

Caracterización estructural y diversidad de comunidades arbóreas de La Sierra de Quila

RAYMUNDO VILLAVICENCIO GARCÍA, PAOLA BAUCHE PETERSEN, AGUSTÍN GALLEGOS RODRÍGUEZ,
ANA LUISA SANTIAGO PÉREZ Y FRANCISCO MARTÍN HUERTA MARTÍNEZ

Departamento de Producción Forestal
Departamento de Ecología
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Universidad de Guadalajara

Las Agujas, km 15.5 carretera Guadalajara-Nogales
C.P. 45020, Zapopan, Jalisco, México.
Correo electrónico: vgr02072@cucba.udg.mx

Resumen

Se analizaron y compararon comunidades arbóreas distribuidas por tipo de suelo en la Sierra de Quila, Jalisco en composición, estructura y diversidad. El área de estudio comprende un transecto de 1500 ha, donde una matriz de 93 sitios de muestreo (0.05 ha c/u) fue establecida sistemáticamente. En los sitios se inventariaron árboles adultos (≥ 7 cm de diámetro). La caracterización estructural vertical se definió con el índice de perfil vertical de Pretzsch; la estructura horizontal fue estimada con base a la frecuencia, el área basal y la distribución diamétrica. Con la finalidad de explorar algunas otras variables ambientales (gradientes ecológicos) entre comunidades de árboles (abundancia de especies) se utilizó una ordenación de Bray & Curtis, empleando la técnica de varianza-regresión. La comparación de la diversidad de especies entre comunidades arbóreas fue cuantificada calculando los índices de Shannon, Evenness, Simpson y Margaleff. Se definieron seis comunidades arbóreas referidas al aspecto edafológico, identificándose 14 familias que agrupan 16 géneros que comprenden 33 especies. Los géneros más frecuentes fueron *Quercus* (52%) y *Pinus* con 36%. La comparación estructural horizontal con base a la distribución diamétrica mostró un comportamiento decreciente en todas las comunidades, como característica típica de comunidades arbóreas multietáneas, donde el número de árboles disminuye conforme aumenta el diámetro. La diversidad de especies (índice de diversidad de Shannon) más alta se registró en la comunidad del suelo Feozem, debido probablemente a su distribución con un declive altitudinal más amplio y la vegetación potencial tropical caducifolia, sin embargo, los valores de Simpson y Evenness indicaron que no es la más alta en abundancia de especies. La ordenación de las comunidades arbóreas mostró que las variables de elevación y sustrato (tipo de suelo y pendiente) fueron las más relevantes en la organización de las comunidades debido a la variación en la composición florística. Con la finalidad de registrar especies o comunidades arbóreas que no fueron identificadas en el transecto, se recomienda continuar y ampliar la red de sitios, ya que el estudio de estructuras y diversidad florística son una importante herramienta para la planeación, manejo y conservación de comunidades arbóreas y su biodiversidad.

Abstract

The composition, structure and diversity of tree communities distributed to different soil types were investigated and compared in the Sierra de Quila, Jalisco. The study area comprised a transect of 1500 ha, where a matrix of 93 plots (0.05 ha each one) was systematically established. Within the plots adult trees were registered (≥ 7 cm diameter). The structural characterization was carried out by using the vertical profile index of Pretzsch whereas the frequency, tree basal area and diametric distribution provided the basis for the estimation of the horizontal structure. In order to explore some other environmental variables (ecological gradients) between trees communities (species abundance) were used the Bray & Curtis ordination, employing the technique of variance-regression. A comparison of species diversity between tree communities was quantified by calculating the Shannon, Evenness, Simpson and Margaleff indexes. There were defined six arboreal communities referring to the soil aspect. In the communities were identified 32 species in 16 genera and 14 families. The most frequent genus was *Quercus* (52%) followed by *Pinus* (36%). The horizontal structure comparison based on the diametric distribution showed a decreasing behavior in all the communities, as it is a typical characteristic of arboreal multi-age communities, where the number of trees diminishes according to the increase of diameter. Species diversity (Shannon diversity index) was higher in communities on Feozem soil, perhaps due to a wider altitudinal gradient distribution and the potential tropical dry vegetation nevertheless, the values of Simpson and Evenness indicated that it is not the highest in abundance of species. The arrangement of the arboreal communities showed that the variables of elevation and substrate (type of soil and slope) were the most relevant in the organization of the communities by reason of the change in the floristic composition. With the purpose of registering species and arboreal communities that were not identified in the transect, it is recommended to continue and extend the network of plots, since the study of structures and floristic diversity is an important tool for planning, management and conservation of arboreal communities and their biodiversity.

Introducción

La conservación de la biodiversidad y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales son, entre otros, dos de los objetivos principales de las áreas naturales protegidas (LGEEPA 1999). El uso de índices de diversidad que ponderan la riqueza y la abundancia de especies proporcionan una validez científica para decidir criterios de conservación, ya que éstas son con frecuencia utilizadas como indicadores ambientales por ser interpretadas como un índice de salud del ecosistema (Magurran 1988). Los índices de diversidad se han aplicado en la conservación y manejo forestal, en virtud de que expresan en valores numéricos la información de censos o muestras, que contribuyen a fundamentar la toma de decisiones en el manejo de los bosques (Lübbbers 1997), a causa de que su aplicación genera un elemento indispensable de datos que coadyuvan a orientar las acciones de protección y manejo en la conservación de la diversidad biológica de los habitats. Como ejemplo se puede mencionar el estudio de Corral et al. (2001), quienes aplican modelos ecológicos de abundancia y evalúan el equilibrio ecológico en un bosque de niebla, o bien, en el bosque tropical subcaducifolío, donde el estudio de Gallegos et al. (2001) concluye que los índices de importancia ecológica que se utilizaron en un bosque tropical en la costa del estado de Jalisco, permitieron interpretar que las especies de menor frecuencia podrán extinguirse a causa de un mal manejo de aprovechamiento.

La Sierra de Quila se caracteriza por poseer un gran reservorio de especies y diversidad genética (Guerrero y López 1997). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es analizar los diferentes índices de estimación de la diversidad aplicados en comunidades arbóreas según su relación con el tipo de suelo, además de comparar cada comunidad con base en su composición, estructura y riqueza.

Materiales y métodos

ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo se llevó a cabo en el Área de Protección de Flora y Fauna «Sierra de Quila» (APFFSQ), ubicada entre los paralelos 20° 14' y 20° 22' N; 103° 57' y 104° 07' W. Su límite altitudinal varía de 1350 a 2560m y cubre una superficie de 14,098 hectáreas, ubicadas dentro de los municipios de Tecolotlán, Tenamaxtlán y San Martín de Hidalgo en el estado de Jalisco. Prevalen dos tipos de clima, el templado húmedo con lluvias en verano y el caliente húmedo con larga

temporada seca (García 1988). La precipitación pluvial media anual es de 900 mm. Guerrero y López (1997) describen para la Sierra de Quila seis tipos de vegetación: bosque de pino-encino, bosque de encino, bosque tropical caducifolío, bosque mesófilo de montaña, bosque de galería y bosque espinoso (figura 1).

El APFFSQ posee los siguientes subtipos de suelo según la clasificación FAO/UNESCO: Cambisol eutrúico, Cambisol húmico, Feozem háplico, Feozem lúvico, Litosol, Luvisol crómico, Regosol eutrúico y Vertisol pélico (INEGI 1972). De acuerdo a Wild (1992) e INEGI (1998 y 1999) los suelos Cambisoles se caracterizan por ser suelos poco desarrollados (25 cm de espesor), de textura media con un contenido máximo de arcilla en el horizonte superior, pudiéndose mostrar diferentes en vista y textura en la capa superficial; el Cambisol eutrúico presenta un subsuelo rico o muy rico en nutrientes, por el contrario, el Cambisol húmico presenta de regular a buen contenido de materia orgánica pero pobre en nutrientes. Los suelos Feozem son suelos mas lixiviados, con capa superficial oscura y una marcada acumulación de materia orgánica y nutrientes, acumulándose alrededor del 35% de arcillas en el horizonte medio. Los suelos Litosoles presentan menos de 10 cm de espesor y buen contenido de materia orgánica. El subtipo Luvisol crómico es un suelo con horizonte arcilloso (superior a 40% en los 100 cm superficiales) y con buen contenido de materia orgánica. Los suelos Regosoles son suelos delgados, con un promedio de arcilla inferior a 20% en los primeros 100 cm superficiales, se consideran suelos poco desarrollados sin estructura y de textura variable; el Regosol eutrúico es rico o muy rico en nutrientes con regular contenido de materia orgánica.

ESTABLECIMIENTO DE SITIOS DE MUESTREO

Para este estudio se seleccionó un transecto rectangular (10 × 1.8 km) considerándose como Área Piloto (AP) con orientación de norte a sur en la parte central del APFFSQ. El AP comprende distintas cotas altitudinales, diferentes tipos de suelo y por tanto vegetación. Para definir la estratificación de las comunidades arbóreas y su relación con el aspecto edafológico, primeramente se efectuó una superposición de capas temáticas mediante el uso de un sistema de información geográfica con datos vectoriales topográficos y edafológicos de las cartas F13D73 Atengo, F13D74 Cocula y F13D83 Tecolotlán del INEGI (1972). Posteriormente en el interior del AP se estableció una red de 93 sitios circulares (cada sitio de 500 m²) permanentes con distribución sistemática cuadrículada de 400 × 400m. En cada sitio se

enumeraron todos los árboles > 7 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP), se levantaron datos dasométricos y variables cualitativas (figura 2).

$$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} \cdot \ln(p_{ij})$$

ESTRUCTURA DE LA VEGETACIÓN

La estructura horizontal fue evaluada con base al número de árboles por hectárea, el área basal y sus distribuciones diamétricas. Para la caracterización de la estructura vertical por comunidad arbórea se utilizó el índice del perfil vertical (A) de Pretzsch (1996), quien define tres pisos de altura para la aplicación del índice, piso superior de 80 a 100% de la altura máxima del rodal; piso intermedio sobre 50 a 80% y piso inferior de 0 a 50%. La fórmula se describe como:

donde:

- S = número de especies presentes
- Z = número de pisos de altura
- P_{ij} = proporción de especies en los pisos de altura
 $p_{ij} = N_{ij}/N$
- N_{ij} = número de individuos de la especie *i* en el piso *j*
- N = número total de individuos

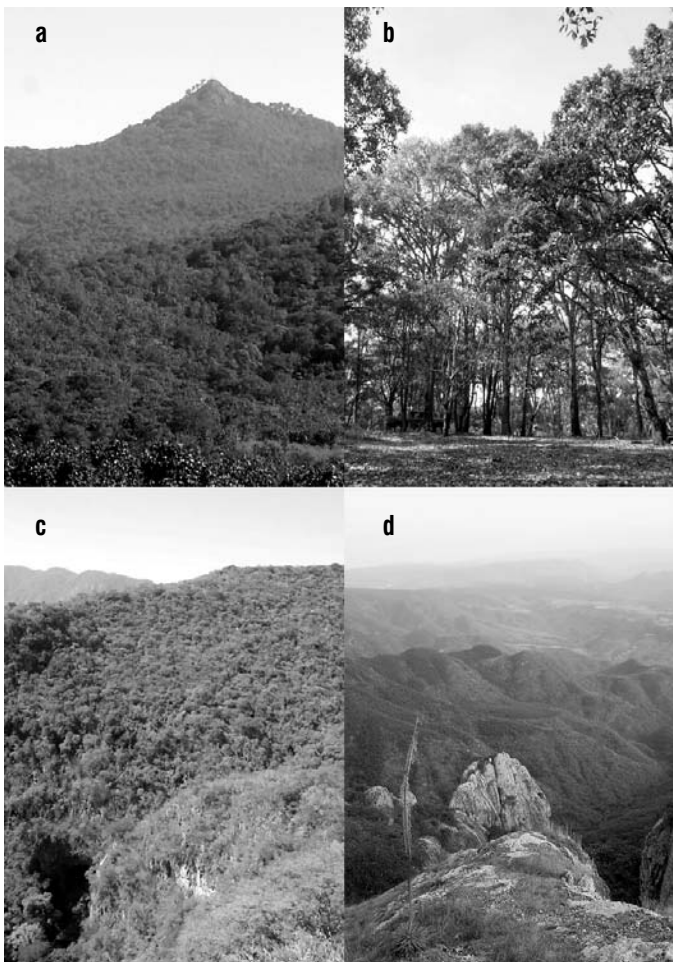


Figura 1. a) Bosque predominante de pino-encino, al fondo el Cerro “El Huehuenton” (2560m); b) Rodal de encino-pino; c) y d) Bosque tropical caducifolio en la porción sur de la Sierra de Quila (1500-1850m).

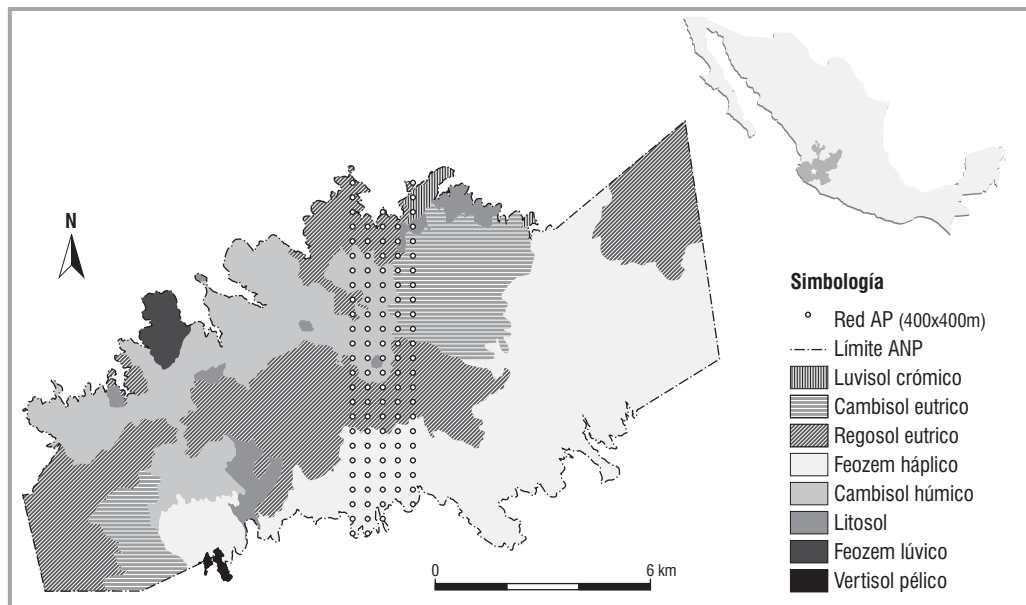


Figura 2. Estratificación por subtipos de suelo del APFFSQ y red de distribución de sitios permanentes en el Área Piloto.

El valor A tiene un rango de 0 hasta un valor máximo (A_{max}). Un valor $A = 0$ se interpreta como una comunidad arbórea que esta representada por una sola especie y esta constituida en un solo piso. El valor máximo (A_{max}) se obtiene cuando la totalidad de las especies están presentes con la misma distribución dentro de cada piso:

$$A_{max} = \ln(S \cdot Z)$$

DIVERSIDAD FLORÍSTICA EN COMUNIDADES ARBÓREAS

Para la estimación de la diversidad y riqueza de especies se emplearon los índices de Shannon, Evenness, Simpson y Margaleff descritos ampliamente por Magurran (1988). La composición de especies por comunidad arbórea se determinó mediante el índice de importancia ecológica (IVI), que es el producto de la suma de valores relativos (%) de la abundancia (N /hectárea), la dominancia (m^2 /hectárea) y la frecuencia (N_s), su resultado se utiliza para determinar el «peso ecológico» de cada especie dentro de una comunidad (Lamprecht 1990; Aguirre y Jiménez 1998). Para el análisis comparativo de afinidad de especies por tipo de estrato se empleó el coeficiente de similitud de Sørensen descrito por Magurran (1988).

ANÁLISIS MULTIVARIABLE

Las relaciones entre las comunidades arbóreas y otras variables ambientales (además del aspecto edafológico) se exploraron mediante una ordenación de Bray-Curtis, es decir, con los datos de las abundancias de especies y los factores físicos del medio. Se utilizó el paquete PC-ORD 4.10 (McCune y Mefford 1999).

La ordenación de Bray-Curtis mediante la técnica *varianza-regresión* se considera un método efectivo para revelar gradientes ecológicos, además de ser una de las herramientas más utilizadas para el análisis de comunidades (McCune y Mefford 1999; McCune y Grace 2002). Su función es posicionar las unidades de muestreo dentro de un sistema de coordenadas o ejes, con el fin de obtener la similitud entre muestras y su relación con gradientes ambientales (Ludwig y Reynolds 1988). El procedimiento selecciona aquellas muestras con los valores más distantes y los utiliza como polos, y a partir de éstos comienza a posicionar las demás muestras para los tres ejes utilizados (Ludwig y Reynolds 1988). Con la matriz de datos de abundancias se realizó un análisis de agrupamiento jerárquico (*cluster*), como método de agrupamiento el vecino más lejano y semejanza relativa de Sørensen, como medida de distancia y con el fin de corroborar la correspondencia de los grupos en la ordenación.

Resultados

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

De las cartas temáticas se obtuvieron un total de ocho diferentes subtipos de suelo para el APFFSQ, identificados como: Cambisol eutrítico, Cambisol húmico, Feozem háplico, Feozem lúvico, Litosol, Luvisol crómico, Regosol eutrítico y Vertisol pélico. Sin embargo, solo en el AP se presentaron seis diferentes subtipos de suelo. El cuadro 1 muestra la superficie y distribución por subtipo de suelo del AP, donde existe una distribución similar en los suelos: Regosol 34%, Feozem 29% y Cambisol 33%; siendo estos mismos los predominantes para el APFFSQ. En lo subsiguiente se le denominará a cada subtipo de suelo: «estrato», por lo tanto, cada comunidad arbórea será también referida como estrato (cuadro 1).

DESCRIPCIÓN DE LA VEGETACIÓN

El género *Quercus* aparece con mayor frecuencia dentro de la comunidad (N) con 52%, le continúa el género *Pinus* en segundo con 36%; resaltando las siguientes especies por orden de predominancia: *Quercus resinosa* Liebm. con 41.5%, *Pinus lumholtzii* B.L. Rob & Fernald con 15.7% y *Pinus douglasiana* Martínez con 11.5%. Se obtuvo entre comunidades una densidad de individuos por hectárea de 260 hasta 775 (cuadro 1); el mismo cuadro indica los valores dasométricos descriptivos para cada comunidad por estrato, haciendo énfasis en la baja aparición de número de especies en los estratos IV y V (no mayor a 5), pudiéndose atribuir al bajo tamaño de muestra encontrado (0.1 hectáreas) para cada subtipo de suelo dentro del AP.

ESTRUCTURA HORIZONTAL DE LA VEGETACIÓN

Las áreas basales en los estratos I, II, y VI varían entre 25 y 27 m²/hectárea, no habiendo diferencia

significativa ($\alpha = 0.05$) con este parámetro estructural entre los estratos I y II (suelos Cambisoles), así como individualmente entre los estratos I y II con respecto al estrato VI (Regosol eutrítico). El área basal de 12.8 m²/hectárea del estrato III, representa el valor medio obtenido en el estrato I, a pesar de presentar un número similar de árboles/hectárea (530), debe señalarse que el 47.5% de las especies encontradas en esta comunidad (estrato III) corresponden al bosque tropical caducifolio. La comparación estructural horizontal con base en la distribución porcentual por clase diamétrica, muestra un comportamiento decreciente (J-invertida) en todos los estratos, como característica típica de comunidades arbóreas multietáneas, donde el número de árboles disminuye conforme incrementa el DAP (figura 3), siendo dicha condición muy peculiar en los bosques naturales de México (Müller-Using 1994).

ESTRUCTURA VERTICAL DE LA VEGETACIÓN

En la distribución vertical de especies por comunidad en el cuadro 2, resalta la del estrato I, la cual está estructurada con 52% en el piso de altura intermedio, la especie dominante en el piso superior es *Pinus lumholtzii* con 36%, en el intermedio y bajo *Quercus resinosa* con 54 y 50% respectivamente. La comunidad del estrato II resultó tener mayor equidad; la frecuencia de especies por piso de altura al igual que el estrato I, la ocupa *Pinus* (*P. douglasiana*) en el piso superior con 44%; *Quercus resinosa* aparece en los pisos de altura medio y bajo con 42 y 38%.

La comunidad del estrato III está distribuida en el piso de altura intermedio con 49%. Sin embargo, dentro de los sitios de muestreo localizados en este tipo de suelo, *Quercus resinosa* es la especie dominante en los tres doseles (superior, medio, inferior) con 40%, 30% y 47%. Similar al estrato III lo presenta el estrato IV, donde *Quercus resinosa* predomina en todos los pisos

Cuadro 1. Superficie y distribución porcentual por subtipo de suelo y datos descriptivos por comunidad arbórea.

Suelo	Estrato	Superficie (ha)	Superficie (%)	No. de Especies	Árboles/ha	Área Basal/ha (m ²)	Altura (m)	DAP promedio (cm)
Cambisol eutrítico	I	161.5	10.3	12	535	26.0	11.5	18.3
Cambisol húmico	II	363.2	23.1	17	775	27.0	11.7	20.7
Feozem háplico	III	456.9	29.0	23	533	12.8	8.0	15.9
Litosol	IV	40.5	2.6	5	760	18.1	8.6	15.2
Luvisol crómico	V	20.3	1.3	4	260	6.4	6.6	15.7
Regosol eutrítico	VI	532.2	33.8	17	755	25.0	11.1	17.3
Total		1574	100	33	655	23.0	10	17.9

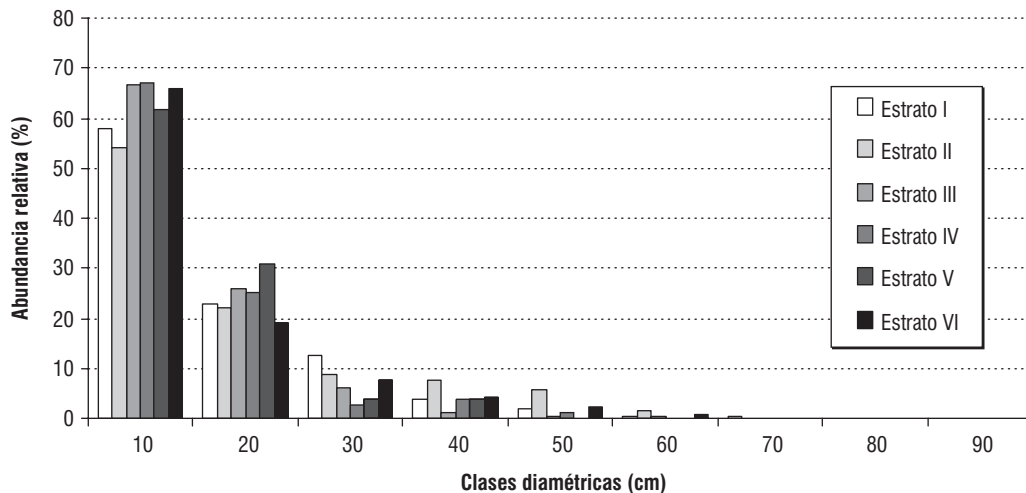


Figura 3. Distribución porcentual de individuos por clase diamétrica por estrato.

(58, 51 y 69%) con respecto al total de la comunidad que lo compone. Para el estrato V, *Pinus douglasiana* es dominante en la parte alta (100%), *Quercus resinosa* en la parte media y baja con 53 y 50% respectivamente, debiendo señalar que el grueso de la comunidad está conformada en el piso intermedio con 65.4%. Por último, el dosel superior del estrato VI lo ocupa *Pinus lumholtzii* con 36.5%, en el piso medio y bajo aparece *Quercus resinosa* con 53 y 58%; el total de esta comunidad está estructurada en el piso intermedio (46%). Los valores obtenidos del índice de perfil vertical de especies (A) para cada tipo de estrato se muestran en el cuadro 2, donde el índice (A) más bajo ($0.95 = 38.3\%$ de A_{max}) lo registró una comunidad de cuatro especies (estrato V), siendo éste el único donde se presenta en el piso superior una sola especie (*Pinus douglasiana*). Los valores mayores de (A), se obtienen en aquellas comunidades cuyo número de especies están distribuidas proporcionalmente en cada piso de altura, como lo son para los estratos I, II, III y IV, donde muestran un valor porcentual alto con respecto al valor máximo, concluyendo en una alta heterogeneidad de especies distribuidas verticalmente en los tres pisos de altura.

DIVERSIDAD Y COMPOSICIÓN DE LAS COMUNIDADES ARBÓREAS

El índice de Shannon aumenta conforme se presenta el mayor número de especies y su proporción es homogénea, es decir, el índice no sólo depende del

número de especies, si no también de la frecuencia con que están representadas; en la comunidad del estrato III, se registraron los valores más altos en riqueza de especies según el índice de Shannon (2.23) y de Margalef (3.67). Sin embargo, el valor del índice de Simpson (5.52) y el índice de uniformidad de Evenness (0.71), demuestran que no es el más alto en abundancia de especies. Los valores menores de Shannon (1.13) y de Margalef (0.92) los presentó la comunidad del estrato V ($N = 26$), representada por cuatro especies, No obstante, para el estrato IV ($N = 76$), que también tiene una mínima aparición de especies (5) presentó un valor relativamente mayor (1.25), sin ser significativo ($P > 0.001$); el índice de riqueza de Margalef para ambas comunidades registró igual (0.92), lo que demuestra que el índice valoriza la diversidad sin contemplar el número de individuos (n) que le componen (figura 4).

Resulta notorio que el valor de Simpson (4.84) para la comunidad del estrato II ($N = 775$) se apoya en la abundancia de individuos, siendo menos sensible a la riqueza de especies. La uniformidad de especies muestra para el caso del estrato IV un valor elevado (0.77), ya que presenta una alta abundancia de individuos y un bajo número de especies (5), mientras que los estratos I y II están representados por especies igualmente abundantes, coincidiendo su valor de uniformidad; sin embargo, estos no mostraron significancia en términos de diversidad ($P > 0.001$).

Para el bosque de encino-pino, las tres especies que

Cuadro 2. Distribución porcentual vertical e índice del perfil (A) por comunidad arbórea (Estrato).

Estrato	N	Inferior	Intermedio (0-50%)	Superior (50-80%)	A (80-100%)	(%)	A _{max}	(%)
I	465	22.6	51.8	25.6	2.64	(75.6)	3.49	(100)
II	642	33	31.8	35.2	2.87	(74.2)	3.87	(100)
III	400	33	49	18	3.11	(76.9)	4.04	(100)
IV	76	17.1	67.1	15.8	2	(74.1)	2.7	(100)
V	26	15.4	65.4	19.2	0.95	(38.3)	2.48	(100)
VI	1435	29.4	46	24.6	2.66	(68.7)	3.87	(100)
Población	3044	-	-	-	3.06	(67.1)	4.56	(100)

presentan el valor del índice de importancia ecológica más alto por comunidad arbórea en orden jerárquico son: para el estrato I, *Quercus resinosa*, *Pinus lumholtzii* y *P. douglasiana*. En el estrato II aparecen *Pinus douglasiana*, seguido de *Quercus resinosa* y *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. En el estrato III se encontró a *Quercus resinosa*, seguido de *Acacia pennatula* (Schltdl. & Cham.) Benth. y *Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg., un cuarto orden referido a este tipo de vegetación (bosque tropical caducifolio) lo ocupa *Ipomoea murucoides* Roem. & Schult. Dentro de los estratos IV y V considerados también como superficies del bosque de encino-pino, se presentó como primera especie *Pinus douglasiana* y *Quercus resinosa* en el estrato IV, sin embargo para el estrato V, el orden de especies fue inverso. Por último, la comunidad arbórea del estrato VI, registró a la especie *Quercus resinosa* como de mayor «peso ecológico», seguidos de *Pinus lumholtzii* y *P. douglasiana*; las especies como *Alnus acuminata* Kunth, *Clethra*

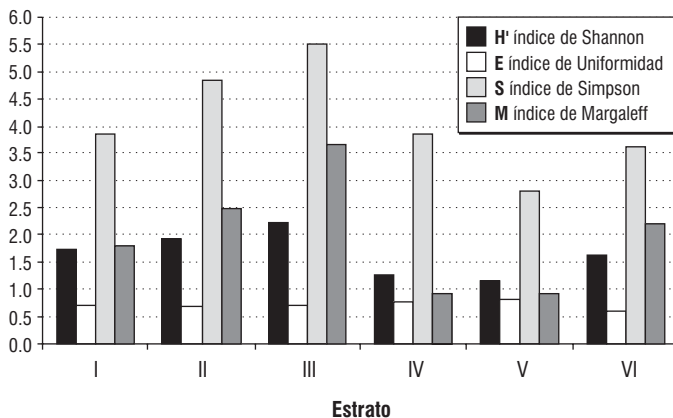
hartwegii Britton y *Prunus serotina* Ehrh. se presentaron de manera esporádica, por ser especies concentradas en sitios cercanos a arroyos o cañadas pequeñas.

De acuerdo a la afinidad florística de Sörensen, los estratos IV y V presentaron el mayor porcentaje con 89%, toda vez que ambas comunidades se encontraron situadas en la misma cota altitudinal (2000-2100m). Los estratos I y II presentan un alto porcentaje de similitud con respecto al estrato VI (76 y 82%); la cobertura que alberga estos tipos de suelo dentro del AP está situada entre los 2100 y 2300m. Por otro lado, los valores porcentuales bajos de afinidad los presentó la comunidad del estrato III, donde influyó concretamente el tipo de ecosistema donde se desarrolla (cuadro 3).

ANÁLISIS MULTIVARIABLE

En la ordenación Bray-Curtis el primer eje de ordenación explica el 90% de la variación total, el segundo eje 7.15% y el tercero 2%. La variación total

Figura 4. Diversidad y riqueza de especies por comunidad arbórea (Estrato).



Cuadro 3. Coeficiente de similitud florística de Sørensen en porcentaje.

Estrato	I	II	III	IV	V	VI
I	-					
II	69	-				
III	29	45	-			
IV	59	45	14	-		
V	50	38	15	89	-	
VI	76	82	50	45	38	-

acumulada y explicada por estos tres ejes fue de 98%. El primer eje de ordenación correlacionó con elevación y con longitud ($r = -0.869, -0.667$), el segundo eje con pendiente y el tercer eje con un gradiente elevacional ($r = 0.334$) (cuadro 4).

El diagrama de ordenación (figura 5), muestra en la porción derecha a los sitios 99, 103, 104, 106, 108, 110 y 111, este grupo se formó por sitios con bosque tropical caducifolio. En ellos se registró la menor elevación, situados en exposición sur predominante y con pendiente pronunciada; las especies que correlacionaron bajo estas condiciones fueron: *Acacia pennatula*, *Ipomoea murucoides*, *Lysiloma acapulcensis* (Kunth) Benth, *Heliocarpus terebinthinaceus* (DC.) Hochr, *Thevetia ovata* (Cav.) A. DC., *Bursera fagaroides* (Kunth) Engl., *Eysenhardtia polystachya*, *Bursera bipinnata* (DC.) Engl., *Viguiera quinqueradiata* (Cav.) A. Gray ex S. Watson, *Guazuma ulmifolia* Lam., *Ceiba aesculifolia* (Kunth) Britten & Baker f. y *Acacia hindsii* Benth.

Cuadro 4. Coeficientes de correlación entre variables ambientales y los ejes de ordenación de Bray-Curtis.

Variable	Eje1	Eje 2	Eje 3
Elevación	-0.869	0.314	0.334
Longitud	-0.667	0.030	0.120
Pendiente	0.174	-0.339	-0.223
Latitud	-0.315	-0.031	-0.002
Exposición	-0.103	-0.208	-0.229
Tipo de suelo	-0.206	-0.162	-0.150
Erosión	-0.115	-0.212	-0.044

Asimismo, al centro de la porción positiva del eje 1 se ubicaron los sitios que corresponden con ecotonos entre bosque tropical caducifolio y encinar (sitios 88, 89, 93 y 98), en donde alcanzan su máxima abundancia:

Thevetia ovata, *Lysiloma acapulcensis* y *Heliocarpus terebinthinaceus*; por último en la porción izquierda del diagrama se ubicaron los sitios que correspondieron con el bosque de encino-pino y pino-encino, en estos, alcanzaron sus máximas abundancias las especies: *Quercus resinosa*, *Pinus lumholtzii*, *P. douglasiana*, *P. oocarpa* y *Arbutus xalapensis* Kunth.

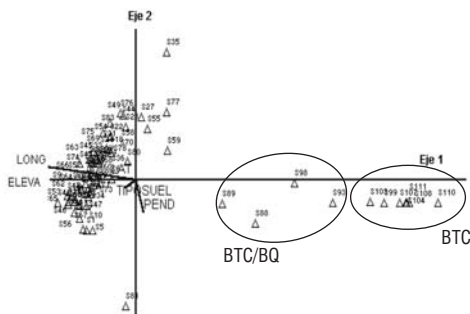


Figura 5. Diagrama de ordenación de Bray-Curtis con sitios (Δ) y variables ambientales(-). BTC= Bosque tropical caducifolio; BTC/BQ= Ecotono bosque tropical caducifolio y encinar caducifolio.

Conclusiones

1. Se registraron 14 familias que agrupan 16 géneros que comprenden 32 especies. Los principales géneros fueron *Quercus* (52%) y *Pinus* (36%). La variación y distribución de las especies están relacionadas con las características del sustrato y la asociación del gradiente altitudinal donde se desarrollan, tal es el caso de la comunidad arbórea en el estrato III (Feozem háplico) la cual presentó en una amplitud altitudinal de 400m y donde el espectro de diversidad (valores mayores de α) es más amplio.

2. El IVI, demostró que sin importar la variable ambiental que se tome como indicador, las especies arbóreas dominantes en el AP son *Quercus resinosa*, *Pinus lumholtzii* y *P. douglasiana* para el bosque de pino-encino y *Acacia pennatula*, *Eysenhardtia polystachya* e *Ipomoea murucoides* para el bosque tropical caducifolio.

3. La diversidad β , expresada mediante la tasa de recambio entre comunidades (Coeficiente de Sørensen), disminuye a medida que aumenta la altitud, lo que permitió medir la heterogeneidad en composición florística en el área de estudio. De acuerdo con los resultados de la ordenación Bray-Curtis, se sugiere que las variables ambientales más importantes

Cuadro 5. Coeficientes de correlación entre especies y ejes.

Especie	Eje 1	Eje 2	Eje 3
<i>Quercus resinosa</i> Liebm.	-0.963	-0.117	-0.013
<i>Q. laeta</i> Liebm.	-0.259	0.371	-0.037
<i>Q. eduardii</i> Trel.	-0.224	-0.545	-0.082
<i>Q. candicans</i> Née	-0.273	0.409	0.176
<i>Q. coccolobifolia</i> Trel.	-0.655	-0.228	-0.195
<i>Q. obtusata</i> Humb. et Bonpl.	-0.363	0.816	0.643
<i>Q. castanea</i> Née	-0.422	0.728	0.690
<i>Q. genryi</i> C.H. Mull.	-0.087	-0.492	-0.019
<i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schtdl.	-0.703	0.111	0.192
<i>P. lumholtzii</i> B.L. Rob. & Fernald	-0.899	-0.122	-0.131
<i>P. douglasiana</i> Martínez	-0.820	0.291	0.403
<i>P. devoniana</i> Lindl.	-0.262	0.703	0.223
<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	-0.001	0.328	0.244
<i>Acacia glandulosa</i> Guillemín	-0.507	0.172	-0.137
<i>A. pennatula</i> (Schtdl. & Cham.) Benth.	0.947	-0.222	-0.320
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth.	-0.795	-0.170	0.135
<i>Ipomoea murucoides</i> Roem. & Schult.	0.957	-0.214	-0.141
<i>Lysiloma acapulcensis</i> (Kunth) Benth	0.458	-0.107	0.310
<i>Heliocarpus terebinthinaceus</i> (DC.) Hochr.	0.886	-0.201	-0.048
<i>Thevetia ovata</i> (Cav.) A. DC.	0.458	-0.107	0.310
<i>Bursera fagaroides</i> (Kunth) Engl.	0.712	-0.165	0.138
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ortega) Sarg.	0.972	-0.217	-0.324
<i>Bursera bipinnata</i> (DC.) Engl.	0.961	-0.216	-0.331
<i>Viguiera quinqueradiata</i> (Cav.) A. Gray ex S. Watson	0.949	-0.212	-0.321
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	0.951	-0.210	-0.312
<i>Ceiba aesculifolia</i> (Kunth) Britten & Baker f.	0.914	-0.202	-0.352
<i>Acacia hindsi</i> Benth.	0.939	-0.208	-0.289
<i>Alnus acuminata</i> Kunth	-0.018	0.654	0.358
<i>Clethra hartwegii</i> Britton	-0.380	0.546	0.449
Otras hojosas	-0.086	0.489	0.428

que explican la variación en la composición florística de las comunidades arbóreas en el área de estudio corresponden a una combinación de características del paisaje (elevación, latitud y longitud) y del sustrato (tipo de suelo, pendiente). Sin embargo para estudios posteriores se recomienda incluir factores como la topografía, exposición, presencia de disturbio y factores históricos de manejo.

4. El empleo de índices de diversidad permite expresar indicadores de procesos ecológicos que se llevan a cabo en sitios de interés, mismos que proporcionan una herramienta más en la toma de decisiones para el manejo de áreas naturales.

5. Con el fin de registrar especies o comunidades arbóreas que en el AP no fueron encontradas, se recomienda ampliar la red de sitios de muestreo distribuidos objetivamente en toda el área protegida,

mismos que deberán acompañarse de estudios detallados de suelo a fin de corroborar la coincidencia de límites y superficies digitalizadas, del mismo modo, poder referir sus atributos con la comunidad arbórea.

Agradecimientos

A Raymundo Ramírez Delgadillo del Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara por el apoyo en la identificación del material botánico. Al Comité Regional de Protección, Promoción y Fomento de los Recursos Naturales de la Sierra de Quila, A.C. y al Departamento de Producción Forestal de la Universidad de Guadalajara por la infraestructura y apoyo logístico brindado. A Servando Carvajal y dos revisores anónimos por sus sugerencias al documento. ❖

Bibliografía

AGUIRRE C., O. Y J. JIMÉNEZ P. 1998. «Evaluación y análisis de la estructura de ecosistemas forestales». En AGUIRRE B. C., *North American Science Symposium. Toward a Unified Framework for Inventorying and Monitoring Forest Ecosystem Resources*. Guadalajara, México, pp. 416-420

CORRAL, J., O. AGUIRRE C. Y J. JIMÉNEZ P. 2001. «Medición de disturbio ecológico en un bosque de niebla, utilizando modelos de abundancia de especies». *Memorias del V Congreso Mexicano de Recursos Forestales*. Universidad de Guadalajara-CUCBA. Sociedad Mexicana de Recursos Forestales A.C. Guadalajara, México

GALLEGOS R., A., E. ABUNDIO R., M. E. MORALES R., Y E. HERNÁNDEZ A. 2001. «Valor de importancia de especies arbóreas en un bosque tropical de la costa de Jalisco». *Memorias V Congreso Mexicano de Recursos Forestales*. Universidad de Guadalajara-CUCBA. Sociedad Mexicana de Recursos Forestales A.C. Guadalajara, México

GARCÍA, E. 1988. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen* (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana). Instituto de Geografía, UNAM. México, 246 pp.

GUERRERO N., J. J. Y G. LÓPEZ C. 1997. *La vegetación y la flora de la Sierra de Quila, Jalisco*. Universidad de Guadalajara, México, 91 pp.

INEGI. 1972. *Cartas Edafológicas F13D73 Atengo, F13D74 Cocula, F13D83 Tecolotlán*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México

INEGI. 1998. *Perfiles de suelos*. Banco de información sobre perfiles de suelos. Versión 1.0. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México

- INEGI. 1999. *Estadísticas del medio ambiente*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Tomo I. México. pp 71–72.
- LAMPRECHT, H. 1990. *Silvicultura en los Trópicos*. Verlag Paul Parey. GTZ, Alemania, p. 49.
- LGEEPA. 1999. *Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente*. Ediciones Delma. México D.F.
- LÜBBERS, P. 1997. Diversitätsindizes und Stichprobenverfahren. En PELZ D. (Comp.). Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Biometrie und Informatik (10. Tagung; 1997, Freiburg). Abt. Forstl. Biometrie, Universität Freiburg, pp. 50–58.
- LUDWIG, J. A. Y J. F. REYNOLDS. 1988. *Statistical Ecology*. A primer on Methods and Computing. WILEY-Interscience, EUA, 339 pp.
- MAGURRAN, A. 1988. *Diversidad ecológica y su medición*. Ediciones Vedral, España, pp. 3–9, 12, 45, 163, 167–183.
- MCCUNE, B. Y J. B. GRACE. 2002. *Analysis of Ecological Communities*. MjM Software design. Gleneden Beach, Oregon, USA, 300 pp.
- MCCUNE, B. Y M. J. MEFFORD. 1999. *PC-ORD for Windows*. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 4.0. MjM Software. Gleneden Beach, Oregon, USA, 234 pp.
- MÜLLER-USING B. 1994. *Contribución al conocimiento de los bosques de encino y pino-encino en el noreste de México*. Reporte Científico No. 14. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. 194 pp.
- PORTA, J., LÓPEZ A. M. Y C. ROQUERO. 1999. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, 849 pp.
- PRETZSCH, H. 1996. *Strukturvielfalt als Ergebnis waldbaulichen Handelns*. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Sekt. Ertragskunde. Jahrestagung 1996. Nehresheim. pp. 134–154.
- SARH. 1993. *Estudio de la flora y fauna de la zona protectora forestal Sierra de Quila*. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre, México
- WILD, A. 1992. *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España, 1045 pp.

Fecha efectiva de publicación
diciembre 29 de 2006