

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE UN BOSQUE DE GALERÍA EN UN
GRADIENTE ALTITUDINAL EN EL NOROESTE DE MÉXICO**

POR:

ING. VÍCTOR ALFONSO HOLGUÍN ESTRADA

**Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

Agosto, 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE UN BOSQUE DE GALERÍA EN UN
GRADIENTE ALTITUDINAL EN EL NOROESTE DE MÉXICO**

POR:

ING. VÍCTOR ALFONSO HOLGUÍN ESTRADA

**Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

Agosto, 2020

**ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE UN BOSQUE DE GALERÍA EN UN
GRADIENTE ALTITUDINAL EN EL NOROESTE DE MÉXICO**

Aprobación de Tesis



Dr. Eduardo Alanís Rodríguez

Director



Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón

Asesor



Dr. José Israel Yerena Yamallel

Asesor



Dr. Miguel Ángel Pequeño Ledesma

Asesor externo

Agosto, 2020

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT-México) le agradezco la beca recibida durante mi formación como maestro en ciencias forestales, en la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL.

A la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL, al Posgrado en Ciencias Forestales y a la Dirección General de Estudios de Posgrado, les agradezco el permitirme ser parte de su alumnado, así mismo por el apoyo brindado durante mi estadía en su excelente facultad.

Deseo expresar mi agradecimiento a mi amigo y director de tesis, Dr. Eduardo Alanís Rodríguez, por la dedicación y apoyo brindado en cada paso de la dirección de esta investigación, así como por la confianza ofrecida desde que llegue a esta facultad, dirigiéndome con respeto y rigor en cada idea o sugerencia en el proceso de investigación. También por la gran calidez humana que lo representa como docente.

Al resto de mi comité de tesis, al Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón le agradezco por su amistad, el apoyo personal y humano en la orientación y atención a mis consultas sobre metodología y revisión literaria de esta investigación, aportando sugerencias de calidad en la estructuración de este trabajo.

Al Dr. José Israel Yerena Yamallel por su amistad y colaboración en la estructuración y revisión de la investigación, así como la aportación de excelentes sugerencias que complementaron el presente estudio.

Al Dr. Miguel Ángel Pequeño Ledesma, gracias por su amistad y amabilidad personal, así como en la colaboración en la sugerencia de ideas y revisión de la presente investigación.

A todos ustedes gracias por su amabilidad, su tiempo y sus ideas, un proyecto de investigación siempre es fruto de ideas y colaboración, gracias por la confianza.

Pero un trabajo de investigación es también fruto del empeño y apoyo de las personas que detrás de todo este esfuerzo, siempre están presentes encaminándome día con día a perseguir mis sueños y crecer como persona y como profesional.

Gracias a mi familia, a mis padres, a mi hermano y a mi prometida, gracias por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, por todo el tiempo que me han concedido, apoyándome sin ningún contratiempo, ustedes también son parte de esto, gracias por acompañarme en cada momento importante de mi vida.

Gracias a mis amigos, que estuvieron presentes con un gran apoyo moral y humano.

DEDICATORIAS

Dedico esta tesis a toda mi familia.

En forma muy especial a mis padres, gracias por darme la vida y apoyarme en cada paso que doy, gracias por confiar en mí y alentarme a cumplir mis sueños, ustedes son parte esencial de mi vida, quienes me han heredado el tesoro más valioso que puede darse a un hijo, amor. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño. Son ustedes quien sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de su vida en mi formación y educación. A quienes nunca me cansare de agradecer.

A mi hermano, por estar presente en cada momento importante, por su apoyo incondicional y su confianza.

A mí prometida, gracias por tener la paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, por el tiempo y amor brindado que me has concedido, sin ti esto tampoco sería posible has estado presente en los momentos más importantes, gracias por todo tu apoyo, siempre incondicional.

A todas muchas gracias este proyecto no sería posible sin ustedes, ustedes también son parte de esto, por eso este trabajo también es suyo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN.....	3
3. HIPÓTESIS.....	4
4. OBJETIVO GENERAL	4
4.1. Objetivos específicos.....	4
5. CAPÍTULOS.....	5
5.1. CAPÍTULO I.....	5
5.1.1. Estructura y composición florística de un bosque de galería en un gradiente altitudinal en el noroeste de México	6
5.1.2. Resumen	6
5.1.2.1. Abstract	7
5.1.3. INTRODUCCIÓN	7
5.1.4. OBJETIVOS	9
5.1.5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
5.1.5.1 Área de estudio	9
5.1.5.2. Análisis muestral	10
5.1.5.3. Análisis de datos	11
5.1.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
5.1.6.1. Composición florística	14
5.1.6.2. Estructura horizontal.....	15
5.1.6.3. Diversidad Alfa	20
5.1.6.4. Similitud florística.....	21
5.1.7. CONCLUSIÓN.....	22
5.2. Capítulo II	24
5.2.1. Estructura vertical de un bosque de galería en un gradiente altitudinal en el noroeste de México	25
5.2.2. Resumen	25
5.2.2.1 Abstract:	25

5.2.3. INTRODUCCIÓN	26
5.2.4. MATERIALES Y MÉTODOS	27
5.2.4.1. Área de estudio	27
5.2.4.2. Análisis muestral	28
5.2.4.3. Análisis de datos	29
5.2.4.4. Estructura vertical	30
5.2.4.5. Diversidad de especies	31
5.2.5. RESULTADOS.....	32
5.2.5.1. Composición florística	32
5.2.5.2. Índice A de Pretzsch.....	32
5.2.5.3. Distribución vertical (Rango 1)	33
5.2.5.4. Distribución vertical (Rango 2)	35
5.2.5.5. Distribución vertical (Rango 3)	36
5.2.5.6. Diversidad de especies	38
5.2.6. DISCUSIÓN	38
5.2.7. CONCLUSIONES	40
6. CONCLUSIONES GENERALES	41
7. LITERATURA CITADA	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Riqueza florística y número de individuos registrados.....	14
Tabla II. Familias de mayor relevancia con base al número de especies, géneros e individuos.....	14
Tabla III. Abundancia, Dominancia, Frecuencia e Índice de Valor de Importancia de las especies.	18
Tabla IV. Número de especies, géneros, familias y densidad por rango altitudinal.	32
Tabla V. Clasificación de clases de altura por rango de altitud.	32
Tabla VI. Resultados para el rango altitudinal uno.	34
Tabla VII. Resultados para el rango altitudinal dos.	36

Tabla VIII. Resultados para el rango altitudinal tres.	37
Tabla IX. Índices de diversidad por rango de altitud y por estrato arbóreo.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I. Fotografía de una parte del bosque de galería estudiado en el arroyo Las Tinajas en Guachochi, Chih.	5
Figura II. Localización del área de estudio. A) Mapa de Estados Unidos Mexicanos señalando el estado de Chihuahua, B) Mapa de Chihuahua señalando el Ejido Guachochi, C) Mapa del ejido Guachochi señalando el cauce del arroyo y la ubicación de los sitios de muestreo.....	10
Figura III. Distribución de clases diamétricas.	16
Figura IV. Dendrograma de Bray Curtis	21
Figura V. Medias y error típico de A) abundancia, B) riqueza y C) dominancia de especies. Las medias seguidas de diferentes letras (a y b) indican diferentes niveles de significancia para $p < 0.05$	22
Figura VI. Fotografía donde se observa el porte vertical de algunas especies arbóreas en el área de estudio.	24
Figura VII. Localización del área de estudio. A) Mapa de Estados Unidos Mexicanos señalando el estado de Chihuahua, B) Mapa de Chihuahua señalando el Ejido Guachochi, C) Mapa del ejido Guachochi señalando el cauce del arroyo y la ubicación de los sitios de muestreo.....	28
Figura VIII. Clasificación para el análisis de la distribución vertical de especies (Pretzsch, 2009).....	31

RESUMEN

El bosque de galería es un ecosistema muy exuberante que se desarrolla en los márgenes de los cuerpos de agua (arroyos, ríos, lagos, canales, etc.) y forma una franja estrecha de vegetación. Este estudio describe la composición florística y estructura horizontal y vertical de comunidades de árboles a lo largo de un gradiente altitudinal en el arroyo Las Tinajas, al noroeste de México, en donde se consideraron tres rangos de altitud: 1 (2189-2368 m snm), 2 (2010-2188 m snm) y 3 (1831-2009 m snm). Se analizó la riqueza específica, abundancia, dominancia, frecuencia, índice de valor de importancia (IVI) de las especies, índice de Shannon y el dendrograma de Bray-Curtis por rango altitudinal. Las especies con mayor IVI por rango altitudinal fueron; 1: *Pinus durangensis* (24.5%), *Quercus sideroxyla* (17.9%) y *Pinus ayacahuite* (12.4%). 2: *Abies durangensis* (25.6%), *Pinus ayacahuite* (11.7%), *Quercus crassifolia* (10.6%) e *Ilex toluhana* (10.6%). 3: *Quercus crassifolia* (31.4%), *Cupressus lusitanica* (23%) y *Alnus oblongifolia* (19.8%). El análisis estadístico (ANOVA) de la abundancia, dominancia y riqueza de especies muestra que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los rangos de altitud, mientras el índice de Shannon no mostró diferencia significativa. La composición florística en base al modelo de Bray-Curtis obtuvo una similitud menor al 50% para las áreas evaluadas. La estructura vertical se realizó mediante el índice A de Pretzsch, se obtuvo que el Rango 2 fue el de mayor valor, con A de 2.79 contra 2.51 del Rango 1 y 2.02 del Rango 3. El estrato bajo de cada uno de los rangos de altitud fue el que concentro mayor número de individuos por hectárea, la altura máxima se observó en el Rango 2 con 32 m, con 27 m el Rango 1 y 17 m en el Rango Tres. Los rangos de altitud estudiados están conformados por tres estratos de altura, pero cada uno de ellos difiere entre sí por rango de altitud, muestra de que la estructura vertical de cada rango de altitud tiene una conformación de alturas, individuos y especies distinta. Este estudio servirá como base para futuros programas de manejo del bosque de galería, aportando así la información ecológica básica para la toma de decisiones.

ABSTRACT

The gallery forest is a very lush ecosystem that develops on the margins of water bodies (streams, rivers, lakes, canals, etc.) and forms a narrow strip of vegetation. This study describes the composition and partial structure of tree communities along an altitude gradient in the Las Tinajas stream, northwest of México, where three altitude ranges were considered: Uno (2189-2368 m snm), Two (2010-2188 m snm) and Three (1831-2009 m snm). The specific richness, abundance, dominance, frequency, importance value index (IVI) of the species, Shannon index and the Bray-Curtis dendrogram by altitudinal range were analyzed. The species with the highest IVI by altitude range were; 1: *Pinus durangensis* (24.5%), *Quercus sideroxyla* (17.9%) and *Pinus ayacahuite* (12.4%). 2: *Abies durangensis* (25.6%), *Pinus ayacahuite* (11.7%), *Quercus crassifolia* (10.6%) and *Ilex tolucana* (10.6%). 3: *Quercus crassifolia* (31.4%), *Cupressus lusitanica* (23%) and *Alnus oblongifolia* (19.8%). The statistical analysis (ANOVA) of the abundance, dominance and richness of species shows that there are significant differences ($p < 0.05$) between the altitude ranges, while the Shannon index showed no significant difference. The floristic composition based on the Bray-Curtis model obtained a similarity of less than 50% for the evaluated areas. The vertical structure was made using the Pretzsch A index, it was obtained that Rank 2 was the one with the highest value, with A of 2.79 against 2.51 of Rank 1 and 2.02 of Rank 3. The lower stratum of each of the altitude ranges was the one that concentrated the greatest number of individuals per hectare, the maximum height was observed in Range 2 with 32 m, with 27 m in Range 1 and 17 m in Range Three. The studied altitude ranges are made up of three height strata, but each of them differs from each other by altitude range, showing that the vertical structure of each altitude range has a different conformation of heights, individuals and species. This study will serve as the basis for future gallery forest management programs, thus providing basic ecological information for decision-making.

1. INTRODUCCIÓN

La vegetación riparia o bosque de galería es un ecosistema muy exuberante que se diferencia de su entorno, se desarrolla en los márgenes de los cuerpos de agua (arroyos, ríos, lagos, canales, etc.) y forma una franja estrecha de vegetación que cumple en muchas ocasiones la función de corredor biológico, el cual permite la comunicación entre comunidades aisladas (Alanís-Flores, 1996; Sánchez, 2006).

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 (Granados *et al.*, 2006). Las comunidades vegetales de galería proporcionan además hábitat y alimento para la fauna y son consideradas corredores para la dispersión de plantas y animales (Meave *et al.*, 1991).

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 arboles muy espaciados, cuyas alturas varían de 4 a 40m (Rzedowski, 1978).

En las zonas ribereñas, la diversidad arbórea tiene un componente vertical bien definido, desde la superficie del agua hasta el dosel, donde se encuentran estratos distintivos de vegetación (Granados *et al.*, 2006); tal diversidad se puede evaluar a partir del número de especies en un sitio particular (Meli *et al.*, 2017). La estructura arbórea es un eje de ordenamiento ambiental de vital importancia para el equilibrio ecosistémico de los bosques de galería (Romero *et al.*, 2014).

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), por lo tanto las propiedades estructurales y funcionales varían a través del gradiente altitudinal (Acosta, Mondragón y Alvarado, 2008).

Los factores que determinan la composición, diversidad y estructura de las comunidades vegetales cambian dependiendo de la escala y contexto de estudio (Condit *et al.*, 2002). En ambientes con marcados gradientes altitudinales, la elevación suele ser un factor importante que condiciona de modo directo a variables ambientales como temperatura y precipitación e indirectamente a variables poblacionales como crecimiento y mortalidad (Anderson-Teixeira *et al.*, 2013).

Los patrones de vegetación que se observan típicamente a lo largo de los gradientes altitudinales, son el resultado de complejas interacciones entre factores como la elevación, el grado de exposición a la radiación solar y la posición en el relieve, entre otros (Funes y Cabido, 1995).

Son pocos estudios los que describen a detalle la composición, diversidad y estructura de los bosques de galería, el objetivo de esta investigación fue describir la estructura horizontal y vertical, así como la composición y diversidad de la vegetación ribereña a lo largo de un gradiente altitudinal comprendido entre 1830 m y 2368 m snm (metros sobre el nivel del mar), en el arroyo Las Tinajas en Guachochi, Chihuahua, México. De esta manera aportar conocimiento de la vegetación ribereña presente en esta región, y proporcionar información ecológica que puede ser la base de futuros programas de restauración ecológica o punto de comparación de estudios similares.

2. JUSTIFICACIÓN

La estructura arbórea es un elemento clave para evaluar la estabilidad de los bosques (Lähde *et al.*, 1999), por su alta fragilidad, la estructura es uno de los aspectos más relevantes en el ámbito forestal, la cual se puede modificar mediante la aplicación de tratamientos silvícolas, cambiando la estructura de las masas forestales y en consecuencia el bosque (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008). Usualmente, está referida a la forma en que los atributos de los árboles se distribuyen en los ecosistemas (Bettinger *et al.*, 2008). Su importancia biológica es su autoorganización, la cual involucra a la regeneración, el crecimiento y a la mortalidad de los árboles; así como, una variedad de interacciones entre individuos que, a su vez afecta las propiedades del ecosistema (Carvalho, 2011; Gadow *et al.*, 2012).

A pesar de su importancia en el mantenimiento de la biodiversidad regional y en la generación de servicios ambientales, la vegetación ribereña en México ha sido relativamente poco estudiada (Camacho *et al.*, 2006). En la actualidad la evaluación de la estructura y la condición de los bosques de galería requieren de información detallada de su riqueza, abundancia y diversidad ecológica para generar estrategias de manejo que garanticen la provisión de los servicios ambientales (Meli *et al.*, 2017). Sin embargo, los ríos y las comunidades vegetales que se desarrollan en sus márgenes han estado sometidos a intensa presión histórica por diversas actividades humanas, lo que ha llevado a su transformación desde tiempos muy antiguos (Richardson *et al.*, 2007), generando cambios en la estructura y composición florística, favoreciendo la pérdida de diversidad biológica (Ede y Hunt, 2009).

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).

3. HIPÓTESIS

1. A mayor rango altitudinal se presenta una disminución de la diversidad, abundancia y área basal de las especies y existe disimilitud en la composición de la vegetación.
2. El estrato de altura superior está conformado por menos del 50% del total de especies presentes en toda la estructura vertical.

4. OBJETIVO GENERAL

El presente estudio se divide en dos capítulos, cuyos objetivos son:

Capitulo I.- Describir la estructura horizontal y vertical, así como la composición y diversidad de la vegetación ribereña a lo largo de un gradiente altitudinal comprendido entre 1830 m y 2368 m snm, en el arroyo Las Tinajas en Guachochi, Chihuahua, México.

Capitulo II. Evaluar la diversidad y estructura vertical de las especies arbóreas presentes en un gradiente altitudinal en el arroyo las Tinajas en Guachochi, Chihuahua, México.

4.1. Objetivos específicos

- (I) Analizar si existe diferencia en composición y riqueza de especies conforme al rango altitudinal.
- (I) Examinar si se presenta una variación en área basal y densidad por rango altitudinal.
- (I) Analizar si las especies de mayor frecuencia también son las más abundantes.
- (II) Identificar que especies tienen distribución completa en la estructura vertical.
- (II) Identificar las especies presentes por estrato de altura.
- (II) Determinar la diversidad por estrato de altura.

5. CAPÍTULOS

5.1. CAPÍTULO I

Estructura y composición florística de un bosque de galería en un gradiente altitudinal en el noroeste de México



Figura I. Fotografía de una parte del bosque de galería estudiado en el arroyo Las Tinajas en Guachochi, Chih.

Este capítulo fue sometido a la revista *Madera y Bosques*, siendo aceptado el 23 de abril del 2020, con cambios menores.

5.1.1. Estructura y composición florística de un bosque de galería en un gradiente altitudinal en el noroeste de México

5.1.2. Resumen

El bosque de galería es un ecosistema muy exuberante que se desarrolla en los márgenes de los cuerpos de agua (arroyos, ríos, lagos, canales, etc.) y forma una franja estrecha de vegetación. Este estudio describe la composición y estructura de comunidades de árboles a lo largo de un gradiente altitudinal en el arroyo Las Tinajas, al noroeste de México, en donde se consideraron tres rangos de altitud: 1 (2189-2368 m snm), 2 (2010-2188 m snm) y 3 (1831-2009 m snm). Se analizó la riqueza específica, abundancia, dominancia, frecuencia e índice de valor de importancia (IVI) de las especies, el índice de Shannon y el dendrograma de Bray-Curtis por rango altitudinal. Las especies con mayor IVI por rango altitudinal fueron; 1: *Pinus durangensis* (24.5%), *Quercus sideroxyla* (17.9%) y *Pinus ayacahuite* (12.4%). 2: *Abies durangensis* (25.6%), *Pinus ayacahuite* (11.7%), *Quercus crassifolia* (10.6%) e *Ilex toluhana* (10.6%). 3: *Quercus crassifolia* (31.4%), *Cupressus lusitanica* (23%) y *Alnus oblongifolia* (19.8%). El análisis estadístico (ANOVA) de la abundancia, dominancia y riqueza de especies muestra que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los rangos de altitud, mientras el índice de Shannon no mostró diferencia significativa. La composición florística en base al modelo de Bray-Curtis obtuvo una similitud menor al 50% para las áreas evaluadas. Este estudio servirá como base de referencia de los cambios que puedan presentarse a futuro en este bosque, la estructura de los diferentes rangos de altitud fue distinta y en cada uno de ellos existen especies representativas.

Palabras clave: Abundancia, diversidad, índice de valor de importancia, riqueza de especies.

5.1.2.1. Abstract

The gallery forest is a very lush ecosystem that develops on the margins of water bodies (streams, rivers, lakes, canals, etc.) and forms a narrow strip of vegetation. This study describes the composition and partial structure of tree communities along an altitude gradient in the Las Tinajas stream, northwest of México, where three altitude ranges were considered: Uno (2189-2368 m snm), Two (2010-2188 m snm) and Three (1831-2009 m snm). The specific richness, abundance, dominance, frequency, importance value index (IVI) of the species, Shannon index and the Bray-Curtis dendrogram by altitudinal range were analyzed. The species with the highest IVI by altitude range were; 1: *Pinus durangensis* (24.5%), *Quercus sideroxyla* (17.9%) and *Pinus ayacahuite* (12.4%). 2: *Abies durangensis* (25.6%), *Pinus ayacahuite* (11.7%), *Quercus crassifolia* (10.6%) and *Ilex toluhana* (10.6%). 3: *Quercus crassifolia* (31.4%), *Cupressus lusitanica* (23%) and *Alnus oblongifolia* (19.8%). The statistical analysis (ANOVA) of the abundance, dominance and richness of species shows that there are significant differences ($p < 0.05$) between the altitude ranges, while the Shannon index showed no significant difference. The floristic composition based on the Bray-Curtis model obtained a similarity of less than 50% for the evaluated areas. This study will serve as a baseline of the changes that may occur in this forest in the future, the structure of the different altitude ranges was different and in each of them there are representative species.

Keywords: Abundance, diversity, importance value index, wealth of species.

5.1.3. INTRODUCCIÓN

El bosque de galería es un ecosistema muy exuberante que se diferencia de su entorno, ya que se desarrolla en los márgenes de los cuerpos de agua (arroyos, ríos, lagos, canales, etc.) y forma una franja estrecha de vegetación que cumple en muchas ocasiones la función de corredor biológico, el cual permite la comunicación entre comunidades aisladas (Alanís-Flores, 1996; Sánchez, 2006).

El término de bosque de galería designa la región de transición y de interacciones entre los medios terrestre y acuático. Esta zona se caracteriza por una flora y fauna cuya composición está fuertemente determinada por la intensidad luminosa, el contenido en agua y la granulometría del suelo (Granados, Hernández y López, 2006).

Desde el punto de vista fisonómico y estructural, los bosques de galería se presentan como un conjunto muy heterogéneo; con alturas de 4 a 40 m, que en pocas ocasiones forman masas de una sola especie; por lo general existe alternancia de especies que, como lo señala Sánchez (1986), pueden cambiar en corta distancia o bien presentarse en combinaciones de asociaciones vegetales. En relación con su cobertura, aunque en ocasiones forman una gran espesura, a menudo están constituidos por árboles espaciados e irregularmente distribuidos (Rzedowski, 1986).

Este tipo de vegetación provee importantes servicios ambientales que benefician a la sociedad de manera directa o indirecta (Timoney, Peterson y Wein, 1997), así como también actividades de recreación y ocio (Pets, 2018). Entre los servicios se encuentran hábitat de fauna silvestre, bancos genéticos tanto de flora como de fauna; además de estar involucrado en la calidad y cantidad del agua de los ríos, ha sido considerado como un importante filtro que impide el flujo al río de agroquímicos y productos inorgánicos utilizados en la agricultura también evita la erosión del suelo e inundaciones ya que funciona como una barrera protectora natural (Kocher y Harris, 2007).

Al ser una comunidad vegetal muy dinámica, los gradientes ambientales tienen efectos en sus propiedades estructurales y funcionales (Nilsson y Svedmark, 2002), uno de estos gradientes es el altitudinal, que se presenta en muchos ríos, este se asocia con cambios en las variables climáticas y en las características de la vegetación ribereña. Por lo anterior, los cambios ambientales que ocurren a lo largo de gradientes de altitud son considerados determinantes en la composición y estructura de la vegetación (Sánchez-González y López-

Mata, 2005; Richter, 2008; Rascón-Ayala, Alanís-Rodríguez, Mora-Olivo, Buendía-Rodríguez, Sánchez-Castillo y Silva-García, 2018).

Por su alta fragilidad, la estructura es uno de los aspectos más relevantes en el ámbito forestal, lo que repercute en una fácil modificación. Usualmente, está referida a la forma en que los atributos de los árboles se distribuyen en los ecosistemas (Bettinger, Boston, Siry y Grebner, 2008; Gadow *et al.*, 2012). Su importancia biológica es su autoorganización, la cual involucra a la regeneración, el crecimiento y a la mortalidad de los árboles; así como, una variedad de interacciones entre individuos que, a su vez afecta las propiedades del ecosistema (Carvalho, 2011; Gadow *et al.*, 2012).

Por lo anterior, estudios sobre la estructura asociada a gradientes de altitud, son necesarios para entender la dinámica de las comunidades vegetales. De esta manera, el desarrollo de esta investigación en México le otorga un mayor impacto, considerando que estudios enfocados a este tipo de vegetación son escasos en comparación a estudios publicados a nivel mundial (Ding y Zhao, 2016).

5.1.4. OBJETIVOS

Describir la estructura y la composición florística de la vegetación ribereña a lo largo de un gradiente altitudinal comprendido entre 1830 m y 2368 m snm sobre el nivel del mar (snm), en el arroyo Las Tinajas, al Noroeste de México.

5.1.5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1.5.1 Área de estudio

El área se encuentra en la región suroeste del estado de Chihuahua en lo que se conoce como Alta Sierra Tarahumara, dentro del Ejido Guachochi. Las coordenadas extremas superior son 295107.94 E, 2965024 N e inferior 296108 E, 2960697 N (Figura II). Se caracteriza por tener un clima templado, con

temperaturas medias anuales de alrededor de 15°C y precipitaciones medias entre 500 mm y 1,000 mm anuales (García *et al.*, 2009).

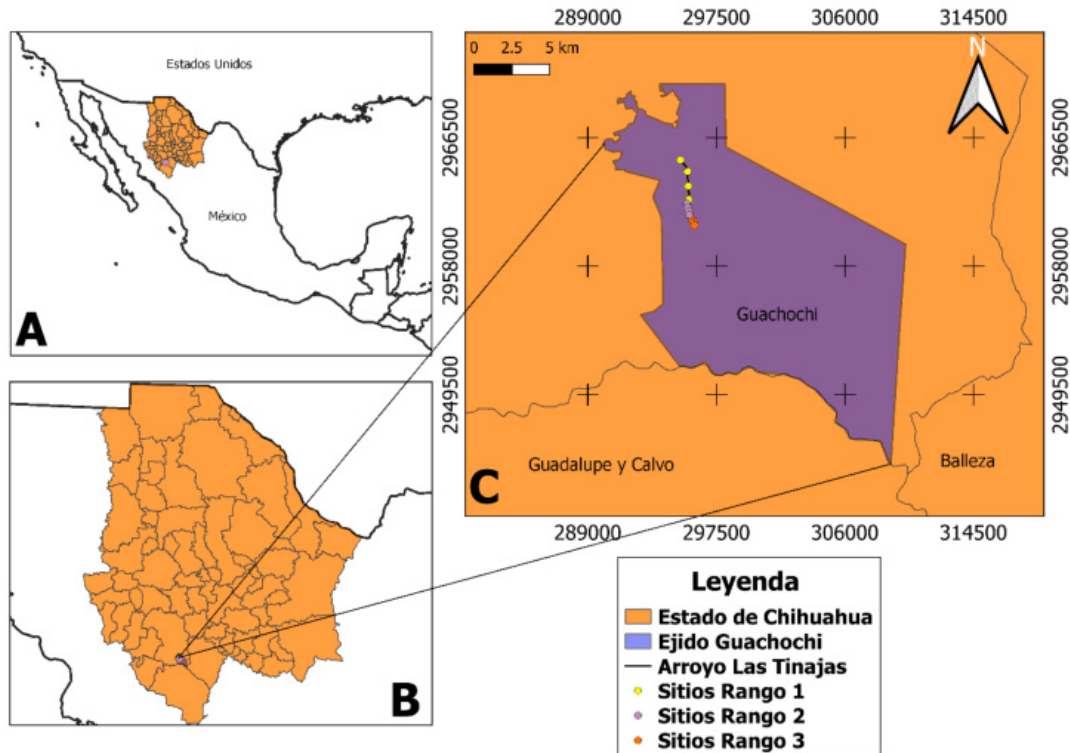


Figura II. Localización del área de estudio. A) Mapa de Estados Unidos Mexicanos señalando el estado de Chihuahua, B) Mapa de Chihuahua señalando el Ejido Guachochi, C) Mapa del ejido Guachochi señalando el cauce del arroyo y la ubicación de los sitios de muestreo.

5.1.5.2. Análisis muestral

De acuerdo a un recorrido preliminar en campo y el análisis de imágenes satelitales con Google Earth 2019, se determinó que las comunidades vegetales y el régimen de agua del arroyo presentaban heterogeneidad. Las características del régimen del arroyo fueron escurrimientos semipermanentes y temporales.

Debido a la heterogeneidad se realizó un muestreo sistemático estratificado, en este tipo de muestreo la población en estudio se separa en subgrupos o estratos que tienen cierta homogeneidad. Después de la separación de acuerdo al rango altitudinal y régimen del arroyo, en cada subgrupo se realizó un muestreo sistemático (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Los subgrupos fueron

denominados Rango 1, Rango 2 y Rango 3, donde el Rango 1 presenta escurrimientos temporales en un rango altitudinal de 2189 m a 2368 m snm, el Rango 2 escurrimientos semipermanentes en un rango altitudinal de 2010 m a 2188 m snm y el Rango 3 escurrimientos semipermanentes en un rango altitudinal de 1831 m a 2009 m snm.

Se establecieron cuatro sitios de muestreo en cada rango altitudinal, teniendo 12 sitios de muestreo en total. Los sitios fueron rectángulos de 500 m² (20 m x 25 m) para evaluar las especies arbóreas con diámetro normal a la altura de 1.30 m ($d_{1.30} > 7.5$ cm) y dentro de ellos se estableció un sitio de 100 m² (5 m x 20 m) para evaluar la regeneración, con ($d_{1.30} < 7.5$ cm y altura total ($h > 25$ cm)). En cada sitio de muestreo se identificaron las especies vegetales mediante la plataforma de Trópicos (2020) y se les midió el diámetro normal mayor a 7.5 cm con una forcípula Haglöf Mantax Blue® de 1270 mm y la altura total con un hipsómetro Suunto PM-5. Por sitio de muestreo se registró la altitud sobre el nivel del mar.

5.1.5.3. Análisis de datos

La estructura de la vegetación a lo largo del gradiente altitudinal se analizó con base en los valores relativos de densidad, área basal y frecuencia. Los valores relativos de los atributos estructurales se combinaron en el índice de valor de importancia relativa (IVI o VIR) (Mostacedo y Fredericksen 2000; Magurran, 2004).

$$IVI = (Ar + Dr + Fr)/3$$

La abundancia relativa se obtuvo mediante la fórmula:

$$Ar = \left(\frac{n_i}{N}\right) * 100$$

Donde A_r es la abundancia relativa de la especie i con respecto a la abundancia total, n_i es el número de individuos de la especie i y N el número total de individuos.

La dominancia relativa se obtuvo mediante la fórmula:

$$Dr = \left(\frac{g_i}{G}\right) * 100$$

$$G = \sum_{i=1}^N g_i$$

Donde Dr es la dominancia relativa de la especie i respecto a la dominancia total, g_i es el área basal de la especie i , siendo G el área basal total.

La frecuencia relativa se obtuvo mediante la fórmula:

$$Fr = (m_i/M) * 100$$

Donde Fr es la frecuencia relativa de la especie i con respecto a la frecuencia total, m_i es la frecuencia de la especie i en los sitios de muestreo y M el número total de sitios de muestreo.

Moreno (2001) menciona que la mayoría de los métodos propuestos para evaluar la diversidad de especies se refieren a la diversidad dentro de las comunidades (alfa). Uno de los índices más populares para evaluar las comunidades vegetales basado en la cuantificación del número de especies, o riqueza, presentes, es el índice de Margalef. El índice de riqueza de Margalef se estimó con la siguiente ecuación.

$$DMg = (S - 1)/ln$$

Donde S es el número de especies y N el número total de individuos.

Un índice de uso común basado en la estructura de la comunidad, es decir, la distribución proporcional del valor de cada especie es el índice de Shannon (Alanís, Jiménez, Canizales, González y Mora-Olivo, 2015). Para estimar la diversidad alfa se utilizó dicho índice (Shannon, 1948; Huerta y Guerrero, 2004), mediante la siguiente fórmula:

$$H' = \sum_{i=1}^S p_i * \ln(p_i)$$

Donde S es el número de especies presentes, \ln es logaritmo natural y p_i es la proporción de las especies. $p_i = n_i/N$; donde n_i es el número de individuos de la especie i y N es el número total de individuos.

El esfuerzo de muestreo fue evaluado con curvas de acumulación de especies basadas en el número de especies por sitio de muestreo. La riqueza esperada fue generada con estimadores no paramétricos de Chao con 10 000 aleatorizaciones sin remplazo, utilizando EstimateS 9.1 (Colwell, 2006).

Después de que se cumplieran los supuestos estadísticos de normalidad en base a la prueba de Shapiro-Wilk, homocedasticidad e independencia, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía ($p < 0.05$) para determinar diferencias significativas respecto a densidad, dominancia, riqueza de especies, e índice de diversidad de Shannon. Para la comparación de medias se empleó la prueba post hoc de Tukey's HSD ($p < 0.05$). Las pruebas se realizaron utilizando IBM SPSS Statistic versión 25 (Zar, 2010).

Para evaluar la similitud florística se generó un modelo de ordenación de Bray-Curtis, el cual es una representación gráfica de la variación de la composición vegetal. El análisis se basa en un algoritmo que permite analizar la similitud de las muestras mediante el cálculo del porcentaje de similitud (0 - 100%) en una medida de distancia (Beals, 1984). Este método es uno de los más apropiados para el análisis multivariado fitosociológico. El análisis se desarrolló con el programa BioDiversity Pro 5.0.

5.1.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante las curvas de acumulación de especies y los modelos utilizados, se observó que el esfuerzo de muestreo realizado consiguió en promedio una representatividad del 78.94% de la riqueza específica de especies para el Rango

1, 83.84% para el Rango 2 y 80.19% para el Rango 3; en base a los estimadores Chao1, ACE, Chao2, Jackknife1 y Bootstrap.

5.1.6.1. Composición florística

En el Rango 1 se registraron cinco familias que comprenden cinco géneros, 15 especies y 128 individuos; para el Rango 2, seis familias, ocho géneros, 15 especies y 101 individuos; y para el Rango 3, cinco familias, cinco géneros, siete especies y 50 individuos. En total, registramos 279 individuos de árboles y se identificaron 18 especies pertenecientes a ocho géneros y seis familias (Tabla I).

Tabla I. Riqueza florística y número de individuos registrados.

Variable	Rango altitudinal (m snm)		
	Rango 1 (2189 - 2368)	Rango 2 (2010 - 2188)	Rango 3 (1831 - 2009)
Número de especies	15	15	7
Número de géneros	5	8	5
Número de familias	5	6	5
Densidad (individuos en 2000 m ²)	128	101	50

En general fueron seis familias de árboles taxonómicamente bien representadas en toda el área de estudio. Pinaceae tiene el máximo de especies (siete), seguido de Fagaceae con cinco; Cupressaceae y Aquifolaceae tuvieron dos especies, Betulaceae y Ericaceae tuvieron únicamente una especie. Sobre la densidad, Pinaceae contribuyó con el 42.65% seguida de Fagaceae (32.62%), Cupressaceae (9.32%), Aquifolaceae (9.32%), Betulaceae (4.30%) y Ericaceae con 1.79% (Tabla II).

Tabla II. Familias de mayor relevancia con base al número de especies, géneros e individuos.

Familia	Especies	Géneros	Individuos
---------	----------	---------	------------

Pinaceae	7	2	119
Fagaceae	5	1	91
Cupressaceae	2	2	26
Aquifolaceae	2	1	26
Betulaceae	1	1	12
Ericaceae	1	1	5
Total	18	8	279

En la Sierra Madre Occidental destacan los estudios florísticos realizados por De León, García Andrade y Ruiz (2003), García-Arévalo (2008), Valenzuela y Granados (2009), Aragón-Piña, Garza-Herrera, González-Elizondo y Luna-Vega (2010), los cuales señalan que las familias Pinaceae y Fagaceae son las más abundantes. Sánchez-González (2008) y González-Elizondo, González-Elizondo, Tena-Flores, Ruacho-González y López-Enríquez (2012) indican que la alta abundancia de estas familias se debe a que en México se distribuyen el 46% de las especies de pinos y 34% de los encinos del mundo.

El número de especies arbóreas registradas en este estudio fue similar al citado por varios autores en bosques templados con *Abies* sp., que fluctuó entre 5 y 13 especies (Encina-Domínguez, Encina-Domínguez, Mata-Rocha y Valdes-Reyna, 2008; García-Aranda, Estrada-Castillón, Cantú-Ayala y Pando-Moreno, 2012; Ávila-Flores, González-Tagle, Jiménez-Pérez, Aguirre-Calderón y Treviño-Garza, 2012; Guerrero-Hernández, González-Gallegos y Castro-Castro, 2014).

5.1.6.2. Estructura horizontal

Abundancia. Las especies más abundantes en el Rango 1 fueron *Quercus sideroxylla* (27.3%), seguida de *Pinus durangensis* (19.5%), y las menos abundantes fueron *P. leiophylla* (0.8%) y *P. lumholtzii* (0.8%). En el Rango 2 se presentó *Abies durangensis* (25.7%) como la más abundante, seguida de *P. ayacahuite* (10.9%) e *Ilex toluhana* (9.9%), las menos abundantes fueron *Quercus rugosa* (1%) y *Arbutus xalapensis* (1%). En el Rango 3 *Quercus crassifolia* (44%) fue la más abundante, seguida por *Cupressus lusitanica* (24%)

y *Alnus oblongifolia* (20%) (Tabla 3). Para este estudio se presenta una densidad de muestra total superior en abundancia para el género *Pinus*. Esto concuerda con Hernández *et al.* (2013), quienes mencionan que el género *Pinus* es el más abundante en el Ejido el Largo, en Chihuahua.

Clases diamétricas. La distribución de los diámetros (Figura III) para el Rango 1 y 2 tiene una distribución con asimetría hacia la izquierda, presentando una estructura de J invertida, con la mayor cantidad de individuos en las categorías diamétricas inferiores, otros estudios con resultados similares se han realizado en bosques de selección individual (Ramírez, 2006; García, Narváez, Olivas y Hernández, 2019). Además, Gadow, Sánchez-Orios y Álvarez-González (2007) explican que la mayoría de los bosques naturales del mundo no se constituyen por árboles de una misma clase de edad, además de que su distribución y tamaño no es uniforme. Por otro lado, el Rango 3 presentó una distribución más homogénea, esta diferenciación entre la composición de clases diamétricas se puede ver reflejada a su vez en la figura 5, donde se muestra que existen diferencias significativas entre el Rango 3 y los rangos 1 y 2 en abundancia.

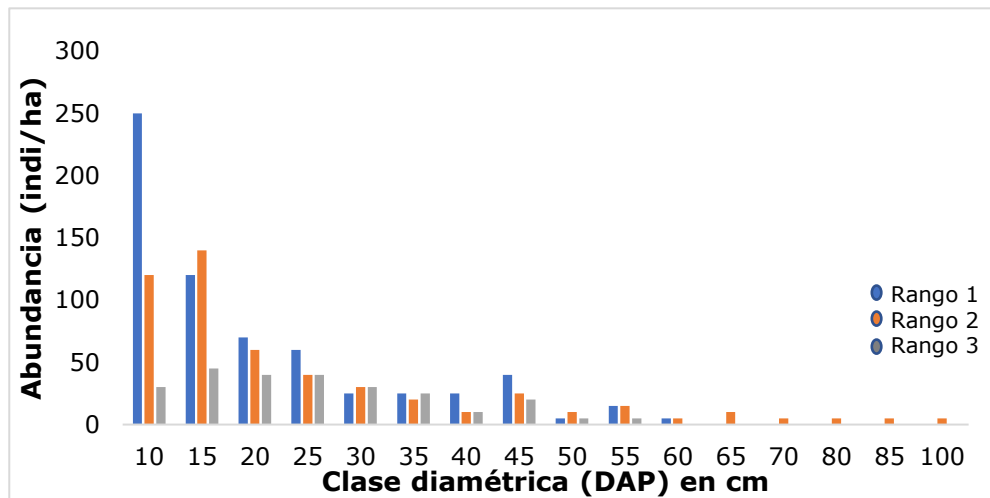


Figura III. Distribución de clases diamétricas.

Dominancia. Para el Rango 1, *Pinus durangensis* es el que presenta la mayor dominancia (28.2%) de área basal por hectárea, mientras que *Quercus sideroxylla* que fue la especie más abundante solo presenta el 15.1% de

dominancia, lo cual indica que *P. durangensis* se conforma por individuos de mayor categoría diamétrica. El Rango 2 está dominado en un 37% por *Abies durangensis*, seguida por *P. ayacahuite* con 13% y *Q. crassifolia* con 12.2%. En el Rango 3 *Cupressus lusitanica* es la especie con mayor dominio con un 37.5%, luego *Q. crassifolia* con 19.8% y *Alnus oblongifolia* con 18.6%. El valor máximo de área basal por hectárea se presentó en el Rango 2 con 38 m²/ha, valor similar a lo documentado por Santiago-Pérez, Ayón, Rosas-Espinoza, Rodríguez y Toledo. (2014) quienes reportan valores máximos de 37 y 39.2 m²/ha en un bosque templado de galería en la Sierra de Quila, Jalisco y un valor inferior al reportado en un estudio realizado en Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca donde se obtuvo un valor máximo de 57.6 m²/ha en un bosque mixto de Pinus (Zacarías, 2009).

Frecuencia. En el Rango 1 las especies con más frecuencia fueron *Pinus durangensis*, *Quercus sideroxyla* y *Juniperus deppeana*, ya que estuvieron presentes en todos los sitios de muestreo pertenecientes al rango altitudinal. En el Rango 2, las especies más frecuentes fueron *Abies durangensis* e *Ilex tolucana* y en el Rango 3, *Alnus oblongifolia* y *Q. crassifolia* fueron las más frecuentes. Ninguna especie tiene distribución amplia, al no encontrarse en todos los sitios de muestreo, sin embargo las especies con mayor frecuencia indican que son las más adaptadas a las condiciones que se presentan en el lugar; el Rango 1 presenta una distribución más amplia de Pinus y Quercus, la cual puede ser consecuencia del aprovechamiento forestal, que favorece a las especies comerciales de mayor valor económico (Blaser y Sabogal, 2011), esto puede atribuirse a la cercanía de distintas comunidades en la zona y por ende queda más expuesto a aprovechamiento.

Índice de Valor de Importancia (IVI). Las especies que presentaron mayor IVI en el Rango 1 fueron: *Pinus durangensis* (20.4%), *Quercus sideroxyla* (18.6%) y *P. ayacahuite* (14.4%). En el Rango 2: *Abies durangensis* (25.7%), *Pinus ayacahuite* (11.5%) e *Ilex tolucana* con 9.9% respectivamente. En el Rango 3: *Q.*

crassifolia (29.1%), *Cupressus lusitanica* (26.4%) y *Alnus oblongifolia* (20.7%). En ninguno de los tres rangos de altitud se presentó un IVI por género mayor al 80%, lo que indica que no existen especies totalmente dominantes a diferencia de lo observado por Alanís-Rodríguez, Jiménez-Pérez, Valdecantos-Dema, Pando-Moreno, Aguirre-Calderón y Treviño-Garza. (2011), Hernández *et al.* (2013) y Vázquez (2013), quienes encontraron valores superiores a 80% para *Pinus* y menores de 50% para *Quercus*. Por otra parte, en el Rango 2, la especie con mayor IVI fue del género *Abies* y el porcentaje de importancia coincide con el observado por Cuevas-Guzmán *et al.* (2011), el cual reporta un valor de importancia para *Abies* de 24.7 a 29%. Es importante tener en cuenta que la especie *A. durangensis* es una especie registrada por la IUCN (2013) como una especie de menor preocupación, pero con tendencia decreciente de sus poblaciones y en este estudio se observó en todo el Rango 2 siendo la especie más importante en este; por otra parte, en el Rango 3 se presentó *C. lusitanica* como la segunda especie de mayor importancia, la cual se encuentra registrada por la NOM-059-SEMARNAT-2010 como una especie bajo protección especial y por la IUCN (2013) como especie de menor preocupación.

Tabla III. Abundancia, Dominancia, Frecuencia e Índice de Valor de Importancia de las especies.

Especies	Abu		Dom		Fre		IVI
	Abs	Rel %	Abs	Rel %	Abs	Rel %	Rel %
Rango 1							
<i>Pinus durangensis</i>	125	19.5	8.3	28.2	4	13.3	20.4
<i>Quercus sideroxyla</i>	175	27.3	4.4	15.1	4	13.3	18.6
<i>Pinus ayacahuite</i>	90	14.1	5.6	19.0	3	10.0	14.4
<i>Pinus arizonica</i>	85	13.3	3.0	10.3	1	3.3	9.0
<i>Juniperus deppeana</i>	35	5.5	0.4	1.4	4	13.3	6.7
<i>Quercus hypoleucoides</i>	20	3.1	3.6	12.2	1	3.3	6.2
<i>Quercus crassifolia</i>	15	2.3	0.6	2.2	3	10.0	4.8
<i>Arbutus xalapensis</i>	20	3.1	1.1	3.7	2	6.7	4.5
<i>Ilex rubra</i>	35	5.5	0.5	1.5	1	3.3	3.4
<i>Ilex toluicana</i>	10	1.6	0.2	0.7	2	6.7	3.0

<i>Quercus oblongifolia</i>	10	1.6	0.6	2.0	1	3.3	2.3
<i>Pinus lumholtzii</i>	5	0.8	0.6	1.9	1	3.3	2.0
<i>Pinus engelmannii</i>	5	0.8	0.4	1.5	1	3.3	1.9
<i>Pinus leiophylla</i>	5	0.8	0.0	0.1	1	3.3	1.4
<i>Quercus rugosa</i>	5	0.8	0.0	0.1	1	3.3	1.4
Total	640	100	29.4	100	30	100	100
Rango 2							
<i>Abies durangensis</i>	130	25.7	14.2	37.0	4	14.3	25.7
<i>Pinus ayacahuite</i>	55	10.9	5.0	13.0	3	10.7	11.5
<i>Ilex toluhana</i>	50	9.9	2.1	5.5	4	14.3	9.9
<i>Quercus crassifolia</i>	40	7.9	4.7	12.2	1	3.6	7.9
<i>Pinus engelmannii</i>	30	5.9	3.2	8.3	2	7.1	7.1
<i>Pinus durangensis</i>	40	7.9	2.2	5.7	2	7.1	6.9
<i>Quercus hypoleucooides</i>	25	5.0	1.9	5.0	2	7.1	5.7
<i>Cupressus lusitanica</i>	25	5.0	1.5	3.8	2	7.1	5.3
<i>Ilex rubra</i>	30	5.9	0.6	1.4	2	7.1	4.8
<i>Quercus sideroxylla</i>	25	5.0	1.1	3.0	1	3.6	3.8
<i>Quercus oblongifolia</i>	25	5.0	0.6	1.5	1	3.6	3.3
<i>Alnus oblongifolia</i>	10	2.0	1.0	2.6	1	3.6	2.7
<i>Juniperus deppeana</i>	10	2.0	0.1	0.4	1	3.6	2.0
<i>Arbutus xalapensis</i>	5	1.0	0.2	0.4	1	3.6	1.7
<i>Quercus rugosa</i>	5	1.0	0.1	0.3	1	3.6	1.6
Total	505	100	38.3	100	28	100	100
Rango 3							
<i>Quercus crassifolia</i>	110	44	3.4	19.8	4	23.5	29.1
<i>Cupressus lusitanica</i>	60	24	6.4	37.5	3	17.6	26.4
<i>Alnus oblongifolia</i>	50	20	3.2	18.6	4	23.5	20.7
<i>Pinus durangensis</i>	10	4	2.7	15.9	2	11.8	10.5
<i>Pinus ayacahuite</i>	10	4	1.3	7.5	2	11.8	7.8
<i>Ilex toluhana</i>	5	2	0.1	0.4	1	5.9	2.8
<i>Pinus engelmannii</i>	5	2	0.1	0.3	1	5.9	2.7
Total	250	100	17.0	100	17	100	100

Nota: Abs= Absoluta, Rel= Relativa, Abundancia: (Abu = N° Arboles por hectárea), Dominancia: (Dom= Área basal por hectárea) y Frecuencia: (Fre = N° Sitios en los que estuvo presente la especie).

5.1.6.3. Diversidad Alfa

Los índices de diversidad se calculan para comparar la diversidad y abundancia de especies en diferentes condiciones a una escala similar, y cuanto mayor es su valor, más alta será su riqueza y diversidad. La riqueza de especies del índice de Margalef presentó para el Rango 1 un valor de 3.10, para el Rango 2: 3.3 y para el Rango 3: 1.53; valores que se pueden considerar de media diversidad, ya que valores inferiores a 2 son considerados como baja diversidad y valores superiores a 5 se consideran como indicativos de alta diversidad (Margalef, 1972), Estos valores son superiores a los reportados por Alanís-Rodríguez, Jiménez-Pérez, Valdecantos-Dema, González-Tagle, Aguirre-Calderón y Treviño-Garza (2012); Graciano-Ávila, Aguirre-Calderón, Alanís-Rodríguez y Lujan-Soto (2017) y López- Hernández, Aguirre-Calderón, Alanís-Rodríguez, Monrreaez-González, González-Tagle y Jiménez-Pérez (2017).

La diversidad del índice de Shannon-Wiener tuvo valores promedio de 1.56 para el Rango 1, 1.75 para el Rango 2 y 1.19 para el Rango 3. Esta diversidad se considera como baja al obtener valores inferiores a dos y corresponde a índices de diversidad que presentan algunos autores para bosques templados (Alanís-Rodríguez, Jiménez-Pérez, Espinoza-Vizcarra, Jurado-Ybarra, Aguirre-Calderón y González-Tagle, 2008; Graciano *et al.*, 2017), asimismo estos valores están por encima de los obtenidos por Aguilar (2018) quien obtuvo valores promedio de 0.54 y son similares a lo reportado por Santiago-Pérez *et al.* (2014) quienes calcularon un índice de 1.8 a 2.6 para el bosque de galería de la Sierra de Quila, Jalisco.

En este estudio, los valores del índice de Shannon-Weaver y el índice de Margalef no presentaron una tendencia creciente o decreciente a medida que aumentaba el rango altitudinal. En este contexto los resultados son diferentes a los de diversos autores que informan que la riqueza y diversidad de especies disminuye a medida que aumenta el rango altitudinal (Vetaas y Grytnes, 2002; Gould, González y Carrero, 2006).

5.1.6.4. Similitud florística

La composición florística en los tres rangos altitudinales está representada por 18 especies de las cuales solo comparten cinco (*Pinus ayacahuite*, *P. durangensis*, *P. engelmannii*, *Quercus crassifolia* e *Ilex toluicana*). El Rango 1 comparte 12 especies con el Rango 2, y tan sólo cinco con el Rango 3; el Rango 2 comparte siete especies con el Rango 3. Cabe señalar que dentro de estos rangos se encuentran especies que no son compartidas con otro rango altitudinal como *Abies durangensis*, *P. arizonica*, *P. leiophylla* y *P. lumholtzii*.

De acuerdo con el dendrograma de ordenación de Bray-Curtis (Figura IV), se aprecia que los rangos altitudinales evaluados presentan una baja similitud, por debajo del 50%. Los rangos con mayor similitud fueron el 1 y 2, con un 40% de similitud, y el Rango 3 con un 28% respecto al grupo anterior. Estos resultados son similares a los de González *et al.* (2018), quienes encontraron una similitud florística en promedio de 44% en un bosque de *Abies vejari*.

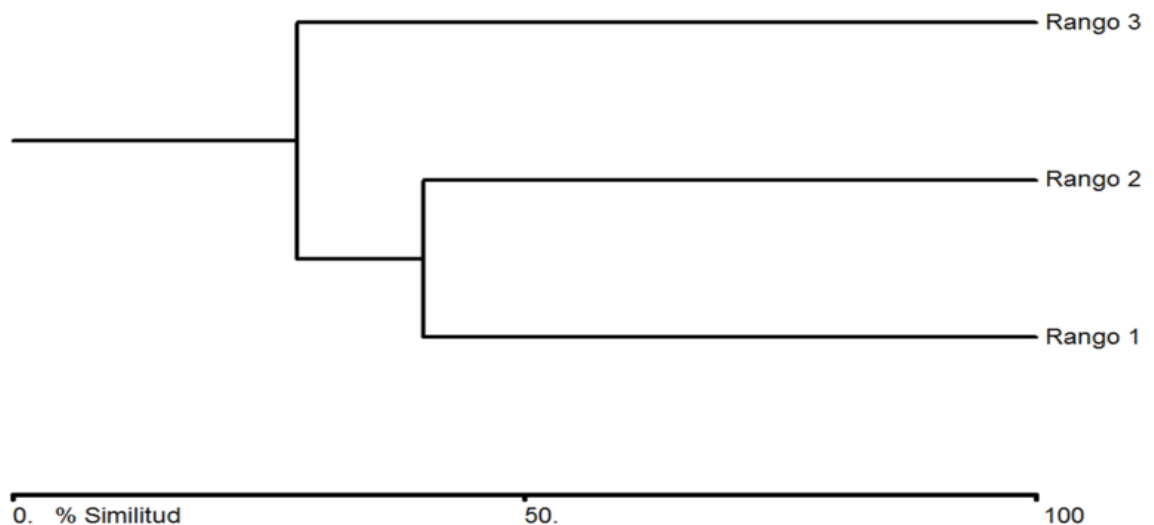


Figura IV. Dendrograma de Bray Curtis

Las variables abundancia ($gl = 11$; $F = 9.445$; $p = 0.006$), dominancia ($gl = 11$; $F = 4.844$; $p = 0.037$) y riqueza de especies ($gl = 11$; $F = 7.000$; $p = 0.015$) presentaron diferencia significativa en al menos un rango altitudinal. El índice de Shannon no presentó diferencia significativa ($gl = 11$; $F = 3.892$; $p = 0.061$).

En la comparación de medias (Figura V), para los rangos de altitud, se obtuvo

que la abundancia presentó tendencia de disminución en el número de individuos por hectárea conforme al descenso del nivel altitudinal, presentando diferencia significativa únicamente el Rango 3 ($p < 0.05$) comparado con el Rango 1 ($p = .005$) y Rango 2 ($p = .050$); se presentó la misma tendencia para la riqueza de especies obteniendo en la comparación Rango 1-3 ($p = 0.17$) y Rango 2-3 ($p = .040$). La variable de dominancia no presentó alguna tendencia de aumento o disminución conforme al nivel altitudinal, el Rango 2 presentó el mayor valor de área basal (38.3 m^2 por hectárea); en este indicador, la diferencia significativa se presentó en el Rango 2 en comparación con el Rango 3 ($p = .031$).

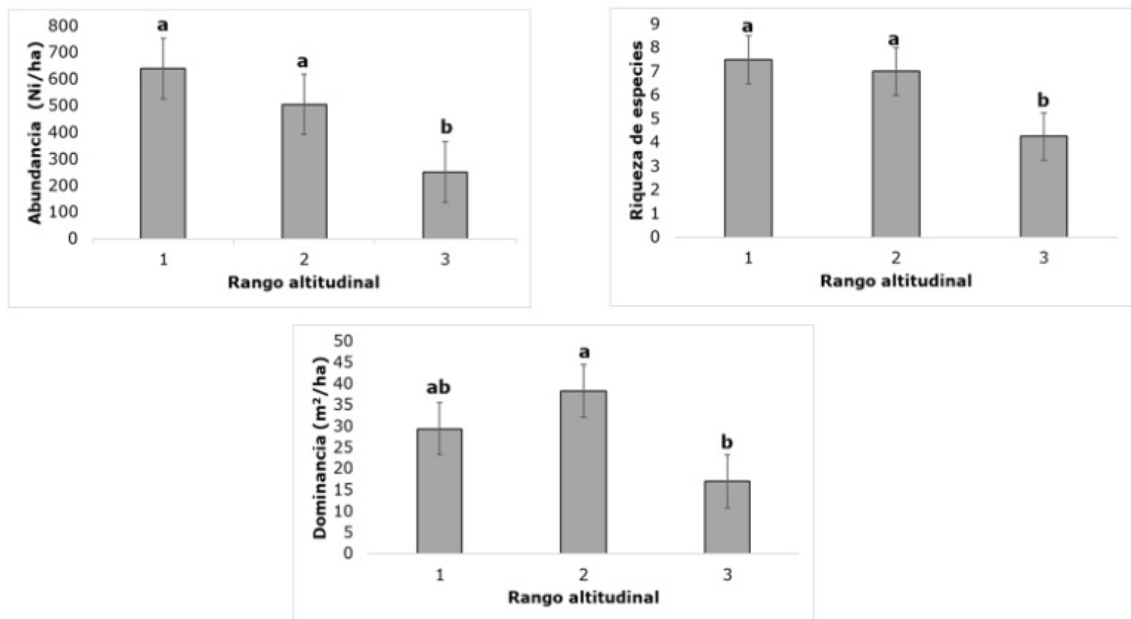


Figura V. Medias y error típico de A) abundancia, B) riqueza y C) dominancia de especies. Las medias seguidas de diferentes letras (a y b) indican diferentes niveles de significancia para $p < 0.05$.

5.1.7. CONCLUSIÓN

La estructura de la vegetación arbórea del bosque de galería estudiado indicó que para los tres rangos de altitud existe una composición de especies diferentes, y en cada uno de ellos existen especies representativas. Las variables abundancia, dominancia y riqueza de especies presentaron diferencia significativa en al menos un rango altitudinal, pero no mostraron una tendencia creciente o decreciente conforme aumentaba el rango altitudinal.

Los resultados del presente estudio podrán servir como base para tener una referencia de los cambios que pudieran presentarse a futuro en este tipo de bosque, así mismo, estos resultados podrían servir como parte de una contribución para estudios de otras áreas en la región que pudieran compartir características similares, de esta manera se puede inferir en la toma de decisiones para la planeación de un programa de restauración de la vegetación ribereña de la parte alta, media y baja del arroyo Las Tinajas, ya que se brinda la información referente a las especies dominantes de la región, así como su distribución a lo largo del gradiente altitudinal.

5.2. CAPÍTULO II

Estructura vertical de un bosque de galería en un gradiente altitudinal en el noroeste de México



Figura VI. Fotografía donde se observa el porte vertical de algunas especies arbóreas en el área de estudio.

El presente capítulo fue sometido a la revista *Polibotánica*.

5.2.1. Estructura vertical de un bosque de galería en un gradiente altitudinal en el noroeste de México

5.2.2. Resumen

La mayoría de los estudios relacionados con estructura y composición de especies arbóreas son implementados a nivel horizontal, solamente algunos consideran la vertical. Este estudio describe la composición y estructura vertical de comunidades de árboles a lo largo de un gradiente altitudinal en el arroyo Las Tinajas, al Noroeste de México, se consideraron tres rangos de altitud: 1 (2189-2368 m snm), 2 (2010-2188 m snm) y 3 (1831-2009 m snm). Mediante el índice de Pretzsch, se hizo la clasificación de tres estratos: estrato I (80-100%), II (50-80%) y estrato III (0-50%). Se analizó la composición específica, abundancia, dominancia, frecuencia, diversidad e índice de valor de importancia (IVI) de las especies por estrato de altura por rango, así como valores medios, mínimos y máximos de diámetro normal y altura. La estructura vertical se realizó mediante el índice A de Pretzsch, reveló que el Rango 2 fue mayor, con A de 2.79 contra 2.51 del Rango 1 y 2.02 del Rango 3. El estrato bajo de cada uno de los rangos de altitud fue el que concentro mayor número de individuos por hectárea, la altura máxima se observó en el Rango 2 con 32 m, con 27 m el Rango 1 y 17 m en el Rango Tres. Los rangos de altitud estudiados están conformados por tres estratos de altura, pero cada uno de ellos difiere entre sí por rango de altitud, muestra de que la estructura vertical de cada rango de altitud tiene una conformación de alturas, individuos y especies distinta.

Palabras clave: Altura máxima; diversidad; distribución continua; estratos; índice de Pretzsch.

5.2.2.1 Abstract:

Most studies related to tree species structure and composition are implemented at the horizontal structure level and only a few consider the vertical structure. This study describes the composition and partial structure of tree communities along an altitude gradient in the Las Tinajas stream, northwest of Mexico, where three altitude ranges were considered: 1 (2189-2368 m snm), 2 (2010-2188 m snm)

and 3 (1831-2009 m snm). The Pretzsch index rated three strata: stratum I (80-100%), II (50-80%) III (0-50%). The specific composition, abundance, dominance, frequency and importance value index (IVI) of the species by height stratum by altitude range is analyzed, as well as average, minimum and maximum normal diameter and height values. The vertical structure was made using Pretzsch's A-index, revealing that Rank 2 was greater, with A of 2.79 against 2.51 of Rank 1 and 2.02 Rank 3. The low stratum of each of the altitude ranges was the one that has the largest number of individuals per hectare, the maximum height was observed in the Rank 2 with 32 m, with 27 m the Rank 1 and 17 m in Rank 3. The altitude ranges studied are made up of three strata of height, but each of them differs from each other by altitude range, it shows that the vertical structure of each altitude range has a different height, individual and species conformation.

Keywords: Maximum height; diversity; continuous distribution; strata; Pretzsch index.

5.2.3. INTRODUCCIÓN

La vegetación riparia o bosque de galería es un ecosistema muy exuberante que se diferencia de su entorno, se desarrolla en los márgenes de los cuerpos de agua (arroyos, ríos, lagos, canales, etc.) y forma una franja estrecha de vegetación que cumple en muchas ocasiones la función de corredor biológico, el cual permite la comunicación entre comunidades aisladas (Alanís-Flores, 1996; Sánchez, 2006).

Desde el punto de vista fisonómico y estructural los bosques de galería se presentan como un conjunto muy heterogéneo; con alturas de 4 a 40 m, que en pocas ocasiones forman masas de una sola especie; por lo general existe alternancia de especies que, como lo señala Sánchez (1986), pueden cambiar en corta distancia o bien presentarse en combinaciones de asociaciones vegetales.

La estructura de un ecosistema se define, básicamente por el tipo, número, ordenamiento espacial y temporal de los elementos que lo constituyen (Aguirre

et al., 2003). En consecuencia, estudiar y entender la estructura de los rodales constituye una premisa para lograr una gestión adecuada con fines de conservación y restauración (Urbieta, 2009; Clark *et al.*, 2015). Por su alta fragilidad, la estructura es uno de los aspectos más relevantes en el ámbito forestal, lo que repercute en una fácil modificación. Usualmente, está referida a la forma en que los atributos de los árboles se distribuyen en los ecosistemas (Bettinger *et al.*, 2008; Gadow *et al.*, 2012). Su importancia biológica es su autoorganización, la cual involucra a la regeneración, el crecimiento y a la mortalidad de los árboles; así como, una variedad de interacciones entre individuos que, a su vez afecta las propiedades del ecosistema (Carvalho, 2011; Gadow *et al.*, 2012).

En los últimos años se han realizado diversos estudios que evalúan la diversidad y estructura de la vegetación arbórea con interés maderable, algunos de estos se han empleado en bosques templados del noroeste de México (Návar-Chaidez *et al.*, 2009; Hernández-Salas *et al.*, 2013; Graciano-Ávila *et al.*, 2017), sin embargo, estos estudios principalmente determinan la composición y estructura horizontal de las masas forestales y solo algunos consideran la estructura vertical, la cual está determinada por la distribución de distintas especies arbóreas que componen un ecosistema y ocupan sitios definidos en respuesta a los factores microclimáticos, gradientes ambientales o al disturbio natural o al provocado por el hombre (Remmert, 1991). Cada ecosistema posee una estratificación y heterogeneidad espacial única, dada por la estructura vertical y horizontal de los taxa que lo integran (Dajoz, 2002), el orden vertical se caracteriza por la diferenciación de categorías de altura (Zarco-Espinosa *et al.*, 2010) por lo que es de gran importancia realizar estudios que le den atribución a el análisis de este complemento.

5.2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

5.2.4.1. Área de estudio

El área se encuentra en la región suroeste del estado de Chihuahua en lo que se conoce como Alta Sierra Tarahumara, dentro del Ejido Guachochi. Las

coordenadas extremas superior son 295107.94 E, 2965024 N e inferior 296108 E, 2960697 N (Figura VII). Se caracteriza por tener un clima templado, con temperaturas medias anuales de alrededor de 15°C y precipitaciones medias entre 500 mm y 1,000 mm anuales (García *et al.*, 2009).

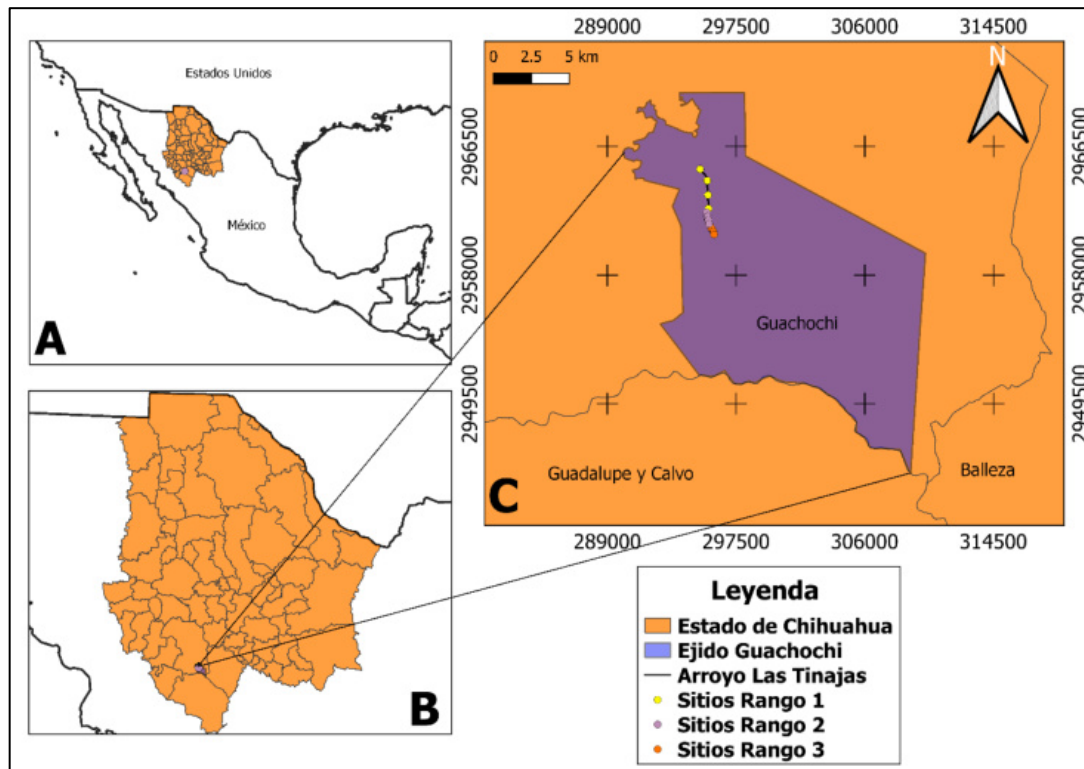


Figura VII. Localización del área de estudio. A) Mapa de Estados Unidos Mexicanos señalando el estado de Chihuahua, B) Mapa de Chihuahua señalando el Ejido Guachochi, C) Mapa del ejido Guachochi señalando el cauce del arroyo y la ubicación de los sitios de muestreo.

5.2.4.2. Análisis muestral

De acuerdo a un recorrido preliminar en campo y el análisis de imágenes satelitales con Google Earth 2019, se determinó que las comunidades vegetales y el régimen de agua del arroyo presentaban heterogeneidad. Las características del régimen del arroyo fueron escurrimientos semipermanentes y temporales.

Debido a la heterogeneidad se realizó un muestreo sistemático estratificado, en este tipo de muestreo la población en estudio se separa en subgrupos o estratos que tienen cierta homogeneidad. Después de la separación de acuerdo al rango altitudinal y régimen del arroyo, en cada subgrupo se realizó un muestreo sistemático (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Los subgrupos fueron

denominados Rango 1, Rango 2 y Rango 3, donde el Rango 1 presenta escurrimientos temporales en un rango altitudinal de 2189 m a 2368 m snm, el Rango 2 escurrimientos semipermanentes en un rango altitudinal de 2010 m a 2188 m snm y el Rango 3 escurrimientos semipermanentes en un rango altitudinal de 1831 m a 2009 m snm.

Se establecieron cuatro sitios de muestreo en cada rango altitudinal, teniendo 12 sitios de muestreo en total. Los sitios fueron rectángulos de 500 m² (20 m x 25 m) para evaluar las especies arbóreas con diámetro normal a la altura de 1.30 m ($d_{1.30} > 7.5$ cm) y dentro de ellos se estableció un sitio de 100 m² (5 m x 20 m) para evaluar la regeneración, con ($d_{1.30} < 7.5$ cm y altura total (h) > 25 cm). En cada sitio de muestreo se identificaron las especies vegetales mediante la plataforma de Trópicos (2020) y se les midió el diámetro normal mayor a 7.5 cm con una forcípula Haglöf Mantax Blue® de 1270 mm y la altura total con un hipsómetro Suunto PM-5. Por sitio de muestreo se registró la altitud sobre el nivel del mar.

5.2.4.3. Análisis de datos

Para cada uno de los estratos de altura por rango de altitud, se determinaron los índices de importancia ecológica de las especies. Se analizaron con base en los valores relativos de abundancia de acuerdo con el número de árboles por hectárea (N/ha), dominancia con respecto al área basal (G m²/ha) y frecuencia, como el número de sitios en los que estuvo presente la especie *i*. Los valores relativos de los atributos estructurales se combinaron en el valor de importancia relativa (IVI o VIR) (Mostacedo & Fredericksen 2000; Magurran, 2004). Esto con la intención de analizar la importancia ecológica de cada especie en los tres estratos de altura.

$$IVI = (Ar + Dr + Fr)/3$$

La abundancia relativa se obtuvo mediante la fórmula:

$$Ar = \left(\frac{n_i}{N}\right) * 100$$

Donde A_r es la abundancia relativa de la especie i con respecto a la abundancia total, n_i es el número de individuos de la especie i y N el número total de individuos.

La dominancia relativa se obtuvo mediante la fórmula:

$$Dr = \left(\frac{g_i}{G}\right) * 100$$

$$G = \sum_{i=1}^N g_i$$

Donde Dr es la dominancia relativa de la especie i respecto a la dominancia total, g_i es el área basal de la especie i , siendo G el área basal total.

La frecuencia relativa se obtuvo mediante la fórmula:

$$Fr = (m_i/M) * 100$$

Donde Fr es la frecuencia relativa de la especie i con respecto a la frecuencia total, m_i es la frecuencia de la especie i en los sitios de muestreo y M el número total de sitios de muestreo.

5.2.4.4. Estructura vertical

La estructura vertical se determinó de acuerdo con el índice Pretzsch (A) (modificación del índice de Shannon), consiste en dividir la estructura vertical en tres estratos. El estrato I (alto) que corresponde al intervalo de 80-100%, donde el árbol más alto representa 100%; a partir de este, se clasifican los siguientes estratos: el II (medio), se refiere al intervalo de 50-80% y el III (bajo), de 0-50% (Aguirre, 2002; Pretzsch, 2009) (Figura VIII). Del índice A se derivan el A_{max} , que corresponde al valor máximo de A , dado por el número de especies y zonas de altura; y el A_{rel} , que es la estandarización en porcentaje del índice A .

$$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} * \ln p$$

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

$$Arel = \frac{A}{\ln(S * Z)} * 100$$

Donde S es el número de especies presentes en el área muestreada, Z es el número de estratos respecto a la altura del arbolado.

$$P_{ij} = n_{i\dots j} / N$$

Donde $n_{i,j}$ es el número de individuos de la misma especie (i) en la zona (j) y N el número total de individuos.

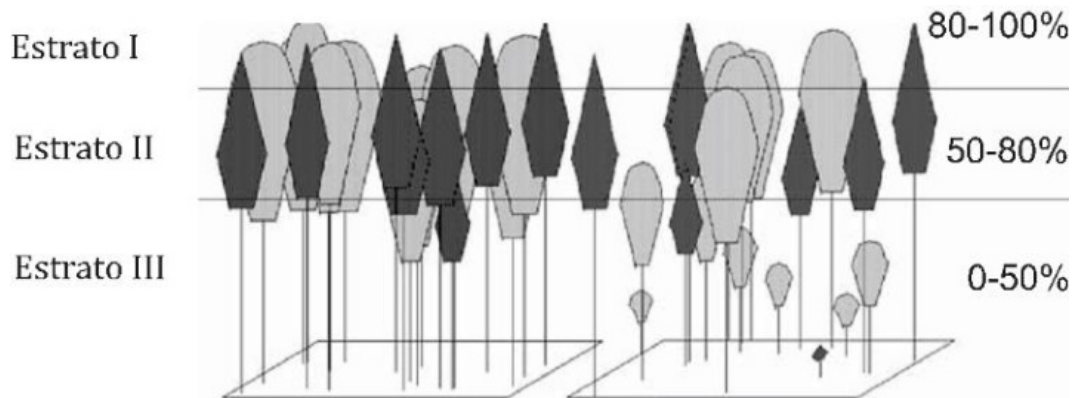


Figura VIII. Clasificación para el análisis de la distribución vertical de especies (Pretzsch, 2009).

5.2.4.5. Diversidad de especies

Moreno (2001) menciona que la mayoría de los métodos propuestos para evaluar la diversidad de especies se refieren a la diversidad dentro de las comunidades (alfa). Dentro de los índices más populares para evaluar las comunidades vegetales basado en la cuantificación del número de especies presentes es el índice de Margalef. Un índice de uso común basado en la estructura de la comunidad, es decir, la distribución proporcional del valor de cada especie es el índice de Shannon (Shannon, 1948; Alanís *et al.*, 2015). El índice de diversidad de Margalef se estimó con la siguiente ecuación.

$$DMg = (S - 1) / \ln$$

Donde S es el número de especies y N el número total de individuos. El índice de Shannon se estima con la siguiente fórmula:

$$H' = \sum_{i=1}^S Pi * \ln(Pi)$$

Donde S es el número de especies presentes, \ln es logaritmo natural y pi es la proporción de las especies. $Pi=ni/N$; donde ni es el número de individuos de la especie i y N es el número total de individuos.

5.2.5. RESULTADOS

5.2.5.1. Composición florística

Se registraron 279 individuos de árboles y se identificaron 18 especies pertenecientes a seis familias y ocho géneros. De ellas, en el Rango 1 se registraron cinco familias que comprenden cinco géneros, 15 especies y 128 individuos, en el Rango 2, 101 individuos, seis familias que representan ocho géneros y 15 especies y en el Rango 3, 50 individuos, siete especies pertenecientes a cinco géneros y cinco familias (Tabla IV).

Tabla IV. Número de especies, géneros, familias y densidad por rango altitudinal.

Variable	Rango altitudinal m snm		
	Rango 1 (2189-2368)	Rango 2 (2010-2188)	Rango 3 (1831-2009)
Número de especies	15	15	7
Número de géneros	5	8	5
Número de familias	5	6	5
Densidad (individuos en 2000 m ²)	128	101	50

5.2.5.2. Índice A de Pretzsch

Se obtuvieron para cada rango de altitud las diferentes clases de altura (Tabla V) dependiendo de la altura máxima de la especie registrada en cada condición con base en Pretzsch (2009).

Tabla V. Clasificación de clases de altura por rango de altitud.

Clase de altura %		Rango 1	Rango 2	Rango 3
80-100	Estrato I	21.6 - 27	25.6 - 32	13.6 - 17
50-80	Estrato II	13.5 - 21.5	16 - 25.5	8.5 - 13.5
0-50	Estrato III	0 - 13.4	0 - 15.9	0 - 8.4

5.2.5.3. Distribución vertical (Rango 1)

En el Rango 1 se obtuvo un índice de Pretzsch de 2.51 con un A_{max} de 3.81 y un A_{rel} de 65.93%. Estos resultados indican que la distribución de las especies en los estratos de altura se encuentra en un 34.07% de la máxima diferenciación dimensional, lo cual se presenta cuando el número total de individuos se encuentra equitativamente distribuido entre los estratos y especies (Rubio *et al.*, 2014).

Valores de importancia. *P. durangensis* y *P. ayacahuite* fueron las especies que se presentaron en todos los estratos de altura para el Rango 1, *P. durangensis* contribuye con 67.40% de IVI para el Estrato I, 16.69% para el Estrato II y 19.80% para el Estrato III. *P. ayacahuite* contribuye con el 32.60% de IVI para el Estrato I, 16.47% para el Estrato II y 14.38% para el Estrato III. A pesar de que *P. duranguensis* es la especie que se presenta en todos los estratos de altura, únicamente domina en el Estrato I y Estrato III, en el Estrato II se presenta *Q. hypoleuroides* como la especie con mayor aportación de IVI con un 32.25% (Tabla VI).

Variables del sitio. Se muestran valores promedio de 48.26 cm en diámetro para *P. durangensis*, en el Estrato I sin embargo el diámetro mayor corresponde a *P. ayacahuite*. En el Estrato II, el diámetro promedio mayor corresponde a *Q. hypoleuroides* con 46.90 cm; en el Estrato III *Q. hypoleuroides* presenta el mayor diámetro con 48.40 cm, no obstante, éste diámetro pertenece a una abundancia muy baja tan solo de 0.92%, por lo que las especies con diámetros más representativos de este estrato son las especies con mayor IVI, *P. durangensis* y *Q. sideroxylla* con diámetros promedio de 13.26 cm y 18.61 cm respectivamente (Tabla VI).

En el caso de las alturas, se encontró un promedio de 25 m para *P. durangensis*

en el estrato alto. En el estrato medio, la especie con mayor importancia no es la de mayor altura, en este estrato *P. durangensis* presenta en promedio 19.50 m de altura que corresponde a el promedio mayor. En el estrato bajo sucede lo mismo que para la variable diámetro donde *Q. hypoleuroides* y *P. lumholtzii* son especies que presentan mayor altura, pero con baja abundancia, por lo que tomando en cuenta el grado de abundancia y altura promedio de este rango, *P. durangensis*, *Q. sideroxyla*, *P. ayacahuite* y *P. arizonica* representarían a el estrato bajo con una altura promedio de 7.05 m (Tabla VI).

Tabla VI. Resultados para el rango altitudinal uno.

Estrato	Especie	Abundancia	Dominancia	Frecuencia	IVI	Dn (cm)			At (m)			
		%	%	%	%	Media	Mín	Max	Media	Mín	Max	
I	<i>Pinus durangensis</i>	80	67.40	50	65.80	48.26	40.89	59.69	25.00	23.00	27.00	
	<i>Pinus ayacahuite</i>	20	32.60	50	34.20	67.82	67.82	67.82	22.00	22.00	22.00	
	Total	100	100	100	100	–	–	–	–	–	–	
II	<i>Quercus hypoleuroides</i>	21.43	33.25	10	21.56	46.90	38.90	58.40	15.33	15.00	16.00	
	<i>Quercus sideroxyla</i>	14.29	21.09	20	18.46	46.46	45.72	47.20	15.00	15.00	15.00	
	<i>Pinus durangensis</i>	14.29	15.78	20	16.69	39.75	33.78	45.72	17.50	15.00	20.00	
	<i>Pinus ayacahuite</i>	14.29	15.13	20	16.47	38.74	31.75	45.72	19.50	19.00	20.00	
	<i>Pinus arizonica</i>	21.43	12.48	10	14.64	28.96	25.40	34.04	15.00	15.00	15.00	
	<i>Ilex tolucana</i>	7.14	1.67	10	6.27	18.50	18.50	18.50	17.00	17.00	17.00	
	<i>Ilex rubra</i>	7.14	0.59	10	5.91	11.00	11.00	11.00	15.00	15.00	15.00	
	Total	100	100	100	100	–	–	–	–	–	–	
	III	<i>Pinus durangensis</i>	17.43	28.19	13.79	19.80	18.61	7.62	39.37	7.53	3.00	13.00
		<i>Quercus sideroxyla</i>	30.28	15.11	13.79	19.73	13.26	7.62	26.90	5.30	3.00	13.00
<i>Pinus ayacahuite</i>		13.76	19.02	10.34	14.38	16.84	7.87	59.00	7.67	5.00	13.00	
<i>Pinus arizonica</i>		12.84	10.26	3.45	8.85	17.98	8.13	34.29	7.71	5.00	11.00	
<i>Juniperus deppeana</i>		6.42	1.43	13.79	7.21	11.88	8.38	19.40	4.29	3.00	5.00	
<i>Quercus hypoleuroides</i>		0.92	12.23	3.45	5.53	48.40	48.40	48.40	13.00	13.00	13.00	
<i>Quercus crassifolia</i>		2.75	2.20	10.34	5.10	19.13	7.62	38.10	6.00	3.00	11.00	
<i>Arbutus xalepensis</i>		3.67	3.70	6.90	4.76	21.78	7.62	46.48	5.00	3.00	8.00	
<i>Ilex rubra</i>		5.50	1.53	3.45	3.50	12.82	10.40	16.50	8.83	7.00	12.00	
<i>Quercus oblongifolia</i>		1.83	1.98	3.45	2.42	27.15	25.60	28.70	9.00	8.00	10.00	
III	<i>Pinus lumholtzii</i>	0.92	1.94	3.45	2.10	38.10	38.10	38.10	12.00	12.00	12.00	
	<i>Pinus engelmannii</i>	0.92	1.53	3.45	1.96	33.80	33.80	33.80	6.00	6.00	6.00	
	<i>Ilex tolucana</i>	0.92	0.72	3.45	1.69	13.97	13.97	13.97	4.00	4.00	4.00	

<i>Pinus leiophylla</i>	0.92	0.08	3.45	1.48	7.62	7.62	7.62	3.00	3.00	3.00
<i>Quercus rugosa</i>	0.92	0.08	3.45	1.48	7.62	7.62	7.62	4.00	4.00	4.00
Total	100	100	100	100	–	–	–	–	–	–

5.2.5.4. Distribución vertical (Rango 2)

El valor del índice A para el Rango 2 fue de 2.79, con un A_{max} de 3.81 y un A_{rel} de 73.18%, para este rango se presenta un mayor porcentaje de uniformidad en la diversidad de las alturas al encontrarse a 26.82% de la máxima diferenciación dimensional.

Valores de importancia. Para este rango de altitud, al igual que el Rango 1 existe la presencia de dos especies distribuidas en todos los estratos de altura, pero a diferencia del Rango 1 *P. durangensis* es remplazado por *A. durangensis* con una representación de 56.66% de IVI en el Estrato I, 41.26% en el Estrato II y 18.24% en el Estrato III. La especie que comparte esta misma distribución es *P. ayacahuite* el cual tiene una representación de 43.34% de IVI en el Estrato I, 16.24% en el Estrato II y 8.58% en el III. Éstas dos especies son las de mayor importancia ecológica para el Estrato III y Estrato II; en el Estrato III también se encuentran dentro de las tres primeras especies importantes, pero en éste, *I. tolucana* ocupa el segundo lugar de importancia con 13.48% remplazando a *P. ayacahuite* y colocándolo en tercer lugar de importancia (Tabla VII).

Variables del sitio. *A. durangensis* fue la especie que tuvo el mayor diámetro en el Estrato I con 108.83 cm seguido por *P. ayacahuite* con 66.04 cm y una altura de 32 m y 26 m respectivamente. El Estrato II está conformado por un diámetro mayor promedio de 84.33 cm correspondiente a *Q. crassifolia* con altura promedio de 25 m, que corresponde a la altura mayor de este estrato. El Estrato III tiene un diámetro mayor promedio de 35.81 cm para la especie de *A. oblongifolia* con 13.50 m de altura y un diámetro menor promedio de 11.81 cm para *P. durangensis*, pero la altura promedio menor corresponde a *Q. hypoleucoides* con 4.75 m (Tabla VII).

Tabla VII. Resultados para el rango altitudinal dos.

Estrato	Especie	Abundancia	Dominancia	Frecuencia	IVI	Dn (cm)			At (m)		
		%	%	%		Media	Min	Max	Media	Min	Max
I	<i>Abies durangensis</i>	50.00	69.98	50.00	56.6 6	100.8 3	100.8 3	100.8 3	32.00	32.0 0	32.0 0
	<i>Pinus ayacahuite</i>	50.00	30.02	50.00	43.3 4	66.04	66.04	66.04	26.00	26.0 0	26.0 0
	Total	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-
II	<i>Abies durangensis</i>	46.15	44.28	33.33	41.2 6	53.59	29.21	79.50	19.83	17.0 0	25.0 0
	<i>Pinus ayacahuite</i>	15.38	11.13	22.22	16.2 4	48.77	46.74	50.80	16.50	16.0 0	17.0 0
	<i>Pinus durangensis</i>	15.38	10.87	11.11	12.4 6	47.88	41.91	53.84	22.50	22.0 0	23.0 0
	<i>Quercus crassifolia</i>	7.69	16.61	11.11	11.8 0	84.33	84.33	84.33	25.00	25.0 0	25.0 0
	<i>Quercus hypoleucoides</i>	7.69	9.42	11.11	9.41	63.50	63.50	63.50	17.00	17.0 0	17.0 0
	<i>Pinus engelmannii</i>	7.69	7.70	11.11	8.83	57.40	57.40	57.40	18.00	18.0 0	18.0 0
	Total	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-
	III	<i>Abies durangensis</i>	22.09	17.24	15.38	18.2 4	18.14	8.89	29.21	8.79	4.00
<i>Ilex tolucana</i>		11.63	13.42	15.38	13.4 8	20.40	8.89	47.24	5.40	3.00	11.0 0
<i>Pinus ayacahuite</i>		9.30	8.73	7.69	8.58	18.95	8.89	33.78	7.25	4.00	11.0 0
<i>Quercus crassifolia</i>		8.14	11.80	3.85	7.93	21.34	9.14	56.90	7.57	4.00	15.0 0
<i>Cupressus lusitanica</i>		5.81	9.21	7.69	7.57	25.65	13.72	38.35	10.00	5.00	15.0 0
<i>Pinus engelmannii</i>		5.81	11.95	3.85	7.20	24.59	11.68	61.98	8.40	5.00	15.0 0
<i>Ilex rubra</i>		6.98	3.50	7.69	6.06	13.93	7.62	24.38	7.17	5.00	15.0 0
<i>Quercus sideroxyla</i>		5.81	7.23	3.85	5.63	20.32	10.16	45.72	6.40	5.00	10.0 0
<i>Pinus durangensis</i>		6.98	2.13	7.69	5.60	11.81	9.40	15.24	6.17	3.00	9.00
<i>Quercus hypoleucoides</i>		4.65	2.18	7.69	4.84	14.41	10.41	19.56	4.75	4.00	6.00
<i>Quercus oblongifolia</i>		5.81	3.58	3.85	4.41	16.56	13.21	23.11	7.20	5.00	9.00
<i>Alnus oblongifolia</i>		2.33	6.39	3.85	4.19	35.81	34.54	37.08	13.50	13.0 0	14.0 0
<i>Juniperus deppeana</i>		2.33	0.94	3.85	2.37	13.72	12.70	14.73	6.00	6.00	6.00
<i>Arbutus xalapensis</i>		1.16	0.98	3.85	2.00	19.81	19.81	19.81	5.00	5.00	5.00
<i>Quercus rugosa</i>		1.16	0.72	3.85	1.91	17.08	17.08	17.08	7.00	7.00	7.00
Total		100	100	100	100	-	-	-	-	-	-

5.2.5.5. Distribución vertical (Rango 3)

El valor del índice A obtenido en el Rango 3 fue de 2.02, con A_{max} de 3.04 y un A_{rel} de 66.24%, valores parecidos al Rango 1, con un 33.76% de la máxima diferenciación dimensional.

Valores de importancia. *C. lusitanica* y *A. oblongifolia* son las especies que tienen

distribución en todos los estratos de altura, *C. lusitanica* es la especie más importante en el Estrato I y Estrato II aportando valores de importancia de 46.61% y 41.57% respectivamente, esta especie ocupa el tercer lugar en valor de importancia en el Estrato III 7.70%. El Estrato I de los rangos 1 y 2, cuenta con dos especies que lo conforman, a diferencia del Estrato I del Rango 3 que presenta a *C. lusitanica*, *P. durangensis* y *A. oblongifolia* como las especies que lo conforman. En el Estrato III *Q. crassifolia* es la especie con mayor importancia 59.96% de *IVI*, seguida de *A. oblongifolia* con 19.31% y *C. lusitanica* como se mencionó anteriormente (Tabla VIII).

Variables de sitio. El Estrato I presenta 58.29 cm de diámetro promedio para *P. durangensis*, y 37.90 cm de diámetro promedio menor en *A. oblongifolia*; la altura promedio es de 14.66 m. El Estrato II tiene un diámetro promedio mayor de 39.26 cm en *P. ayacahuite* y diámetro promedio menor para *Q. crassifolia* de 22.42 cm; la altura promedio es de 10.75 m. Por último, se tiene un diámetro de 27.50 cm como promedio mayor para la especie de *A. oblongifolia* y menor de 12.19 cm en *P. engelmannii*, altura promedio de sus especies de 5.29 m (Tabla VIII).

Tabla VIII. Resultados para el rango altitudinal tres.

Estrato	Especie	Abundancia	Dominancia	Frecuencia	IVI	Dn (cm)			At (m)		
		%	%	%	%	Media	Mín	Max	Media	Mín	Max
I	<i>Cupressus lusitanica</i>	57.14	42.69	40	46.61	37.90	18.00	50.80	15.00	14.00	17.00
	<i>Pinus durangensis</i>	28.57	45.76	40	38.11	58.29	52.07	64.52	15.50	15.00	16.00
	<i>Alnus oblongifolia</i>	14.29	11.55	20	15.28	41.66	41.66	41.66	14.00	14.00	14.00
	Total	100	100	100	100	–	–	–	–	–	–
II	<i>Cupressus lusitanica</i>	41.18	53.54	30	41.57	34.08	20.00	61.98	11.43	9.00	13.00
	<i>Alnus oblongifolia</i>	29.41	18.59	30	26.00	24.38	15.00	32.00	11.20	9.00	13.00
	<i>Pinus ayacahuite</i>	11.76	18.75	20	16.84	39.26	30.00	48.51	11.00	11.00	11.00
	<i>Quercus crassifolia</i>	17.65	9.12	20	15.59	22.42	18.80	29.46	10.00	10.00	10.00
Total	100	100	100	100	–	–	–	–	–	–	
III	<i>Quercus crassifolia</i>	73.08	63.94	42.86	59.96	17.65	8.38	37.08	5.47	4.00	8.00
	<i>Alnus oblongifolia</i>	15.38	28.26	14.29	19.31	27.50	24.13	35.05	8.00	8.00	8.00
	<i>Cupressus lusitanica</i>	3.85	4.98	14.29	7.70	23.37	23.37	23.37	3.00	3.00	3.00
	<i>Ilex tolucana</i>	3.85	1.47	14.29	6.53	12.70	12.70	12.70	5.00	5.00	5.00

<i>Pinus engelmannii</i>	3.85	1.35	14.29	6.50	12.19	12.19	12.19	5.00	5.00	5.00
Total	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-

5.2.5.6. Diversidad de especies

Los índices de diversidad se calcularon para obtener la diversidad y abundancia de especies en diferentes condiciones a una escala similar, y cuanto mayor es su valor, más alta será su riqueza y diversidad. La riqueza de especies mediante el índice de Margalef presentó en su mayoría valores bajos, para el Rango 1 y 2 solamente el Estrato III presentó el mayor valor de riqueza de Margalef con 2.22 para el Rango 1 y 2.31 para el Rango 2 (Tabla IX).

La diversidad del índice de Shannon-Wiener tuvo valores de diversidad mayores a 2 en el Estrato III para el Rango 1 y 2, por lo que presentan una diversidad media y los demás estratos presentaron valores menores a 2 (Tabla IX).

Tabla IX. Índices de diversidad por rango de altitud y por estrato arbóreo.

Rango	Estrato arbóreo	Índice de Shannon	Índice de Margalef
1	I	0.5	0.31
	II	1.87	1.65
	III	2.09	2.22
2	I	0.69	0.43
	II	1.52	1.2
	III	2.46	2.31
3	I	0.96	0.56
	II	1.28	0.68
	III	0.89	0.82

5.2.6. DISCUSIÓN

Para la estructura vertical en general de todos los rangos de altitud, los valores del índice de Pretzsch fueron muy similares entre sí, tanto valores de A como valores de A_{max} y A_{rel} ; con valores de A desde 2.02 a 2.51, A_{max} de 3.04 a 3.81 y A_{rel} de 66% a 73%. Los valores sugieren alta diversidad de especies en la estructura vertical, pero sin una distribución uniforme en todos los estratos (Buendía-Rodríguez *et al.*, 2019). Los resultados coinciden con los consignados

por Rubio *et al.* (2014), con A_{max} de 3.74 y A de 2.01 en bosques mixtos; pero se encuentran por arriba de los obtenidos por Villavicencio *et al.* (2005) para un bosque de pino-encino con A de 2 y un A_{max} de 2.7.

De acuerdo con Lamprecht (1990), todas las especies que se encuentren ubicadas en todos los estratos de altura son aquellas que presentan un comportamiento de “especies con distribución vertical continua”. De igual manera Acosta *et al.* (2006) afirman que cuando una especie se ubica en todos los estratos de altura tiene asegurada su permanencia en la composición y estructura del bosque.

Por otro lado, la mayoría de las especies e individuos se ubicaron en el Estrato III para todos los rangos de altitud lo cual concuerda con lo registrado por Zarco-Espinosa *et al.* (2010); Castellanos- Bolaños *et al.* (2010) en un bosque de clima templado frío en Oaxaca; Rubio *et al.* (2014); indica que cuando el estrato de altura inferior es superior en número de individuos y especies a los estratos sucesivos, el área evaluada corresponderá a un bosque en estado de regeneración (Acosta *et al.*, 2006).

La alta incidencia de especies y número de individuos en estratos bajos se puede explicar, debido a que las especies pueden establecerse y desarrollarse dependiendo de sus necesidades de captación lumínica (Louman, 2001; Gadow *et al.*, 2007). El crecimiento en altura depende mayormente de necesidades lumínicas, lo que indica que algunas especies de porte menor no son árboles suprimidos dentro del bosque, sino que son especies que no requieren de un porte mayor para alcanzar los niveles del estrato superior, porque tienen la capacidad de desarrollarse a plenitud en los estratos inferiores (Lamprecht, 1990).

Los valores obtenidos en la diversidad de especies con base al índice de Margalef son indicadores de una riqueza de especies media, ya que valores inferiores a 2 son considerados como baja diversidad y valores superiores a 5 se consideran como indicativos de alta diversidad por lo tanto estos se encuentran entre los valores medios (Margalef, 1972).

Los valores obtenidos mediante el índice de Shannon-Wiener se consideran de baja diversidad (Shannon, 1948). Estos valores están por debajo de los reportados por García *et al.* (2019) para un bosque de pino-encino. Asimismo, otros autores reportan índices similares para bosques templados (Alanís *et al.*, 2008; Méndez *et al.*, 2018), y también lo que encontró Santiago *et al.* (2014) en un bosque de galería de la sierra de Quila, Jalisco con valores de 1.8 a 2.6.

Se presentó una tendencia de decremento en el valor de los índices de riqueza y diversidad de especies de Margalef y Shannon a medida que incrementaba la altura, esto coincide con lo reportado por Jiménez *et al.* (2001) en bosques multicohortales de pino-encino, solamente el Estrato II del Rango 3 presentó un incremento en el índice de Shannon.

5.2.7. CONCLUSIONES

El índice de Pretzsch es una buena propuesta de análisis de la estructura vertical, el cual ofrece una visión más amplia de cómo se distribuyen las especies dentro del ecosistema, permitiendo de esta manera analizar la dinámica de las poblaciones y poder inferir en el manejo adecuado de la vegetación propia estudiada. Los rangos de altitud estudiados están conformados por tres estratos de altura, pero cada uno de ellos difiere entre sí por rango de altitud, muestra de que la estructura vertical de cada rango de altitud tiene una conformación de alturas, individuos y especies distinta. Solamente los estratos bajos presentaron una diversidad media a excepción del Estrato III del Rango 3, el cual obtuvo una diversidad baja. Solamente pocas especies están presentes en el estrato superior, indicando que no todas las especies son capaces o necesitan alcanzar pisos superiores para desarrollarse plenamente. Este análisis podrá ser objeto de estudio para evaluar la necesidad de establecer un manejo adecuado de la vegetación ya sea de conservación, restauración u otro uso, siempre con el fin de favorecer la distribución de especies en toda el área de estudio y en los diferentes estratos verticales.

6. CONCLUSIONES GENERALES

Es importante evaluar la estructura y composición de los bosques, ya que la información que se obtiene de este tipo de estudios es el punto de partida para la toma de decisiones en el manejo de la vegetación, con los diferentes fines y propósitos que se persigan.

En este estudio, se pudo observar como los gradientes altitudinales tienen influencia en la composición de la vegetación, se observó que no se presentó alguna tendencia de disminución de la diversidad, abundancia, riqueza y dominancia de las especies conforme al aumento o descenso del nivel altitudinal, sin embargo, es importante agregar una serie de componentes adicionales a estos estudios ya que la vegetación se puede ver afectada al mismo tiempo por otro tipo de parámetros ecológicos, como, tipo de suelo, impacto antropogénico, catástrofes naturales, entre otros. Son pocos los estudios que se realizan en los bosques de galería en México y sobre todo en las zonas templadas, esta investigación es un aporte a la información de la vegetación de bosques de galería presentes en las zonas templadas del noroeste de México.

7. LITERATURA CITADA

Acosta, V. H., Araujo, P. A., & Iturre, M. C. (2006). *Caracteres estructurales de las masas* (22nd ed.). Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Santiago del Estero. Recuperado de <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/SD-22-Caracteres-estructurales-ACOSTA.pdf>.

Acosta, C., Mondragón, A. y Alvarado, H. (2008). Contribución de la flora arbórea de un sector del bosque ribereño “Los Letreros”, estado Trujillo, Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 52(1), 21-31.

- Aguilar Luna, J. M. E. (2018). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea de un bosque de galería en el estado de Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47), 230–252. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.154>.
- Aguirre Calderón, O. A. (2002). Índices para la caracterización de la estructura del estrato arbóreo de ecosistemas forestales. *Ciencia Forestal En México*, 27(92), 5–27.
- Aguirre Calderón, O. A., Jiménez Pérez, J., Kramer, H., & Akça, A. (2003). Análisis estructural de ecosistemas forestales en el Cerro del Potosí, Nuevo León, México. *Ciencia UANL*, 6(2), 219–225.
- Alanís Flores, G. J., Gerónimo, C. y C., & Rovalo Merino, M. (1996). *Vegetación y flora de Nuevo León. Una Guía botánico-ecológica* (CEMEX). Patronato Monterrey 400, Consejo Consultivo para la Preservación y Fomento de la Flora y Fauna Silvestre de Nuevo León. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/51539597/VEGETACION-Y-FLORA-DE-NUEVO-LEON-una-guia-botanico-ecologica>.
- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Espinoza-Vizcarra, D., Jurado-Ybarra, E., Aguirre-Calderón, O. A., & González-Tagle, M. A. (2008). Evaluación del estrato arbóreo en un área restaurada post-incendio en el Parque Ecológico Chipinque, México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 14(2), 113–118.
- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Valdecantos-Dema, A., Pando-Moreno, M., Aguirre-Calderón, O., & Treviño-Garza, E. J. (2011). Caracterización De Regeneración Leñosa Post-Incendio De Un Ecosistema Templado Del Parque Ecológico Chipinque, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 17(1), 31–39. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.05.032>

- Alanís Rodríguez, E., Jiménez Pérez, J., Canizales Velázquez, P. A., González Rodríguez, H., & Mora- Olivo, A. (2015). Estado actual del conocimiento de la estructura arbórea y arbustiva del matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(7), 69–80.
- Anderson-Teixeira, K.J., A.D. Miller, J.E. Mohan, T.W. Hudiburg, B.D. Duval y E.H. DeLucia. (2013). Altered dynamics of forest recovery under a changing climate. *Global Change Biology* 19(7):2001–2021.
- Aragón-Piña, E. E., Garza-Herrera, A., González-Elizondo, M. S., & Luna-Vega, I. (2010). Composición y estructura de las comunidades vegetales del rancho El Duranguense, en la Sierra Madre Occidental, Durango, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81(3), 771–787.
- Ávila-Flores, D. Y., González-Tagle, M. A., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., & Vargas-Larreta, B. (2012). Estructura de rodales de *Pinus hartwegii* afectados por incendios utilizando parámetros de vecindad en la sierra madre oriental, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15(2), 377–387.
- Beals, E. W. (1984). Bray-Curtis ordination: An effective strategy for analysis of multivariate ecological data. *Advances in Ecological Research* 14: 1-56.
- Bettinger, P., Boston, K., Siry, J. P., & Grebner, D. L. (2008). *Forest Management and Planning* (2nd ed.). Academic Press- Elsevier.
- Blaser, Jü., & Sabogal, C. (2011). *Directrices revisadas de la OIMT para la ordenación sostenible de los bosques tropicales naturales (Informe completo)*. Recuperado de https://www.itto.int/files/user/pdf/RFM-5_FULL_Report_of_Revised_SFM_Guidelines-with_list_of_acronyms_SPANISH.pdf
- Buendía-rodríguez, E., Treviño-garza, E. J., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, O. A., González-Tagle, M. A., & Pompa-García, M. (2019). Estructura de un ecosistema forestal y su relación con el contenido de

- carbono en el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(54), 4–25. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i54.149>.
- Camacho, R. F., Trejo, I. y Bonfil, C. (2006). Estructura y composición de la vegetación ribereña de la Barranca del río Tembembe, Morelos, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 78, 17-31.
- Carvalho, J. P. F. (2011). Composition and structure of natural mixed-oak stands in northern and central Portugal. *Forest Ecology and Management*, 262(10), 1928–1937. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.04.020>.
- Castellanos-Bolaños JF, Treviño-Garza EJ, Aguirre-Calderón ÓA, Jiménez-Pérez J, Musalem-Santiago M, López-Aguillón R. (2008). Estructura de bosques de Pino patula bajo manejo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera y Bosques* 14: 51-63.
- Castellanos-Bolaños, J. F., Treviño-Garza, E. J., Aguirre-Calderón, O. A., Jiménez-Pérez, J., & Velázquez-Martínez, A. (2010). Diversidad Arbórea Y Estructura Espacial De Bosques De Pino-Encino En Ixtlán De Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(2), 39–52. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v1i2.636>.
- Clark, D. B., Hurtado, J., & Saatchi, S. S. (2015). Tropical rain forest structure, tree growth and dynamics along a 2700-m elevational transect in Costa Rica. *PLoS ONE*, 10(4), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122905>.
- Condit, R., N. Pitman, E.G. Leigh Jr, J. Chave, J. Terborgh, R.B. Foster, P. Núñez, S. Aguilar, R. Valencia, G. Villa, H.C. Muller-Landau, E. Losos y S.P. Hubbell. (2002). Beta-diversity in tropical forest trees. *Science* 295(1):666–669.
- Colwell, R.; K. (2006). EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Recuperado de <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.

Cuevas-Guzmán, R., Cisneros-Lepe, E. A., Jardel-Peláez, E. J., Sánchez-Rodríguez, E. V., Guzmán-Hernández, L., Núñez-López, N. M., & Rodríguez-Guerrero, C. (2011). Análisis estructural y de diversidad en los bosques de Abies de Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(4), 1219–1233. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.4.741>

Dajoz, R. (2002). *Tratado de Ecología* (2nd ed.). Mundiprensa.

De León Mata, G. D., García Arévalo, A., Andrade Herrera, S., & Ruiz Marín, A. (2013). Distribución de la vegetación a través de un transecto sobre la Sierra Madre Occidental de Durango, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 9(1), 30–40. <http://incubadorabt.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v9-n1-5-distribucion-de-la-vegetacion-a-traves-de-un-transecto-sobre-la-sierra-madre-occidental-de-durango-mexico.pdf>

Encina-Domínguez, J. A., Encina-Domínguez, F. J., Mata-Rocha, E., & Valdes-Reyna, J. (2008). Aspectos estructurales, composición florística y caracterización ecológica del bosque de oyamel de la sierra de zapalinamé, Coahuila, México. *Boletín de La Sociedad Botánica de México*, 83, 13–24. <https://doi.org/10.17129/botsci.1785>.

Ede, F. y Hunt, T. (2009). Understanding why weeds flourish in riparian zones. *Land and Water Australia*, 8, 14-15.

Funes, G. y M. Cabido. (1995). Variabilidad local y regional de la vegetación rupícola de las Sierras Grandes de Córdoba, Argentina. *Kurtziana* 24: 173-188.

Gadow, K. v, Sánchez Orois, S., & Gabriel, Á. G. J. (2007). *Estructura y crecimiento del bosque*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/265270198_Estructura_y_Crecimiento_del_Bosque.

- Gadow, K. V, Zhang, C. Y., Wehenkel, C., Pommerening, A., Corral-Rivas, J., Korol, M., Hui, G. Y., Kiviste, A., & Zhao, X. H. (2012). Forest structure and diversity. In P. T & von G. K (Eds.), *Continuous Cover Forestry* (pp. 29–83). Springer Science. https://doi.org/DOI: 10.1007/978-94-007-2202-6_2.
- García Arévalo, A. (2008). Vegetación y flora de un bosque relictual de *Picea chihuahuana* Martínez del norte de México. *Polibotánica*, *25*, 45–68.
- García Romero, M. G., Narváez Flores, R., Castruita Esparza, L. U., Ayala Martínez, N. G., Núñez López, D., Loera García, F. J., Gutiérrez Jurado, I. H., Bustillos Sandoval, R. D., Ayala Martínez, Y. L., Castruita Esparza, G., & Vélez Máynez, S. L. (2009). *Estudio regional forestal: Región de manejo silvícola de Guachochi*, A. C. Comisión Nacional Forestal.
- García-Aranda, M. A., Estrada-Castillón, A. E., Cantú-Ayala, C. M., & Pando-Moreno, M. (2012). Clasificación de nuevos sitios de bosque mixto de coníferas con presencia de *Taxus globosa* en la Sierra Madre Oriental, Nuevo León y Tamaulipas, México. *Botanical Sciences*, *90*(1), 53–62.
- García García, S. A., Narváez Flores, R., Olivas-García, J. M., & Hernández Salas, J. (2019). Diversidad y estructura vertical del bosque de pino – encino en Guadalupe y Calvo, Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *10*(53), 41–63. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i53.173>.
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L., & López-Enríquez, I. L. (2012). Vegetación de la sierra madre occidental, México: Una síntesis. *Acta Botanica Mexicana*, *100*(1), 351–404. <https://doi.org/10.21829/abm100.2012.40>.
- González Cubas, R., Treviño Garza, E. J., González Tagle, M. A., Duque Montoya, Á., & Gómez Cárdenas, M. (2018). Diversidad y estructura arbórea

en un bosque de *Abies vejarii* Martínez en el sur del estado de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45), 36–64. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.142>.

Gould, W. A., González, G., & Carrero Rivera, G. (2006). Structure and composition of vegetation along an elevational gradient in Puerto Rico. *Journal of Vegetation Science*, 17(5), 653–664. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2006.tb02489.x>

Graciano-Ávila, G., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., & Luján-Soto, J. E. (2017). Composición, estructura y diversidad de especies arbóreas en un bosque templado del Noroeste de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), 535–542. <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1114>.

Granados-Sánchez, D., Hernández-García, M. Á., & López-Ríos, G. F. (2006). Ecología de las Zonas Ribereñas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Medio Ambiente*, 12(1), 55–69.

Guerrero-Hernández, R., González-Gallegos, J. G., & Arturo, C.-C. (2014). Análisis florístico de un bosque de *Abies* y el bosque mesófilo de montaña adyacente en Juanacatlán, Mascota, Jalisco, México. *Botanical Sciences*, 92(4), 541–562. <http://www.scielo.org.mx/pdf/bs/v92n4/v92n4a7.pdf>

Gotelli, N. J., & Colwell, R. K. (2011). Biological diversity: frontiers in measurement and assessment. In A. E. Magurran & B. J. McGill (Eds.), *Estimating species richness* (OXFORD UNI). http://viceroy.eeb.uconn.edu/RKCPublications/GotelliAndColwellInMagurranAndMcGill_2011.pdf

Hernández-Salas, J., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., González-Tagle, M. A., Luján-Álvarez, C., Olivas-García, J. M., & Domínguez-Pereda, L. A. (2013). Efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque templado del

- noroeste de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 19(2), 189–199. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.08.052>.
- Huerta, M. M., & Guerrero, S. (2004). *Ecología de comunidades*. Universidad de Guadalajara.
- IUCN. (2013). *Red List of Threatened Species*. <https://www.iucnredlist.org/>
- Jiménez, J., Aguirre, O., & Kramer, H. (2001). Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el norte de México. *Investigacion Agraria, Sistemas y Recursos Forestales*, 10(2), 355–366.
https://www.researchgate.net/publication/28052703_Analisis_de_la_estructura_horizontal_y_vertical_en_un_ecosistema_multicohortal_de_pino-encino_en_el_norte_de_Mexico.
- Kocher, S. D., & Harris, R. (2007). Riparian Vegetation. *Forest Stewardship Series* 10, 7. <https://anrcatalog.ucanr.edu/pdf/8240.pdf>.
- Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas, posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*. Eschborn (Alemania) GTZ.
- Lähde E, Laiho O, Norokorpi Y, Saksa T. (1999). Stand structure as the basis of diversity index. *Forest Ecology and Management* 115: 213-220.
- Louman, B. (2001). Bases ecológicas. In B. Louman, D. Quiros, & M. Nilsson (Eds.), *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central* (pp. 57–62). CATIE. <http://hdl.handle.net/11554/3971>.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science Ltd, a Blackwell Publishing company.
https://www2.ib.unicamp.br/profs/thomas/NE002_2011/maio10/Magurran_2004_c2-4.pdf.

- Margalef, R. (1972). *Homage to Evelyn Hutchinson, or why there is an upper limit to diversity*. Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences.
- Meave J., Kellman M., MacDougall A. y Rosales J. (1991). Riparian habitats as tropical forest refugia. *Global Ecology and Biogeography Letters* 1:69-76.
- Meli, P., Ruiz, L., Aguilar, R., Rabasa, A., Rey-Benayas, J. M., & Carabias, J. (2017). Bosques ribereños del trópico húmedo de México: Un caso de estudio and aspectos críticos para una restauración exitosa. *Madera Bosques*, 23(1), 181–193. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311118>.
- Méndez Osorio, C., Mora Donjuán, C. A., Rodríguez, E. A., Jiménez Pérez, J., Aguirre Calderón, O. A., Treviño Garza, E. J., & Pequeño Ledezma, M. A. (2018). Fitodiversidad y estructura de un bosque de pino-encino en la Sierra Madre del Sur, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50), 35–53. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.236>.
- Moreno, C. E., & Halffter, G. (2001). Spatial and temporal analysis of α , β and γ diversities of bats in a fragmented landscape. *Biodiversity and Conservation*, 10, 367–382. <https://doi.org/10.1023/A:1016614510040>.
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. S. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). <http://www.bionica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf>.
- Návar, J. (2009). Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 257(2), 427–434. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.09.028>.
- Nilsson, C., & Svedmark, M. (2002). Basic principles and ecological consequences of changing water regimes: Riparian plant communities. *Environmental Management*, 30(4), 468–480. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2735-2>.

- Odum, E. P. (1985). *Ecología*. México, D.F. (McGrawHill Interamericana).
- Pretzsch, H. (2009). *Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-88307-4>.
- Ramírez, S. R. (2006). *Efecto de la aplicación de dos métodos de regeneración sobre la estructura, diversidad y composición de un bosque de pino encino en la Sierra Juárez de Oaxaca, México*. Tesis de Maestría no publicada. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Rascón-Ayala, J. M., Alanís-Rodríguez, E., Mora- Olivo, A., Buendía-Rodríguez, E., Sánchez-Castillo, L., & Silva-García, J. E. (2018). Differences in vegetation structure and diversity of a forest in an altitudinal gradient of the Sierra La Laguna Biosphere Reserve, Mexico. *Botanical Science*, 96(4), 598–608. <https://doi.org/10.17129/botsci.1993>
- Remmert, H. (1991). *The Mosaic-Cycle Concept of Ecosystems* (1st ed.). Springer-Verlag Berlín Heidelberg. <https://doi.org/10.1007 / 978-3-642-75650-4>.
- Richardson, D. M., Holmes, P. M., Esler, K. J., Galatowitsch, S. M., Stromberg, J. C., Kirkman, S. P., Pyšek, P., & Hobbs, R. J. (2007). Riparian vegetation: Degradation, alien plant invasions, and restoration prospects. *Diversity and Distributions*, 13(1), 126–139. <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2006.00314.x>
- Richter, M. H. (2008). *Tropical mountain forest - distribution and general features* (pp. 1–18). BioDiversity and Ecology Series. no 2.
- Romero, F., M. A. Cozano, R. A. Gangas y P. I. Naulin. (2014). Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile. *Bosque* (Valdivia) 35 (1): 3-12.

- Rubio Camacho, E., González Tagle, M., Jiménez Pérez, J., Alanís Rodríguez, E., & Ávila Flores, D. (2014). Diversidad y distribución vertical de especies vegetales mediante el índice de Pretzsch. *Ciencia UANL*, 17(65), 34–41. <http://cienciauanl.uanl.mx/?p=799>.
- Sánchez Silva, R. (1986). *Vegetación en galería y sus relaciones hidrogeomorfológicas*. Ingeniería Hidráulica en México. <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/527/449>.
- Sánchez-González, A., López-Mata, L., & Granados-Sánchez, D. (2005). Semejanza florística entre los bosques de *Abies religiosa* (H.B.K.) Cham. & Schtdl. de la Faja Volcánica Transmexicana. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía, UNAM*, 56, 62–76. <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n56/n56a5.pdf>
- Sánchez M, W. K. (2006). *Estudio de las comunidades de plantas riparias y sus asociaciones florísticas en la cuenca del Río Sabinas, Coahuila, México*. Tesis Inédita. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Sánchez, G. A. (2008). Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques*, 14(1), 107–120.
- Santiago-Pérez, A. L., Ayón Escobedo, A., Rosas-Espinoza, V. C., Rodríguez Zaragoza, F. A., & Toledo González, S. L. (2014). Estructura del bosque templado de galería en la Sierra de Quila, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(24), 144–159. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i24.326>
- Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>.

- Timoney, K. P., Peterson, G., & Wein, R. (1997). Vegetation development of boreal riparian plant communities after flooding, fire, and logging, Peace River, Canada. *Forest Ecology and Management*, 93, 101–120.
- Urbietta, I. R. (2009). Estructura, dinámica y regeneración de los bosques mixtos de alcornoque (*Quercus suber* L.) y quejigo moruno (*Q. canariensis* Willd.) del sur de la Península Ibérica: una aproximación multiescala. *Ecosistemas*, 18(2), 116–121. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54012144013>.
- Valenzuela Núñez, L. M., & Granados Sánchez, D. (2009). Caracterización fisionómica y ordenación de la vegetación en el área de influencia de el salto, Durango, México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 15(1), 29–41.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v15n1/v15n1a4.pdf>.
- Vetaas, O. R., & Grytnes, J. A. (2002). Distribution of vascular plant species richness and endemic richness along the Himalayan elevation gradient in Nepal. *Global Ecology and Biogeography*, 11(4), 291–301.
<https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2002.00297.x>.
- Villavicencio García, R., Bauche Petersen, P., Gallegos Rodríguez, A., Santiago Pérez, A. L., & Martínez Huerta, F. (2005). Caracterización estructural y diversidad de comunidades arbóreas de La Sierra de Quila. *Boletín IBUG*, 13(1), 67–76.
- Zacarías Eslava, Y. (2009). *Composición y Estructura del Bosque Templado de Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca, a lo largo de un Gradiente Altitudinal* [Instituto Politecnico Nacional].
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/2736/ZACARIASESLAVA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Zar, J. H. (2010). *Biostatistical Analysis*. New Jersey. Prentice Hall. ISBN-13: 978-0321656865.

Zarco-espinoza, V. M., Valdez-Hernández, J. L., Ángeles-Pérez, G., & Castillo-Acosta, O. (2010). Estructura Y Diversidad De La Vegetación Arbórea Del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 26(1), 1–17. <https://doi.org/10.19136/era.a26n1.179>.