



ARTÍCULO / ARTICLE

ESTRUCTURA DEL BOSQUE TEMPLADO DE GALERÍA EN LA SIERRA DE QUILA, JALISCO

STRUCTURE OF THE TEMPERATE GALLERY FOREST IN SIERRA DE QUILA, JALISCO

Ana Luisa Santiago-Pérez¹, Alberto Ayón Escobedo¹, Verónica Carolina Rosas-Espinoza², Fabián Alejandro Rodríguez Zaragoza² y Sandra Luz Toledo González¹

RESUMEN

El área protegida Sierra de Quila en Jalisco posee una extensa red de arroyos permanentes y temporales donde los bosques de galería mantienen importantes procesos ecológicos y de conectividad biológica. Este trabajo describe su estructura florística arbórea en siete arroyos ubicados en el intervalo altitudinal de 1 876 y 2 200 m. Se establecieron 29 sitios de muestreo de 500 m² cada uno (1.45 ha) en los que se midieron todos los individuos leñosos ≥ 7 cm de diámetro (DN). Se registraron 881 árboles, pertenecientes a 35 especies de 17 familias, entre los taxa dominantes se registraron *Alnus acuminata*, *Clethra hartwegii*, *Pinus devoniana*, *Prunus serotina*, *Styrax ramirezii* y *Salix bonplandiana*. La riqueza específica entre localidades varió de 10 a 22 especies, mientras que el Índice de Diversidad Shannon-Wiener fue de 1.8 a 2.6 nats y el de dominancia de Simpson de 0.12 a 0.48. El análisis de agrupamiento y el análisis de escalonamiento multidimensional no métrico (NMDS) evidenciaron 40 % de similitud florística entre arroyos. Se observaron diferencias en la densidad de especies latifoliadas entre sitios ($p < 0.025$), esto se confirma tanto por la disimilitud en la abundancia promedio de los taxa entre los lugares con vertiente norte y sur (PERMANOVA, $F = 2.45$, $p = 0.0001$), como la registrada para la altitud de los sitios (PERMANOVA, $F = 1.71$, $p = 0.004$).

Palabras clave: Área protegida, arroyos, corredor vegetal, diversidad arbórea, ecosistema ripario, pino-encino.

ABSTRACT

Sierra de Quila protected area in Jalisco has an extensive network of permanent and temporary creeks where the gallery forests maintain important ecological and biological connectivity processes. This paper describes the tree structure of the flora of seven creeks located at altitudes between 1 876 and 2 200 m. 29 sampling sites of 500 m² each (1.45 ha) were established, and all the woody individuals with a diameter (ND) of >7 cm were measured. 881 trees belonging to 35 species of 17 families were registered; the dominant taxa included *Alnus acuminata*, *Clethra hartwegii*, *Pinus devoniana*, *Prunus serotina*, *Styrax ramirezii* and *Salix bonplandiana*. The specific richness ranged between 10 and 12 according to the locality, while the Shannon-Wiener diversity index was 1.8 to 2.6 nats, and the Simpson dominance index was 0.12 to 0.48. The grouping analysis and the non-metric multidimensional scaling analysis (NMDS) showed 40 % of similarity between the floras of the creeks. Differences in the density of broadleaves were observed between sites ($p < 0.025$); these were confirmed by the dissimilarity both in the average abundance of the taxa between locations with a north-south slope (PERMANOVA, $F = 2.45$, $p = 0.0001$) and in the altitudes of the sites (PERMANOVA, $F = 1.71$, $p = 0.004$).

Key words: Protected area, creeks, vegetation corridor, tree diversity, riparian ecosystem, pine-oak.

¹ Departamento de Producción Forestal, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), Universidad de Guadalajara. Correo-e: ana.santiago@cucba.udg.mx

² Departamento de Ecología, CUCBA, Universidad de Guadalajara.

INTRODUCCIÓN

Los bosques de galería son comunidades forestales complejas y frágiles que cumplen un papel fundamental en términos ecológicos, hidrológicos y de biodiversidad para la conservación de la vitalidad del paisaje y los ríos (Naiman y Décamps, 1997). A lo largo de los márgenes de los cauces, la delimitación de los bosques de galería aportan múltiples servicios ecológicos; por ejemplo, su disposición vertical en capas de vegetación son primordiales para mantener la calidad del agua, amortiguar los procesos de sedimentación de los lechos de los ríos, proporcionan protección contra la erosión de los suelos, y proveen de hábitat a la fauna silvestre (Granados *et al.*, 2006).

La fisonomía y estructura de esta comunidad vegetal es muy heterogénea, en comparación con otros tipos de vegetación circundantes, debido a que incluye varios estratos verticales de plantas que forman espesura, o bien está constituida solo por árboles muy espaciados, cuyas alturas varían de 4 a 40 m (Rzedowski, 1978). Por otro lado, los patrones de distribución de las especies a nivel local están relacionados con la topografía, tal es el caso de la altitud sobre el cauce del arroyo que contribuye a la existencia de interacciones favorables de microclima y alta humedad (Naiman y Décamps, 1997).

En la actualidad, la evaluación de la estructura y condición de los bosques de galería requieren de información detallada de la riqueza, abundancia, diversidad ecológica de los árboles y de la vegetación del sotobosque para generar estrategias de manejo que garanticen asegurar la provisión de los servicios ambientales (Eskelson *et al.*, 2013; Méndez *et al.*, 2014). Sin embargo, los ríos y las comunidades vegetales que se desarrollan en sus márgenes han estado sometidos a intensa presión histórica por las variadas actividades humanas, lo que ha llevado a su transformación desde tiempos muy antiguos (Richardson *et al.*, 2007). La investigación a largo plazo de las características ecológicas, así como del estado o grado de conservación de este tipo de bosque puede proporcionar los fundamentos técnicos para implementar actividades de manejo tendientes a conservar, restaurar y minimizar posibles impactos negativos (Camacho *et al.*, 2006).

El Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de Quila (APFFSQ) es un sistema montañoso que cuenta con bosques templados y bosques tropicales caducifolios representativos del Eje Volcánico Transversal. Alberga una riqueza de plantas vasculares de 840 especies (Guerrero y López, 1997) y es similar en riqueza a otra área natural protegida de Jalisco: La Primavera (849 especies) (Ramírez *et al.*, 2005); aunque esta última con el doble de superficie. Sierra de Quila funciona como un corredor biológico que conecta al bosque La Primavera y la sierra de Cacoma, que a su vez forman un continuo con la Sierra de Manantlán (Villavicencio *et al.*, 2009; Hernández *et al.*, 2011).

INTRODUCTION

Gallery forests are complex and frail forest communities that fulfill a crucial role -in terms of the ecology, the hydrology and the biodiversity- for the conservation of the vitality of the landscape and of the rivers (Naiman and Décamps, 1997). Along the banks of the riverbeds, the delimitation of gallery forests contributes with multiple ecological services, e.g. their vertical placement in vegetation layers are essential to maintain the quality of water and to mitigate the sedimentation processes of the riverbeds, and they provide protection against soil erosion and a habitat for the wild fauna (Granados *et al.*, 2006).

The physiognomy and structure of this vegetal community is very heterogeneous, compared to other types of surrounding vegetation because it includes several vertical strata of density forming plants, or else, it is made up only by widely spaced trees with heights ranging between 4 and 40 m (Rzedowski, 1978). On the other hand, the distribution patterns of the species at a local level are related to the topography; such is the case of the altitude above the bed of the creek, which contributes to the existence of favorable interactions of the microclimate and high humidity (Naiman and Décamps, 1997).

Today, the assessment of the structure and condition of the gallery forests requires detailed information about the richness, abundance, ecological diversity of the trees and of the undergrowth vegetation in order to generate management strategies that may ensure the provision of environmental services (Eskelson *et al.*, 2013; Méndez *et al.*, 2014). However, the rivers and the vegetal communities that develop on their banks have been subjected to an intense historical pressure by various human activities that has led to their transformation from very ancient times (Richardson *et al.*, 2007). The long-term research of the ecological characteristics and of the state or degree of conservation of this type of forest may provide the technical foundations to implement management activities tending to preserve, restore and minimize potential negative impacts (Camacho *et al.*, 2006).

The *Sierra de Quila* Flora and Fauna Protection Area (APFFSQ) is a mountainous system which includes temperate and tropical deciduous forests that are representative of the Transversal Volcanic Axis. It harbors a richness of vascular plants belonging to 840 different species (Guerrero and López, 1997) and is similar in richness to another natural protected area of Jalisco: *La Primavera* (849 species) (Ramírez *et al.*, 2005), although the surface of the latter is twice as large. *Sierra de Quila* works as a biological corridor that connects the *La Primavera* forest and the *Cacoma Sierra*, which in turn form a continuum with the *Manantlán Sierra* (Villavicencio *et al.*, 2009; Hernández *et al.*, 2011). Besides, it contributes partially, to an unquantified extent, to water catchment through the recharge of the aquifers that supply the central region of the state, and thus, it also benefits approximately 80 000 inhabitants of the adjoining

Además contribuye, parcialmente, en un monto no cuantificado a la captación de agua por la recarga de acuíferos que provee a la región centro del estado, y que representa un beneficio por la disponibilidad de agua para aproximadamente 80 000 habitantes que viven en las comunidades aledañas (Semades, 2010). De acuerdo con Villavicencio *et al.* (2013) la captación natural de agua aportada solo por la microcuenca del río Santa Rosa, uno de los principales afluentes en esta zona, se calcula en 13 Mm³.

No obstante, y a pesar de ser un área natural protegida, cada vez es mayor la afluencia de visitantes sin regulación, debido a la facilidad de acceso por múltiples caminos. Lo anterior podría constituir un riesgo para la integridad ecológica de diversas zonas de la comunidad vegetal en cuestión. Con el propósito de generar conocimiento acerca del bosque de galería de la Sierra de Quila, en el presente trabajo se evaluó la riqueza, abundancia, composición florística y la diversidad ecológica arbórea en siete arroyos de la parte alta de la sierra.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El APFFSQ se localiza al centro del estado de Jalisco y cubre 14 168 ha (Villavicencio *et al.*, 2005), entre los 20°12'10" y 20°23'23" latitud norte y 103°53'25" y 104°11'35" longitud oeste (Figura 1). El clima prevaleciente en la parte alta de la sierra es el templado húmedo con lluvias en verano, C (w₂) (w), en la porción baja es cálido húmedo con larga temporada seca (A)C(w₁)(w); la temperatura media anual es mayor a 18 °C (García, 1988) y la precipitación media anual es de 882 mm (Villavicencio y Santiago, 2012). El intervalo altitudinal va de 1 350 a 2 560 m; los subtipos de suelo predominantes son Regosol eútrico (33.8 %), Feozem háplico (29 %), Cambisol húmico (23.1 %), Cambisol eútrico (10.3 %) Litosol (2.6 %) y Luvisol crómico (1.3 %) (INEGI, 1972; Villavicencio *et al.*, 2005).

El sistema de drenaje del área protegida se compone de nueve afluentes permanentes: los arroyos El Chiquito, El Capulín, El Ahogado, Las Canoas, La Campana, Santa Rosa, Potrero Grande, Peñas Blancas y El Guaje; el manantial La Ciénega; y una gran cantidad de arroyos temporales (SARH, 1993).

Guerrero y López (1997) en su estudio florístico describieron seis tipos de vegetación, con predominancias del bosque de pino-encino, bosque de encino y la selva baja caducifolia, así como remanentes de bosque mesófilo de montaña, bosque de galería y bosque espinoso. Estos autores, hacen referencia a tres variantes de bosque de galería que corresponden a las zonas ambientales de su distribución altitudinal y las diferencias de riqueza del estrato arbóreo, entre lo que destaca: a) la porción baja de suelos aluviales (1 300 m) con 12 especies; b) la zona

communities by making water available to them (Semades, 2010). According to Villavicencio *et al.* (2013), the natural water catchment in the microbasin of the Santa Rosa river -one of the main affluents in this area- amounts to 13 Mm³.

Nevertheless, despite being a natural protected area, it has an ever increasing unregulated income of visitors because it is easily accessible by several roads. This may entail a risk for the ecological integrity of various areas of this vegetal community. In order to generate knowledge about the Sierra de Quila gallery forest, the present study evaluated the richness, abundance, floral composition and ecological tree diversity in seven creeks in the higher part of the sierra.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The APFFSQ is located at the center of the state of Jalisco and covers a surface of 14 168 has (Villavicencio *et al.*, 2005), between 20°12'10" and 20°23'23" north and 103°53'25" and 104°11'35" east (Figure 1). The prevalent climate in the higher part of the sierra is humid temperate with summer rains, C (w₂) (w), while in the lower portion it is warm humid with a long dry season C (w₁) (w). The annual mean temperature is above 18 °C (García, 1988), and the annual mean precipitation is 882 mm (Villavicencio and Santiago, 2012). The altitude ranges between 1 350 and 2 560 m: the predominant soil subtypes are Eutric regosol (33.8 %), Haplic phaeozem (20 %), Humic cambisol (23.1 %), Eutric cambisol (10.3 %), Lithosol (2.6 %) and Chromic luvisol (1.3 %) (INEGI, 1972; Villavicencio *et al.*, 2005).

The drainage system of the protected area consists of nine permanent affluents: the creeks *El Chiquito*, *El Capulín*, *El Ahogado*, *Las Canoas*, *La Campana*, *Santa Rosa*, *Potrero Grande*, *Peñas Blancas* and *El Guaje*; the *La Ciénega* spring, and a large number of temporary creeks (SARH, 1993).

In their study of the flora, Guerrero and López (1997) described six types of vegetation, with a predominance of pine-oak forests, holm oak forests and the low deciduous rainforest, as well as remnants of mountain cloud, gallery and thorny forests. These authors mention three variants of gallery forests that correspond to the environmental areas of their altitudinal distribution and the differences of richness of the tree stratum, prominent among which are: a) the low portion of alluvial soils (1 300 m) with 12 species; b) the tropical area, with the low deciduous rainforest in its vicinity (1 400 to 1 850 m), with 33 species, and c) the temperate area (1 850 to 2 100 m), having little diversity and comprising seven species.

The specific study area included eight sampling sites in seven creeks with permanent water: *Chiquito*, *Ahogado*, *El Capulín*, *Santa Rosa* - *La Máquina*, *La Fragua*, *La Campana*

tropical con la selva baja caducifolia en vecindad (1 400 a 1 850 m), con 33 especies; y c) la zona templada (1 850 a 2 100 m), poco diversa y compuesta por siete especies.

El área específica de estudio comprendió ocho sitios de muestreo en siete arroyos con agua permanente: Chiquito, Ahogado, El Capulín, Santa Rosa - La Máquina, La Fragua, La Campana y El Pozo (Figura 1). Los criterios para la selección de los cauces fueron su origen en el área protegida, y su ubicación en la cota altitudinal entre 1 850 a 2 200 m para representar las condiciones de los bosques de galería en las zonas templadas. Los arroyos incluyen áreas de muestreo de anfibios en un estudio independiente, pero relacionado con la caracterización del hábitat (Santiago *et al.*, 2012).

En cada sitio, se establecieron de tres a cuatro parcelas, en función de su extensión, las cuales estuvieron separadas entre sí por 200 m, excepto en dos casos en los sitios La Máquina y La Campana, donde las parcelas se distanciaron 400 m por el desnivel del terreno. Se ubicaron un total de 29 parcelas circulares de 0.05 ha cada una, cuya ubicación geográfica se registró utilizando un navegador GPS Garmin Map 60CSX. En su estudio, Treviño *et al.* (2001) emplearon unidades de muestreo similares para representar la vegetación arbórea en bosques de galería templados en el norte de México.

El punto central de cada parcela se ubicó a la mitad del ancho del cauce del arroyo. Esto permitió que se incluyera, dentro de la parcela estandarizada conforme a la compensación de radio por pendiente de las parcelas (12.63 m de radio en pendiente 5 %), exclusivamente el bosque de galería. El ancho de los cauces de los arroyos, en época de secas, va de 50.66 cm a 266.66 cm (promedio de 163.76 \pm 7.5 cm).

En cada parcela se midió el arbolado > a 7 cm de DN y se registraron los siguientes datos: especie, diámetro y altura. Se realizó la colecta de ejemplares botánicos, los cuales fueron identificados por el curador del Herbario IBUG Luz María Villarreal de Puga de la Universidad de Guadalajara. Para la región de estudio, la lista potencial de especies arbóreas esperada exclusivas del bosque de galería en zonas templadas es de siete a 10 especies, de acuerdo con lo señalado por Guerrero y López (1997). Las observaciones ambientales incluyeron la evidencia de disturbio por pastoreo, caminos, contaminación e incendios.

La estructura de la vegetación se caracterizó en términos de la densidad (número de árboles ha⁻¹), alturas y diámetros promedios, además del área basal (m² ha⁻¹). La composición de especies para la comunidad se expresó con el Índice de importancia Ecológica (IVI), mediante el producto de la sumatoria de los valores relativos de la densidad, dominancia (a partir del área basal) y frecuencia (Müller-Dombois y Ellenberg, 1974).

and El Pozo (Figure 1). The criteria for the selection of the creek beds were their origin in the protected area and their location at an altitude range between 1 850 and 2 200 m, in order to represent the conditions of the gallery forests in temperate areas. The creeks include sampling areas for amphibians in an independent study related to the habitat characterization (Santiago *et al.*, 2012).

In each site, three to four plots were established, based on their area surface; they had a 200 m separation, except for two cases in the *La Máquina* and *La Campana* sites, where the distance between the plots was 400 m due to the slope of the land. A total of 29 circular plots of 0.05 ha each were located by using a GPS Garmin Map 60CSX navigator. Treviño *et al.* (2001) used similar sampling units in their study to represent the tree vegetation in temperate gallery forests in northern Mexico.

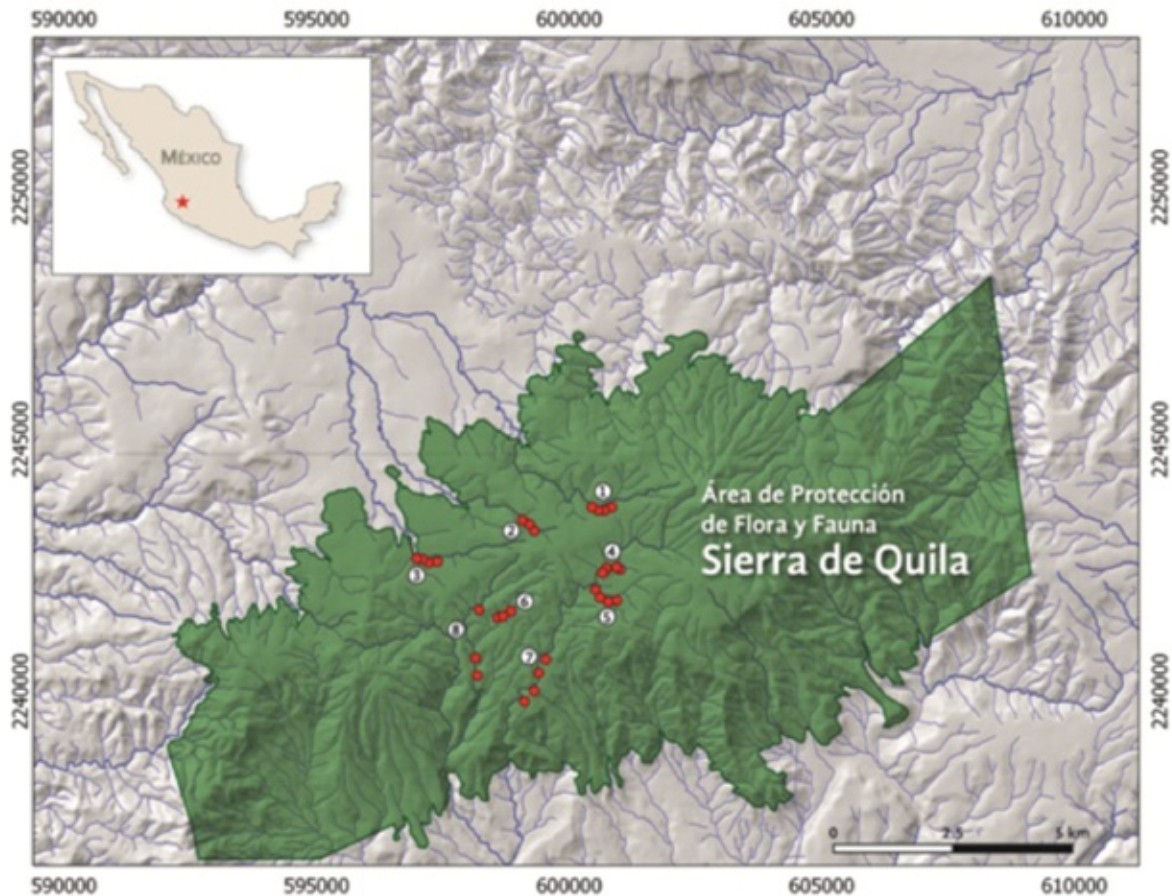
The center of each plot was located in the middle of the width of the creek's bed. This made it possible to include only the gallery forest within the standardized plot according to the radius compensation by the slope of the plots (12.63 m of radius in a 5 % slope). The width of the creek beds during the dry season ranges between 50.66 and 266.66 cm (an average of 163.76 \pm 7.5 cm).

In each plot the trees >7 cm of ND were measured, and the following data were registered: species, diameter and height. Botanical specimens were collected and were then identified by the curator of the *Luz María Villarreal de Puga* Herbarium of the Botanical Institute of the *Universidad de Guadalajara* (IBUG). For the study region, the expected potential list of tree species exclusive of the gallery forest in temperate areas includes seven to 10 species, according to Guerrero and López (1997). The environmental observations included the evidence of disturbances due to grazing, roads, pollution and fires.

The structure of the vegetation was characterized in terms of its density (number of trees ha⁻¹), average heights and diameters, and baseline area (m² ha⁻¹). The species composition for the community was expressed using the ecological importance index (IVI), based on the product of the sum of the relative values of density, dominance (from the baseline area) and frequency (Müller-Dombois and Ellenberg, 1974).

The total tree richness (S) and density was contrasted with individual-based rarefaction curves. The ecological diversity was analyzed with the Simpson dominance (D), the Shannon diversity (H' , *nats*) and Pielou equity (J') (Magurran, 2004). All the rarefaction and diversity indices were calculated with the Primer 6.1 software (Clarke and Gorley, 2006).

A one way variance analysis (ANOVA) was utilized for identifying significant differences between the sites with respect to the average richness, density, H' , D and J' , as well as to the



1 = Chiquito; 2 = Ahogado; 3 = El Capulín; 4 = Santa Rosa; 5 = La Fragua; 6 = El Pozo; 7 = La Máquina; 8 = La Campana. Los puntos rojos corresponden a las parcelas.

Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de Quila = Sierra de Quila Flora and Wildlife Protection Area 1 = Chiquito; 2 = Ahogado; 3 = El Capulín; 4 = Santa Rosa; 5 = La Fragua; 6 = El Pozo; 7 = La Máquina; 8 = La Campana. The red dots represent the plots.

Figura 1. Área de estudio y ubicación de los sitios de muestreo en los arroyos de Sierra de Quila.
Figure 1. Study area and location of the sampling sites along the Sierra de Quila creeks.

La riqueza (S) y densidad total arbórea se contrastó con curvas de rarefacción basadas en individuos. La diversidad ecológica se analizó con la dominancia de Simpson (D), diversidad de Shannon (H' , $nats$) y equidad de Pielou (J') (Magurran, 2004). Todos los cálculos de las rarefacciones e índices de diversidad se realizaron con el programa Primer 6.1 (Clarke y Gorley, 2006).

Se usó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para identificar diferencias significativas entre los sitios con respecto a la riqueza promedio, densidad, H' , D y J' , así como con el número de individuos de *Pinus*, *Quercus* y de especies latifoliadas. Asimismo, se contrastaron el diámetro, la altura y el área basal promedio de los árboles. Previo a ese análisis se probaron si los datos cumplían con los supuestos paramétricos como ajuste a la curva gaussiana y homocedasticidad. Para ello, se emplearon las pruebas Kolmogorov-Smirnov y Levene. Cuando los datos no cumplieron dichos supuestos fueron transformados con una base logarítmica. Las comparaciones *a posteriori* se hicieron con la prueba de Tukey $\alpha = 0.05$ (Zar, 1999).

number of individuals of *Pinus*, *Quercus* and broadleaf species. Furthermore, the average diameter, height and baseline height of the trees were contrasted. Previously to this analysis, compliance of the data with such parametric assumptions as adjustment to the Gaussian curve and homocedasticity was verified using the Kolmogorov-Smirnov and Levene tests. In those cases in which the data did not comply with these assumptions, they were transformed using a logarithmic basis. *A posteriori* comparisons were made using the Tukey test ($\alpha = 0.05$) (Zar, 1999).

The comparison between floral compositions was carried out using a classification analysis and non-metric multidimensional scaling (NMDS); in both analyses, a Bray-Curtis similarity matrix was utilized with data previously transformed with a square root. The classification analysis was performed with the method of farthest neighbor clustering to build the dendrogram and determine the most dissimilar groups, for which the SIMPROF test with 1 000 iterations and 999 permutations was also utilized to identify the cutting level of the dendrogram.

La comparación de la composición florística se efectuó con un análisis de clasificación y uno de escalonamiento multidimensional no métrico (NMDS), los cuales se llevaron a cabo con una matriz de similitud de Bray-Curtis con datos previamente transformados con una raíz cuadrada. El análisis de clasificación se ejecutó con el método de ligamiento del vecino más lejano para construir el dendrograma y determinar los grupos más disimiles, para lo cual también se usó la prueba SIMPROF con 1 000 iteraciones y 999 permutaciones para identificar el nivel de corte del dendrograma.

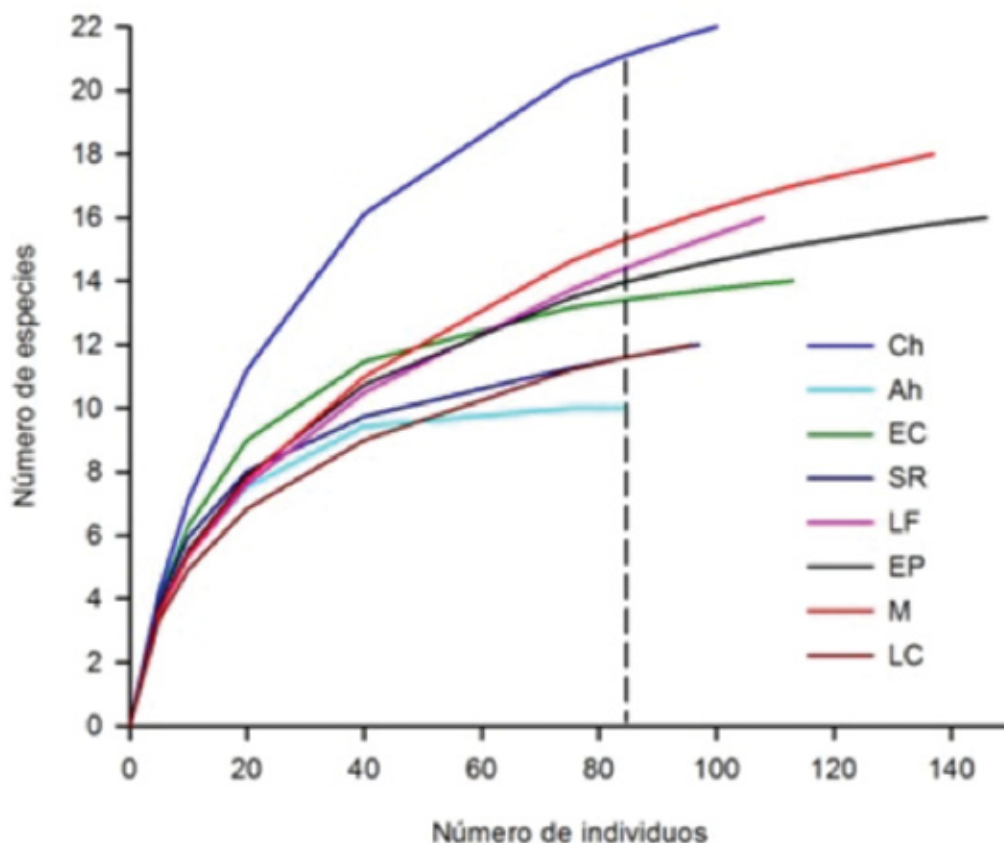
RESULTADOS

Las comunidades del bosque de galería estudiadas están rodeadas por bosques de pino encino en las cotas 1 876 a 2 185 msnm y se distribuyen a lo largo de una amplia red de drenaje por la Sierra de Quila. En la vertiente norte de la sierra se localizan los arroyos Chiquito, Ahogado y El Capulín, mientras que en la vertiente sur están los cauces de Santa Rosa-La Máquina, La Fragua, El Pozo y La Campana (Figura 1).

RESULTS

The studied gallery forest communities are surrounded by pine-oak forests at a range between 1 876 and 2 185 masl and are distributed along a wide network of drainage along Sierra de Quila. Chiquito, Ahogado and El Capulín creeks are located on the northward facing slope of the sierra, and the beds of Santa Rosa-La Máquina, La Fragua, El Pozo and La Campana, on the southward facing slope (Figure 1).

881 trees belonging to 35 species, 19 genera and 17 families were registered. The Fagaceae were the best represented family, with 10 species, followed by the Pinaceae family, with five, the Araliaceae and Rosaceae (with three species each), and the Theaceae (with two). 17 of the total taxa are part of the elements of the adjoining pine-oak forest; other 17 species occur preferentially in the gallery forest or also in remnants similar to the mountain cloud forest. Only *Cretaegus pubescens* C. Presl. is promoted for productive activities (Table 1). Besides, nine (27 %) of the species -e.g. *Chiococca pachyphylla* Wernham, *Aralia humilis*



A = Chiquito; B = La Campana; C = La Máquina; D = La Fragua; E = El Capulín; F = Ahogado; G = El Pozo.

Figura 2. Número de especies e individuos registrados en siete arroyos de la Sierra de Quila.
Figure 2. Number of registered species and individuals along seven creeks of Sierra de Quila.

Se registraron 881 árboles pertenecientes a 35 especies, 19 géneros y 17 familias. Fagaceae fue la mejor representada con 10 especies, seguida de la familia Pinaceae con cinco, Araliaceae y Rosaceae (tres cada una) y Theaceae (dos). Del total de taxa, 17 forman parte de elementos del bosque de pino encino adyacente, otras 17 especies son preferentes al bosque de galería o también de remanentes semejantes al bosque mesófilo de montaña. Solo *Crataegus pubescens* C. Presl. es promovida por actividades productivas (Cuadro 1). Además, nueve (27 %) de las especies se encontraron en una sola parcela y, por lo tanto, fueron únicas de un arroyo específico; por ejemplo, *Chiococca pachyphylla* Wernham, *Aralia humilis* Cav., *Rhamnus mucronata* Schldtl., *Oreopanax peltatus* Linden, *Oreopanax xalapensis* Decne. & Planch.

La estimación del IVI evidenció que los taxa con mayor importancia dentro de la estructura del bosque de galería, en todos los sitios muestreados, fueron *Alnus acuminata*, *Pinus douglasiana* Martínez, *Clethra hartwegii* Britton, *Salix bonplandiana*, *Prunus serotina* ssp. *capuli* (Cav.) McVaugh, *Quercus castanea* Née, *Styrax ramirezii* Greenm., *Quercus resinosa* Liebm. y *Quercus obtusata* Bonpl. (Cuadro 1).

Los resultados de las rarefacciones basadas en individuos mostraron que al considerar una densidad estandarizada de 84 individuos, la menor abundancia registrada correspondió al sitio El Ahogado, la riqueza de especies presentó un patrón similar entre los sitios (figuras 2 y 3). Por lo que se presume que la diferencia en el esfuerzo de muestreo no tuvo un efecto significativo en el registro de la riqueza observada. Por lo tanto, el sitio denominado Chiquito registró la mayor riqueza total con 22 especies, seguida por La Máquina con 18, La Fragua y El Pozo con 16, y El Capulín con 14, que tuvieron un número de taxa moderado. En cambio, los sitios con los valores más bajos de riqueza específica resultaron ser Santa Rosa y La Campana con 12, y El Ahogado, con 10. Por otro lado, los sitios con la mayor densidad total de individuos fueron El Pozo y La Máquina (Figura 3).

Cav., *Rhamnus mucronata* Schldtl., *Oreopanax peltatus* Linden and *Oreopanax xalapensis* Decne. & Planch- were found in a single plot and therefore were unique to a specific creek.

The estimate of the IV showed that the taxa with the highest importance within the structure of the gallery forest in all the sampled sites were *Alnus acuminata*, *Pinus douglasiana* Martínez, *Clethra hartwegii* Britton, *Salix bonplandiana*, *Prunus serotina* ssp. *capuli* (Cav.) McVaugh, *Quercus castanea* Née, *Styrax ramirezii* Greenm., *Quercus resinosa* Liebm. and *Quercus obtusata* Bonpl. (Table 1).

The outcomes of individual-based rarefactions showed that, for a standardized density of 84 individuals, the lowest abundance was registered for the *El Ahogado* site; the species richness pattern was similar between the sites (Figures 2 and 3). For this reason, it is assumed that the difference in the sampling effort had no significant effect on the record of the observed richness. Therefore, the site denominated *Chiquito* registered the highest total richness with 22 species, followed by *La Máquina*, with 16; *La Fragua* and *El Pozo*, with 16, and *El Capulín*, with 14, which had a moderate number of taxa. Conversely, the sites with the lowest specific richness values were *Santa Rosa* and *La Campana*, with 12, and *El Ahogado*, with 10. On the other hand, the sites with the highest total density of individuals were *El Pozo* and *La Máquina* (Figure 3).

The results of the analysis of the biological and ecological diversity show that the sites had similar structural attributes without significant differences in terms of the average values of species richness, density, diversity, dominance and equity (Figure 4A-E). Likewise, the number of individuals of *Pinus* and *Quercus* across the sites was not statistically different (Figure 4F-G). In contrast, there were significant differences for the density of broadleaf species between sites ($F= 2.96$, $p < 0.025$). The *Chiquito*, *El Capulín* and *Santa Rosa* creeks registered the lowest density, while *El Pozo* had the highest density (Figure 3H). The comparisons made in the estimates of tree diameters, height and baseline area showed that there are non significant differences between sites (Figure 4I-K).

The *Chiquito* creek had the greatest species richness (10.25 ± 1.48), and *La Fragua* had the lowest (Figure 4A). As for density of individuals, *El Pozo* (10.25 ± 1.48) had the highest values of all sites (Figure 4B). The highest value for diversity was estimated for the *Chiquito* creek (Figure 4C), based on the Shannon index ($H' = 2.06 \pm 0.18$) and the Simson dominance index ($D = 0.17 \pm 0.04$) (Figure 4D); in contrast, *La Fragua* turned out to be the least diverse ($H' = 1.37 \pm 0.46$ and $D = 0.32 \pm 0.11$). *La Campana* ($E = 0.76 \pm 0.14$) and *La Fragua* ($E = 0.80 \pm 0.05$) had the lowest equity values (Figure 4E).



Cuadro 1. Listado de especies registradas en el bosque de galería y sus valores porcentuales para la estimación del índice de importancia ecológica (IVI) por especie.

Table 1. List of species registered in the gallery forest and their percentage values for the estimation of the ecological Importance Index (IV) by species.

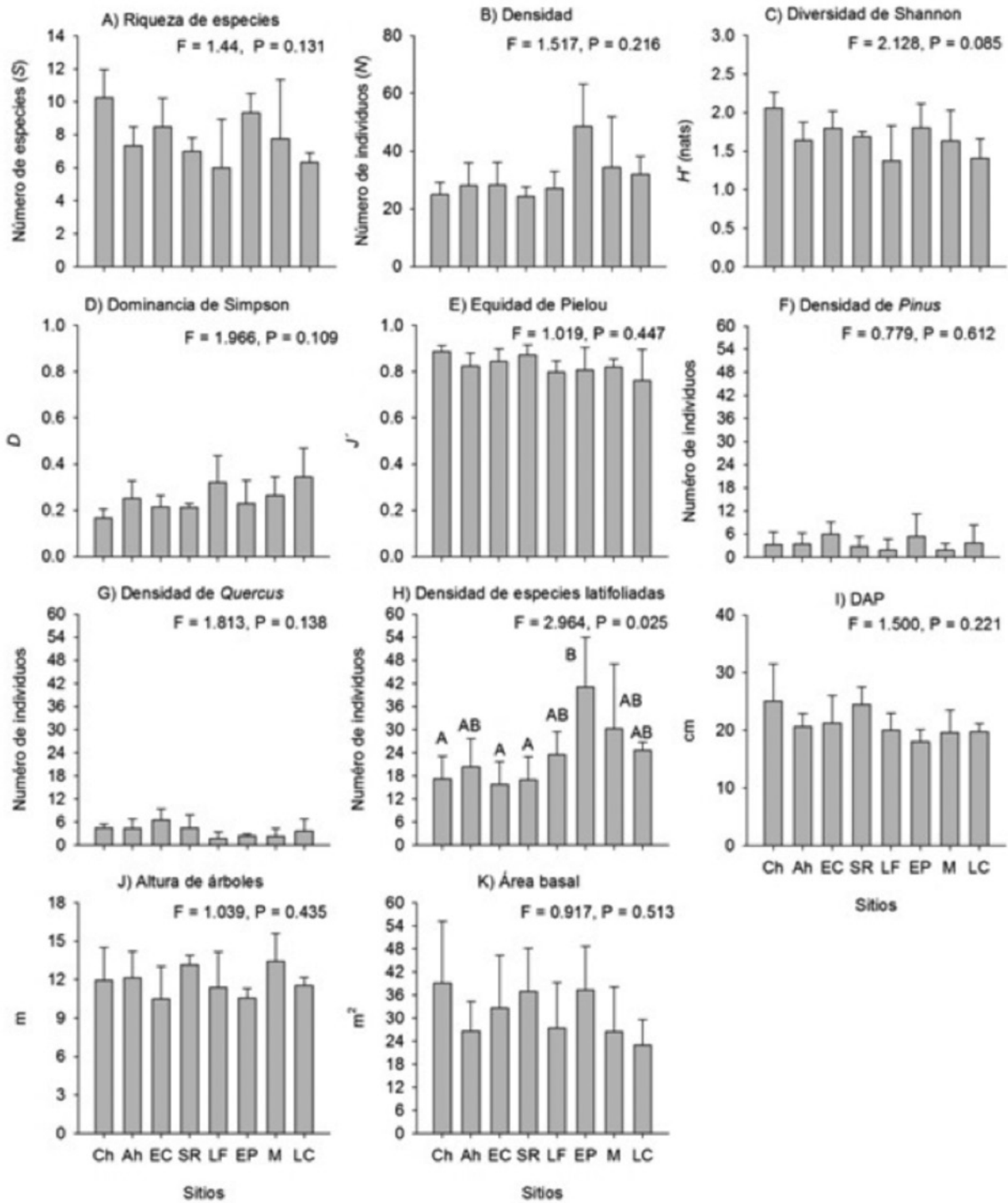
Especies	Tipo de vegetación				A%	D%	F%	IVI
	BPQ	BQ	BG-Te	BG-Tr				
<i>Alnus acuminata</i> ssp. <i>arguta</i> (Schlecht.) Furlow			*	*	27.98	24.69	12.55	65.22
<i>Pinus douglasiana</i> Martínez	*				7.65	18.17	7.36	33.18
<i>Clethra hartwegii</i> Britton			*		12.79	6.43	7.79	27.01
<i>Salix bonplandiana</i> Kunth			*	*	7.87	4.65	8.23	20.75
<i>Prunus serotina</i> ssp. <i>capuli</i> (Cav.) McVaugh			*		6.01	2.44	6.49	14.94
<i>Quercus castanea</i> Née	*				3.28	6.00	4.76	14.04
<i>Styrax ramirezii</i> Greenm.			*		8.20	2.76	3.03	13.99
<i>Quercus resinosa</i> Liebm.	*	*		*	4.59	4.87	4.33	13.79
<i>Quercus obtusata</i> H. & B.	*				2.62	3.18	5.63	11.43
<i>Pinus devoniana</i> Lindl.	*				1.86	5.54	3.90	11.30
<i>Quercus candicans</i> Née	*		*		0.87	5.01	3.03	8.92
<i>Pinus oocarpa</i> Scheide var. <i>oocarpa</i>	*				1.86	3.88	3.03	8.77
<i>Quercus laeta</i> Liebm.		*			1.20	3.18	2.60	6.98
<i>Quercus crassifolia</i> H. & B.	*				0.98	2.46	2.60	6.05
<i>Phoebe psychotrioides</i> Mez			*		1.97	0.96	3.03	5.96
<i>Arbutus xalapensis</i> HBK.	*				0.98	1.23	3.46	5.68
<i>Xylosma velutinum</i> Triana & Karst				*	1.53	0.66	2.16	4.35
<i>Ilex toluicana</i> Hemsl.			*		0.98	0.57	1.73	3.28
<i>Prunus rhamnoides</i> Koehne			*		1.20	0.24	1.73	3.18
<i>Ternstroemia lineata</i> DC.			*		0.87	0.19	1.73	2.80
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.			*		0.77	0.57	1.30	2.64
<i>Cleyera integrifolia</i> Choisy			*		0.66	0.19	1.73	2.58
<i>Pinus lumholtzii</i> Rob. & Fern.	*				0.33	0.21	1.30	1.84
<i>Saurauia</i> sp.			*		0.77	0.09	0.87	1.72
<i>Quercus rugosa</i> Née	*				0.33	0.18	0.87	1.38
<i>Pinus leiophylla</i> Schtdl. & Cham.	*				0.33	0.13	0.87	1.32
<i>Quercus laurina</i> Bonpl.			*		0.22	0.64	0.43	1.29
<i>Quercus viminea</i> Trel.	*				0.22	0.53	0.43	1.18
<i>Crataegus pubescens</i> C. Presl.			*		0.33	0.12	0.43	0.88
<i>Chiococca pachyphylla</i> Wernham			*		0.22	0.08	0.43	0.73
<i>Quercus magnoliifolia</i> Née	*	*			0.11	0.07	0.43	0.61
<i>Aralia humilis</i> Cav.				*	0.11	0.03	0.43	0.57
<i>Rhamnus mucronata</i> Schtdl.			*		0.11	0.02	0.43	0.56
<i>Oreopanax peltatus</i> Linden				*	0.11	0.01	0.43	0.55
<i>Oreopanax xalapensis</i> Decne. & Planch.			*	*	0.11	0.01	0.43	0.55
Total					100	100	100	300

La distribución por tipos de vegetación se basó en Guerrero y López (1997).

BPQ = bosque de pino encino; BQ = bosque de encino; BG-Te = bosque de galería templado (incluye especies preferentes de remanentes semejantes a bosque mesófilo de montaña); BG-Tr = bosque de galería tropical. A% = abundancia relativa; D% = dominancia relativa (área basal); F% = frecuencia relativa.

The distribution by vegetation types was based on Guerrero and López (1997).

PQF = pine-oak forest; QF = oak forest; Te-GF = temperate gallery forest (includes preferential species of remnants that are similar to mountain cloud forests); Tr-GF = tropical gallery forest; A% = relative abundance; D% = relative dominance (baseline area); F% = relative frequency.



La línea segmentada representa una muestra estandarizada de individuos entre los sitios.

The segmented line represents a standardized sample of individuals across the sites.

Ch = Chiquito; Ah = Ahogado; EC = El Capulín; SR = Santa Rosa; LF = La Fragua; EP = El Pozo; M = La Máquina; LC = La Campana.

Ch = Chiquito; Ah = Ahogado; EC = El Capulín; SR = Santa Rosa; LF = La Fragua; EP = El Pozo; M = La Máquina; LC = La Campana.

Figura 3. Rarefacción basada en individuos de la riqueza y densidad total de especies de árboles por sitios de muestreo en Sierra de Quila.

Figure 3. Individual-based rarefaction of the tree richness by sampling sites in Sierra de Quila.

Los resultados del análisis de la diversidad biológica y ecológica evidenciaron que los sitios tuvieron atributos estructurales similares y sin diferencias significativas, en términos de los valores promedio de la riqueza, densidad, diversidad, dominancia y equidad de especies (Figura 4A-E). De igual manera, el número de individuos de *Pinus* y *Quercus* entre los sitios no fue estadísticamente diferente (Figura 4F-G). En contraste, si existieron diferencias significativas con la densidad de especies latifoliadas entre sitios ($F = 2.96$, $p < 0.025$). Los arroyos Chiquito, El Capulín y Santa Rosa registraron el menor número de ellas, en tanto que la mayor densidad correspondió a El Pozo (Figura 3H). Las comparaciones realizadas en las estimaciones de diámetros, altura de los árboles y área basal indicaron que no hay diferencias significativas entre sitios (Figura 4I-K).

El arroyo Chiquito tuvo la mayor riqueza de especies (10.25 ± 1.48) y La Fragua la menor (6.0 ± 2.94) (Figura 4A). En cuanto a densidad de individuos, El Pozo (48.7 ± 14.6) fue superior a todos los sitios (Figura 4B). El valor más alto de diversidad se estimó en el arroyo Chiquito (Figura 4C), conforme al índice de Shannon ($H' = 2.06 \pm 0.18$) y al índice de dominancia de Simpson ($D = 0.17 \pm 0.04$) (Figura 4D); en contraste, La Fragua resultó menos diverso ($H' = 1.37 \pm 0.46$ y $D = 0.32 \pm 0.11$). La Campana ($E = 0.76 \pm 0.14$) y La Fragua ($E = 0.80 \pm 0.05$) presentaron los registros más bajos de equidad (Figura 4E).

Los datos más altos en diámetros y áreas basales (Figura 4I-K) estuvieron en Chiquito (25.1 cm y $39.2 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) y Santa Rosa (24.7 cm y $37 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$); mientras que las alturas de los árboles varió de 8.4 a 15 m, con las alturas promedio más grandes en La Máquina (13.4 m) y Santa Rosa (13.2 m) (Figura 4J).

El análisis de agrupamiento y el NMDS evidenciaron la formación de un grupo (1) y una entidad aislada (2) con 40 % de similitud (Figura 4). Este resultado fue corroborado por la prueba SIMPROF. La entidad aislada correspondió al sitio La Máquina con especies exclusivas como *Saurauia* sp., *Quercus viminea* y *Oreopanax peltatus*. En cambio, el grupo 1 asoció a todos los sitios de muestreo. *Styrax ramirezii*, *Clethra hartwegii*, *Salix bonplandiana*, *Ternstroemia lineata*, *Fraxinus uhdei* y *Alnus acuminata* fueron los taxa que más favorecieron la disimilitud con el grupo 1 y La Máquina. Por su parte, el grupo 1 se dividió en dos subgrupos a 50 % de similitud: el 1a y el 1b. El primero se integró con los sitios El Pozo, La Campana, Chiquito y El Ahogado (*Quercus laurina*, *Chiococca pachyphylla*, *Aralia humilis*, *Oreopanax xalapensis* fueron exclusivas a estos); mientras que en el 1b se formó con Santa Rosa, El Capulín y La Fragua, en el último se identificaron como únicas *Crataegus pubescens* y *Rhamnus mucronata* (Figura 5). Por lo tanto, las especies con bajas frecuencias contribuyeron a las diferencias en la composición observada entre arroyos.

The largest diameters and baseline areas (Figure 4I-K) were found at Chiquito (25.1 cm and $39.2 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) and Santa Rosa (24.7 cm and $37 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$); while the tree heights varied between 8.4 and 15 m, with the largest heights in La Máquina (13.4 m) and Santa Rosa (13.2 m) (Figure 4J).

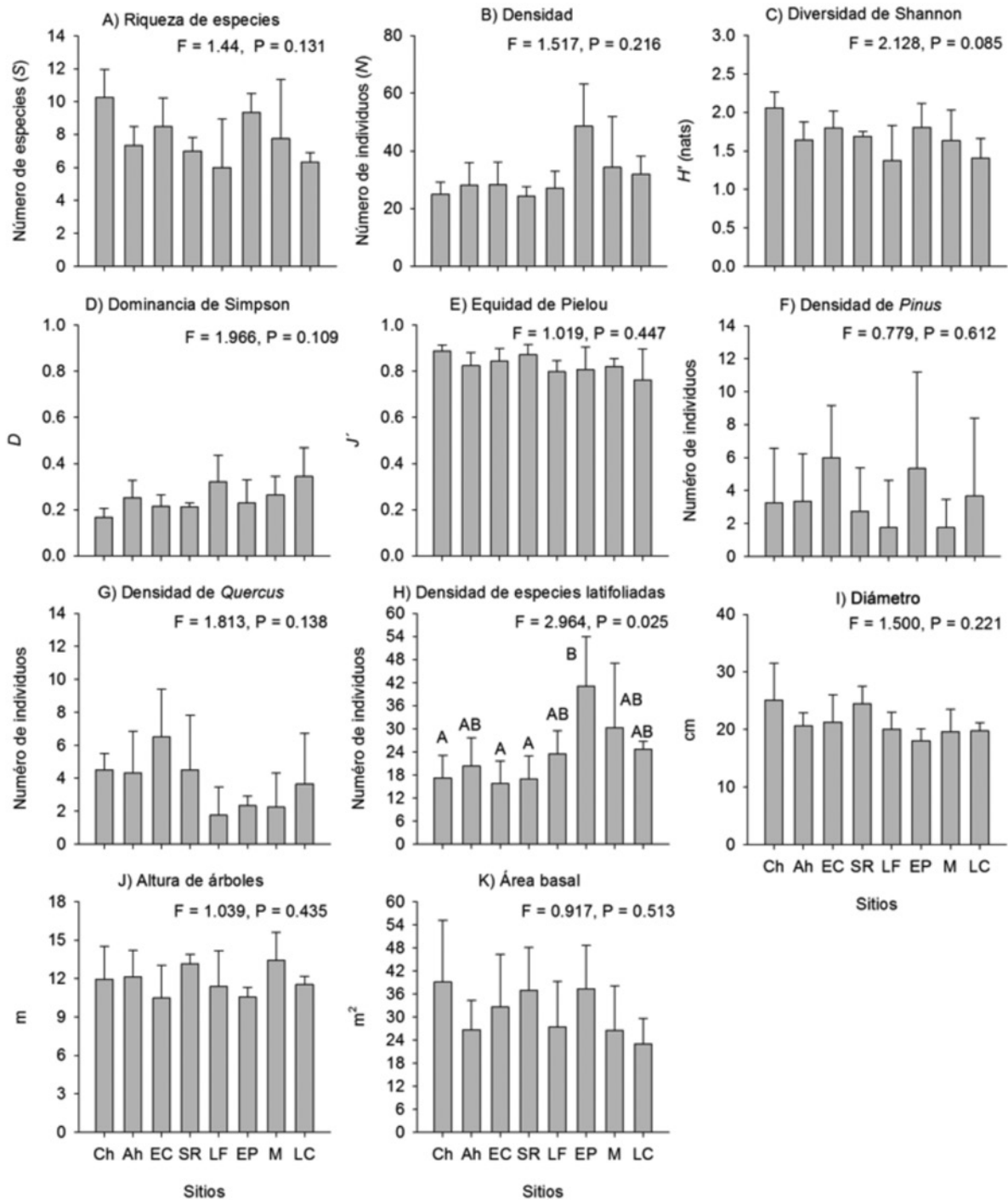
The grouping analysis and the NMDS evidenced the formation of a group (1) and an isolated entity (2) with 40 % of similarity (Figure 4). This result was corroborated using the SIMPROF test. The isolated entity corresponded to the La Máquina site with exclusive species like *Saurauia* sp., *Quercus viminea* and *Oreopanax peltatus*. Conversely, group 1 was associated to all the sampling sites. *Styrax ramirezii*, *Clethra hartwegii*, *Salix bonplandiana*, *Ternstroemia lineata*, *Fraxinus uhdei* and *Alnus acuminata* were the taxa that most favored the dissimilarity with group 1 and La Máquina. Group 1 was divided into two subgroups with 50 % of similarity: 1a and 1b. The former was made up of the sites El Pozo, La Campana, Chiquito and El Ahogado (*Quercus laurina*, *Chiococca pachyphylla*, *Aralia humilis*, *Oreopanax xalapensis* were exclusive of these); while the 1b group comprised Santa Rosa, El Capulín and La Fragua; the species *Crataegus pubescens* and *Rhamnus mucronata* were identified as exclusive of these (Figure 5). Therefore, the species with low frequencies contributed to the differences in composition observed between creeks.

The average abundance of the species turned out to be different both between creeks with north-south slope (PERMANOVA, $F = 2.45$, $p = 0.0001$) and between site altitudes (PERMANOVA, $F = 1.71$, $p = 0.004$). The number of individuals per plot ranged between 14 (M2) and 59 (EP3), for an average of 30 ± 11 trees. The average diameter of the trees varied from 14.0 (M1) to 32.5 cm (Ch4), and the average height, from 7.5 (EC1) to 15.0 m (M4). The results for the total baseline area per plot were 13.2 (EC1) to $50.6 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (Ch3).

DISCUSSION

In terms of structural composition, the dominant species -in order of ecological importance- were *Alnus acuminata* ssp. *arguta* (present in all the sites), *Clethra hartwegii*, *Pinus devoniana*, *Prunus serotina*, *Styrax ramirezii* and *Salix bonplandiana*. This is due to their location in the altitudinal range with mountain ecosystems in subhumid temperate ecological areas (Rzedowski, 1978; Challenger, 1988).

Of a total of 35 registered taxa, 17 occur preferably in the gallery forest; another 17 are part of the pine-oak forest, and one is cultivated. 46 tree species are registered as characteristic elements of this type of vegetation in the whole altitude range (1 300 - 2 100 m) of Sierra de Quila (Guerrero and López, 1997). Seven taxa in particular were records common to the gallery forest between the study of Guerrero and López (1997) and the present study: *Salix bonplandiana* and *Alnus acuminata*,



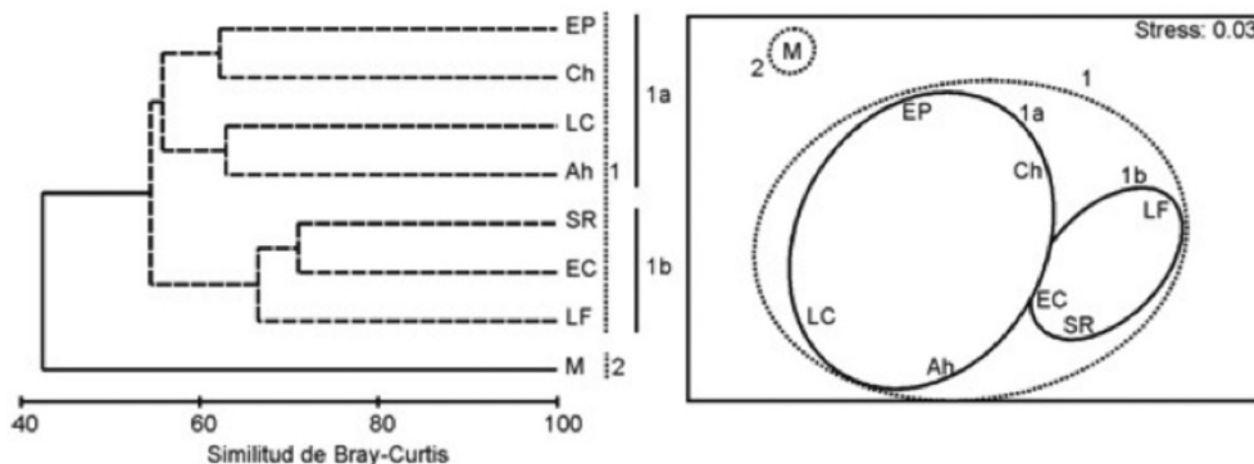
Los resultados de las ANDEVA y de las pruebas Tukey paramétrico (por grupos de letras) se muestran dentro de cada figura. Los códigos de los sitios corresponden los utilizados en la Figura 3.

The results of the ANOVAs and of the parametric Tukey tests (by groups of letters) are shown within each figure. The codes of the sites are the same that were used in Figure 3.

Figura 4. Comparación de índices de diversidad biológica y ecológica, así como de otros atributos de la estructura del bosque de galería en los sitios de muestreo en Sierra de Quila.

Figure 4. Comparison between biological and ecological indices as well as of other structure attributes of the gallery forest in the Sierra de Quila sampling sites.

La abundancia promedio de las especies resultó diferente tanto entre los arroyos con vertiente norte y sur (PERMANOVA, $F = 2.45$, $p = 0.0001$), como entre la altitud de los sitios (PERMANOVA, $F = 1.71$, $p = 0.0004$). El número de individuos por parcela fluctuó de 14 (M2) a 59 (EP3), para un promedio de 30 ± 11 árboles. El diámetro promedio de los árboles varió de 14.0 (M1) a 32.5 cm (Ch4) y la altura promedio de 7.5 (EC1) a 15.0 m (M4). Con respecto a los resultados para el área basal total por parcela los registros fueron de 13.2 (EC1) hasta $50.6 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (Ch3).



Los códigos de los sitios corresponden los utilizados en la Figura 2.
The codes for the sites are the same as those used in Figure 2.

Figura 5. Análisis de agrupamiento y análisis de escalonamiento multidimensional no métrico para evaluar la similitud de especies y abundancia de árboles entre sitios.

Figure 5. Grouping analysis and non-metric multidimensional scaling analysis for the evaluation of species similarities and

DISCUSIÓN

En términos de composición estructural, las especies dominantes por sus mayores valores de importancia ecológica fueron *Alnus acuminata* ssp. *arguta* (presente en todos los sitios), *Clethra hartwegii*, *Pinus devoniana*, *Prunus serotina*, *Styrax ramirezii* y *Salix bonplandiana*. Lo cual responde a su localización en el gradiente altitudinal con ecosistemas de zonas ecológicas templado subhúmedas de montaña (Rzedowski, 1978; Challenger, 1988).

Del total de 35 taxa registrados, 17 son preferentes al bosque de galería y otras 17 forman parte del bosque de pino encino y una es cultivada. En la Sierra de Quila se consignan como elementos característicos de este tipo de vegetación en todo el gradiente altitudinal (1 300 - 2 100 m) a 46 especies arbóreas (Guerrero y López, 1997). En particular, fueron siete los taxa como registros comunes al bosque de galería entre el estudio de Guerrero y López (1997) y el que se documenta, se señalan a *Salix bonplandiana* y *Alnus acuminata* con distribución en todo el gradiente; *Phoebe psychotrioides* y *Xylosma velutinum*

distributed throughout the whole altitude range; *Phoebe psychotrioides* and *Xylosma velutinum*, occurring in the tropical range, and *Prunus rhamnoides*, *Prunus serotina* and *Rhamnus mucronata*, in the temperate range. On the other hand, unlike the present study, Guerrero and López (1997) identified *Clethra hartwegii*, *Cleyera integrifolia*, *Styrax argenteus*, *Ternstroemia lineata* and *Fraxinus uhdei* as elements of the remnants of the mountain cloud forest (1 950 to 2 300 m).

Four species stand out in the red list of the cloudy forest trees of Mexico (González *et al.*, 2011) for their conservation status: *Ocotea psychotrioides* (synonymy: *Phoebe psychotrioides* (Kunth) Mez) is endangered; *Prunus rhamnoides*, threatened, and *Oreopanax peltatus* and *Oreopanax xalapensis*, nearly threatened.

The sampled area was 1.45 ha (29 plots), with a total richness of 35 species that range between 10 and 22 across creeks (six sites between 10 and 16, and the two sites with higher richness, between 18 and 22), with a dominance of $D = 0.10$ a 0.24 and a diversity of $H' = 1.81$ a 2.66 . Few studies on the structure of the gallery forest have been carried out in Mexico; furthermore, comparing the results obtained by those studies with those of the present research is complicated due to differences in the sampling method. In this regard, the values for richness and diversity in Sierra de Quila were: (a) similar to those obtained by Treviño *et al.* (2001) in the central-southern region of Nuevo León, where they registered a diversity of $H' = 1.74$ y 2.67 for two rivers with 16 and 21 species, and larger specimens with a DBH of 2.5 cm on a total sampling surface of 1.15 ha; (b) below those registered by Camacho *et al.* (2006) along

referidos en la cota tropical; y *Prunus rhamnoides*, *Prunus serotina* y *Rhamnus mucronata* en la cota templada; mientras que *Clethra hartwegii*, *Cleyera integrifolia*, *Styrax argenteus*, *Ternstroemia lineata* y *Fraxinus uhdei* a diferencia del presente estudio, Guerrero y López (1997) los identificaron como elementos propios de los remanentes de bosque mesófilo de montaña (1 950 a 2 300 m).

Destaca la presencia de cuatro especies en la lista roja de los árboles de bosques nubosos de México (González *et al.*, 2011), que fueron clasificadas con estatus de conservación, en peligro: *Ocotea psychotrioides* (sinonimia: *Phoebe psychotrioides* (Kunth) Mez); amenazada: *Prunus rhamnoides*; casi amenazada: *Oreopanax peltatus* y *Oreopanax xalapensis*.

El área muestreada fue de 1.45 ha (29 parcelas), con una riqueza total de 35 especies que varía entre arroyos de 10 a 22 (seis sitios entre 10 a 16 y los dos sitios con mayor riqueza de 18 a 22), con una dominancia de $D = 0.10$ a 0.24 y una diversidad de $H' = 1.81$ a 2.66 . Existen pocos trabajos realizados en México sobre la estructura del bosque de galería, además es complicado comparar los resultados obtenidos con los presentados en la actual investigación debido a diferencias en el método de muestreo. Al respecto, los valores riqueza y diversidad de Sierra de Quila fueron: (a) similares a los obtenidos por Treviño *et al.* (2001) en la región centro sur de Nuevo León, quienes registraron para dos ríos 16 y 21 especies, una diversidad $H' = 1.74$ y 2.67 , individuos mayores para 2.5 cm DAP en una superficie total de muestreo de 1.15 ha.; (b) es menor a lo registrado por Camacho *et al.* (2006) en el río Tembembe, Morelos con 74 especies (≥ 1 cm DAP en 0.23 ha); (c) es mayor a los valores de Scott *et al.* (2009) en el río Mayo en Sonora con 31 especies (≥ 5 cm DAP); (d) es menor a lo consignado por Méndez *et al.* (2014) en el río Duero en Michoacán con 43 especies (0.1ha, ≥ 2.5 DAP); (e) semejante a lo observado por Lyon y Gross (2005) en una cuenca costera del noreste de Estados Unidos de América, quienes identificaron en tres corredores riparios 23, 33 y 33 especies, con una diversidad $H' = 0.93$, 1.11 y 1.38 , respectivamente (≥ 1 cm DAP en 1.44 ha). Sin embargo en todos los casos se contabilizaron individuos con menor diámetro al consignado en el presente estudio.

Los valores de riqueza y diversidad; así como los parámetros del arbolado (densidad, altura, área basal, número de individuos de los árboles de *Pinus* y *Quercus*) entre arroyos fueron muy similares entre sí. Información que coincide con Camacho *et al.* (2006), quienes no señalan diferencias en la riqueza, diversidad y densidad de la vegetación ribereña de la porción 1 650-1 800 msnm del río Tembembe, Morelos. Lo anterior concuerda con los resultados de la Sierra de Quila, porque los índices de diversidad entre arroyos no tuvieron grandes diferencias, en parte porque la riqueza de especies fue similar y también porque registraron alta densidad de individuos de una o dos especies (*Alnus acuminata*, *Salix bonplandiana* o

the Tembembe river, in Morelos, with 74 species (≥ 1 cm DBH in 0.23 ha); (c) above those registered by Scott *et al.* (2009) along the Mayo river in Sonora, with 31 species (≥ 5 cm DBH); (d) below those recorded by Méndez *et al.* (2014) along the Duero river in Michoacán, with 43 species (0.1 ha, ≥ 2.5 DBH); (e) similar to those observed by Lyon and Gross (2005) in a coast basin in the northeast of the United States of America, where they identified 23, 33 and 33 species in three riparian corridors, with a diversity of $H' = 0.93$, 1.11 and 1.38 , respectively (≥ 1 cm DBH in 1.44 ha). However, in all cases, specimens with a smaller diameter than that registered in this study were taken into account.

The values for richness and diversity and the woodland parameters (density, height, baseline area, number of specimens of *Pinus* and *Quercus* trees) were very similar between creeks. This information coincides with the findings of Camacho *et al.* (2006), who register no differences in richness, diversity or density in the riparian vegetation within the range of 1 650 -1 800 masl of the Tembembe river in Morelos state. This agrees with the results obtained for Sierra de Quila, where the diversity indexes showed no big differences across creeks, partly because the richness of species was similar, and also because they registered a high density of individuals of one or two species (*Alnus acuminata*, *Salix bonplandiana* or *Styrax ramirezii*), which contributes to homogenize the values of the indexes. Lyon and Gross (2005) did determine differences between the species richness across riverbeds in three riparian corridors of the coast plains of Massachusetts and New Hampshire; however, these were not significant between species groups, because many of the tree elements were common to the riparian corridors.

The baseline area estimated in the present study ranges between 13.2 and 50.6 m² ha⁻¹. In various studies which do not include the gallery forest, the baseline in temperate forests has been documented to be larger than in dry tropical forests (Camacho *et al.*, 2006). For instance, Santiago *et al.* (2009) estimated an average baseline area of 52.4 m² ha⁻¹ in a mesophytic forest site (1 850 masl), and of 35.6 m² ha⁻¹ in a pine-oak site (2 100 masl) in Las Joyas, Manantlán, Jalisco, while Camacho *et al.* (2006) registered an average baseline area of 108.6 m² ha⁻¹ in a gallery forest located at an altitude range between 1 650 and 1 800 m in Morelos. On the other hand, Zacarías *et al.* (2011) cite 17.8 m² ha⁻¹ for a deciduous tropical forest on the El Águila mountain in Michoacán. Quantitative studies of riparian communities in Mexico are still scarce; for this reason, it is not possible to distinguish whether there is a tendency in this type of communities (Camacho *et al.*, 2006).

Based on the floral similarity analyses, two sets and two subgroups of forests with 40 % similarity between all the plots were distinguished (Figure 5); this may be due to the existence of significant differences in the average abundance of the species, both between the creeks with north-south slope ($p = 0.0001$), the

Styrax ramirezii), lo que contribuye a homogenizar los valores de los índices. Lyon y Gross (2005) si determinaron diferencias en la riqueza de especies entre cauces en tres corredores riparios de las planicies costeras de Massachusetts y New Hampshire, sin embargo estas no fueron significativas entre ensambles de especies, debido a que muchos de los elementos arbóreos eran comunes en los corredores ribereños.

Los valores de área basal obtenidos en el presente estudio varían de 13.2 a 50.6 m² ha⁻¹. En diversos trabajos (que no incluyen bosque de galería) se ha documentado que el área basal en bosques templados suele ser mayor que en bosques tropicales secos (Camacho *et al.*, 2006). Por ejemplo, Santiago *et al.* (2009) estimaron un área basal promedio de 52.4 m² ha⁻¹ en un sitio de bosque mesófilo (1 850 msnm) y de 35.6 m² ha⁻¹ en un sitio de bosque de pino-encino (2 100 msnm) en Las Joyas, Manantlán, Jalisco; mientras que Camacho *et al.* (2006) consignaron un área basal promedio de 108.6 m² ha⁻¹ en un bosque de galería en la cota altitudinal entre 1 650 - 1 800 m en Morelos; en contraste Zacarías *et al.* (2011) citan 17.8 m² ha⁻¹ para un bosque tropical caducifolio del cerro El Águila, Michoacán. Al respecto, son aún escasos los estudios cuantitativos de comunidades ribereñas en México, razón por la cual no es factible distinguir si hay una tendencia en este tipo de comunidades (Camacho *et al.*, 2006).

Con base en los análisis de similitud florística se distinguieron dos conjuntos y dos subgrupos de bosques con 40 % de semejanza entre todas las parcelas (Figura 5), lo cual puede deberse a que existen diferencias significativas en la abundancia promedio de las especies, tanto entre los arroyos con vertiente norte y sur ($p = 0.0001$), la altitud entre los sitios ($p = 0.004$), pese a que el gradiente de estudio no es mayor a 325 m (1 876 - 2 200 msnm), y la densidad de especies latifoliadas ($p = 0.025$). Esas diferencias se señalan a grandes rasgos por las características de la topografía, cañadas, laderas protegidas o exposición al norte, cuyas condiciones de humedad son más acentuadas o favorecidas por la orientación y el declive de la pendiente, que ejercen mayor influencia en la distribución de la vegetación (Rzedowski, 1978; Naiman y Décamps, 1997).

Un conjunto está conformado por sitios de un solo arroyo, La Máquina, que se separa florísticamente del resto de los arroyos. *Alnus acuminata*, *Clethra hartwegii*, *Fraxinus uhdei*, *Salix bonplandiana*, *Styrax ramirezii* y *Ternstroemia lineata* fueron las que más favorecieron la disimilitud con el grupo 1 y La Máquina. Estas latifoliadas tienen amplia tolerancia y capacidad para su establecimiento en áreas abiertas o de menor cobertura del dosel, como especies primordialmente de afinidad templada, en particular *Alnus acuminata* es considerado un taxón pionero (Rzedowski, 1978). El segundo conjunto de bosques, a su vez, se dividió en dos subgrupos similares entre sí en 50 %, del cual la disimilitud la marca principalmente la presencia de encinos y pinos: *Pinus douglasiana*, *Quercus castanea*, *Quercus obtusata*,

altitude between the sites ($p = 0.004$), despite the fact that the study gradient is no larger than 325 m (1 876 - 2 200 masl), and the density of broadleaf species ($p = 0.025$). These differences are broadly indicated by the characteristics of the topography, gullies, protected mountainside or northern exposure, where humidity levels are higher or favored by the orientation and the slope gradient, which exert a larger influence on the distribution of the vegetation (Rzedowski, 1978; Naiman and Décamps, 1997).

A group is formed by sites with a single creek, La Máquina, which is floristically separated from the rest of the creeks. *Alnus acuminata*, *Clethra hartwegii*, *Fraxinus uhdei*, *Salix bonplandiana*, *Styrax ramirezii* and *Ternstroemia lineata* were the species that most favored the dissimilarity with respect to group 1 and La Máquina. These broadleaves have a wide tolerance and a large capacity to be established in open areas or in areas with a smaller canopy cover, as species primordially of temperate affinity; particularly *Alnus acuminata* is considered a pioneer taxon (Rzedowski, 1978). In turn, the second group of forests was divided into two groups with 50 % similarity; the dissimilarity is marked primarily by the presence of oak and pine trees of the species *Pinus douglasiana*, *Quercus castanea*, *Quercus obtusata*, *Quercus resinosa*, *Alnus acuminata*, *Styrax ramirezii* and *Xylosma velutinum*.

In a study of the gallery forests of northeastern Mexico, Canizales *et al.* (2010) showed that tourist activities have no effect on the species richness but do modify the diversity and vertical structure of the tree stratum. In this context, it is important to stress the need to protect the Santa Rosa and La Fragua creeks (which have the lowest values for specific richness and diversity indexes) (Figure 3A-C), since they are two of the most visited sites by the public and which have the highest fragility potential, with the consequences on water pollution due to waste accumulated at the banks of the creek beds.

CONCLUSIONS

Alnus acuminata ssp. *arguta*, *Clethra hartwegii*, *Salix bonplandiana*, *Prunus serotina* ssp. *capuli*, *Styrax ramirezii*, *Phoebe psychotrioides*, and *Prunus rhamnoides* are dominant species exclusive of the temperate gallery forest in the central portion of Sierra de Quila (1 876 to 2 200 m) and amount to 66 % of the abundance of specimens registered in this study. Low frequency and low abundance taxa (27 %) such as *Chiococca pachyphylla*, *Aralia humilis*, *Rhamnus mucronata*, *Saurauia* sp., *Oreopanax peltatus*, *Oreopanax xalapensis*, *Quercus viminea* and *Quercus laurina* are unique to one or two creeks.

As a whole, 17 species occur preferably in the gallery forest or also in remnants resembling the mountain cloud forest, partly because several of them are distributed in humid sites in the deep ravines with a northward slope or have their altitudinal

Quercus resinosa, *Alnus acuminata*, *Styrax ramirezii* y *Xylosma velutinum*.

En un estudio en los bosques de galería en el noreste de México documentado por Canizales *et al.* (2010), demostraron que las actividades turísticas no tienen efecto sobre la riqueza de especies, pero sí modifican la diversidad y la estructura vertical del estrato arbóreo. En este contexto, es importante resaltar la protección de los arroyos Santa Rosa y La Fragua (con los menores valores de riqueza específica y de índices de diversidad) (Figura 3A-C), por ser unas de las zonas con mayor visita pública y con más alto potencial de fragilidad, con su consecuente efecto en la contaminación del agua por residuos en la ribera de los cauces.

CONCLUSIONES

El bosque de galería templado en la porción central de la Sierra de Quila (1 876 a 2 200 m), tiene por especies dominantes exclusivas o preferentes a *Alnus acuminata* ssp. *arguta*, *Clethra hartwegii*, *Salix bonplandiana*, *Prunus serotina* ssp. *capuli*, *Styrax ramirezii*, *Phoebe psychotrioides*, *Prunus rhamnoides*, que contabilizan 66 % de la abundancia de los individuos registrados en este estudio. Taxa de baja frecuencia y abundancia (27 %), son únicas de uno o dos arroyos, por ejemplo, *Chiococca pachyphylla*, *Aralia humilis*, *Rhamnus mucronata*, *Sauraruia* sp., *Oreopanax peltatus*, *Oreopanax xalapensis*, *Quercus viminea* y *Quercus laurina*.

En conjunto 17 especies son preferentes al bosque de galería o también de remanentes semejantes a bosque mesófilo de montaña, debido en parte a que varias de ellas son elementos que se distribuyen en sitios húmedos en las barrancas profundas con vertiente norte, o bien tienen su límite de distribución altitudinal cercano a las cañadas con bosque tropical caducifolio en la vertiente sur.

La riqueza y diversidad de especies, así como los parámetros del arbolado entre arroyos fueron similares entre sí. La semejanza florística identificada permitió distinguir dos conjuntos y dos subgrupos de bosques con 40 % de las especies compartidas, lo que pudo deberse a que resultaron con diferencias significativas en la abundancia promedio de las especies entre los arroyos con vertiente norte y sur; por el gradiente de altitud entre los sitios, aun cuando el diferencial es de 325 m; y la densidad de especies latifoliadas entre sitios.

El presente estudio brinda información de las especies nativas y su distribución espacial en la zona templada de Sierra de Quila, que pueden tomarse como referencia de comunidades con un buen estado de conservación para aquellas áreas que en lo futuro requieran de programas de restauración. 🌿

distribution boundary close to the gullies with deciduous tropical forest on the southward slope.

The richness and diversity of species and the forest parameters between creeks were similar. The floristic similarity identified made it possible to distinguish two groups and two subgroups of forests with 40 % of shared species; this may be due to the significant differences in the average abundance of species between the creeks with a north-south slope, in the altitude gradient across the sites, although the difference was only 325 m, and in the density of broadleaf species between sites.

The present study provides information about the native species and their spatial distribution in the temperate area of *Sierra de Quila*; these species constitute communities with a good conservation status to be taken as a reference for those that may require restoration programs sometime in the future. 🌿

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to express their gratitude to the *Sierra de Quila Regional Committee* and to the *Tecolotlán*, *Tenamaxtlán*, *El Cobre* and *Quila El Grande* ejidos for the facilities they provided for this study, as well as to the *Universidad de Guadalajara* (Project P3e/107971-123405) for the financing of the research; to the students of CUCBA-UDG for their in-field support, and to Saulo Cortés for editing the map.

End of the English version



AGRADECIMIENTOS

A la colaboración del Comité Regional de la Sierra de Quila, A.C. y a los ejidos Tecolotlán, Tenamaxtlán, El Cobre y Quila El Grande por las facilidades otorgadas para este estudio. Al financiamiento para la investigación por la Universidad de Guadalajara (Proyecto P3e/107971-123405) y el apoyo en campo de estudiantes del CUCBA-UDG. A Saulo Cortés por la edición del mapa.

REFERENCIAS

- Camacho R., F. I. Trejo y C. Bonfil. 2006. Estructura y composición de la vegetación ribereña de la barranca del río Temembe, Morelos, México. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 78: 17-31.
- Canizales V., P. A., G. J. Alanís F., S. Favela L., M. Torres M., E. Alanís R., J. Jiménez P. y H. Padilla R. 2010. Efecto de la actividad turística en la diversidad y estructura del bosque de galería en el noreste de México. *Ciencia UANL*, 13: 55-63.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México y Agrupación Sierra Madre, S.C. México, D.F. México. 847 p.
- Clarke, K. R. and R. N. Gorley. 2006. Primer v6: User's manual/tutorial. Primer-E Ltd. Plymouth, UK. s/p.
- Eskelson, B. N. I., P. D. Anderson and H. Temesgen. 2013. Sampling and modeling riparian forest structure and riparian microclimate. In: Anderson, P. D., K. L. Ronnenberg (eds.). Density management for the 21st century: west side story. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-880. Portland, OR. USA. pp. 126-135.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. México. 246 p.
- González E., M., J. A. Meave, F. G. Lorea H., G. Ibarra M. and A. C. Newton. 2011. The Red List of Mexican Cloud Forest Trees. Fauna & Flora International/ Botanic Gardens Conservation International/ The Global Trees Campaign/ The IUCN/SSC Global Tree Specialist Group. Cambridge, UK. 149 p.
- Granados S., D., M. A. Hernández G. y G. F. López R. 2006. Ecología de las zonas ribereñas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente.* 12(1): 55-69.
- Guerrero N., J. J. y C. López G. 1997. La vegetación y la flora de la Sierra de Quila, Jalisco. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jal. México. 91 p.
- Hernández L., L., J. J. Reynoso D. y M. Harker. 2011. Importancia de los trabajos botánicos en la Sierra de Quila Jalisco, México. In: Villavicencio G., R., A. L. Santiago-Pérez, V. C. Rosas-Espinoza, L. Hernández-López (comps.). Memorias del I Foro de Conservación, Uso y Gestión del Área Natural Protegida Sierra de Quila. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal. México. pp. 13-16.
- Lyon, J. and N. M. Gross. 2005. Patterns of plant diversity and plant-environmental relationships across three riparian corridors. *For. Ecol. Manage.* 204: 267-278.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1972. Cartas edafológicas F13D73 Atengo, F13D74 Cocula, F13D83 Tecolotlán. F13D84 Atemajac de Brizuela. México, D. F. México. s/p.
- Magurran, A. E. 2004. Measuring biological diversity. Blackwell Publishing House Ltd. Oxford, UK. 256 p.
- Méndez T., M., I. Zermeño- H. and G. Ibarra M. G. 2014. Effect of land use on the structure and diversity of riparian vegetation in the Duero river watershed in Michoacán, Mexico. *Plant Ecology* 215: 285-296.
- Müller-Dombois, D. and H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley & Sons Co. New York, NY USA. 547 p.
- Naiman, R. J. and Décamps, H. 1997. The ecology of interfaces-riparian zones. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 28: 621-658.
- Ramírez D., R., J. J. Reynoso D. y M. Harker. 2005. Estado actual del conocimiento florístico del Bosque La Primavera, Jalisco, México. In: Santiago-Pérez, A. L. (ed.). 2006. I Foro de investigación y conservación del bosque La Primavera: Memorias. 1^ª Edición. Orgánica Editores - Universidad de Guadalajara - CUCBA. Guadalajara, Jal. México. pp. 158-162.
- Richardson, D. M., P. M. Holmes, K. J. Esler, S. M. Galatowitsch, J. C. Stromberg, S. P. Kirkman, P. Pyšek and R. J. Hobbs. 2007. Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects. *Divers. Distrib.* 13(1): 126-139.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ed. Limusa. 4^ª. Reimpresión. México, D. F. México. 432 p.
- Santiago P., A. L., E. J. Jardel P., R. Cuevas G. y F. M. Huerta M. 2009. Vegetación de bordes en un bosque mesófilo de montaña del occidente de México. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 85: 31-49.
- Santiago P., A. L., M. Domínguez L., V. C. Rosas E. y J. M. Rodríguez C. (coords.). 2012. Anfibios y reptiles de las montañas de Jalisco: Sierra de Quila. 1^ª Edición. Orgánica Editores - Conabio. Guadalajara, Jal. México. 228 p.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1993. Estudio de la flora y fauna de la zona protectora forestal Sierra de Quila. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. México, D. F., México. 78 p.
- Scott, M. L., P. L. Nagler, E. P. Glenn, C. Valdes C., J. A. Erker, E. W. Reynolds, P. B. Shafroth, E. Gómez L. and C. L. Jones. 2009. Assessing the extent and diversity of riparian ecosystems in Sonora, Mexico. *Biodivers. Conserv.* 18(2): 247-269.
- Secretaría de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable (SEMADES). 2010. Información Ambiental. Áreas Naturales Protegidas. http://semades.jalisco.gob.mx/informacion_ambiental/areas_naturales_protegida (14 de febrero de 2014).
- Treviño G., E. J., C. Cavazos C. y O. A. Aguirre C. 2001. Distribución y estructura de los bosques de galería en dos ríos del centro sur de Nuevo León. *Madera y Bosques* 7(1): 13-25.
- Villavicencio, G., R., P. Bauche P., A. Gallegos R., A. L. Santiago P. y F. M. Huerta M. 2005. Caracterización estructural y diversidad de comunidades arbóreas de La Sierra de Quila. *Ibugana Boletín del Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara* 13 (1): 67-76.
- Villavicencio G., R., S. Saura M. T., A. L. Santiago P. y A. Chávez H. 2009. La conectividad forestal de las áreas protegidas del estado de Jalisco con otros ambientes naturales. *Scientia-CUCBA* 11(1): 43-50.
- Villavicencio G., R. y A. L. Santiago P. 2012. El área de protección de flora y fauna Sierra de Quila. In: Santiago P., A. L., M. Domínguez L. V., C. Rosas E. y J. M. Rodríguez C. (coords.). Anfibios y reptiles de las montañas de Jalisco: Sierra de Quila. 1^ª Edición. Orgánica Editores - Conabio. Guadalajara, Jal. México. pp. 25-33.
- Villavicencio G., R., S. L. Toledo G., R. Ávila C., A. L. Santiago P. y B. Martínez R. 2013. Áreas potenciales de infiltración en tres microcuencas de la Sierra de Quila, estado de Jalisco. In: XI Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales 2013. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro/Sociedad Mexicana de Recursos Forestales. Saltillo, Coah. México. 1-4 de octubre de 2013. 298 p.
- Villavicencio G., R., S. L. Toledo G., R. Ávila C., A. L. Santiago-Pérez y B. Martínez R. 2013. Áreas potenciales de infiltración en tres microcuencas de la Sierra de Quila, estado de Jalisco. In: XI Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales 2013. Memorias en resúmenes. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro/Sociedad Mexicana de Recursos Forestales, A.C. Saltillo, Coahuila. 1-4 de octubre de 2013. 298 p.
- Zacarías E., 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. Prentice-Hall. Upper Saddle River, NJ. USA. 663 p.