



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS
MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

**ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD DE LA FLORA LEÑOSA EN EL ÁREA NÚCLEO CERRO
ALTAMIRANO, RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA, MÉXICO**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)**

PRESENTA:

NAHÚ GONZÁLEZ CASTAÑEDA

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. GUILLERMO IBARRA MANRÍQUEZ
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS, UNAM

COMITÉ TUTOR: DRA. ISABEL RAMÍREZ RAMÍREZ

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL, UNAM

DR. RAMÓN CUEVAS GUZMÁN

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

TUTOR INVITADO: DR. LAURO LÓPEZ MATA

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

MORELIA, MICHOACÁN

Marzo 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS
MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

**ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD DE LA FLORA LEÑOSA EN EL ÁREA NÚCLEO CERRO
ALTAMIRANO, RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA, MÉXICO**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)**

PRESENTA:

NAHÚ GONZÁLEZ CASTAÑEDA

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. GUILLERMO IBARRA MANRÍQUEZ
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS, UNAM

COMITÉ TUTOR: DRA. ISABEL RAMÍREZ RAMÍREZ

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL, UNAM

DR. RAMÓN CUEVAS GUZMÁN

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA COSTA SUR, UDG

TUTOR INVITADO: DR. LAURO LÓPEZ MATA

PROGRAMA DE BOTÁNICA, COLEGIO DE POSTGRADUADOS

MORELIA, MICHOACÁN

Marzo 2014

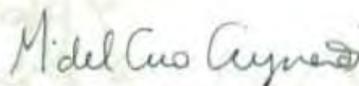
Dr. Isidro Ávila Martínez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Subcomité de Biología Evolutiva y Sistemática del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 10 de junio del 2013, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado de Maestro en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental) del alumno **Nahú González Castañeda** con número de cuenta **510020486** con la tesis titulada: **"Estructura y diversidad de la flora leñosa en el área núcleo Cerro Altamirano, Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, México"** bajo la dirección del Dr. Guillermo Ibarra Manríquez.

Presidente:	Dr. Miguel Martínez Ramos
Vocal:	Dra. María del Consuelo Bonfil Sanders
Secretario:	Dr. Ramón Cuevas Guzmán
Suplente:	Dra. Rosa Irma Trejo Vázquez
Suplente:	Dr. Diego Rafael Pérez Salicrup

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F. a, 6 de febrero del 2014.



Dra. María del Coro Arizmendi Arriaga
Coordinadora del Programa

AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM por las facilidades otorgadas para realizar la maestría.

Al CONACyT por la beca de manutención (Número de registro del becario: 239892; Número de CVU: 346888) sin la cual no hubiera sido posible realizar esta maestría

A los miembros de mi comité tutor: Dra. Isabel Ramírez Ramírez por su ayuda en la elaboración del mapa del área de estudio y sus comentarios para mejorar esta tesis, Dr. Ramón Cuevas Guzmán y Dr. Lauro López Mata por sus comentarios para mejorar este estudio.

AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL

A mi asesor Dr. Guillermo Ibarra Manríquez por su invaluable apoyo en mi formación académica a lo largo de varios años.

A Luis Eduardo Zacarías Eslava, Jorge Cortes Flores, Paz del Carmen Coba Pérez, Nuria Avendaño Astorga, Héctor Leonardo Martínez Torres y Julio Cesar Gallardo Vásquez por su ayuda en el trabajo de campo y a Roberto Hernández Hernández por su apoyo en la transcripción de la base de datos.

Al Dr. Ernesto Vega Peña por su gran ayuda en los análisis estadísticos.

A la M. C. Ma. Guadalupe Cornejo Tenorio, por su apoyo en la identificación de las especies.

Al personal académico-administrativo del CIEco, por su apoyo en las cuestiones logísticas y administrativas, en especial a Dolores Rodríguez Guzmán, Alberto Valencia García y Heberto Ferreira Medina.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL	ii
LISTA DE FIGURAS Y CUADROS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
ANTECEDENTES	3
METODOLOGÍA	5
Área de estudio	5
Censo de vegetación	5
Mapa de vegetación	6
Análisis de datos	7
RESULTADOS	8
Composición florística	8
Estructura del bosque	8
Diversidad de árboles y arbustos	12
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	16
Composición florística	16
Estructura del bosque	17
Diversidad de árboles y arbustos	18
LITERATURA CITADA	20
APÉNDICES	26
Apéndice 1. Distribución y valor de importancia de las especies muestreadas	26
Apéndice 2. Matrices de diversidad Beta (índices Jaccard y Bray-Curtis)	29

LISTA DE FIGURAS Y CUADROS

Figura 1	Ubicación del área de estudio, sitios de muestreo y cubierta forestal	6
Figura 2	Especies más dominantes por ladera a lo largo del gradiente altitudinal	9
Figura 3	Análisis de Clasificación	10
Figura 4	Valores estructurales a lo largo de los gradientes analizados	11
Figura 5	Valores de diversidad a lo largo de los gradientes analizados	13
Figura 6	Factores de equitatividad para las seis cotas altitudinales muestreadas	14
Figura 7	Frecuencias de los valores de diversidad beta de los 24 sitios de muestreo	15
Cuadro 1	Comparación de estudios sobre gradientes altitudinales relacionados con diversidad, estructura y composición de la vegetación	4
Cuadro 2	Análisis de covarianza	12
Cuadro 3	Comparación de la composición entre Cerro Altamirano y Cerro El Águila	17

RESUMEN

Se analiza la estructura, composición y diversidad de la flora leñosa a lo largo de un gradiente de elevación en un bosque templado en el Cerro Altamirano, Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. En cada una de las cuatro laderas principales (norte, sur, este y oeste) del Cerro Altamirano se ubicaron seis sitios de muestreo separados por intervalos de 100 m de altitud. En cada orientación el gradiente estudiado abarcó desde los 2,700 hasta los 3,200 m s.n.m., con un total de 24 sitios de muestreo. Se registró un total de 40 especies, 30 géneros y 20 familias; las especies más dominantes en todo el gradiente fueron *Quercus rugosa*, *Quercus laurina*, *Abies religiosa* y *Arbutus tessellata*. El análisis de clasificación agrupó los sitios en función de la orientación de la ladera y la elevación. El análisis de covarianza mostró que la elevación afecta fuertemente los valores de área basal, la altura máxima de los árboles y la dominancia de especies (índice de Simpson), mientras que la orientación no parece tener efecto en ninguna de las variables estructurales, sin embargo, la interacción entre la elevación y la orientación afecta considerablemente la densidad de individuos. El análisis de correlación de Pearson mostró que los valores de área basal, altura máxima y la dominancia se incrementan a medida que la elevación lo hace. Contrario a lo esperado, el índice de Jaccard mostro que las laderas este y oeste resultaron ser las más contrastantes, mientras que las laderas oeste y sur son las más similares.

ABSTRACT

The structure, composition and diversity of woody flora along an elevational gradient in a temperate forest in the Cerro Altamirano, Biosphere Reserve Monarch Butterfly is analyzed. In each of the four main sides (north, south, east and west) of Cerro Altamirano sampling six sites separated by intervals of 100 m altitude were located. In each orientation, gradient studied ranged from 2,700 to 3,200 m a.s.l., with a total of 24 sampling sites. A total of 40 species, 30 genera and 20 families were recorded, the most dominant species across the gradient were *Quercus rugosa*, *Quercus laurina*, *Abies religiosa* and *Arbutus tessellata*. The classification analysis grouped sites based on the orientation of the slope and elevation. The analysis of covariance showed that the elevation values strongly affects basal area, maximum tree height and species dominance (Simpson's index), while the orientation does not seem to have any effect on the structural variables, however, the interaction between the elevation and orientation significantly affects the density of individuals. The Pearson's correlation analysis showed that the values of basal area, maximum height and dominance increases as the altitude does. Contrary to expectations, the Jaccard index showed that the east and west slopes were the most contrasting, while the western and southern slopes are the most similar.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas montañosos se caracterizan por su heterogeneidad espacial (*e. g.* altitud, relieve), que da lugar a una gran variedad de hábitats, lo que afecta la distribución de los organismos (Haslett, 1997). La diversidad, composición y estructura de las comunidades vegetales en los sistemas montañosos responde, entre otros factores, a los cambios en altitud (Beals, 1969). Los estudios sobre la relación vegetación-altitud se han vuelto cada vez más populares, porque entender los patrones altitudinales de riqueza, composición y estructura de la vegetación es relevante para el manejo de la diversidad, en un mundo que se vuelve más cálido debido al impacto humano (Grytnes, 2003). El estudio de los cambios de la vegetación a lo largo de gradientes altitudinales es importante en el contexto del cambio climático global porque los cambios en el clima pueden provocar, entre otros fenómenos, la migración de las especies hacia zonas con diferente elevación dependiendo de la afinidad biogeográfica y capacidad de dispersión de cada taxón (Gottfried *et al.*, 1999; Lavorel, 1999; Fosaa, 2004).

Se han documentado numerosos patrones entre los cambios de altitud y la vegetación; sin embargo, no existe un modelo general para describirlos debido a que los métodos de muestreo no se encuentran estandarizados (Rahbek, 1995; Whitakker *et al.*, 2001). Los estudios más comunes se enfocan en determinar la influencia de la altitud en la riqueza de especies y, en menor medida, en determinar la influencia de la altitud en la composición florística, en la dominancia de especies o en los atributos estructurales de las comunidades (Cuadro 1).

Aproximadamente la mitad de los estudios sobre las relaciones entre la altitud y la riqueza de especies revelan una curva parabólica; sin embargo, también es muy frecuente una relación lineal negativa, así como la falta de relación entre estas variables (Rahbek, 1995). El primer patrón ha sido explicado de dos maneras: a) en las zonas de transición entre los tipos de vegetación adyacentes, cada comunidad contribuye con especies, incrementando la riqueza (Grytnes, 2003), entonces la riqueza es mayor en los ecotonos del gradiente y disminuye en los extremos de éste y, b) la teoría de límites extremos, que indica que los picos de diversidad se dan en la parte media del gradiente como resultado del traslape de los intervalos de

distribución de las especies (Colwell and Lees, 2000; Grytnes, 2003). Por otro lado, el patrón lineal negativo puede ser explicado por la reducción de la temperatura atmosférica y de la superficie del suelo conforme se incrementa la altitud, que destacan entre otros factores ambientales que también cambian con la altitud y afectan a los organismos (*e. g.* reducción de presión atmosférica) (Körner, 2007).

Los cambios en la composición a lo largo de un gradiente altitudinal pueden ser abruptos, revelando la existencia de comunidades discretas, o continuos, indicando que la comunidad cambia gradualmente con la altitud (Beals, 1969). Por ejemplo, Vázquez y Givnish (1998) y Behera y Kushwaha (2007) mencionan que la gran variación de especies entre cotas altitudinales apoya el concepto de asociación individualista de plantas (Gleason, 1926), en el que las comunidades discretas no existen y cada especie se encuentra distribuida en una forma particular, de acuerdo con sus propias características genéticas, fisiológicas, su ciclo vital y su manera de interactuar con el medio físico y con otras especies. Por otro lado, Aiba y Kitayama (1999) se limitan a describir la composición de la comunidad a lo largo del gradiente altitudinal, sin adherirse a una postura determinada. Con excepción de los estudios mencionados, la composición de las comunidades vegetales a lo largo de gradientes de elevación ha sido poco estudiada.

Son pocos los estudios que analizan los cambios de estructura en un gradiente de elevación. En los estudios revisados (Cuadro 1) no existe un patrón constante, pero es conocido que en las montañas templadas del hemisferio norte las formas de vida dominantes cambian de latifoliadas en las partes bajas a coníferas hacia las partes altas (Ohsawa, 1993), lo que a menudo se refleja en un incremento en la altura y el área basal de los árboles con la elevación. Lo contrario sucede en las montañas tropicales, donde la altura de los árboles decrece con la elevación (Aiba y Kitayama, 1999).

Es importante destacar que la mayoría de los estudios sobre gradientes altitudinales y vegetación se han enfocado en ecosistemas tropicales, mientras que los bosques templados han recibido escasa atención. En México, las zonas montañosas determinan la presencia de los ecosistemas templados por efecto de la altitud y su relación con el clima (Challenger, 2003).

Estos ecosistemas revisten especial importancia porque albergan una alta biodiversidad, ya que además de las especies neárticas, incluyen un número importante de elementos tropicales (Rzedowski, 1991), que están ausentes en bosques templados de mayor latitud.

Otra variable que explica la presencia, distribución y abundancia de las especies en los ecosistemas montañosos es la orientación de las laderas, ya que las diferencias en la radiación solar que reciben afectan la cantidad de energía y el balance hídrico del sistema, lo que se refleja en cambios en la estructura y diversidad de la vegetación (Cantlon, 1953; Armesto y Martínez, 1978; Gallardo-Cruz *et al.*, 2009). En el hemisferio norte las laderas orientadas hacia el sur reciben mayor radiación que las laderas orientadas hacia el norte, por lo que es de esperarse que los rasgos de la vegetación sean los más contrastantes entre estas dos orientaciones (Cantlon, 1953; Holland y Steyn, 1975; Sternberg y Shoshany, 2001; Gallardo-Cruz *et al.*, 2009).

OBJETIVOS

El propósito de este estudio es describir y analizar la estructura, composición y diversidad de árboles y arbustos a lo largo de un gradiente altitudinal en el bosque templado del Área Núcleo de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, en México. Caracterizar cuantitativamente la vegetación de un lugar permite conocer las condiciones de referencia que podrían ser útiles para acciones de restauración de sitios degradados (Stephens y Gill, 2005), o en el caso de programas de manejo, caracterizar la distribución del área basal y la abundancia relativa de cada especie permitiría estimar que especies se pueden aprovechar y en qué cantidad hacerlo (Márquez *et al.*, 1999).

ANTECEDENTES

En el Cuadro 1 se presenta una revisión de artículos de carácter comparativo sobre los resultados más relevantes en los estudios altitudinales de la vegetación templada.

Cuadro 1. Comparación de estudios sobre gradientes altitudinales relacionados con diversidad, estructura y composición de la vegetación.

Fuente	País	Vegetación	Intervalo altitudinal (m)	Riqueza	α diversidad	β diversidad	Área Basal, d.a.p. ó Biomasa	Altura	Densidad
Encina-Domínguez <i>et al.</i> , 2007	México	Templada	2000-2600	Disminuye con altitud	α disminuye con altitud	---	---	---	---
Sánchez-González y López-Mata, 2005	México	Templada	2800-4000	Aumenta en medio del gradiente, luego disminuye con altitud	---	Baja entre los sitios contiguos, alta entre los sitios limítrofes	---	---	---
Kappelle y Van Uffelen, 2006	Costa Rica	Templada	2000-3200	Disminuye con altitud	---	---	---	Disminuye con altitud	Aumenta con altitud
Grytnes, 2003	Noruega	¿?	0-2060	Unimodal, Bimodal y Lineal negativo	---	---	---	---	---
Kappelle, 1996	Costa Rica	Templada	2000-3200	Disminuye con altitud	α disminuye con altitud	---	---	---	---
Dolezal y Srutek, 2002	Eslovaquia	Templada	1150-1750	Sin relación	Sin relación	Sin relación	d.a.p. disminuye con altitud	Disminuye con altitud	---
Bruun <i>et al.</i> , 2006	Noruega y Finlandia	Templada	250-1525	Unimodal	---	---	---	---	---
Grytnes y Vetaas, 2002	Nepal	Tropical-Templada	0-6000	Unimodal	---	---	---	---	---
Leuschner <i>et al.</i> , 2007	Ecuador	Tropical-Templada	1050-3060	---	---	---	d.a.p. disminuye con altitud	Disminuye con altitud	Aumenta con altitud
Lieberman <i>et al.</i> , 1996	Costa Rica	Tropical	30-2600	Disminuye con altitud	α disminuye con altitud	---	Área basal aumenta con altitud	---	---
Vázquez y Givnish, 1998	México	Tropical-Templada	1500-2500	Disminuye con altitud	---	β disminuye con altitud	Área basal aumenta con altitud	---	---
Kappelle <i>et al.</i> , 1995	Costa Rica	Templada	2000-3200	Disminuye con altitud	---	---	d.a.p. disminuye con altitud	Disminuye con altitud	---
Zacarías-Eslava (2010)	México	Tropical-Templada	2100-3000	Disminuye con altitud	---	No relación con altitud	d.a.p. aumenta con altitud	Aumenta con altitud	---
Aiba y Kitayama, 1999	Borneo	Tropical-Templada	700-3100	Disminuye con altitud	Disminuye con altitud	---	Biomasa y d.a.p. disminuyen	Disminuye con altitud	Aumenta con altitud
Grytnes y Beaman, 2006	Borneo	Tropical-Templada	300-4094	Unimodal	---	---	---	---	---
Kessler, 2002	Ecuador	Tropical-Templada	0-4750	Disminuye con altitud	---	---	---	---	---
Behera y Kushwaha, 2007	India	Tropical-Templada	200-2200	Disminuye con altitud	Disminuye con altitud	---	---	---	---
Fosaa, 2004	Islas Faroe	Templada	150-856	Disminuye con altitud	Disminuye con altitud	β máxima en altitud media	---	---	---

METODOLOGÍA

Área de estudio

El Cerro Altamirano se ubica entre los municipios de Temascalcingo (Estado de México) y Contepec (Michoacán), en las coordenadas 19°59'42"-19°57'07"N y 100°09'54"-100°06'39"O (CONANP, 2001). Es un sistema montañoso constituido por bosques templados de pino, oyamel y encino (Fig. 1) que se distribuyen en un gradiente altitudinal de 2,600 a 3,200 m s.n.m. (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995). Geomorfológicamente, forma parte de la Faja Volcánica Transmexicana (Ferrusquía, 1998), donde predomina el clima templado subhúmedo C(w) y en una menor proporción el templado semifrío subhúmedo Cb'(w₂) (Arriaga *et al.*, 2000). Este sistema es una de las tres áreas núcleo que conforman la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM), considerada como una de las regiones terrestres prioritarias para la conservación por ser sitio de hibernación de la mariposa monarca (*Danaus plexippus*) y por su alto grado de endemismo de vertebrados (Arriaga *et al.*, 2000). En esta área núcleo se ha documentado la presencia de 423 especies de plantas vasculares (Cornejo-Tenorio *et al.*, 2003). La superficie protegida del cerro tiene una extensión de 1,770 ha, de las cuales 588 forman la zona núcleo y 1,182 constituyen la zona de amortiguamiento (SEMARNAP, 2000). La región tiene un gran valor en la captación pluvial y recarga de acuíferos de los alrededores (CONANP, 2001) y abastece del recurso a las comunidades aledañas. Sin embargo, el área natural protegida (ANP) se encuentra bajo amenaza debido principalmente a la tala clandestina en las zonas núcleo y la expansión de terrenos agrícolas, lo que ha ocasionado la degradación del bosque conservado en un 44% (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995; Arriaga *et al.*, 2000; Brower *et al.*, 2002).

Censo de vegetación

Se eligieron las cuatro laderas principales (norte, sur, este y oeste) del área de estudio para colocar seis sitios de muestreo separados por intervalos de 100 m de altitud en cada ladera. En cada orientación el gradiente estudiado abarcó desde los 2,700 hasta los 3,200 m s.n.m., con un total de 24 sitios de muestreo. En cada sitio se establecieron cinco parcelas circulares de 400 m², para cubrir un total de 0.2 ha, las parcelas se separaron entre sí por una distancia mínima de 50 m. En cada parcela se identificaron, midieron y registraron los árboles y

arbustos mayores a 2.5 cm de diámetro a la altura pecho (d.a.p.); se consideraron solamente los tallos de los arbustos mayores a 1 cm de d.a.p. Los sitios donde se realizaron los muestreos se ubicaron en lo posible en zonas conservadas, tomando registros de características ambientales como altitud, pendiente y coordenadas.

Mapa de vegetación

Se elaboró un mapa de la cubierta forestal del área de estudio debido a que no se tenía cartografiada esa zona de la RBMM (Fig. 1). Con base en la interpretación visual de una imagen SPOT (enero del 2009) de 5 m de resolución y de fotografías aéreas (febrero de 2008), se generó el mapa escala 1:30,000 mediante el sistema de información geográfica ILWIS versión 3.6.

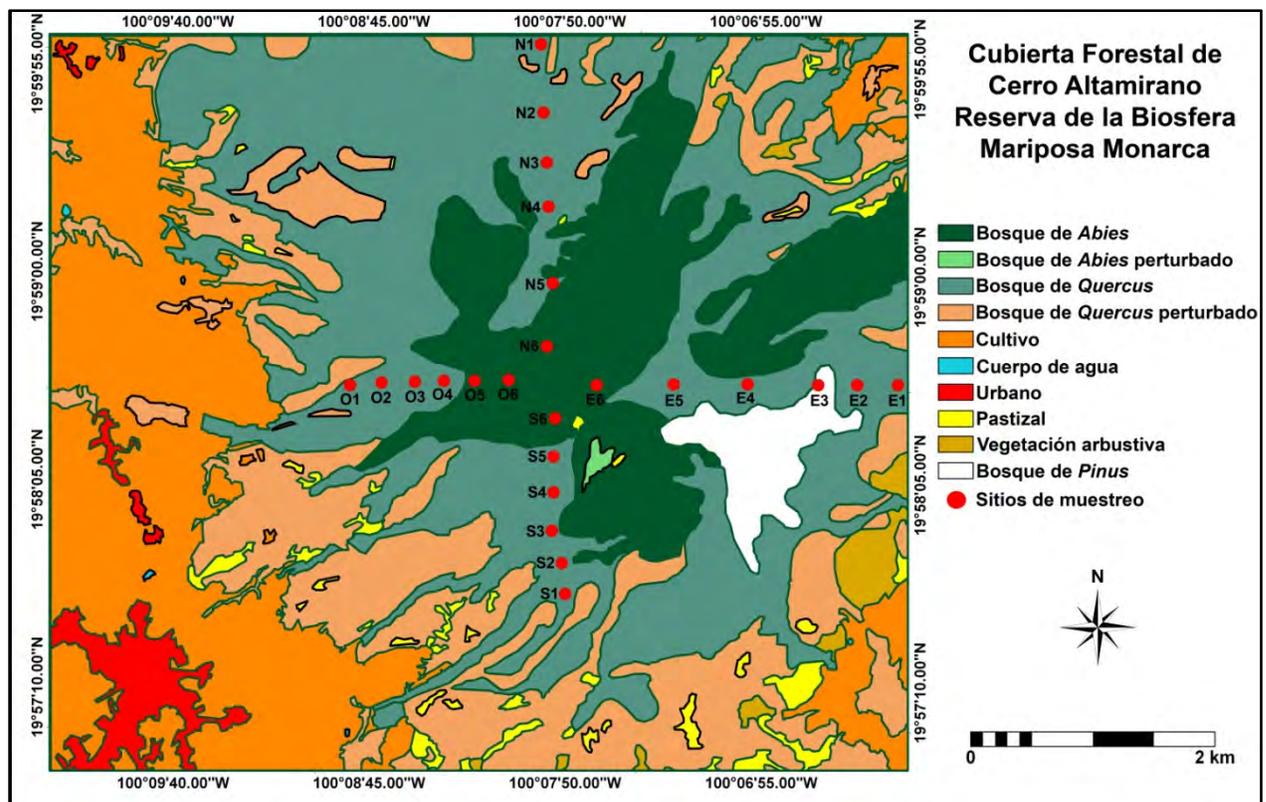


Figura 1. Ubicación del área de estudio, sitios de muestreo y cubierta forestal. Las letras en los sitios de muestreo indican la exposición (N=Norte, S=Sur, E=Este, O=Oeste) y los números la altitud en metros sobre el nivel del mar (1=2700, 2=2800, 3=2900, 4=3000, 5=3100, 6=3200).

Análisis de datos

Para cada sitio se calculó la riqueza de especies, la densidad (ind/ha), el área basal (m²/ha), la frecuencia, la altura máxima (el individuo más alto por sitio), la altura promedio (por sitio) y el valor de importancia. Este último se calculó mediante la suma de las densidades, áreas basales y frecuencias relativas y dividiendo la suma entre tres (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974; Krebs, 1978; Kent y Coker, 1992). La diversidad alfa se midió con dos índices: el índice de Simpson que estima las especies dominantes, y el índice α -Fisher que representa aproximadamente al número de especies con un individuo (especies raras) (Magurran, 2004). Para evaluar si el esfuerzo de muestreo fue suficiente se utilizó el estimador de riqueza Chao-1 que supone la riqueza esperada de especies. Para comparar la equitatividad de la comunidad entre cada cota altitudinal se utilizó el factor de equitatividad (EF_{0,2}), que calcula la proporción de especies dominantes dividiendo el inverso de Simpson entre la riqueza de especies (Jost, 2010). La diversidad beta se estimó con los índices Jaccard y Bray-Curtis (Magurran, 2004). El índice de similitud de Jaccard indica la proporción de las especies que son compartidas entre ambas muestras utilizando datos de presencia y ausencia de las especies; mientras que en el índice de Bray-Curtis la similitud entre dos sitios se mide a partir de la presencia y abundancia de las especies. Para calcular los índices de diversidad se utilizó el programa Estimates versión 8.2 (Colwell, 2009).

Para evaluar el efecto de la elevación y la orientación sobre los valores de área basal, densidad, altura y diversidad alfa se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA). Para explorar las relaciones de semejanza entre los sitios con base en la composición de especies se realizó un análisis de clasificación utilizando una matriz de presencia-ausencia. Para este análisis se utilizó el índice de Jaccard como medida de similitud y el método Ward para agrupar los sitios. Para determinar la relación entre las variables estructurales y de diversidad con la elevación se efectuaron correlaciones de Pearson (Zar, 1999). Para todos los análisis estadísticos se utilizó el programa R versión 2.12.1 (R Development Core Team, 2008).

RESULTADOS

Composición florística

Se registró un total de 40 especies, 30 géneros y 20 familias. Las familias con más especies fueron Asteraceae (8), Fagaceae (6), Pinaceae (3) y Rosaceae (3). Los géneros más diversos fueron *Quercus*, con seis especies, siguiendo en orden de importancia *Ageratina*, *Arbutus*, *Baccharis*, *Buddleja* y *Pinus*, con dos especies cada uno (Apéndice 1). Las especies con mayor valor de importancia en todo el gradiente altitudinal fueron *Quercus rugosa* (33.3), *Quercus laurina* (21.1), *Abies religiosa* (10) y *Arbutus tessellata* (7.4). Las especies *Q. rugosa* y *A. tessellata* son las más dominantes entre los 2700 y 3000 m s.n.m. A partir de esta última cota altitudinal, *A. religiosa* continúa codominando con *Q. rugosa* y *Q. laurina* (Apéndice 1). La composición de especies arbóreas dominantes fue similar en las cuatro laderas estudiadas, sin embargo, en la ladera sur *A. religiosa* no domina la comunidad, ya que es sustituida por *Q. rugosa* y *Q. laurina*; y en la ladera oeste, *Clethra mexicana* sustituye a *A. tessellata* como especie dominante (Fig. 2). Cinco especies se presentaron a lo largo de todo el gradiente altitudinal de 600 m: *Ageratina maireriana*, *Arbutus tessellata*, *Baccharis heterophylla*, *Q. laurina* y *Q. rugosa*.

El análisis de clasificación (Fig. 3) muestra cuatro grupos principales: el primero se forma por sitios con altitudes mayores a 3000 m, donde dominan principalmente *A. religiosa*, *Q. rugosa* y *Q. laurina*; el segundo grupo lo conforman los sitios de la ladera norte hasta los 3000 m, caracterizados por *Q. rugosa*, *Q. laurina* y *A. tessellata*; el tercer grupo lo integran los sitios en altitudes bajas ubicados en las laderas este y sur, donde las comunidades son dominadas por *Q. rugosa* y *A. tessellata*, en tanto que el último grupo está conformado por sitios de la ladera oeste de 2700 a 3100 m y tres sitios de la ladera sur de 2900 a 3100 m, en donde dominan principalmente *Q. rugosa* y *Q. laurina* (Fig. 2).

Estructura del bosque

Para toda el área de estudio se registró una densidad promedio de 1300 ind/ha, una área basal promedio de 37.6 m²/ha y una altura promedio de 9.4 m. Los valores para las cuatro laderas por separado son los siguientes: ladera este 1436 ind/ha, 36.7 m²/ha y 8.1 m respectivamente;

ladera norte 1262 ind/ha, 35.8 m²/ha y 8.7 m respectivamente; ladera oeste 1118 ind/ha, 39.7 m²/ha y 10 m respectivamente; ladera sur 1169 ind/ha, 33 m²/ha y 9.6 m respectivamente.

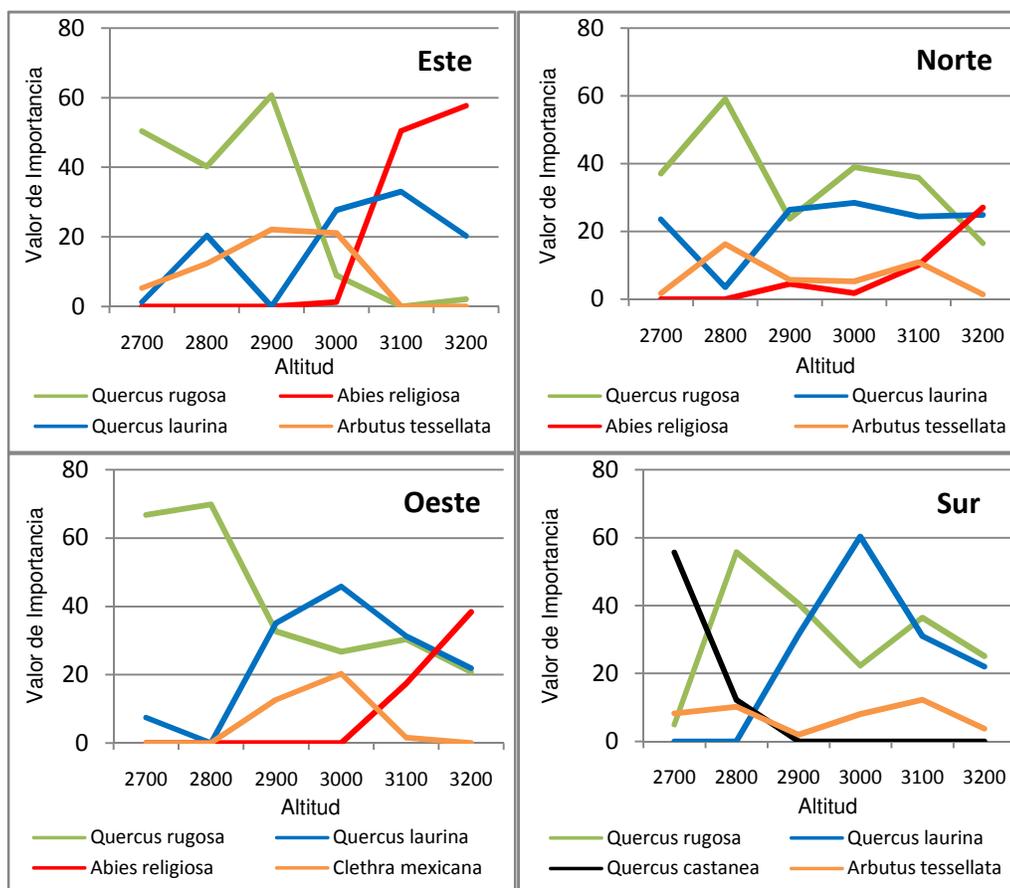


Figura 2. Especies más dominantes por exposición a lo largo del gradiente altitudinal.

La densidad más baja se presentó en la ladera sur a los 2700 m s.n.m. (585 ind/ha) y la más alta en la este a los 2800 m (2135 ind/ha). El área basal tuvo su mayor valor en la ladera este a los 3200 m (56.2 m²/ha) y el menor en el sur a los 2700 m (19.6 m²/ha). Por su parte, la menor altura del dosel se presentó en la exposición este a los 2700 m (5.7 m) y la mayor en la sur a los 3000 m (13.2 m) (Fig. 4).

El análisis de covarianza mostró que la elevación afecta fuertemente los valores de área basal y altura máxima, mientras que la orientación no parece tener efecto en ninguna de las variables estructurales. Por otro lado, la interacción entre la elevación y la orientación afecta considerablemente la densidad de individuos (Cuadro 2, Fig. 4).

El análisis de correlación de Pearson (Fig. 4) para todas las laderas mostró que los valores de área basal y altura máxima se incrementan a medida que la elevación lo hace (de 25.2 a 43.7 m²/ha y de 20.3 a 33.3 m respectivamente). El análisis de correlación de las cuatro laderas por separado mostró los siguientes resultados: en la ladera este aumentan con la elevación el área basal (de 22.6 a 56.2 m²/ha), la altura media (de 5.7 a 12.3 m) y la altura máxima (de 13 a 37 m); en la ladera norte el área basal aumenta con la elevación (de 25.2 a 45.2 m²/ha); en la ladera oeste la altura máxima aumenta con la elevación (de 23.4 a 36.3 m); y por último en la ladera sur la densidad aumenta con la elevación (de 585 a 1560 ind/ha).

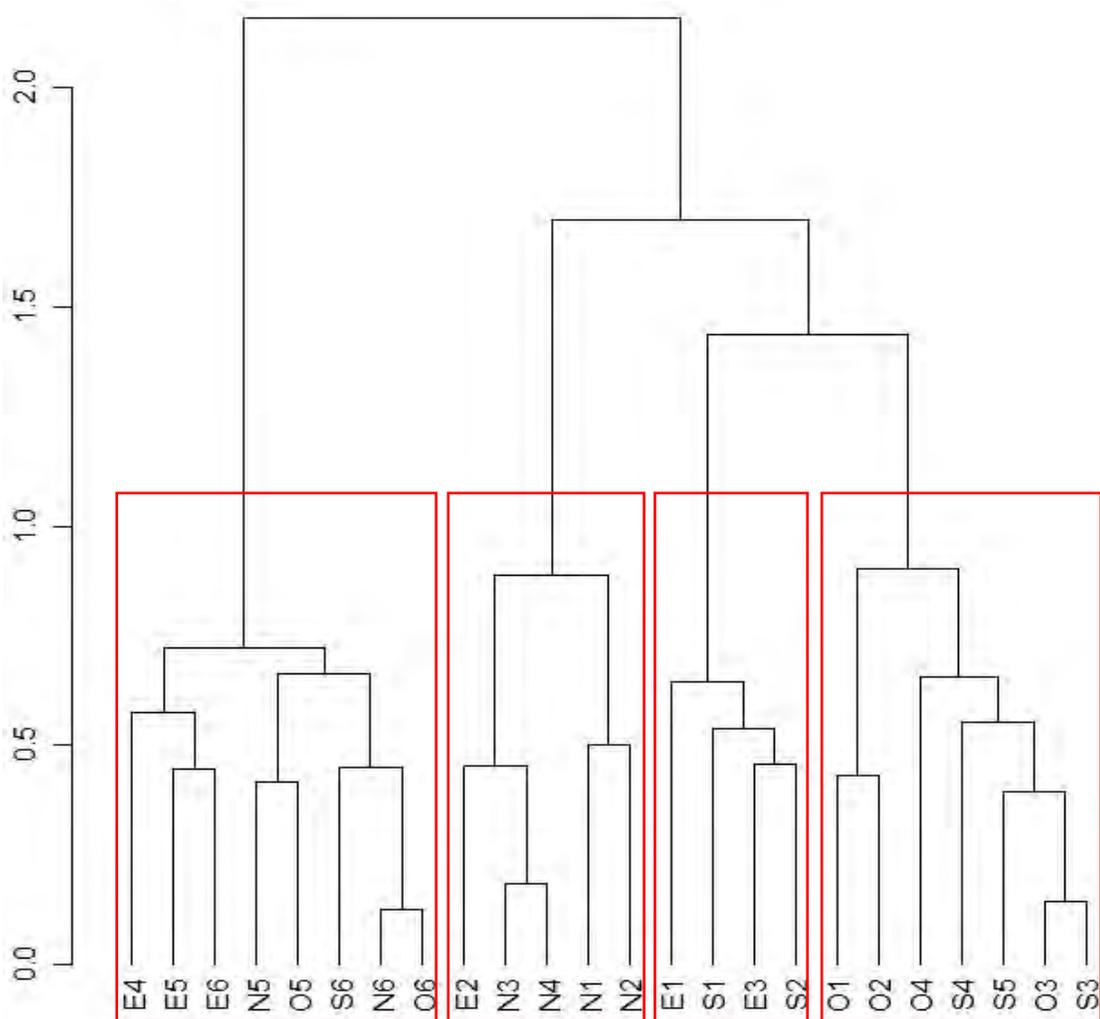


Figura 3. Dendrograma que muestra las relaciones entre los 24 sitios de muestreo con base en la presencia-ausencia de especies. Las letras indican la exposición (N, S, E, O) y los números la cota altitudinal de cada sitio (1=2700, 2=2800, 3=2900, etc.).

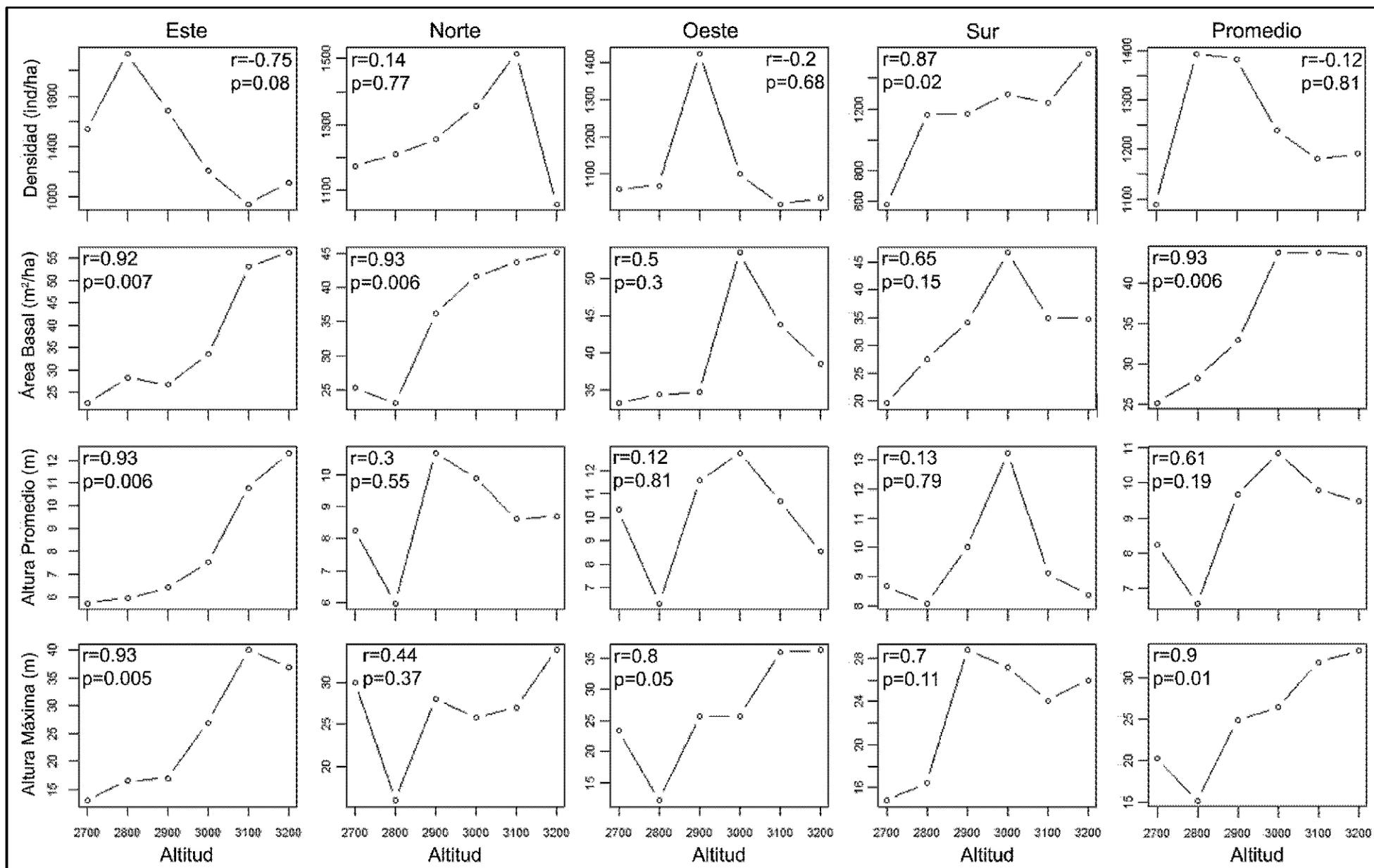


Figura 4. Valores de densidad, área basal y altura para cada uno de los sitios, agrupados por orientación (E, N, S, O) y el promedio de las cuatro laderas a lo largo del gradiente altitudinal.

Diversidad de árboles y arbustos

El análisis de covarianza (Cuadro 2) no reveló ningún efecto de la orientación y/o la elevación sobre la riqueza de especies y el índice α -Fisher. Sin embargo, la elevación si tiene un efecto sobre la dominancia (índice de Simpson). La riqueza estimada por Chao-1 (44.9) para Cerro Altamirano muestra que el esfuerzo de muestreo fue suficiente al capturar el 89.1% de la riqueza esperada.

Cuadro 2. Análisis de covarianza para las variables estructurales y de diversidad del bosque templado en Cerro Altamirano. Valores estadísticamente significativos resaltados en negritas

	Orientación			Elevación			Orientación \times Elevación		
	<i>g.l.</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>g.l.</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>g.l.</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Densidad (ind/ha)	3	2.41	>0.1	1	0.09	>0.1	3	6.46	0.01
Área basal (m ² /ha)	3	1.10	>0.1	1	31.27	0.001	3	1.99	>0.1
Altura promedio	3	1.16	>0.1	1	4.39	0.1	3	1.69	>0.1
Altura máxima	3	0.68	>0.1	1	27.47	0.001	3	2.28	>0.1
Riqueza	3	3.02	0.1	1	2.47	>0.1	3	2.41	>0.1
α -Fisher	3	1.68	>0.1	1	2.75	>0.1	3	2.80	0.1
Simpson	3	1.02	>0.1	1	4.56	0.05	3	0.93	>0.1

Con excepción de la ladera oeste, la riqueza de especies tiende a disminuir con la elevación con un promedio de 10 especies a los 2700 m y 8 especies a los 3200 m; sin embargo, la correlación de Pearson no es significativa ($p > 0.05$) para ningún caso. El índice α -Fisher tuvo tendencias similares a las encontradas con la riqueza en todos los casos (Fig. 5).

El análisis de correlación de Pearson mostró que la cantidad de especies dominantes (índice de Simpson) aumenta con la altitud ($D=2.1$ a los 2700 m y $D=3.0$ a los 3200 m). El mismo análisis, efectuado en las cuatro laderas por separado, solo muestra una relación lineal positiva con la altitud en la ladera oeste ($D=1.53$ a los 2700 m y $D=3.4$ a los 3200 m). El índice de Simpson en las laderas contiguas (Norte-Oeste y Este-Sur) muestra tendencias similares (Fig. 5). En las orientaciones norte y oeste la dominancia de *Quercus rugosa* disminuye a partir de los 2900 m s.n.m. y empiezan a codominar *Abies religiosa* y *Quercus laurina*, los valores máximos se dieron a los 2900 m en ambas laderas. En la ladera este el índice de Simpson sigue el mismo patrón que el valor de importancia de *Q. laurina* en la misma ladera (Figs. 2, 5). En las laderas este y sur se aprecia una gran variación con los valores máximos en 3000 y 3100 m, respectivamente (Fig. 5).

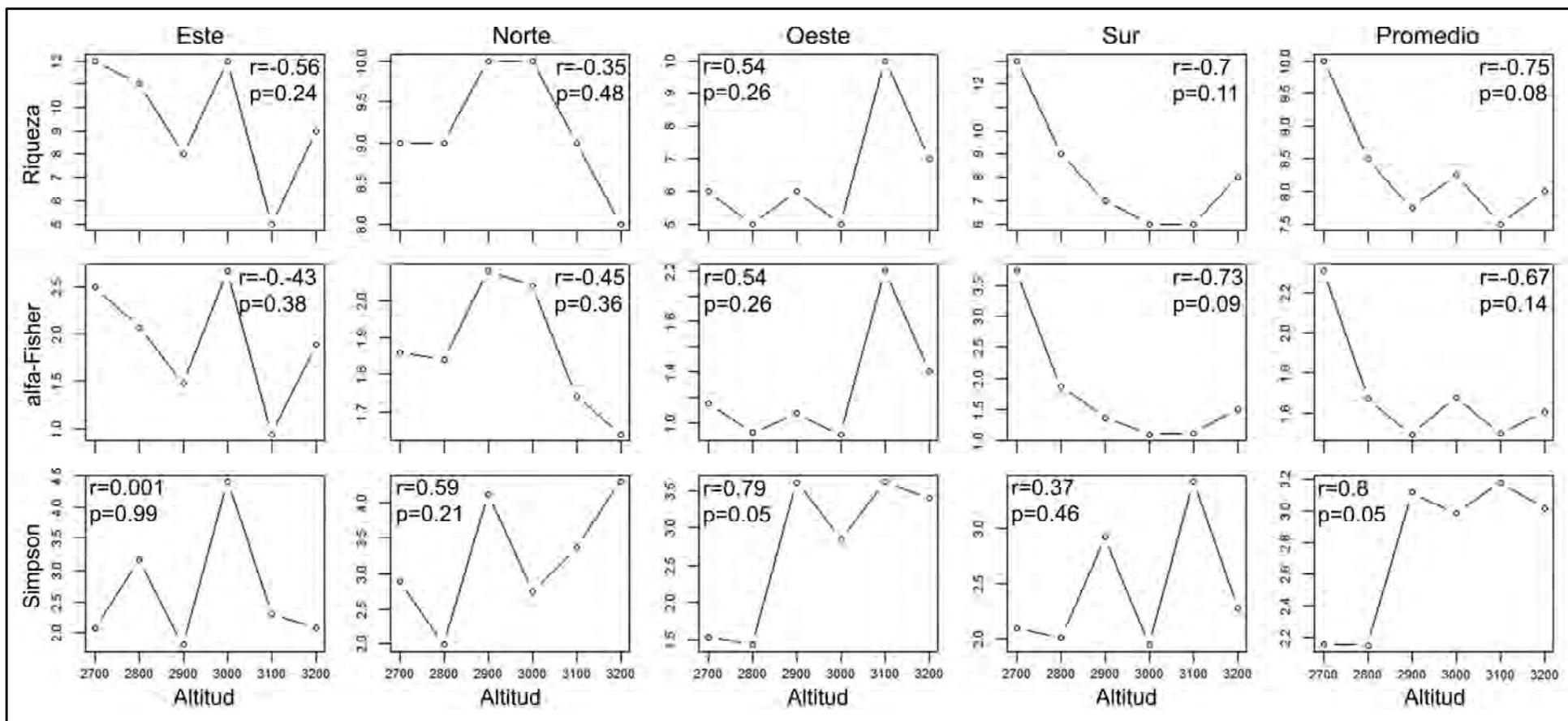


Figura 5. Tendencias altitudinales de diversidad a lo largo del gradiente altitudinal por orientación (E, N, O, S) y el promedio de las cuatro orientaciones.

Los factores de equitatividad ($EF_{0,2}$) mostraron valores bajos en todas las cotas altitudinales. La proporción de especies dominantes se incrementa con la elevación, pasando de una comunidad menos equitativa en los sitios bajos a una comunidad más equitativa en los sitios altos (Figs. 5, 6).

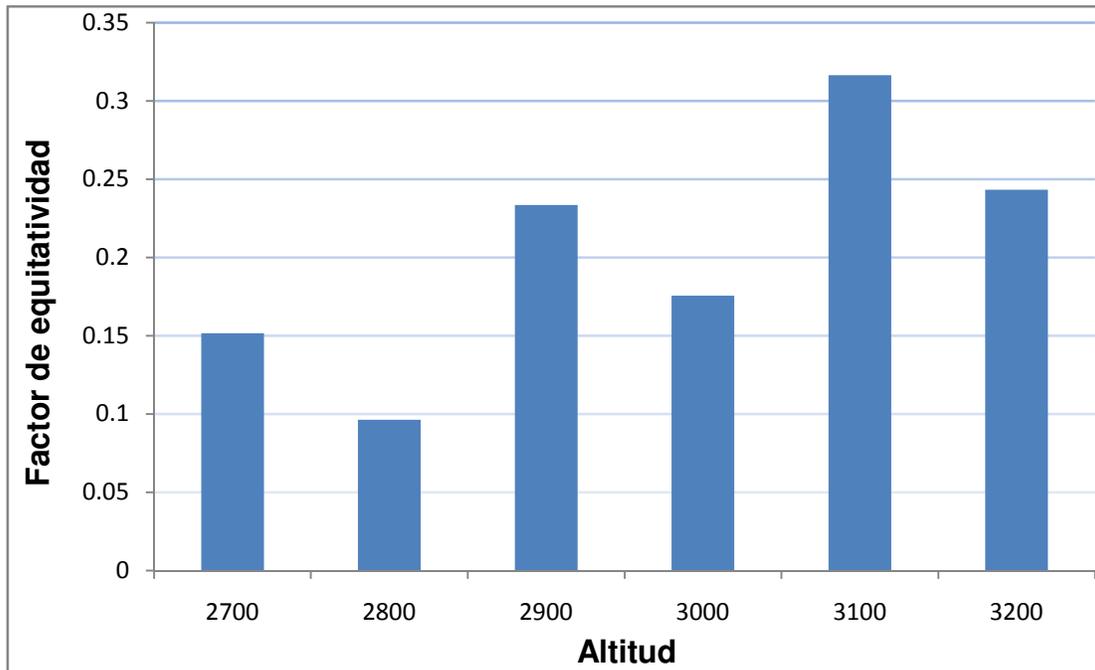


Figura 6. Factores de equitatividad para las seis cotas altitudinales muestreadas.

Las comparaciones de similitud entre pares de sitios, usando los índices de Jaccard y Bray-Curtis, muestran un total de 300 combinaciones posibles para cada estimador de diversidad beta (Apéndice 2). En el caso del índice de Jaccard, el 33.3% de los sitios comparten el 20% de las especies, mientras que solo el 2% de los sitios comparten el 70% de las especies (Fig. 7). Los sitios más similares se encontraron en la parte más alta del gradiente a los 3200 m s.n.m. (N6 y O6 con un valor de similitud de 0.88), mientras que los sitios más diferentes se encontraron en laderas opuestas y a altitudes opuestas (E5 y O2 con un valor de similitud de 0). Las laderas este y oeste resultaron ser las más contrastantes (28% de especies compartidas), mientras que las laderas oeste y sur son las más similares (40% de especies compartidas).

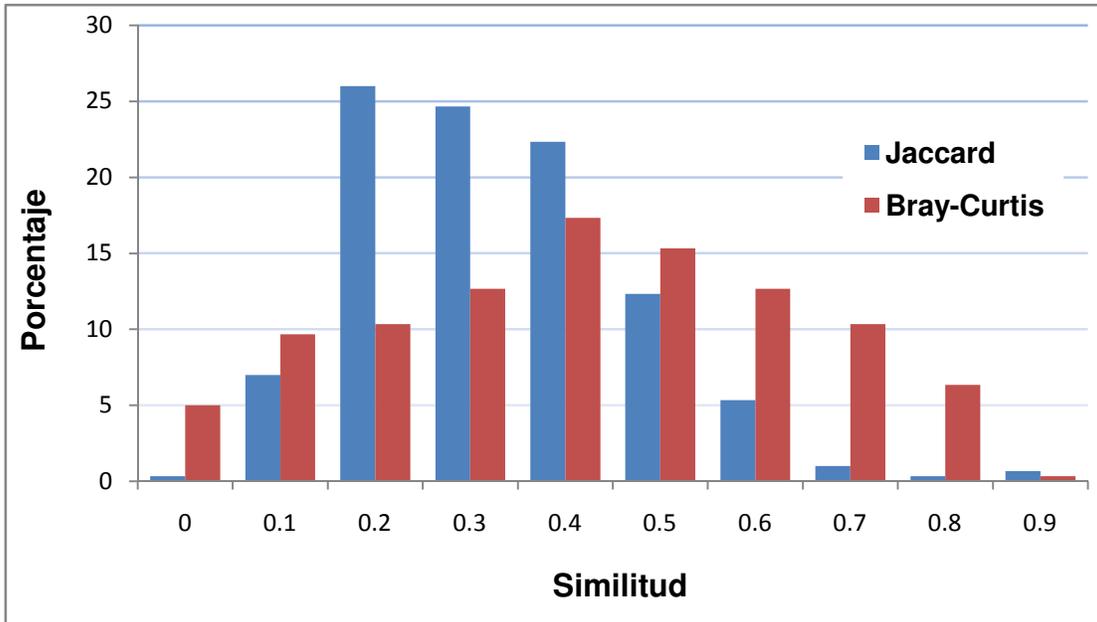


Figura 7. Frecuencias de los valores de diversidad beta de los 24 sitios de muestreo.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Composición florística

La composición florística en términos del número de taxones es muy similar entre Cerro Altamirano y lo registrado por Zacarías-Eslava *et al.* (2011) en Cerro El Águila, Michoacán (Cuadro 3). Estos dos estudios se realizaron en gradientes altitudinales parecidos (2200 a 3000 m s.n.m en Cerro El Águila), siguieron la misma metodología y fueron realizados en la misma provincia biogeográfica, Eje Volcánico Transmexicano (Morrone, 2005), lo cual, puede explicar la similitud en la composición.

El hecho de que el género *Quercus* haya tenido el mayor número de especies, se debe a que el centro de diversidad de dicho taxón se presenta en las montañas de México, por lo que era de esperarse este resultado (Nixon, 1993, 2006). El registro de bosques de encino (*Quercus rugosa* y *Quercus laurina*) en altitudes de 3200 m, es un hecho notable que complementa los datos de Rzedowski (1978, 2006) quien registra encinares hasta los 3100 m s.n.m.

Las 40 especies registradas en el área de estudio representan el 48.2% de las especies arbustivas y arbóreas registradas para las tres áreas núcleo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, con 83 especies (Cornejo *et al.*, 2003). Es decir, la mitad de la diversidad arbórea y arbustiva de la RBMM está representada en Cerro Altamirano, lo cual, le da una mayor relevancia para la conservación a esta zona.

Vale la pena mencionar que según los pobladores de las comunidades aledañas hace 50 años la ladera norte de Cerro Altamirano, en altitudes bajas, estaba compuesta por bosque de pino y bosque de pino-encino que fue talado y gradualmente fue desplazado por los bosques de encino. El único relicto de bosque de pino se puede encontrar en la ladera este en altitudes de 2800 a 3100 m (Fig. 1), sin embargo, este tipo de vegetación se encuentra amenazada por la tala clandestina. La tala y la ganadería son dos agentes de disturbio que siguen afectando la conservación del área núcleo Cerro Altamirano; hecho que ya había sido documentado hace una década (Cornejo *et al.*, 2003). Estudios posteriores deben tomar en cuenta estos factores de perturbación para incluirse en el análisis altitudinal.

Cuadro 3. Comparación de la composición en términos del número de especies entre Cerro Altamirano y Cerro El Águila, Michoacán.

	Cerro El Águila 2200-3000 m s.n.m	Cerro Altamirano 2700-3200 m s.n.m.
Familias	21 spp.	20 spp.
Géneros	33 spp.	30 spp.
Especies	46 spp.	40 spp.
Familias más diversas	Asteraceae 7 spp.	Asteraceae 8 spp.
	Fagaceae 7 spp.	Fagaceae 6 spp.
	Pinaceae 4 spp.	Pinaceae 3 spp.
Géneros más diversos	Quercus 7 spp.	Quercus 6 spp.
	Pinus 4 spp.	Pinus 2 spp.

Estructura del bosque

El hecho de que el área basal y la altura de los árboles se incrementen con la elevación se debe fundamentalmente a la presencia de las poblaciones de *Abies religiosa* que empiezan a dominar la comunidad a partir de los 3000 m s.n.m., sustituyendo a los encinares que normalmente se encuentran por debajo de esta altitud y cuyos individuos alcanzan diámetros menores que los individuos de *A. religiosa*. La tendencia encontrada para el área basal, es consistente con lo mencionado por Lieberman *et al.* (1996), Vázquez y Givnish (1998) y Zacarías-Eslava (2010). Sin embargo, Kappelle *et al.* (1995), Aiba y Kitayama (1999), Dolezal y Srutek (2002) y Leuschner *et al.* (2007) obtuvieron una relación negativa entre la variable mencionada y la altitud. En ninguno de estos estudios existe un factor común que pueda explicar los resultados (Apéndice 1).

En el caso de la altura de los árboles la tendencia encontrada solo es similar a los resultados de Zacarías-Eslava (2010), que evaluó un gradiente altitudinal similar, donde las comunidades fueron dominadas por bosque tropical caducifolio y bosques de encino en las partes bajas y bosques de pino en las partes altas. Para el Cerro Altamirano no fue registrado el bosque tropical caducifolio ya que el límite de distribución altitudinal de este tipo de vegetación en Michoacán es de 2300 m s.n.m. (Zacarías-Eslava *et al.*, 2011).

En la ladera sur el aumento de la densidad con la altitud coincide con lo encontrado por Aiba y Kitayama (1999), Kappelle y Van Uffelen (2006) y Leuschner *et al.* (2007), quienes trabajan con bosques tropicales-templados en gradientes que sobrepasan los 3000 metros en su límite superior.

El mantenimiento del área basal registrada en las zonas más altas del área de estudio es un hecho relevante ya que los árboles de oyamel con diámetros grandes (>57 cm) proveen mejores condiciones térmicas para las colonias de *Danaus plexippus* que se agrupan alrededor de los troncos (Brower *et al.*, 2009).

Diversidad de árboles y arbustos

Para el caso de la diversidad alfa (medida como riqueza e índice α -Fisher) este estudio concuerda con lo encontrado por diversos autores, quienes reportan que la diversidad alfa disminuye con la elevación (Kappelle *et al.*, 1995; Kappelle, 1996; Lieberman *et al.*, 1996; Vázquez y Givnish, 1998; Aiba y Kitayama, 1999; Kessler, 2002; Grytnes, 2003; Fosaa, 2004; Kappelle y Van Uffelen, 2006; Behera y Kushwaha, 2007; Encina-Domínguez *et al.*, 2007; Zacarías-Eslava *et al.*, *com. pers.*). Este parece ser el patrón general de la diversidad a lo largo de gradientes altitudinales, sin embargo, existen otras tendencias que empiezan a tomar importancia, como los patrones unimodales, donde la diversidad se incrementa hasta un punto medio del gradiente y después decae. Es importante mencionar que estos patrones son relativos al intervalo del gradiente altitudinal estudiado y a los taxones estudiados, por ejemplo en este estudio sólo se muestreó la vegetación leñosa a partir de los 2700 m s.n.m. debido a la carencia de vegetación conservada en altitudes menores.

Debido a que el 80% de los sitios comparten menos del 40% de las especies, se puede concluir que según los parámetros para bosques templados, la diversidad beta es alta. Contrario a lo esperado las laderas norte-sur no fueron las más contrastantes en especies compartidas (30%), esto puede ser resultado de la homogeneización de la ladera norte por efecto de la tala de *Pinus* hace 50 años.

Las diferencias o similitudes con otros estudios se deben principalmente a los intervalos altitudinales utilizados, a los diseños de muestreo y análisis de datos aplicados, a factores históricos y antropogénicos y a los distintos ecosistemas estudiados (Rahbek, 1995; Lomolino, 2001; Whittaker *et al.*, 2001; Rahbek, 2005; Nogués-Bravo *et al.*, 2008). Por lo que se sugiere estandarizar los métodos de muestreo y análisis de datos en los estudios de vegetación en gradientes altitudinales. El gradiente altitudinal utilizado en este estudio es estrecho y eso puede estar influyendo los resultados obtenidos.

El presente estudio contribuye al conocimiento ecológico y geográfico del polígono más norteño de la zona de hibernación de la mariposa monarca (*Danaus plexippus*). Los bosques que cubren dicha zona se encuentran en buen estado de conservación a pesar de que existe un manejo constante (tala y pastoreo) por parte de las comunidades aledañas.

En el contexto del cambio climático y su efecto en la distribución actual de especies, los datos de este estudio junto con parámetros climáticos pueden utilizarse para efectuar predicciones de la distribución de la vegetación en condiciones climáticas futuras, para proyectar adecuadas estrategias de manejo en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca.

LITERATURA CITADA

- Aiba, S. y K. Kitayama. 1999. Structure, composition and species diversity in an altitude-substrate matrix of rain forest tree communities on Mount Kinabalu, Borneo. *Plant Ecology* 140: 139-157.
- Armesto, J. J. y J. A. Martínez. 1978. Relations between vegetation structure and slope aspect in the mediterranean region of Chile. *Journal of Ecology* 66: 881-889.
- Arriaga, L., J. M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coords.). 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.* 609 pp.
- Beals, E. W. 1969. Vegetational change along altitudinal gradients. *Science* 165: 981-985.
- Behera, M. D. y S. P. S Kushwaha. 2007. An analysis of altitudinal behavior of tree species in Subansiri district, Eastern Himalaya. *Biodiversity and Conservation* 16: 1851-1865.
- Brower, L. P., G. Castilleja, A. Peralta, J. López-García, L. Bojorquez-Tapia, S. Díaz, D. Melgarejo, y M. Missrie. 2002. Quantitative changes in forest quality in a principal overwintering area of the Monarch Butterfly in Mexico, 1971-1999. *Conservation Biology* 16: 346-359.
- Brower, L. P., E. H. Williams, D. A. Slayback, L. S. Fink, M. I. Ramírez, R. R. Zubieta, M. I. Limón-García, P. Gier, J. A. Lear y T. Van Hook. 2009. Oyamel fir forest trunks provide thermal advantages for overwintering monarch butterflies in Mexico. *Insect Conservation and Diversity* 2: 163-175.
- Bruun, H. H., J. Moen, R. Virtanen, J. A. Grytnes, L. Oksanen y A. Angerbjörn. Effects of altitude and topography on species richness of vascular plants, bryophytes and lichens in alpine communities. *Journal of Vegetation Science* 17: 37-46.
- Cantlon, J. E. 1953. Vegetation and microclimates on north and south slopes of Cushtunk Mountain, New Jersey. *Ecological Monographs* 23:241-270.
- Challenger, A. 2003. Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de montaña de México y su estado de conservación. En: Sánchez, O., E. Vega, E. Peters y O. Monroy-Vilchis (Eds.). *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México.* Instituto Nacional de Ecología, Distrito Federal, pp. 17-44.

- Colwell, R. K. y D. C. Lees. 2000. The mid-domain effect: geometric constraints on the geography of species richness. *Trends in Ecology and Evolution* 15: 70-76.
- Colwell, R. K. 2009. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8.2. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2001. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Distrito Federal. 138 pp.
- Cornejo-Tenorio, G., A. Casas, B. Farfán, J. L. Villaseñor y G. Ibarra-Manríquez. 2003. Flora y vegetación de las zonas núcleo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 73: 43-62.
- Doležal, J. y M. Šrůtek. 2002. Altitudinal changes in composition and structure of mountain-temperate vegetation: a case study from the Western Carpathians. *Plant Ecology* 158: 201-221.
- Encina-Domínguez, J. A., A. Zárate-Lupercio, J. Valdés-Reyna y J. A. Villareal-Quintanilla. 2007. Caracterización ecológica y diversidad de los bosques de encino de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 81: 51-63.
- Ferrusquía, I. 1998. Geología de México: una sinopsis. En: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot, J. Fa (Eds.). *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, pp. 3-108.
- Fosaa, A. M. 2004. Biodiversity patterns of vascular plant species in mountain vegetation in the Faroe Islands. *Diversity and Distributions* 10: 217-223.
- Gallardo-Cruz, J. A., E. A. Pérez-García y J. A. Meave. 2009. β -Diversity and vegetation structure as influenced by slope aspect and altitude in a seasonally dry tropical landscape. *Landscape Ecology* 24: 473-482.
- Gleason, H. A. 1926. The individualistic concept of the plant association. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 53: 7-26.
- Gómez-Pompa, A. y R. Dirzo. 1995. Reservas de la Biosfera y otras Áreas Naturales Protegidas de México. Instituto Nacional de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 159 pp.

- Gottfried, M., H. P. K. Reiter y G. Grabherr. 1999. A fine-scaled predictive model for changes in species distribution patterns of high mountain plants induced by climate warming. *Diversity and Distributions* 5: 241-245.
- Gould, W.A., G. González y G. Carrero-Rivera. 2006. Structure and composition of vegetation along an elevational gradient in Puerto Rico. *Journal of Vegetation Science* 17:653-664.
- Grytnes, J. A. 2003. Species-richness patterns of vascular plants along seven altitudinal transects in Norway. *Ecography* 26: 291-300.
- Grytnes, J. A. y O. R. Vetaas. 2002. Species richness and altitude: a comparison between null models and interpolated plant species richness along the Himalayan altitudinal gradient, Nepal. *The American Naturalist* 159: 294-304.
- Grytnes, J. A. y J. H. Beaman. 2006. Elevational species richness patterns for vascular plants on Mount Kinabalu, Borneo. *Journal of Biogeography* 33: 1838-1849.
- Haslett, J. R. 1997. Mountain ecology: organism responses to environmental change, an introduction. *Global Ecology and Biogeography Letters* 6: 3-6.
- Holland, P. G. y D. G. Steyn. 1975. Vegetational responses to latitudinal variations in slope angle and aspect. *Journal of Biogeography* 2: 179-183.
- Jost, L. 2010. The relation between evenness and diversity. *Diversity* 2: 207-232.
- Kappelle, M. 1996. Los bosques de roble (*Quercus*) de la Cordillera Talamanca, Costa Rica: Biodiversidad, Ecología, Conservación y Desarrollo. Universidad de Amsterdam e Instituto Nacional de Biodiversidad. 336 pp.
- Kappelle, M. y J. G. van Uffelen. 2006. Altitudinal zonation of montane oak forests along climate and soil gradients in Costa Rica. En: Kappelle, M. (Ed.). *Ecological Studies*, Vol. 185, Ecology and Conservation of Neotropical Montane Oak Forests. Springer-Verlag, Berlin, pp. 39-54.
- Kent, M y P. Coker. 1992. *Vegetation description and analysis. A practical approach*. John Wiley & Sons, Gran Bretaña. 363 pp.
- Kessler, M. 2002. The elevational gradient of Andean plant endemism: varying influences of taxon-specific traits and topography at different taxonomic levels. *Journal of Biogeography* 29: 1159-1165.

- Körner, C. 2007. The use of 'altitude' in ecological research. *Trends in Ecology and Evolution* 22: 569-574.
- Krebs, C. J. 1978. *Ecology. The experimental analysis of distribution and abundance*. 2a edición. Harper & Row, New York. 678 pp.
- Lavorel, S. 1999. Guest editorial: global change effects on landscape and regional patterns of plant diversity. *Diversity and Distributions* 5: 239-240.
- Leuschner, C., G. Moser, C. Bertsch, M. Röderstein, D. Hertel. 2007. Large altitudinal increase in tree root/shoot ratio in tropical mountain forests of Ecuador. *Basic and Applied Ecology* 8: 219-230.
- Lieberman, D., M. Lieberman, R. Peralta y G. S. Hartshorn. 1996. Tropical forest structure and composition on a large-scale altitudinal gradient in Costa Rica. *Journal of Ecology* 84: 137-152.
- Lomolino, M. V. 2001. Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography* 10: 3-13.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing. Massachusetts. 256 pp.
- Márquez, M. A., S. González y R. Alvarez. 1999. Componentes de la diversidad arbórea en bosques de pino encino de Durango, México. *Madera y Bosques* 5: 67-78.
- Morrone, J. J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 76: 207-252.
- Mueller-Dombois, D. y H. Ellenberg. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. Wiley, Nueva York. 547 pp.
- Nixon, K. C. 2006. Global and neotropical distribution and diversity of oak (genus *Quercus*) and oak forests. En: Kappelle, M. (Ed.). *Ecological Studies, Vol. 185, Ecology and Conservation of Neotropical Montane Oak Forests*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 3-13.
- Nixon, K. C. 1993. El género *Quercus* en México. En: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot, J. Fa (Eds.). *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, pp. 435-447.
- Nogués-Bravo, D., M. B. Araújo, T. Romdal y C. Rahbek. 2008. Scale effects and human impact on the elevational species richness gradients. *Nature* 453: 216-220.

- Ohsawa, M. 1993. Latitudinal pattern of mountain vegetation zonation in southern and eastern Asia. *Journal of Vegetation Science* 4: 13–18.
- R Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org>.
- Rahbek, C. 1995. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? *Ecography* 18: 200-205.
- Rahbek, C. 2005. The role of spatial scale and the perception of large-scale species-richness patterns. *Ecology Letters* 8: 224-239.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa, México. 432 pp.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana* 14: 3-21.
- Rzedowski, J. 2006. *Vegetación de México*. 1ª Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 504 pp.
- Sánchez-González, A. y L. López-Mata. 2005. Plant species richness and diversity along an altitudinal gradient in the Sierra Nevada, México. *Diversity and Distributions* 11: 567-575.
- SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 2000. Decreto por el que se declara área natural protegida, con el carácter de reserva de la biosfera, la región denominada Mariposa Monarca, ubicada en los municipios de Temascalcingo, San Felipe del Progreso, Donato Guerra y Villa de Allende en el Estado de México, así como en los municipios Contepec, Senguio, Angangueo, Ocampo, Zitácuaro y Aporo en el Estado de Michoacán, con una superficie total de 56,259-05-07.275 hectáreas. *Diario Oficial de la Federación*, 10 de noviembre de 2000. México, D. F., pp. 5-28.
- Stephens, S. L. y S. J. Gill. 2005. Forest structure and mortality in an old-growth Jeffrey pine-mixed conifer forest in north-western Mexico. *Forest Ecology and Management* 205: 15-28.
- Sternberg, M. y M. Shoshany. 2001. Influence of slope aspect on Mediterranean woody formations: Comparison of a semiarid and an arid site in Israel. *Ecological Research* 16: 335-345.

- Vázquez, J. A. y T. J. Givnish. 1998. Altitudinal gradients in tropical forest composition, structure, and diversity in the Sierra de Manantlán. *Journal of Ecology* 89: 999-1020.
- Velázquez, A. 1994. Multivariate analysis of the vegetation of the volcanoes Tlaloc and Pelado, Mexico. *Journal of Vegetation Science* 5: 263-270.
- Whittaker, R. J., K. J. Willis y R. Field. 2001. Scale and species richness: towards a general, hierarchical theory of species diversity. *Journal of Biogeography* 28: 453-470.
- Zacarías-Eslava, L. E. 2010. Diversidad y estructura de la vegetación leñosa del Cerro El Águila, Municipios de Morelia y Lagunillas, Michoacán, México. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 75 pp.
- Zacarías-Eslava, L. E., G. Cornejo-Tenorio, J. Cortés-Flores, N. González- Castañeda y G. Ibarra-Manríquez. 2011. Composición, estructura y diversidad del cerro El Águila, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 854-869.
- Zar, J. H. 1999. *Biostatistical analysis*. 4ª edición. Prentice Hall International, Nueva Jersey. 663 pp.

Apéndice 1. Distribución y valor de importancia (VI) de las especies leñosas encontradas en el muestreo de vegetación en Cerro Altamirano, Contepec, Michoacán. Los sitios donde aparecen las especies se señalan conforme a su orientación (E, N, O, S) y altitud (1=2700, 2=2800, etc.).

Familias / Especie	Sitios	VI
AMARYLLIDACEAE		
<i>Furcraea parmentieri</i> (Roezl ex Ortgies) García-Mend.	S (2, 3, 4)	0.5
ASPARAGACEAE		
<i>Nolina</i> sp.	S (2)	0.1
ASTERACEAE		
<i>Ageratina areolaris</i> (DC.) Gage ex B.L. Turner	E (1); N (1)	0.1
<i>Ageratina mairetiana</i> (DC.) R.M. King & H. Rob.	E (2-6); N (3-6); O (3, 5, 6); S (1-3, 5, 6)	3.9
<i>Archibaccharis hirtella</i> (DC.) Heering	O (2)	0.2
<i>Baccharis conferta</i> Kunth	N (2)	0.1
<i>Baccharis heterophylla</i> Kunth	E (1-4); O (1); S (1, 6)	0.5
<i>Montanoa grandiflora</i> DC.	O (1, 2); S (1)	1.1
<i>Roldana albonervia</i> (Greenm.) H. Rob. & Brettell	E (4-6); N (6); O (6); S (4, 6)	0.7
<i>Verbesina oncophora</i> B.L. Rob. & Seaton	N (4)	0.1
BETULACEAE		
<i>Alnus jorullensis</i> Kunth	E (4-6); N (5); O (5)	0.7
CACTACEAE		
<i>Opuntia</i> sp.	S (1)	0.1
CLETHRACEAE		
<i>Clethra mexicana</i> DC.	E (2); N (3, 4); O (3-5); S (3)	3
CUPRESSACEAE		
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	E (1)	0.2
ERICACEAE		
<i>Arbutus tessellata</i> P.D. Sorensen	E (1-4); N (1-6); O (1-6); S (1-6)	7.4
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	E (1-3); N (1-4); O (5); S (1, 2)	1.9
<i>Arctostaphylos pungens</i> Kunth	N (2)	0.1

Familia / Especie	Sitios	VI
FABACEAE		
<i>Calliandra grandiflora</i> (L'Hér.) Benth.	S (1)	0.1
FAGACEAE		
<i>Quercus castanea</i> Née	E (1, 3); S (1, 2)	3.3
<i>Quercus crassifolia</i> Humb. & Bonpl.	E (2); N (3-5)	1.5
<i>Quercus deserticola</i> Trel.	E (1)	0.1
<i>Quercus laurina</i> Bonpl.	E (1, 2, 4-6); N (1-6); O (1, 3-6); S (3-6)	21.1
<i>Quercus obtusata</i> Bonpl.	E (1); S (1, 2)	1.3
<i>Quercus rugosa</i> Née	E (1-4, 6); N (1-6); O (1-6); S (1-6)	33.3
GARRYACEAE		
<i>Garrya laurifolia</i> Hartw. ex Benth.	E (2); N (1-4)	1.3
OLEACEAE		
<i>Forestiera phillyreoides</i> (Benth.) Torr.	S (1)	0.2
<i>Fraxinus rufescens</i> Lingelsh.	N (1)	0.1
PINACEAE		
<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltdl. & Cham.	E (4-6); N (3-6); O (5, 6); S (5, 6)	10
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	N (1-3)	0.8
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	E (4); N (5, 6)	0.9
POLYGALACEAE		
<i>Monnina ciliolata</i> Sessé & Moc. ex DC.	E (3)	0.1
RHAMNACEAE		
<i>Ceanothus caeruleus</i> Lag.	E (1, 3); O (1-3, 5); S (1-5)	2.3
ROSACEAE		
<i>Cercocarpus macrophyllus</i> C.K. Schneid.	E (1)	0.1
<i>Crataegus mexicana</i> Moc. & Sessé ex DC.	E (2, 4); N (1)	0.4
<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	E (2); S (1)	0.1
SALICACEAE		
<i>Salix paradoxa</i> Kunth	E (6); N (5, 6); O (5, 6)	1.4

Familia / Especie	Sitios	VI
SCROPHULARIACEAE		
<i>Buddleja cordata</i> Kunth	E (4)	0.05
<i>Buddleja parviflora</i> Kunth	E (4, 6); N (2)	0.3
SOLANACEAE		
<i>Solanum cervantesii</i> Lag.	E (6)	0.1
VERBENACEAE		
<i>Lippia mexicana</i> Grieve	O (4); S (6)	0.1

Apéndice 2. Matrices de diversidad Beta entre todos los sitios. Índice Jaccard (matriz superior) y Bray-Curtis (matriz inferior). Resaltado en negritas se muestran los valores mayores que 0.8 y subrayado los valores menores que 0.1.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	N1	N2	N3	N4	N5	N6	O1	O2	O3	O4	O5	O6	S1	S2	S3	S4	S5	S6
E1		0.28	0.43	0.2	<u>0.06</u>	0.11	0.31	0.24	0.22	0.22	0.17	0.18	0.39	0.21	0.29	0.21	0.29	0.19	0.39	0.4	0.27	0.29	0.29	0.25
E2	0.6		0.36	0.35	0.14	0.18	0.43	0.33	0.62	0.62	0.33	0.27	0.31	0.14	0.42	0.33	0.4	0.29	0.33	0.25	0.39	0.21	0.31	0.36
E3	0.69	0.69		0.25	<u>0.08</u>	0.13	0.21	0.21	0.29	0.29	0.21	0.23	0.4	0.3	0.4	0.18	0.39	0.25	0.5	0.55	0.36	0.27	0.4	0.33
E4	0.1	0.43	0.36		0.42	0.5	0.24	0.24	0.29	0.29	0.5	0.54	0.29	0.13	0.29	0.21	0.38	0.46	0.19	0.17	0.27	0.29	0.39	0.54
E5	<u>0</u>	0.2	<u>0.01</u>	0.33		0.56	<u>0.08</u>	<u>0.08</u>	0.25	0.25	0.4	0.44	0.1	<u>0</u>	0.22	0.11	0.36	0.5	<u>0.06</u>	<u>0.08</u>	0.2	0.22	0.38	0.44
E6	<u>0.01</u>	0.16	<u>0.02</u>	0.25	0.82		0.13	0.2	0.27	0.27	0.5	0.55	0.15	<u>0.08</u>	0.25	0.17	0.46	0.6	0.1	0.13	0.23	0.25	0.36	0.42
N1	0.4	0.45	0.37	0.23	0.15	0.15		0.5	0.46	0.36	0.2	0.21	0.25	0.17	0.25	0.27	0.27	0.23	0.16	0.2	0.23	0.25	0.25	0.21
N2	0.63	0.66	0.77	0.36	<u>0.03</u>	<u>0.04</u>	0.5		0.46	0.36	0.2	0.21	0.25	0.17	0.25	0.27	0.27	0.23	0.16	0.2	0.23	0.25	0.25	0.21
N3	0.31	0.63	0.31	0.44	0.29	0.23	0.47	0.39		0.82	0.46	0.39	0.23	0.15	0.46	0.36	0.54	0.42	0.21	0.27	0.42	0.23	0.46	0.39
N4	0.55	0.74	0.56	0.43	0.32	0.22	0.55	0.68	0.7		0.46	0.39	0.23	0.15	0.46	0.36	0.54	0.42	0.21	0.27	0.42	0.23	0.46	0.39
N5	0.48	0.67	0.51	0.45	0.41	0.36	0.5	0.62	0.66	0.79		0.7	0.25	0.17	0.36	0.27	0.58	0.6	0.16	0.2	0.33	0.25	0.5	0.42
N6	0.14	0.28	0.14	0.37	0.56	0.53	0.3	0.19	0.39	0.4	0.51		0.27	0.18	0.4	0.3	0.5	0.88	0.17	0.21	0.36	0.4	0.56	0.6
O1	0.69	0.57	0.65	0.15	<u>0.03</u>	<u>0.04</u>	0.49	0.77	0.39	0.66	0.59	0.19		0.57	0.5	0.38	0.33	0.3	0.36	0.25	0.44	0.5	0.5	0.4
O2	0.75	0.57	0.67	0.11	<u>0</u>	<u>0.01</u>	0.46	0.74	0.36	0.64	0.57	0.16	0.91		0.38	0.25	0.25	0.2	0.29	0.27	0.33	0.38	0.38	0.18
O3	0.42	0.7	0.4	0.41	0.3	0.21	0.52	0.48	0.79	0.78	0.66	0.38	0.5	0.49		0.57	0.6	0.44	0.27	0.36	0.86	0.5	0.71	0.4
O4	0.27	0.62	0.26	0.43	0.29	0.22	0.44	0.34	0.82	0.64	0.55	0.4	0.36	0.33	0.79		0.36	0.33	0.13	0.17	0.5	0.38	0.38	0.44
O5	0.36	0.49	0.31	0.48	0.48	0.37	0.49	0.39	0.7	0.67	0.7	0.57	0.41	0.42	0.7	0.68		0.55	0.28	0.36	0.55	0.33	0.6	0.39
O6	0.12	0.23	0.12	0.33	0.77	0.73	0.28	0.16	0.33	0.36	0.46	0.68	0.17	0.14	0.39	0.33	0.54		0.18	0.23	0.4	0.44	0.63	0.67
S1	0.21	<u>0.08</u>	0.11	0.1	<u>0.01</u>	<u>0.02</u>	<u>0.08</u>	0.11	0.1	0.1	<u>0.08</u>	<u>0.07</u>	0.12	0.12	<u>0.09</u>	<u>0.08</u>	0.11	<u>0.07</u>		0.47	0.25	0.19	0.27	0.24
S2	0.77	0.55	0.65	0.18	<u>0.05</u>	<u>0.02</u>	0.46	0.75	0.37	0.7	0.58	0.19	0.76	0.79	0.52	0.31	0.46	0.18	0.28		0.46	0.36	0.36	0.21
S3	0.52	0.55	0.45	0.35	0.31	0.23	0.58	0.56	0.57	0.76	0.67	0.42	0.59	0.6	0.74	0.55	0.71	0.4	<u>0.09</u>	0.64		0.63	0.63	0.36
S4	0.29	0.48	0.26	0.4	0.27	0.21	0.42	0.33	0.6	0.53	0.53	0.37	0.35	0.35	0.6	0.73	0.67	0.31	<u>0.08</u>	0.34	0.56		0.5	0.4
S5	0.47	0.61	0.48	0.5	0.38	0.29	0.56	0.58	0.64	0.76	0.8	0.47	0.53	0.54	0.74	0.6	0.8	0.41	0.1	0.6	0.8	0.6		0.56
S6	0.17	0.27	0.16	0.29	0.68	0.75	0.29	0.2	0.35	0.37	0.44	0.54	0.21	0.19	0.36	0.36	0.5	0.71	<u>0.07</u>	0.22	0.4	0.34	0.42	