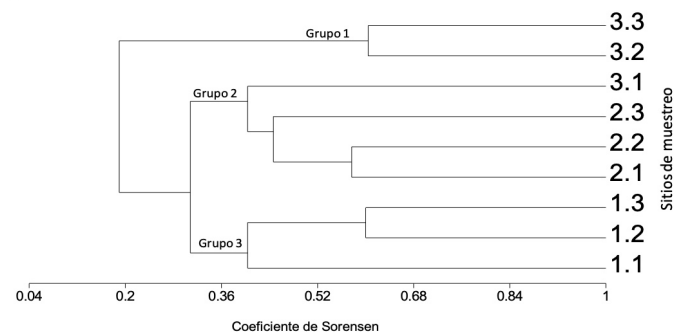


Figura 3. a) Porcentaje de similitud entre rangos altitudinales con el índice de Morisita-Horn. b) Índice de Shannon-Wiener por rangos. c) Dendrograma de agrupación de los sitios de los tres rangos altitudinales por similitud de especies. En la escala, cero es ninguna similitud y uno completamente similares.

del IVI son (Tabla II) *Hedyosmum mexicanum* C. Cordenm, *Quercus benthamii* A. DC y *Alnus acuminata* Kunth. La especie con mayor valor fue *H. mexicanum*, ya que presentó alta abundancia en los rangos superior e

intermedio y alta dominancia en el rango superior. En el rango inferior es menos abundante.

En el rango intermedio (2) destacan: *Q. benthamii*, *H. mexicanum* y *Cleyera theaeoides* (Sw.) Choisy (Tabla III). De estos, *Q. benthamii* es el

que tiene el mayor IVI, debido a sus altos valores de dominancia.

En el rango inferior (3) las especies con mayor IVI son (Tabla IV) *Hesperocyparis lusitanica* (Mill.) Bartel, *Critoniadelphus nubigenus*

(Benth.) R.M. King & H. Rob y *Q. benthamii*. *H. lusitanica* es una de las especies con mayores dimensiones del BMM, ya que más del 70% de los árboles registrados de esta especie alcanzan un DAP de 110cm.

TABLA II
LISTADO DE LAS DIEZ ESPECIES CON MAYORES ÍNDICES DE VALOR DE IMPORTANCIA DEL RANGO SUPERIOR

	Especies	n	Abundancia relativa	Dominancia relativa	Frecuencia relativa	IVI %
1	<i>Hedyosmum mexicanum</i> C. Cordenm	32	16,5	18,2	3,8	12,8
2	<i>Quercus benthamii</i> A. DC	11	5,7	26,4	5,8	12,6
3	<i>Alnus acuminata</i> Kunt	19	9,8	14,3	3,8	9,3
4	<i>Prunus guatemalensis</i> I.M Johnst	20	10,3	2,8	5,8	6,3
5	<i>Ocotea heydeana</i> (Mez & Donn. Sm) Bernardi	17	8,8	2,8	5,8	5,8
6	<i>Pinus ayacahuite</i> C. Ehrenb. ex Schtdl	5	2,6	9,8	3,8	5,4
7	<i>Weinmannia pinnata</i> L.	2	1,0	10,8	1,9	4,6
8	<i>Miconia</i> sp.	12	6,2	1,6	3,8	3,9
9	<i>Prunus aff. Barbata</i> Koehne	10	5,2	2,5	3,8	3,8
10	<i>Fuchsia paniculata</i> Lindl.	6	3,1	0,6	5,8	3,2

TABLA III
LISTADO DE LAS DIEZ ESPECIES CON MAYORES ÍNDICES DE VALOR DE IMPORTANCIA DEL RANGO INTERMEDIO

	Especies	n	Abundancia relativa	Dominancia relativa	Frecuencia relativa	IVI %
1	<i>Quercus benthamii</i> A. DC	24	6,2	49,6	4,62	20,1
2	<i>Hedyosmum mexicanum</i> C. Cordenm	65	16,8	3,4	4,62	8,3
3	<i>Cleyera theaeoides</i> (Sw.) Choisy	11	2,8	14,4	3,08	6,8
4	<i>Miconia aff. alpestris</i> Cogn	46	11,9	1,1	3,08	5,3
5	<i>Critoniadelphus nubigenus</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob	36	9,3	0,4	4,62	4,8
6	<i>Arachnothryx buddleioides</i> (Benth) Planch	29	7,5	1,9	3,08	4,1
7	<i>Meliosma máxima</i> Standl. & Steyerl.	18	4,7	3,1	4,62	4,1
8	<i>Damburneya coriacea</i> (Sw.) Trofimov & Rohwer	11	2,8	6,1	3,08	4
9	<i>Ocotea heydeana</i> (Mez & Donn. Sm.) Bernardi	20	5,2	0,6	4,62	3,5
10	<i>Piper amalago</i> L	17	4,4	1,1	4,62	3,4

TABLA IV
LISTADO DE LAS 10 ESPECIES CON MAYORES ÍNDICES DE VALOR DE IMPORTANCIA DEL RANGO INFERIOR

	Especies	n	Abundancia relativa	Dominancia relativa	Frecuencia relativa	IVI %
1	<i>Hesperocyparis lusitanica</i>	5	0,5	23,3	0,8	8,2
2	<i>Critoniadelphus nubigenus</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob	115	11,7	3,7	2,3	5,9
3	<i>Quercus benthamii</i> A. DC	27	2,8	9,1	0,8	4,2
4	<i>Styrax argenteus</i> C. Presl	13	1,3	7,2	0,8	3,1
5	<i>Fragula capreifolia</i> (Schtdl.) Grubov	29	3,0	4,1	2,3	3,1
6	<i>Ardisia rarescens</i> Standl.	54	5,5	1,9	1,5	3,0
7	<i>Zinowiewia rubra</i> Lundell	25	2,6	4,0	2,3	3,0
8	<i>Ostrya virginiana</i> (mill.) K.Koch	23	2,3	4,7	1,5	2,9
9	<i>Palicourea padifolia</i> (Humb & Bonpl. Ex Roem. & Schult.) C.M. Taylor & Lorence	48	4,9	0,8	2,3	2,6
10	<i>Phyllonoma laticuspis</i> (Turcz.) Engl.	48	4,9	1,4	0,8	2,4

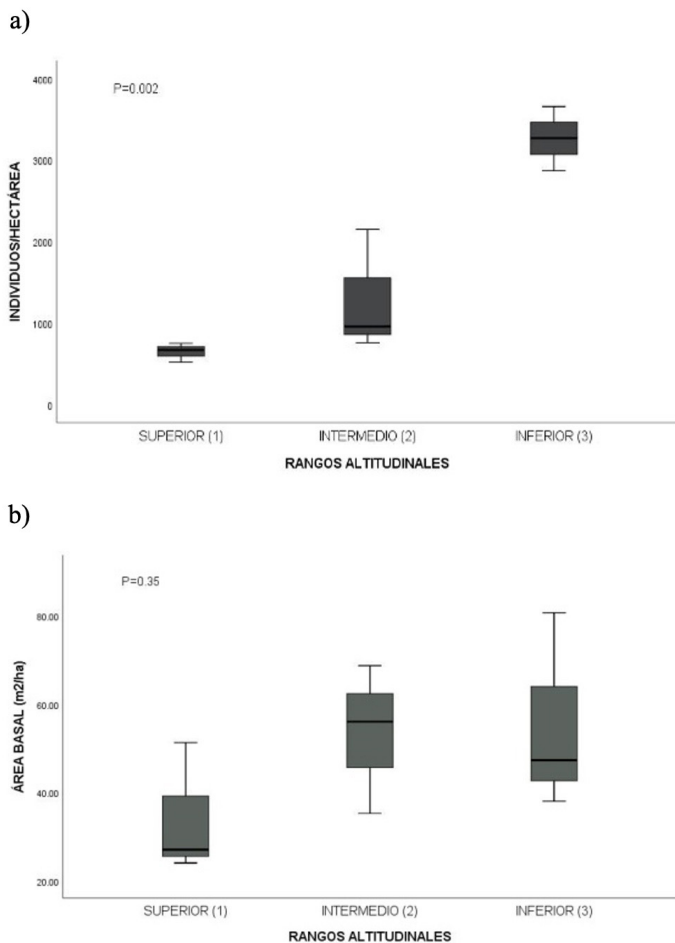


Figura 4. a) Número de individuos por hectárea entre rangos altitudinales. b) Área basal por hectárea, entre los rangos.

Discusión

El rango inferior, de 1800 a 2080msnm, tiene aproximadamente el doble de riqueza de especies que los otros rangos. Una de las razones por la cual la riqueza de especies tiende a presentar una franja de mayor riqueza en altitudes intermedias, es por efecto del ecotono. Tal como lo mencionan Mejía *et al.* (2004), los BMM que colindan con vegetación tropical, resultaron en un enriquecimiento de la composición de las comunidades de montaña a partir de la incorporación de elementos florísticos propios de las tierras bajas. Por otro lado, la riqueza de especies en el rango inferior puede ser explicada por las condiciones de precipitación y temperatura. Francis y Currie (2003) indican que hay una relación de

riqueza-calor que depende de la disponibilidad de agua. En el rango inferior, los sitios se distribuyen donde la temperatura promedio anual son de 18-16°C y la precipitación promedio anual oscila entre 3000 y 3500mm anuales; el rango intermedio se tienen precipitaciones similares, pero se distribuyen en sitios donde las temperaturas promedios anuales son de 16-14°C; y en el rango superior los promedios anuales son de 16-15°C y la precipitación promedio anual es de 4000mm. Comparando los valores de humedad y temperatura encontrados en los diferentes rangos, en el inferior se presenta la temperatura más alta y abundante precipitación, mientras que los rangos intermedio y superior tienen mayor precipitación, pero promedios de temperaturas menos cálidas.

En el rango intermedio, se cruza una isoterma de 14°C, una temperatura menor que las registradas en el superior. Referente a la orografía, ésta se presenta en forma de cañón, lo cual puede ser la explicación de que se presenten vientos más fuertes y mayor presencia de neblina proveniente del océano pacífico a lo largo del año.

El índice de Shannon no mostró diferencias significativas entre rangos. No se debe perder de vista que el índice de Shannon expresa, en un solo número, la diversidad (entropía) expresada a través de los valores de riqueza y la abundancia. Entonces, los máximos valores del índice en cuestión se pueden obtener al registrarse muchas especies (riqueza), y que dichas especies estén distribuidas equitativamente entre los individuos (equidad).

En este trabajo los valores de diversidad alfa mostraron una tendencia a aumentar a medida que se fue descendiendo, por influencia de la mayor riqueza de especies en el rango inferior, pero el índice de Pielou, que mide la equidad, no mostró diferencias significativas entre los rangos. Además, en el rango inferior, donde la riqueza de especies fue significativamente mayor (Figura 2), se registró el menor índice de equidad y fue determinante para que este rango no presentara valores significativos de diversidad alfa. Eso explica por qué el índice de diversidad de Shannon-Wiener, no tuvo variaciones significativas a lo largo del gradiente.

En contexto, Santana *et al.* (2014) tampoco encontraron diferencias significativas en diversidad alfa en un gradiente altitudinal de 1865 a 2650msnm, en un trabajo realizado en el eje Neovolcánico trasversal.

El índice de Morisita-Horn muestra que tiene lugar un alto recambio de especies (Figura 3a). Entre el segundo y tercer rango comparten solo 39% de las especies arbóreas en menos de 300 metros de diferencia altitudinal. Entre los rangos

superior e inferior solamente comparten un 16%, con una diferencia de altura de ~850m. Williams *et al.* (1996) en un gradiente altitudinal de 2050 a 1250m en un BMM en el centro de Veracruz, en el Cofre de Perote, registraron un índice de similitud de 0,56 entre una localidad a 125msnm y otra a 1900msnm (650m de diferencia altitudinal), y el 0,1 de similitud entre un sitio a 1250msnm y otro a 2050msnm (800m de diferencia).

El hecho que el sitio 3.1 perteneciente al rango inferior, ubicado a 2007msnm, presenta mayor similitud de especies con sitios del rango intermedio, muestra el límite superior de la franja de mayor riqueza de especies formado por los sitios 3.2 y 3.3 que están entre 1800 y 2000msnm, y que la composición y estructura es distinta desde ~2000msnm hacia arriba (Figura 3c). Estas diferencias en composición de especies concuerdan con lo mencionado por Williams *et al.* (2007) al expresar que las características propias de BMM, como su entramado ensamble de especies, hace que su diversidad beta sea mucho más importante que su diversidad alfa. Valores tan altos en el recambio de especies es la causa de que México sea un país megadiverso (Rodríguez, 2009), ya que en pocos metros de diferencia altitudinal la composición de especies puede cambiar mucho, y esto se expresa como diversidad beta.

Con relación a la estructura horizontal, el rango inferior presentó la mayor densidad de individuos/ha, siendo en mayor parte individuos con diámetros pequeños. El rango intermedio y superior es de menos individuos, pero de mayores diámetros. Este arreglo del bosque muestra que el rango superior e intermedio son similares en su estructura horizontal, pero estos dos rangos superiores son diferentes al inferior. El área basal no presenta diferencias significativas y muestra que los espacios del bosque están bien ocupados, ya sea por numerosos individuos delgados o por pocos árboles de gran diámetro.

Aunque no se encontró literatura que compare la densidad y el área basal entre rangos altitudinales en BMM, se encontraron valores de densidad (individuos/ha) muy similares a los encontrados en este trabajo, como los 1298 de leñosas incluyendo lianas, árboles y arbustos ≥ 1 cm DAP en Guerrero (Catalán *et al.* 2003), los 1024 y 1298 del Cielo, Tamaulipas (Corral *et al.* 2002), 510-1340 en una porción en las faldas del Cofre de Perote, Veracruz (Williams *et al.* 1996), 960 en una porción de El Triunfo, Chiapas (Williams 1991), 1035 para Santo Tomas Teipan, Oaxaca, México (Mejía *et al.* 2004), y 2370 en un bosque de niebla en Tolima Colombia (Campo, 2010).

Williams (1991) reportó un valor de área basal mayor que el registrado en este estudio, de $84 \pm 35 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, en la reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas. Mejía *et al.* (2004) hallaron valores similares en Santo Tomás, Teipan, Oaxaca, de $46,41 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, y Santana *et al.* (2014) reportan $40,35 \pm 31,02 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, para un bosque en el sistema volcánico trasversal michoacano.

El Índice de Valor de Importancia es un indicador de la estructura, cuantitativo y preciso, desarrollado principalmente para jerarquizar la dominancia e importancia de cada especie, considerando su abundancia, cobertura y presencia espacial dentro de las comunidades (Zarco-Espinosa *et al.*, 2010).

La manera en que se presentan las especies en una tabla de índice de valor de importancia está determinada por su distribución en la comunidad. Las especies que presentan un valor mayor de IVI, son aquellas que poseen un patrón regular, mientras que aquellas con valor bajo tienen un patrón irregular y disperso. Es de notar que cada rango altitudinal presentó una especie arbórea distinta. Algunas destacan por su abundancia (mayor número de individuos) o por su dominancia (en este caso, mayor área basal). *Hedyosmum mexicanum* C.

Cordenum, *Quercus benthamii* A. DC y *Hesperocyparis luisitanica* (Mill.) Bartel, son las especies de mayor valor ecológico para el rango superior, intermedio y e inferior respectivamente. Sin embargo, *Quercus benthamii* A. DC está entre las primeras tres especies de cada índice de Valor de Importancia de cada rango. Esto concuerda con lo citado por Valencia y Gual (2014) al decir que la familia Fagaceae es uno de los componentes importantes de BMM.

Conclusiones

Las porciones de bosques mesófilos de montaña (BMM) de la región estudiada tienen una franja entre 1800 y 2000msnm (rango inferior del estudio) de alta riqueza de especies, la cual que disminuye a medida que se asciende (rangos intermedio y superior).

Con respecto a la estructura horizontal, se concluye que el rango inferior es diferente a los rangos intermedio y superior, porque tiene una densidad mayor de individuos/ha que, al igual que la riqueza de especies, disminuye a medida que se asciende.

Estos bosques son igual de diversos (diversidad local o alfa) a lo largo del gradiente altitudinal, y aunque la parte baja registra mayor riqueza de especies, muchas de estas, tienen pocos individuos lo que hace que no estén bien representadas, provocando que la equidad sea menor en esta parte en comparación con la parte intermedia y superior.

Se acepta la hipótesis uno para la riqueza de especies, así como para la estructura horizontal o densidad de individuos por hectárea. Se rechaza esta misma hipótesis en lo que se refiere a diversidad alfa.

Referente a la diversidad beta, los rangos intermedio e inferior, así como que entre el superior y el inferior, tienen menos del 40% de similitud en la composición de especies, indica valores bajos. Por ello se acepta la hipótesis, ya que existe un alto recambio de especies.

REFERENCIAS

- Alanís E, Mora A, Marroquín FJ (2020) *Muestreo Ecológico de la Vegetación*. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México. 245 pp.
- Campo KJM (2010) Estructura, riqueza y composición de plantas arborescentes en un bosque de niebla entresacado del Tolima (Colombia). *Acta Biol. Colomb.* 15: 247-262.
- Catalán HC, López L, Terrazas T (2003) Estructura, composición florística y diversidad de especies leñosas de un bosque mesófilo de montaña de Guerrero, México. *An. Inst. Biol. Ser. Bot.* 72: 209-230.
- Corral J, Aguirre OA, Jiménez J, Nívar J (2002) Muestreo de diversidad y observaciones ecológicas del estrato arbóreo del bosque Mesófilo de Montaña el cielo, Tamaulipas, México. *Rev. Chapingo Ser. Cs. Forest. Amb.* 8: 125-131.
- García E (1988) Isotermas medias anuales. En *Catálogos de Metadatos Geográficos*. Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- García E (1988) Precipitación media anual. En *Catálogos de Metadatos Geográficos*. Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- García E (2004) *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. 5ª ed. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 52 pp.
- Francis A, Currie D (2003) A globally consistent richness-climate relationship for angiosperms. *Am. Nat.* 161:523-536. <https://doi.org/10.1086/368223>
- González-Espinosa M, Meave JA, Ramírez MN, Toledo AT, Lorea HF, Ibarra MG (2012) Los bosques de niebla de México: conservación y restauración de su componente arbóreo. *Ecosistemas* 21: 36-54.
- INEGI (2013). Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación Escala 1:250 000 Serie V. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
- Mazzola MB, Kin GA, Morici EF, Babinec FJ, Tamborini G. (2008) Efecto del gradiente altitudinal sobre la vegetación de las sierras de Lihue Calel (La pampa, Argentina). *Bol. Soc. Argent. Bot.* 43: 103-109.
- Mejía NR, Meave JA, Ruiz JCA (2004) Análisis estructural de un bosque mesófilo de montaña en el extremo oriental de la Sierra madre del Sur (Oaxaca), México. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 74: 13-29. <https://doi.org/10.17129/botsci.1684>
- Nie NH, Hull H, Dale B (1968) Statistical Package for the Social Sciences (Versión 22). Windows. IBM. Chicago, IL, EEUU.
- Pérez-Farrera M, Tejeda CC, Silva RE (2010) *Los Bosques Mesófilos de Montaña en Chiapas: Situación Actual, Diversidad y Conservación*. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. México. 326 pp.
- Santana G, Mendoza M, Salinas V, Pérez D, Martínez Y, Aburto I (2014) Análisis preliminar de la diversidad y estructura arbórea-arbustiva del bosque mesófilo en el Sistema Volcánico Transversal de Michoacán, México. *Rev. Mex. Biodivers.* 85: 1104-1116. <https://doi.org/10.7550/rmb.41519>
- Smith TM, Smith RL (2007) *Ecología*. 6ª ed. Pearson. Madrid, España.
- Rodríguez P (2009) La diversidad beta de México: avances e implicaciones en la conservación de la biodiversidad. *Biodiversitas* 84: 6-10
- Valencia S, Gual DM (2014) Fagaceae family in the mountain cloud forest of Mexico. *Bot. Sci.* 92: 193-204. <https://doi.org/10.17129/botsci.45>
- Williams LG (1991) Nota sobre la estructura del estrato arbóreo del bosque mesófilo de montaña en los alrededores del campamento "El Triunfo", Chiapas. *Acta Bot. Mex.* 13: 1-7. <https://doi.org/10.21829/abm13.1991.604>
- Williams LG, Guillén SA, Gómez GO, Lorea HF (2007) *Conservación en el Centro de Veracruz. México. El Bosque de Niebla: ¿Reserva Archipiélago o Corredor Biológico?* Monografías Tercer Milenio. Vol.6. Zaragoza, España. pp-303-310. ISBN: 978-84-935872-0-8 I.
- Williams LG, Pérez GI, Tolome J (1996) El bosque mesófilo de montaña y un gradiente altitudinal en el centro de Veracruz, México. *La Ciencia y el Hombre* 23: 149-161.
- Zarco-Espinosa V, Valdez HJ, Ángeles PG, Castillo AO (2010) Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia* 26: 1-17.