

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN GENÉTICA Y AMBIENTE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN SISTEMAS DEL AMBIENTE



**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE DOS MÉTODOS DE MANEJO
FORESTAL SOBRE LOS ESTRATOS DE UN BOSQUE TEMPLADO
DEL ESTADO DE TLAXCALA**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DEL AMBIENTE

PRESENTA:

ING. ISAI YAREHT VÁZQUEZ CARMONA

BAJO LA DIRECCIÓN DEL:

DR. JOSE LUIS MARTÍNEZ Y PÉREZ

DR. VIDAL GUERRA DE LA CRUZ

TUTORES:

DRA. LAURA VERÓNICA HERNÁNDEZ CUEVAS

DR. HÉCTOR SANTOS LUNA ZENDEJAS



IXTACUIXTLA, TLAXCALA, MARZO 2021



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN GENÉTICA Y AMBIENTE
MAESTRIA EN CIENCIAS EN SISTEMAS DEL AMBIENTE

Código: 505-RGE-04

Publicación: Diciembre 2020

Revisión: 9001:2015 04

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

C. ISAI YAREHT VÁZQUEZ CARMONA
CANDIDATO A MCSA
PRESENTE

En cumplimiento al artículo 52 fracción "d" del Reglamento General de Evaluación Académica, el comité de evaluación de examen de grado ha revisado el trabajo de investigación titulado: "Evaluación del efecto de dos métodos de manejo forestal sobre los estratos de un bosque templado del estado de Tlaxcala", realizado bajo la dirección del Dr. José Luis Martínez y Pérez y el Dr. Vidal Guerra de la Cruz. No habiendo encontrado objeción alguna, se autoriza su impresión:

Dr. Héctor Santos Luna Zendejas

Dr. Vidal Guerra de la Cruz

Dr. José Luis Martínez y Pérez

Dr. Oscar G. Vázquez Cuecuecha

Dra. Laura Verónica Hernández Cuevas

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

"POR LA CULTURA A LA JUSTICIA SOCIAL"

Ixtacuixtla, Tlax., 03 de marzo de



DRA. EDELMIRA GARCÍA NIETO
COORDINADORA GENERAL DEL CIGEN

CENTRO DE INVESTIGACIÓN
EN GENÉTICA Y AMBIENTE
MAESTRIA EN CIENCIAS
EN SISTEMAS DEL AMBIENTE

c.c.p. Expediente



Documento exclusivo para uso de la dependencia responsable o autoridad correspondiente

I. Dedicatorias

Esta tesis está dedicada a todos mis amigos y amigas que antes, durante y después de la travesía en la maestría, mostraron su apoyo en todo el proceso. También va dedicada a mis compañeros de maestría que con sus diferentes perspectivas y formas de ver la vida, me inspiraron a ser mejor.

Una dedicatoria especial a mis abuelos paternos, mi hermano mayor y mi padre que siempre fueron una fuente de inspiración.

Por último, este trabajo es dedicado a mi madre que con su esfuerzo y apoyo incondicional me permitió cumplir mis metas. A mi hermano menor que con su motivación me inspiraba a no rendirme.

II. Agradecimientos

Un profundo agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo a estudios de posgrado con la beca otorgada con número 929566 para la realización de este proyecto en la Maestría en Ciencias en Sistemas del Ambiente, perteneciente al Centro de Investigación en Genética y Ambiente de la Facultad de Agrobiología de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, bajo la codirección del Doctor José Luis Martínez y Pérez como director interno y del Doctor Vidal Guerra de la Cruz como director externo.

También un agradecimiento a la Dra. Laura Verónica Hernández Cuevas y al Dr. Héctor Santos Luna Zendejas por formar parte del comité, así como su valiosa aportación para orientar este proyecto por buen camino.

Particularmente deseo agradecer al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas Y Pecuarias (INIFAP) por su apoyo para realizar este proyecto.

Índice

| | |
|---|-----------|
| I. Dedicatorias | 3 |
| II. Agradecimientos..... | 4 |
| III. Índice de tablas..... | 7 |
| IV. Índice de figuras | 8 |
| Resumen | 9 |
| 1. Introducción | 11 |
| 1.1. Marco teórico | 11 |
| 1.1.1. Tipos de vegetación en México..... | 11 |
| 1.1.2. Bosques templados..... | 12 |
| 1.1.3. Estructura de la vegetación | 12 |
| 1.1.4. Importancia de los bosques templados en el ambiente | 13 |
| 1.2. Manejo Forestal | 14 |
| 1.2.1. Métodos de manejo forestal de México aplicados en el estado de Tlaxcala | 14 |
| 1.2.1.1. Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI)..... | 15 |
| 1.2.1.2. Método de desarrollo silvícola (MDS)..... | 15 |
| 1.2.1.3. Método Tlaxco (MT)..... | 16 |
| 1.3. Organización social del aprovechamiento forestal | 16 |
| 1.3.1. Comunitario..... | 16 |
| 1.3.2. Privado..... | 17 |
| 1.3.3. Empresas | 17 |
| 1.4. Productos forestales no maderables (PFNM)..... | 17 |
| 2. Antecedentes | 19 |
| 3. Justificación | 21 |
| 4. Objetivos | 22 |
| 4.1. General..... | 22 |
| 4.1.1. Específicos | 22 |
| 5. Hipótesis | 22 |
| 6. Metodología..... | 23 |
| 6.1. Selección de la zona de estudio | 23 |
| 6.1.1. Descripción de la zona de estudio | 23 |
| 6.2. Obtención de datos de campo..... | 24 |
| 6.3. Toma de datos dasométricos del componente arbóreo..... | 26 |

| | |
|---|----|
| 6.3.1. Componente arbustivo y herbáceo | 28 |
| 6.3.1.1. Identificación taxonómica. | 29 |
| 6.3.2. Análisis de datos..... | 30 |
| 6.3.2.1. Índices de diversidad..... | 30 |
| 6.4. Organización y análisis de datos..... | 32 |
| 6.5. Análisis de componentes principales | 33 |
| 6.6. Análisis de correlación de Pearson | 33 |
| 7. Resultados..... | 34 |
| 7.1. Estructura arbórea..... | 34 |
| 7.1.1. Análisis de variables dasométricas dentro de los conglomerados MDS, MMOBI y TESTIGO..... | 36 |
| 7.1.1.1. Diámetro a la altura del pecho (DAP)..... | 36 |
| 7.1.1.2. Altura..... | 37 |
| 7.1.1.3. Cobertura | 38 |
| 7.1.1.4. Volumen de madera en pie..... | 39 |
| 7.1.2. Comparación entre conglomerados | 40 |
| 7.1.2.1. Índice de valor de importancia | 41 |
| 7.2. Componentes arbustivo y herbáceo..... | 42 |
| 7.2.1. Composición del estrato arbustivo en las temporadas seca y de lluvia | 42 |
| 7.2.2. Composición del estrato herbáceo en las temporadas seca y de lluvia..... | 45 |
| 7.2.3. Índices de diversidad..... | 47 |
| 7.3. Análisis de componentes principales (PCA) | 48 |
| 7.4. Análisis de correlación de Pearson | 50 |
| 8. Discusión | 51 |
| 8.1. Estrato arbóreo..... | 51 |
| 8.2. Componente arbustivo y herbáceo..... | 52 |
| 9. Conclusiones | 54 |
| 10. Literatura citada | 55 |
| V. Anexos..... | 58 |

III. Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Productos forestales no maderables de México (Tapia-Reyes, 2008)..... | 18 |
| Tabla 2. Abundancia de las especies registradas en los tres conglomerados | 34 |
| Tabla 3. Índices de diversidad de las especies arbóreas. | 34 |
| Tabla 4. Cobertura total de cada conglomerado | 38 |
| Tabla 5. Índice de valor de importancia de las especies arbóreas de cada conglomerado. | 41 |
| Tabla 6. Especies arbustivas con más abundancia de cada conglomerado de la temporada seca..... | 42 |
| Tabla 7. Especies arbustivas con mayor abundancia de cada conglomerado de la temporada de lluvia..... | 42 |
| Tabla 8. Especies herbáceas con más abundancia de cada conglomerado de la temporada seca..... | 45 |
| Tabla 9. Especies herbáceas con más abundancia de cada conglomerado de la temporada de lluvia. | 45 |
| Tabla 10. Índices de diversidad del estrato arbustivo en los tres conglomerados por temporada. | 48 |
| Tabla 11. Índices de diversidad del estrato herbáceo en los tres conglomerados por temporada. | 48 |
| Tabla 12. Componentes 1 y 2 del PCA, los números en rojo son aquellos que explican el porcentaje de variabilidad de cada componente..... | 49 |

IV. Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Áreas de muestreo señaladas con un punto rojo que representa el centro de cada conglomerado, (1) MDS, (2) MMOBI y (3) área TESTIGO; imagen con orientación norte en una escala de 100 m. Fuente: Google Maps, 2018. | 25 |
| Figura 2. Esquema general de un conglomerado | 26 |
| Figura 3. Establecimiento de cuadros dentro de las parcelas (sitios) de los conglomerados | 29 |
| Figura 4. Uso de periódico para herborización de muestras botánicas. | 29 |
| Figura 5. Agrupamiento de los árboles por sitio en similitud de Morisita; al 96 % se observan 6 grupos al corte de la línea. | 35 |
| Figura 6. Graficas de cajas y bigotes del diámetro a la altura del pecho, la mediana está representada por la línea horizontal, la media por la X en el centro de las cajas; letras iguales no existen diferencias significativas, letras diferentes presentan diferencias..... | 36 |
| Figura 7. Graficas de cajas y bigotes de la altura, la mediana esta representada por la línea horizontal, la media por la X en el centro de las cajas; letras iguales no existen diferencias significativas, letras diferentes presentan diferencias. | 37 |
| Figura 8. Graficas de cajas y bigotes de la cobertura, la mediana está representada por la línea horizontal, la media por la X en el centro de las cajas; letras iguales no existen diferencias significativas, letras diferentes presenta diferencias. | 38 |
| Figura 9. Graficas de cajas y bigotes del volumen, la mediana está representada por la línea horizontal, la media por la X en el centro de las cajas; letras iguales no existen diferencias significativas, letras diferentes presentan diferencias. | 39 |
| Figura 10. Graficas de cajas y bigotes de la comparación de variables entre conglomerados, la mediana está representada por la línea horizontal, la media por la X en el centro de las cajas; letras iguales no existen diferencias significativas, letras diferentes presentan diferencias..... | 40 |
| Figura 11. Especies arbustivas con mayor abundancia: A) <i>Chimaphila umbellata</i> , B) <i>Cestrum roseum</i> , C) <i>Eupatorium glabratum</i> | 43 |
| Figura 12. Dendrogramas del componente arbustivo de las temporadas seca (A) y de lluvia (B). | 44 |
| Figura 13. Número de especies totales de los componentes arbustivo y herbáceo de cada conglomerado por temporada. | 44 |
| Figura 14. Especies herbáceas con mayor abundancia: A) <i>Alchemilla procumbens</i> , B) <i>Bromus anomalus</i> , C) <i>Avena fatua</i> | 46 |
| Figura 15. Dendrogramas del componente herbáceo de la temporada seca (A) y de lluvia (B). | 47 |
| Figura 16. Grafica de PCA con sus respectivos grupos formados, en el grupo 1 se encuentran algunos índices cercanos al método, en el grupo 2 se encuentran variables dasométricas con algunos índices y en el grupo 3 algunos índices de diversidad. | 49 |

Resumen

Los bosques templados en México son muy importantes porque presentan una gran biodiversidad del país, aunado al hecho de que proporcionan una gran variedad de servicios ecosistémicos que mantienen un equilibrio entre los distintos factores abióticos y bióticos del ambiente, a su vez, proporcionan recursos aprovechables como la madera que es una fuente económica importante para la población. La extracción de madera es posible gracias a diversas técnicas que en conjunto forman métodos de manejo forestal cada vez más agresivos hacia la biodiversidad; sin embargo, el aumento de la población ha llevado a una mayor demanda de los recursos naturales y la madera no es la excepción, por lo cual, algunos métodos de manejo se han intensificado para satisfacer dicha demanda, tal es el caso del Método de Desarrollo Silvícola (MDS), uno de los tres métodos que se emplean en el estado de Tlaxcala. Por ello, el objetivo del presente trabajo es evaluar el impacto del Método de Desarrollo Silvícola (MDS) junto con el Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI) y un área sin manejo forestal (TESTIGO) sobre la diversidad de especies para determinar cómo estos métodos impactan a los estratos bajos del bosque, siendo que para obtener la información necesaria se utilizó el diseño de conglomerados del Inventario Forestal Nacional, el cual permitió registrar datos de las variables dasométricas del estrato arbóreo e identificar las especies del sotobosque para obtener índices de diversidad. Se observó que el MDS modifica las características de cobertura, altura total, diámetro a la altura del pecho (DAP) y volumen de madera en pie dado que presentan valores bajos en todas las características, significativamente diferentes todas ellas con respecto al MMOBI y al TESTIGO (ANOVA de una vía $p= 0.05$; Tukey $p\leq 0.05$). En el estrato arbustivo de las áreas TESTIGO (riqueza 1.5, dominancia 0.5 y equidad 1.24) y MMOBI (riqueza 1.55, dominancia 0.8 y equidad 1.8), la temporada de lluvia favorece la presencia de especies, no así en MDS. En el estrato herbáceo, el MMOBI (riqueza 3.46, dominancia 0.84 y equidad 2.32) se ve favorecido en la temporada seca con una mayor cantidad de especies que en la temporada de lluvia. Se concluye que el MDS es el que ocasiona efectos negativos en los estratos del bosque, principalmente en las características dasométricas de los individuos del estrato arbóreo las cuales son menores. Así mismo es importante considerar la temporada seca para la extracción de madera ya que hay una menor cantidad de especies en esa época y por lo tanto una menor diversidad.

Abstract

Temperate forests in Mexico are very important because they present a great biodiversity in the country, coupled with the fact that they provide a great variety of ecosystem services that maintain a balance between the different abiotic and biotic factors of the environment, in turn, provide usable resources such as the wood that is an important economic source for the population. The extraction of wood is possible thanks to various techniques that together form forest management methods that are increasingly aggressive towards biodiversity; However, the increase in population has led to a greater demand for natural resources and wood is no exception, therefore, some management methods have been intensified to meet this demand, such is the case of the Método de Desarrollo Silvícola (MDS), one of the three methods used in the state of Tlaxcala. Therefore, the objective of this work is to evaluate the impact of the Método de Desarrollo Silvícola (MDS) together with the Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI) and an area without forest management (TESTIGO) on the diversity of species to determine how these methods impact the lower strata of the forest, being that to obtain the necessary information the conglomerate design of the National Forest Inventory was used, which allowed to record data of the dasometric variables of the arboreal stratum and identify the understory species to obtain indices of diversity. It was observed that the MDS modifies the characteristics of coverage, total height, diameter at chest height and volume of standing wood given that they present low values in all the characteristics, all of them significantly different with respect to the MMOBI and the TESTIGO (One-way ANOVA $p = 0.05$; Tukey $p \leq 0.05$). In the shrub stratum of the TESTIGO areas (richness 1.5, dominance 0.5 and equity 1.24) and MMOBI (richness 1.55, dominance 0.8 and equity 1.8), the rainy season favors the presence of species, but not in MDS. In the herbaceous stratum, the MMOBI (richness 3.46, dominance 0.84 and equity 2.32) is favored in the dry season with a higher number of species than in the rainy season. It is concluded that the MDS is the one that causes negative effects in the forest strata, mainly in the dasometric characteristics of the individuals of the arboreal stratum, which are lower. Likewise, it is important to consider the dry season for wood extraction since there are fewer species at that time and therefore less diversity.

1. Introducción

México es reconocido a nivel mundial por presentar una alta diversidad biológica. Para el caso de las plantas con flores, se ubica en el 5º lugar con un aproximado de 21 000 a 23 000 especies (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2019). Parte de esta diversidad se encuentra en los bosques templados, que tienen importancia ecológica y ambiental ya que se ha documentado que capturan carbono, producen oxígeno y capturan agua de lluvia que mantienen los mantos freáticos (Barradas, 1983); además, presentan importancia económica por los diferentes productos que se extraen de estos bosques (Tapia-Reyes, 2008). El aprovechamiento de la madera se ha realizado desde hace mucho tiempo y a través de los años se han implementado diversas técnicas de manejo de los bosques para mejorar su explotación, las cuales se han expandido a áreas que no contaban con algún tipo de manejo forestal. Dependiendo del método de manejo forestal, la extracción de madera puede tener efectos sobre la vegetación asociada, la cual también juega un papel importante en la dinámica de los bosques. Sin embargo, existen pocos estudios sobre el efecto que estos métodos de manejo forestal generan en los estratos inferiores del bosque. Generar información sobre el impacto del manejo forestal en los diferentes estratos del bosque es crucial para orientar la actividad hacia un manejo más sustentable de estos ecosistemas.

1.1. Marco teórico

1.1.1. Tipos de vegetación en México

La ubicación de México en la zona de transición entre las regiones biogeográficas Neártica y Neotropical, aunado a una gran variedad climatológica debido a la orografía del país, favorecen a la presencia de una gran diversidad biológica, la cual lo coloca en el quinto lugar mundial en biodiversidad de plantas (CONABIO, 2019).

Dada la amplia variedad de comunidades vegetales en México se han considerado diferentes criterios para su clasificación por diversos autores; sin embargo, la propuesta por Rzedowski (2006) es la más actual y aceptada; describe 10 comunidades vegetales con base en la dominancia de los grupos de plantas que caracterizan a las comunidades, lo que permite identificarlas de forma sencilla al momento de establecer delimitaciones

entre ellas, un claro ejemplo son los bosques de coníferas donde predominan principalmente especies de la familia Pinaceae (Rzedowski, 2006).

1.1.2. Bosques templados

La CONABIO (2019) define a estos ecosistemas como comunidades de zonas montañosas de clima templado a frío, con árboles altos predominantes, generalmente pinos y encinos además de otras especies como oyamel. Se estima que en México se presenta el 50 % de las especies de pinos del mundo y cerca del 33 % de encinos. La distribución de estos bosques en el territorio mexicano se observa principalmente en el norte y sur de Baja California, a lo largo de las Sierras Madre Occidental y Oriental, en el Eje Neovolcánico, en la Sierra Norte de Oaxaca y en el sur de Chiapas, en altitudes entre los 2,000 y 3,400 m snm.

De acuerdo a CONABIO (2019), los bosques templados ocupan actualmente el 16 % del territorio mexicano (323,300 km²), se desarrollan en zonas con temperaturas promedio entre los 12 y 23 °C, aunque en invierno la temperatura puede llegar hasta por debajo de cero grados. Son ecosistemas subhúmedos o templados-húmedos, con una precipitación media anual entre 600 y 1,000 mm. Se desarrollan en suelos muy variados, desde limosos a arenosos y moderadamente ácidos, por lo general con abundante materia orgánica y hojarasca. En estos ecosistemas se puede encontrar plantas arbustivas y herbáceas que representan a los estratos bajos, aunque estos suelen ser escasos comparados con los de los bosques tropicales, también presentan diferentes especies de animales e insectos que resultan muy comunes para dichos lugares.

1.1.3. Estructura de la vegetación

En comunidades vegetales como las de los bosques templados, es posible observar de manera clara la organización de los componentes vegetales de manera vertical conocidos como estratos. Bajo este enfoque, los principales estratos que se conocen son:

1.- Estrato arbóreo: Una de las principales características del componente arbóreo es la presencia de especies dominantes con un tallo leñoso recto; algunas especies presentan hojas perennes y otras caducifolias como varios encinos (CONABIO, 2008).

2.- Estrato arbustivo: Se caracteriza porque las plantas presentan múltiples tallos semi-leñosos que se originan desde la base, además de alcanzar diferentes tamaños.

3.- Estrato herbáceo: Está representado por especies con tallos no leñosos, fibrosos y blandos, de menor tamaño que los elementos de los estratos anteriores, aunque algunas especies presentan tamaños que normalmente solo se observan en arbustos y árboles, pero, debido a sus características se agrupan en el estrato herbáceo.

Los estratos arbustivo y herbáceo han sido denominados en conjunto como sotobosque (Luna-Bautista *et al.*, 2015).

1.1.4. Importancia de los bosques templados en el ambiente

Una de las funciones importantes de los bosques es la regulación del ciclo hidrológico, amortiguando la fuerza de impacto de la lluvia hacia el suelo, reducen la erosión edáfica; además, proporcionan condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de diversas especies, lo que contribuye a la diversidad biológica (Fraatz y Montúfar, 2007).

También su importancia radica en la distribución de la vegetación conjuntamente con el clima, ya que influyen en la presencia de microorganismos y animales, asimismo, las variaciones climáticas determinan las condiciones favorables para el desarrollo de la vegetación, y a su vez, la vegetación atrae a organismos herbívoros y carnívoros que, en conjunto, cumplen un ciclo natural y biológico (Rzedowski, 2006).

Los estratos vegetales bajos conocidos como sotobosque es importante en los ecosistemas forestales, ya que provee hábitat para la fauna silvestre y contribuye en el ciclo de nutrimentos, mejorando la capacidad productiva de los bosques (Ampooter *et al.*, 2014; Berger y Puettmann, 2000; Davis y Puettmann, 2009).

Además, la vegetación es proveedora del oxígeno a través del proceso de fotosíntesis, de alimentos para los animales en forma de frutos, semillas, tallos y raíces carnosas, etc. En el caso de los arbustos y los árboles, el hombre ha utilizado sus tallos y ramas para construcción de casas, elaboración de alimentos y muebles, además de los servicios ecosistémicos como la disminución del dióxido de carbono en la atmósfera, mantenimiento del ciclo hidrológico y reducción de la erosión del suelo.

1.2. Manejo Forestal

En el año 1950 ya se utilizaba el concepto de manejo forestal, considerado como “el arte y la ciencia” del uso racional de los bosques (Baker, 1950). Posteriormente, se definió como un proceso que comprende acciones y procedimientos que tienen por objeto la ordenación, el cultivo, la protección, la conservación, la restauración y el aprovechamiento de los recursos y de los servicios ambientales de un ecosistema forestal (Hernández, 2014).

La actividad forestal tiene una relación muy cercana con la economía de las comunidades, ya que, es proveedora de materia prima para otros sectores económicos de la misma comunidad, tal es el caso de los árboles navideños. Los servicios de turismo también son influenciados en cierta medida por el manejo forestal, lo que lleva a un impulso económico comunitario, además de que permite la conservación del ambiente y de diferentes especies que habitan los bosques (Salinas *et al.*, 2017).

Aproximadamente 64 millones de hectáreas de bosques de clima templado y tropical abarcan el territorio nacional mexicano, lo que equivale al 32% del mismo. Estos ecosistemas son muy importantes desde la perspectiva social, económica y ambiental. Se considera que la contribución del sector forestal al Producto Interno Bruto (PIB) oscila alrededor de los 5,000 millones de dólares por año, lo que genera alrededor de 100,000 empleos permanentes con sueldos tres a cuatro veces superiores a los salarios derivados de actividades agropecuarias (Guerra y Mallén, 2008).

1.2.1. Métodos de manejo forestal de México aplicados en el estado de Tlaxcala

El aprovechamiento sistemático de los bosques del estado de Tlaxcala inició formalmente en el año 1976, cuando se implementó la aplicación del entonces recién creado Método de Desarrollo Silvícola (MDS) en los bosques aprovechables de la entidad. Este hecho marcó el inicio del manejo forestal regulado y el fin de una etapa del aprovechamiento irregular. En lo que al Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI) concierne, éste es de reciente aplicación en las zonas forestales del estado de Tlaxcala, dado que se implementó en el segundo periodo de aprovechamientos que comprendía de los años 1991 al 2001 (Guerra *et al.*, 2007).

1.2.1.1. Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI)

Anteriormente conocido como Método Mexicano de Ordenación de Montes (MMOM), fue propuesto en 1944 por la Secretaría de Agricultura para normar la formulación de proyectos encaminados a la ordenación de los bosques de zonas templadas frías de México. En 1984 cambió de nombre a Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI), considerado una buena alternativa para el manejo de bosques de clima templado. El aprovechamiento de la madera es a través de la selección de árboles viejos para propiciar la regeneración y distribución de los árboles más jóvenes, lo que modifica la estructura del bosque, utilizando los incrementos volumétricos y la estructura diamétrica como criterios de regulación. Se inicia con el aprovechamiento de los árboles viejos, deformes, plagados o con cualquier otra característica no deseable; con el fin de conservar individuos con mejores condiciones para aumentar la calidad del bosque. En las cortas finales se extraen árboles maduros para obtener productos comerciales de mejor calidad, además, se permite disminuir la competencia y se proporcionan condiciones de establecimiento de la regeneración y el desarrollo de los árboles más jóvenes con posibilidades de llegar a una corta final (Armendariz, 2014). Este método se generalizó desde la década de 1960 en México; sin embargo, su implementación en los bosques de Tlaxcala es relativamente reciente, por lo que existen pocos elementos para determinar el éxito de este método en el estado (Guerra *et al.*, 2007).

1.2.1.2. Método de desarrollo silvícola (MDS)

Este método surge en el año 1974 como una alternativa de manejo forestal y responder a la necesidad de incrementar la producción forestal para satisfacer una demanda nacional creciente; además, para hacer participar al propietario en el proceso de producción. Es un método de regulación por área y volumen que trata de establecer un bosque regular con poblaciones coetáneas de manera controlada, además de que se aplica principalmente a especies que no se desarrollan en ambientes sombríos. La corta de regeneración se realiza por el Método de Árboles Padres y es la cosecha principal (Hernández, 2014). El Método de Desarrollo Silvícola (MDS) tiene como finalidad la obtención de un bosque con rodales uniformes en edad, que considera una intensidad de manejo con una producción maderable máxima, sostenida y permanente. A su vez, el MDS es una sistematización de técnicas dasonómicas para el aprovechamiento de los

bosques de clima templado, con el objetivo de aprovechar en su mayoría el potencial del suelo para la producción de madera y obtener un rendimiento constante en volumen y calidad de productos maderables que considera un promedio de 60 años y un ciclo de corta de 10 años, el MDS establece una corta principal de regeneración, una corta de liberación (con pre-aclareos) y tres aclareos. Es importante mencionar que el tratamiento de regeneración que es el método de árboles padre considerado en el MDS, es un método de monte alto y consiste básicamente en dejar en pie en la corta final a los mejores árboles para que a su vez sirvan de semilleros de buena calidad para establecer la nueva masa forestal. El MDS se ha aplicado en casi toda la superficie bajo aprovechamiento del estado de Tlaxcala y los técnicos consideran que los resultados obtenidos son muy variables (Guerra *et al.*, 2007).

1.2.1.3. Método Tlaxco (MT)

Sistema basado en pequeñas matarrasas en el que se aprovechan todos los productos y subproductos del bosque, propician la regeneración natural o artificial y que constituyen la principal intervención al bosque. También toma en cuenta otros tratamientos más sencillos, pero que no forman parte de un plan definido, sino que se utilizan según los requerimientos de la masa forestal. Este método incluye actividades de limpia y distribución de desperdicios, así como la protección de zonas definidas (Guerra y Mallén, 2008).

1.3. Organización social del aprovechamiento forestal

1.3.1. Comunitario

Es un tipo de manejo que se emplea en poblaciones con bosques comunitarios. Un bosque comunitario es aquel en que la posesión de derechos sobre una superficie y sus recursos naturales, pertenecen a la misma comunidad o grupo de personas bajo acuerdos establecidos por ellos y que pueden realizar en colectivo, ya que son dueños de un territorio. Este tipo de manejo es empleado por Empresas Forestales Comunitarias (EFC) normalmente administradas por miembros seleccionados pertenecientes a la población (Bray y Pérez, 2004).

1.3.2. Privado

Este tipo de organización se establece cuando una o más personas son dueñas de alguna parte de un bosque, aprovechando los recursos maderables para obtener ingresos, administran un manejo forestal y recuperan las partes aprovechadas para evitar una deforestación aplicando el método que sea conveniente para la extracción de madera.

1.3.3. Empresas

Existen empresas formadas por varios socios particulares que se encargan de la administración de bosques para el aprovechamiento de sus recursos y para obtener productos derivados de ellos, siendo que la extracción de madera es muy intensiva para obtener la materia prima necesaria, aunque por lo general, la mayoría de los bosques son administrados por Empresas Forestales Comunitarias (Bray y Pérez, 2004).

1.4. Productos forestales no maderables (PFNM)

Son todos los productos y servicios vegetales, animales y micológicos (excluyendo a la madera) derivados de los bosques y de suelos forestales. Constituyen una colección de recursos biológicos que incluye una gran variedad de beneficios como, semillas, frutas, aceites, especias, resinas, gomas, plantas medicinales, musgos y muchos otros. Sin embargo, México carece de una política definida sobre la utilización sustentable de los PFNM. En la tabla 1 se muestra los PFNM de México, incluyendo los que se obtienen de los bosques templados (Tapia y Reyes, 2008).

Tabla 1. Productos forestales no maderables de México (Tapia-Reyes, 2008).

| Productos con alto potencial en desarrollo ¹ | Productos con alto potencial para desarrollo ² |
|--|--|
| Selvas | |
| Pimienta (<i>Piper</i> sp.) (condimento) [7] Palma real (<i>Sabal mexicana</i>) (ornamental) [7] Palma palapa (<i>Orbignya guacuyule</i>) (construcción) [7] Palma camedor (<i>Chamaedorea elegans</i>) (ornamental) [7] Cascalote (<i>Caesalpinia cacalaco</i>)(forrajería, industria farmacéutica) [7] | Chicle (<i>Manilkara zapota</i>) (industria alimenticia) [7] Barbasco (<i>Dioscorea mexicana</i>) (industria farmacéutica – extracción de sapogeninas) [5] Bambú (<i>Olmea recta</i> , <i>Otatea acuminata</i> , <i>Alonemia clarkie</i>) (Construcción y ornamental) [7] Tepescohuite (<i>Mimosa tenuiflora</i>) (medicinal - cosmético) [7] Memela o "rattan mexicano" (<i>Clusia</i> spp.) (Construcción) [7] |
| Bosques Templados – Fríos | |
| Resina de pino (<i>Pinus</i> spp.) (industria química) [1] Hongo blanco (<i>Tricholoma magnivelare</i>) (comestible) [7] Heno (<i>Tillandsia</i> spp., <i>Clitoria ternatea</i> L.) (ornamental) [7] Vara de perilla (<i>Simphoricarpus microphyllum</i>) (industrial/artesanal- escobas) [7] Musgo (<i>Polytrichum</i> spp., <i>Hypnum</i> , <i>Thuidium</i> , <i>Leptodontium</i> y <i>Campylopus</i>) (ornamental) [7] | Hongos (comestible) [7] Laurel (<i>Nerium oleander</i>) (condimento, industria – alimenticia / cosmética / farmacéutica) [7] Raíz de zacatón (<i>Muhlenbergia</i> spp.) (artesanal – fabricación de escobetillas) [5] Nuez (<i>Juglans</i> spp.) (comestible) [7] Pingüica (<i>Arctostaphylos</i> spp.) (medicinal) [7] |
| Zonas Áridas y semiáridas | |
| Candelilla (<i>Euphorbia antisiphylitica</i>) (industria cosmética) [4] Lechuguilla (<i>Agave lechuguilla</i>) (industria cosmética – saponinas para jabones y como fibra para la fabricación de cuerdas) [2] Palmilla (<i>Yucca schidigera</i>) (industria alimenticia: espumantes, industria farmacéutica: esteroides) [7] Orégano (<i>Lippia graveolens</i> H.B.K.) (condimento) [7] Maguey (<i>Agave salmiana</i>) (artesanal/industrial - bebidas fermentadas) [7] | Jojoba (<i>Simmondsia chinensis</i>) (industria – alimenticia / cosmética / farmacéutica) [7] Sábila (<i>Aloe vera</i>) (industria – alimenticia / cosmética / farmacéutica) [7] Nopal (<i>Opuntia</i> spp.) (industria – alimenticia / cosmética / farmacéutica) [7] Damiana (<i>Tumera diffusa Willd</i>) (medicinal) [7] Cortadillo (<i>Nolina cespitifera</i>) (ornamental, forrajero) [7] Piñón (<i>Pinus</i> spp.) (comestible) [7] |
| Categoría: [1] Resinas, [2] Fibras, [3] Gomas, [4] Ceras, [5] Rizomas, [6] Tierra de Monte, [7] Otros productos. | |
| ¹ Bajo comercialización, la mayoría cuenta con investigación sobre usos, fuentes, manejo y mercados; la mayoría son productos unitarios, es decir con un uso o fin único. | |
| ² Bajo comercialización, la mayoría cuenta con información sobre usos, fuentes, manejo, pero no sobre mercados; con potencial de diversificación de productos, es decir, para diversos usos y/o fines. | |

2. Antecedentes

A nivel internacional existen estudios que se han encargado de evaluar el aprovechamiento de los bosques y de la diversidad vegetal. Uno de estos primeros fue el que realizaron Halpern y Spies (1995), quienes evaluaron la diversidad de especies vegetales de bosques administrados y no administrados de Oregón y Washington, Estados Unidos, observando que los cambios en la diversidad del sotobosque son breves después de la tala rasa y la tala de árboles, lo que provoca que las poblaciones de las plantas vasculares se recuperan a los niveles originales. Sin embargo, mencionan que muchas especies vegetales difieren significativamente en su abundancia entre etapas, además de que las prácticas asociadas con la silvicultura intensiva que excluyen o retrasan atributos del viejo crecimiento pueden resultar en la pérdida de diversidad a largo plazo. Concluyen que puede ser necesario administrar algunos rodales en rotaciones largas de 150 a 300 años para mantener especies del sotobosque que requieren largos periodos para recuperarse de las perturbaciones.

Battles *et al.* (2001), evaluaron el efecto del manejo forestal sobre la diversidad de plantas en un bosque de coníferas; realizaron el muestreo en 32 parcelas de cinco diferentes regímenes silvícolas (plantaciones, refugio, árboles semilleros, selección de grupo y árbol único), obtuvieron que la riqueza del sotobosque fue significativamente mayor en las parcelas donde había plantaciones en comparación con las de sitios de reserva, concluyen que hubo diferencias considerables en la composición de las comunidades del sotobosque entre los tratamientos silvícolas.

Para el caso de México, se han realizado estudios para conocer el efecto de la aplicación de los métodos de manejo forestal implementados, uno de estos trabajos es el de Corral *et al.* (2005) en la Reserva de la Biósfera “El Cielo”, Tamaulipas y mencionan que el estrato arbóreo de esta comunidad vegetal densa, representando una mezcla de árboles tropicales y de clima templado. El aprovechamiento forestal disminuye la diversidad de especies y la apertura de espacios grandes dentro del bosque facilita la llegada y desarrollo de especies de carácter heliófilo, como el liquidámbar cuya gran abundancia modifica la diversidad estructural característica del bosque.

Hernández-Salas *et al.* (2013) mencionan que el aprovechamiento forestal modifica la diversidad y la composición del estrato arbóreo.

Jiménez *et al.* (2014), analizaron el impacto del manejo silvícola sobre las poblaciones de epífitas de un bosque de pino-encino; obtuvieron que algunas especies de árboles actúan como forófitos que albergan epífitas y que al menos en las categorías de corta de regeneración y de liberación favorecen su conservación; concluyeron que los árboles del género *Quercus* son los mejores forófitos, mientras que los del género *Pinus* son forófitos pobres, exceptuando a *Pinus ayacahuite* el cual es un hospedero particular de un género de epífitas.

Uno de los trabajos que muestra a fondo el impacto del manejo forestal en los diferentes estratos que componen el bosque templado, es el realizado por Luna-Bautista *et al.* (2015), en el cual evaluaron el efecto de tres tratamientos silvícolas sobre la riqueza, la composición y la diversidad de los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo en un bosque con un manejo forestal de 45 años. Determinaron que el componente herbáceo y arbustivo son diversos en áreas con y sin manejo forestal y concluyen que el aprovechamiento forestal modifica la riqueza, la diversidad y la composición de los estratos del bosque (familias, abundancia, etc.).

De igual manera, otro trabajo que resalta el impacto del manejo forestal sobre la diversidad vegetal es el de López-Domínguez *et al.* (2018) quienes al evaluar la riqueza de especies en diferentes condiciones silvícolas (corta de regeneración, corta de liberación, 1er. Aclareo y 2º aclareo), destacaron que el estrato que presentó mayor riqueza fue el herbáceo independientemente de la condición silvícola, además de que el estrato arbóreo obtuvo los valores más bajos de riqueza en las condiciones silvícolas iniciales, evidenciando que el manejo forestal tiene un efecto importante en la composición y diversidad de la vegetación asociada, concluyendo que el manejo forestal tiene repercusiones adversas, al menos temporalmente, en la diversidad vegetal de los bosques bajo producción de madera.

Así mismo, existen estudios que reportan el impacto del manejo forestal en otros organismos, como el que realizó Guarneros (2017) quien evaluó el efecto del manejo forestal intensivo sobre la diversidad de los hongos ectomicorrízicos de un bosque de coníferas, manejado con el Método de Desarrollo Silvícola (MDS). Realizó la evaluación en tres tratamientos, correspondientes a la corta de regeneración total, corta de liberación final y segundo aclareo final, encontrando que existe un impacto negativo en

el tratamiento de corta de regeneración total sobre la diversidad de los hongos ectomicorrízicos y que la riqueza aumenta de acuerdo con la etapa del ciclo del manejo forestal, lo que demuestra que dichos hongos son buenos indicadores para evaluar el efecto del manejo forestal.

3. Justificación

A partir de que el hombre se volvió sedentario, empezó a aprovechar los ambientes en los que se estableció para satisfacer sus necesidades primarias; la fabricación y uso de herramientas le permitieron utilizar algunos recursos del bosque como la madera, para la construcción de estructuras de protección contra las inclemencias del ambiente y como combustible para generar calor y procesar sus alimentos, así como de su potencial económico. De esta forma, se implementaron diversas maneras de aprovechar los bosques a través de técnicas que posteriormente se convertirían en métodos de manejo forestal, implementados desde hace varios años, pero en el estado de Tlaxcala, es a partir del año 1970. En la zona norte del estado, se ha observado una mayor intensidad de aprovechamiento de los bosques con varios métodos de explotación forestal, debido a la creciente demanda de productos derivados de la madera. Algunos de los métodos utilizados son cada vez más intensivos y tienden a cambiar la estructura y la composición de los bosques. Sin embargo, en Tlaxcala existe muy poca información sobre el efecto de los cambios que genera el manejo forestal mediante MDS y MMOBI sobre la riqueza, la distribución y el recambio de las especies de los estratos vegetales que sirva para definir estrategias de manejo sustentable en la explotación comercial de los bosques; además, se considera que el estrato arbustivo y herbáceo contribuyen más a la diversidad por lo que es importante evaluarlos. Por eso es importante generar información sobre el impacto en la diversidad vegetal de los bosques en sitios con manejo forestal.

4. Objetivos

4.1. General

Evaluar el impacto de los métodos de desarrollo silvícola y el mexicano de ordenación de bosques irregulares sobre la diversidad de los estratos de un bosque templado del norte del estado de Tlaxcala.

4.1.1. Específicos

1.- Describir la estructura y diversidad del componente arbóreo en áreas con aplicación del MDS, MMOBI y un área sin manejo por medio de sus características dasométricas y el índice de valor de importancia, para determinar cuál método modifica más este componente comparado con el área sin manejo.

2.- Analizar la diversidad de los estratos arbustivo y herbáceo en la temporada de lluvias y seca en áreas bajo aplicación del MDS, MMOBI y un área sin manejo para determinar que método tiene mayor efecto sobre estos componentes.

5. Hipótesis

Debido a que el MDS presenta actividades de manejo forestal intensivas, ejercerá un impacto sobre la estructura y la diversidad en los estratos del bosque templado con respecto al MMOBI y al área testigo.

6. Metodología

6.1. Selección de la zona de estudio

Considerando que el municipio de Tlaxco, Tlaxcala cuenta con una larga tradición de aprovechamiento forestal comercial y con diferentes métodos de manejo, se seleccionó el predio denominado Fracción VIII de Tlacota, que tiene la particularidad de contar con la aplicación de los métodos de manejo bajo estudio. Dicho predio estuvo sujeto a aprovechamientos maderables bajo el MMOBI hace más de 15 años, actualmente inicia nuevamente con el manejo bajo MDS Tlaxco (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias INIFAP-TLAXCALA, 2018). Se ubica al norte del municipio de Tlaxco y colinda con el municipio de Chignahuapan, Puebla. Geográficamente se encuentra entre las coordenadas 19° 41´ 50.46´´ latitud norte y 98° 4´ 29.37´´ longitud oeste (Figura 1).

6.1.1. Descripción de la zona de estudio

Con base en el Instituto Nacional para el Desarrollo Municipal [INAFED] (2020), Tlaxco se localiza a una altitud promedio de 2,540 m snm. Dicho municipio colinda al norte con el municipio de Chignahuapan, Puebla, con los municipios de Atlangatepec, Tetla y Muñoz de Domingo Arenas, al oriente con los de Emiliano Zapata y Lázaro Cárdenas, al poniente colinda con el estado de Hidalgo. Tiene una superficie de 573.39 Km², lo que representa el 14.37% del total del territorio estatal.

El clima es templado subhúmedo, con régimen de lluvias en los meses de junio a septiembre. Los meses más calurosos son de marzo a mayo. La dirección de los vientos en general es de norte a sur, su temperatura promedio máxima anual registrada es de 22.9 °C y la mínima de 5.3 °C. La precipitación promedio máxima registrada es de 122.5 mm y la mínima de 7.6 mm. Presenta cinco tipos de suelos: Cambisoles, Fluvisoles, Litosoles, Gleysoles y Andosoles (INAFED,2020).

Por su ubicación geográfica y clima, los tipos de vegetación predominantes son bosques de pino, cuyas especies representativas son ayacahuite (*Pinus ayacahuite*), pino real (*Pinus montezumae*), pino colorado (*Pinus patula*), pino blanco (*Pinus pseudostrabus*), y teocote (*Pinus teocote*). En los bosques de oyamel son él mismo (*Abies religiosa*) y algunos individuos aislados de pinabete (*Pseudotsuga macrolepis*), que es de gran valor ecológico, debido a su escasa distribución por lo que se encuentra en la categoría de

protección especial en la NOM-059-SEMARNAT-2010. Los bosques de pino, constituidos por teocotes, pino colorado, pino blanco y pino ayacahuite, presentan una distribución restringida en la sierra del norte del estado y frecuentemente se encuentran creciendo en microclimas húmedos (INAFED, 2020).

6.2. Obtención de datos de campo

La información de campo se obtuvo en sitios de muestreo con base en el diseño por conglomerados del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (CONAFOR, 2004) el cual utiliza cuatro círculos (sitios) de 400 m² cada uno, con una superficie total de 1600 m² por conglomerado. Se estableció un conglomerado para cada condición de manejo, es decir, ubicando uno en el área tratada con MDS en segundo aclareo, otro en el área con MMOBI en selección individual y uno más en un área excluida del manejo que fue considerada como TESTIGO (Figura1). Para cada método de manejo y el área testigo, se ubicó un conglomerado de la siguiente forma (Figura 1): MDS (1) en las coordenadas 19° 41' 53.3112" latitud norte y 98° 04' 22.1232 longitud oeste, MMOBI (2) en las coordenadas 19° 41' 50.8416" latitud norte y 98° 04' 27.2748" longitud oeste y área TESTIGO (3) en las coordenadas 19° 41' 42.4464" latitud norte y 98° 04' 23.2176" longitud oeste, todos a una altitud promedio de 2791 m snm.

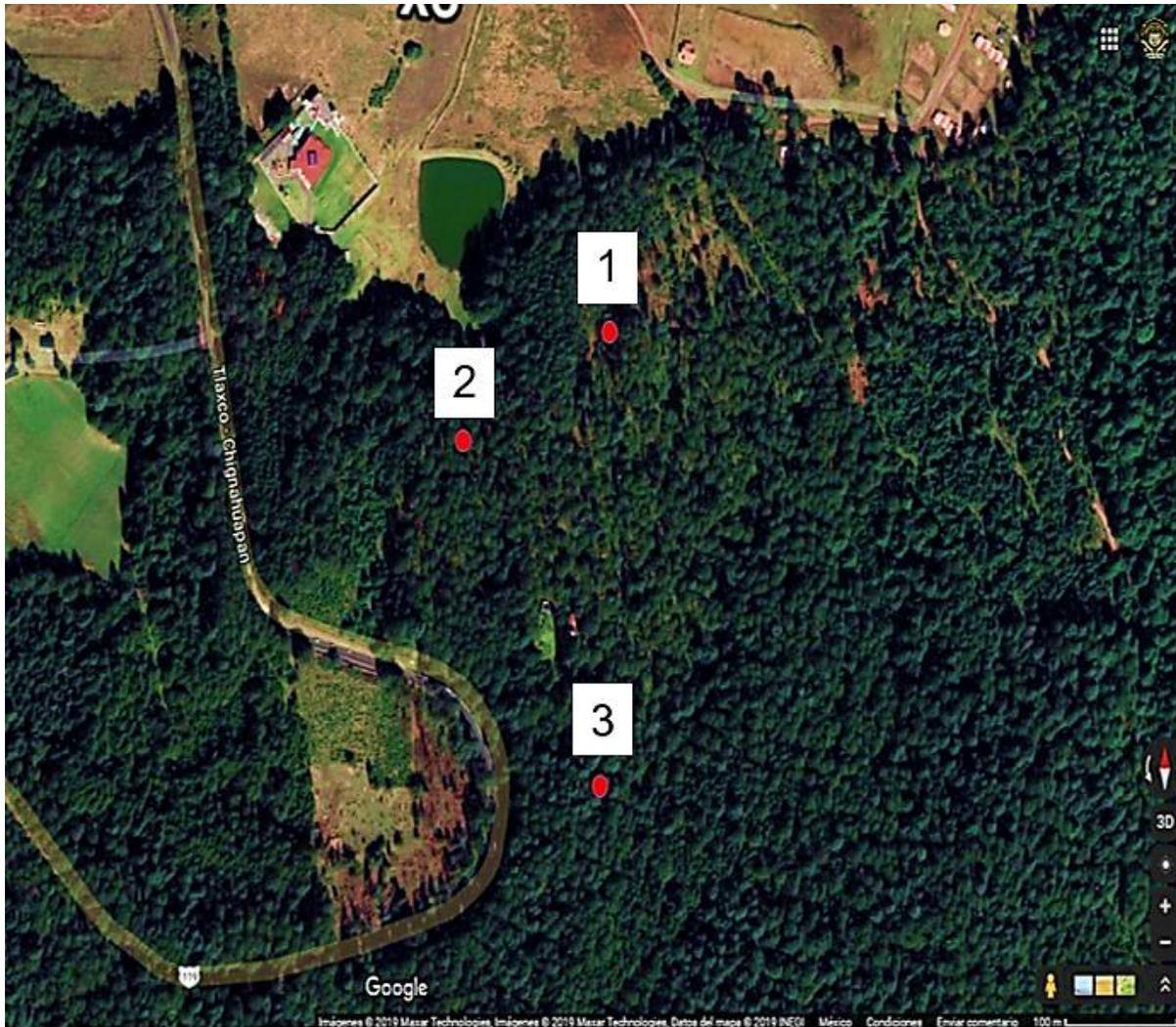


Figura 1. Áreas de muestreo señaladas con un punto rojo que representa el centro de cada conglomerado, (1) MDS, (2) MMOBI y (3) área TESTIGO; imagen con orientación norte en una escala de 100 m. Fuente: Google Maps, 2018.

Dentro de cada conglomerado se ubicó el sitio cero (0), el cual funge como punto central y a partir de ahí se mide un radio de 11 m. Posteriormente, desde el centro del sitio cero, con la ayuda de una brújula, se ubicó el norte y a una distancia de 45.14 m, se marcó el punto central del sitio uno (1) con un radio de 11 m. A partir del sitio cero y a la misma distancia del sitio uno, se ubicó el centro del sitio dos (2) a 120° y el del tres (3) a 240° (Figura 2).

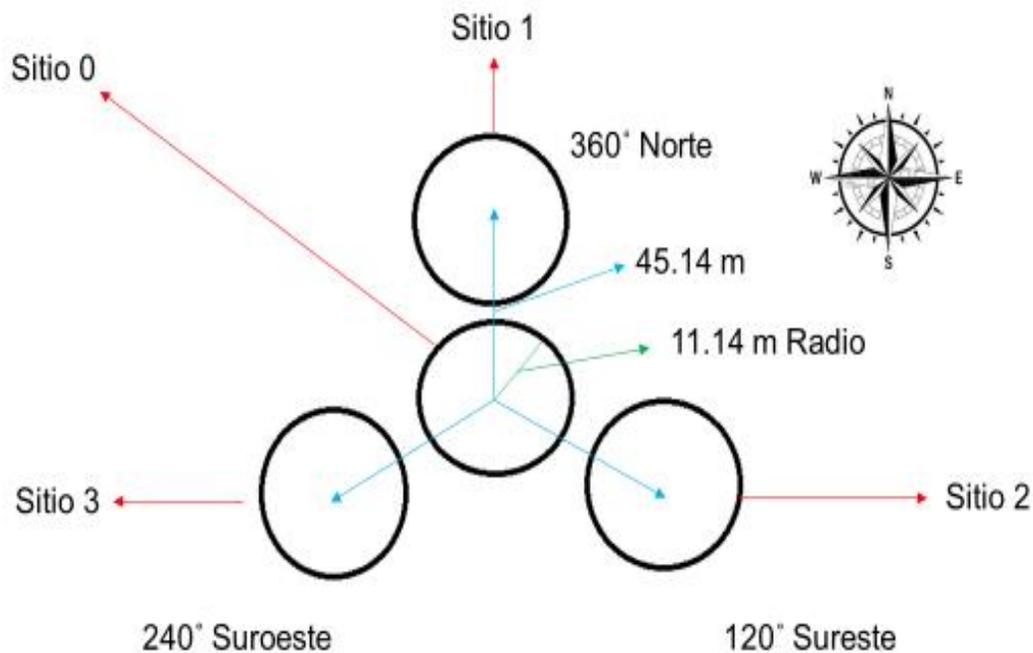


Figura 2. Esquema general de un conglomerado

6.3. Toma de datos dasométricos del componente arbóreo

Dentro de cada sitio y de cada conglomerado se ubicaron las especies arbóreas y se contó el número de individuos por especie. Para los individuos con un diámetro a la altura del pecho (DAP) igual o mayor de 7.5 cm se midieron las variables de diámetro de copa de norte a sur y de este a oeste, diámetro a la altura del pecho (DAP) con una cinta métrica y altura total con un hipsómetro Vertex IV (modelo HS102).

Con los datos de diámetro de copa se calculó la cobertura con base en la siguiente fórmula (López-García y Nieto de Pascual, 2018).

$$CC = \pi (\text{PromC} / 2)^2$$

Donde: **CC** = Cobertura de copa (m²)

π = pi (3.1416)

PromC = Diámetro promedio de la copa (m)

El área basal se calculó a partir de los datos obtenidos del diámetro a la altura del pecho (DAP) aplicados en la siguiente fórmula (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

$$G = \pi (DAP^2 / 4)$$

Donde:

G = Área basal en m²

π = Valor de Pi (3.1416)

DAP = Diámetro a la altura del pecho

Asimismo, se obtuvo el volumen de madera en pie de los individuos correspondientes a cada especie registrada en los conglomerados por medio de la siguiente fórmula (Rivas-Torres, 2006).

$$V = AB * H * F$$

Donde:

V = Volumen del árbol en m³

AB = Área basal en m²

H = Altura o longitud del árbol en m

F = Factor o coeficiente de forma

El factor de forma es un valor ya establecido correspondiente a cada especie, siendo para *P. patula* y *A. religiosa* de 0.6, valor dado para especies pertenecientes a la familia de las pináceas (Aguirre De Los Ríos, 2012) y un coeficiente de 0.5 para las especies de *Quercus* (Olvera-Vargas y Figueroa-Rangel, 2000).

Por último, se obtuvo el Índice de Valor de Importancia (IVI) con los valores de densidad, de área basal y la frecuencia de las especies que se registraron en cada conglomerado. Para obtener el IVI es necesario transformar los valores de densidad, de área basal y la frecuencia en valores relativos y usar la siguiente fórmula (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

$$IVI = DR + AB + FR$$

Donde:

DR = Densidad relativa

AB = Área basal

FR = Frecuencia relativa.

6.3.1. Componente arbustivo y herbáceo

Para describir las propiedades de la comunidad del componente arbustivo y herbáceo, se establecieron seis cuadrantes dentro de cada parcela circular de los conglomerados (sitios). En cada sitio se trazaron tres cuadros de 4 m² para el conteo y extracción de muestras de las especies arbustivas; dentro de estos se marcó un cuadro de 1 m² (Figura 3) para obtener los datos de riqueza y abundancia de las especies herbáceas (Mostacedo y Fredericksen, 2000) y posteriormente estimar los índices de diversidad. Las muestras botánicas recolectadas se colocaron cada una dentro de una hoja de periódico (Figura 4) rotulándola con el número de colecta y las iniciales del recolector, a su vez, dichas hojas de periódico con las muestras se colocaron en una prensa para su posterior traslado e identificación taxonómica en el Laboratorio de Recursos Naturales del CIGYA-UATx. Los datos ecológicos, de localización y de fechas se anotaron en hojas de registro de campo.

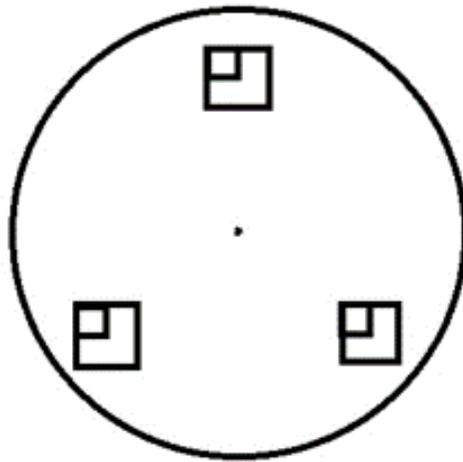


Figura 3. Establecimiento de cuadros dentro de las parcelas (sitios) de los conglomerados



Figura 4. Uso de periódico para herborización de muestras botánicas.

6.3.1.1. Identificación taxonómica.

Las muestras botánicas recolectadas se identificaron con ayuda de claves taxonómicas de los distintos grupos vegetales (Rzedowski, 2001).

6.3.2. Análisis de datos

Para el estrato arbóreo, previo al análisis de varianza entre las condiciones de manejo, se utilizó la distribución de los datos de cobertura, diámetro y altura para ver si cumplían con el supuesto de normalidad, lo cual se realizó a través de la prueba de Kolmogorov-Smirnov ($p \leq 0.005$). Una vez verificada la distribución normal de los datos, se realizó un Análisis de Varianza Unifactorial (ANOVA) Modelo I ($p \leq 0.005$), para conocer si existían diferencias significativas entre condiciones de manejo (las cuales se consideraron como tratamientos). En los casos en donde se encontraron diferencias significativas se realizó una prueba de Tukey ($p \leq 0.005$), que permitió definir en dónde existían esas diferencias. Estos análisis se realizaron con el software PAST versión 2.17c (Hammer, Harper & Ryan, 2001).

6.3.2.1. Índices de diversidad

Con el número de especies y su abundancia en los tres estratos, se estimaron los índices de riqueza de Margalef, de dominancia de Simpson y de equidad de Shannon-Wiener y para este último índice se utilizó la prueba pareada de Hutchenson (Moreno, 2001) que permitió conocer si existen diferencias significativas entre los valores obtenidos en cada tipo de manejo. El índice de similitud de Morisita se realizó con el software PAST versión 2.17c (Hammer, Harper & Ryan, 2001) para los tres estratos para conocer el recambio de especies. Las fórmulas para el cálculo de los índices son las siguientes (Moreno, 2001).

Índice de Margalef (Riqueza)

$$D = (S-1) / \ln N$$

Donde:

S = Número de especies

Ln = Logaritmo natural

N = Número total de individuos

Índice de Simpson (Dominancia)

$$\lambda = \sum P_i^2$$

Donde:

P_i = Abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

$\sum P_i$ = Sumatoria de la abundancia proporcional

Índice de Shannon-Wiener (Equidad)

$$H' = - \sum P_i \ln P_i$$

Donde:

P_i = Abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

$\sum P_i$ = Sumatoria de la abundancia proporcional

\ln = Logaritmo natural

Prueba pareada de Hutchenson para Shannon-Wiener

a. Para cada muestra se calcula el índice de diversidad ponderado (H_p) en función de la frecuencia de cada especie:

$$H_p = ((N \log N) - (\sum f_i \log f_i)) / N$$

Donde f_i = frecuencia (número de individuos) registrada para la especie

b. Para cada muestra calculamos la varianza del índice de diversidad ponderado:

$$VAR = ([\sum f_i \log^2 f_i - (\sum f_i \log f_i)^2] / N) / N^2$$

c. Se calcula la diferencia de las varianzas de ambas muestras:

$$D \text{ var} = \sqrt{\text{var}_1} + \text{var}_2$$

d. Se obtiene el valor de t :

$$t = ((HP_1 - HP_2) / D \text{ var})$$

e. Calcular los grados de libertad asociados con el valor de t :

$$g. l. = ([\text{var}_1 + \text{var}_2]^2 / \{(\text{var}_1^2 / N_1) + (\text{var}_2^2 / N_2)\})$$

f. Buscar en tablas estadísticas el valor de la distribución de t para los grados de libertad calculados.

Índice de Morisita-Horn (Similitud)

$$I_{M-H} = ([2 \sum (a_i \times b_j)] / [(da + db) (aN \times bN)])$$

Donde:

a_i = número de individuos de la i -ésima especie en el sitio A

b_j = número de individuos de la j -ésima especie en el sitio B

$$da = \sum a_i^2 / aN^2$$

$$db = \sum b_j^2 / bN^2$$

6.4. Organización y análisis de datos

Una vez que las muestras botánicas se identificaron y con la información obtenida de los diferentes estratos en campo, ésta se capturó en matrices de datos en el programa Excel versión 2019 (Microsoft Office versión 365, 2019) para realizar los análisis estadísticos correspondientes.

6.5. Análisis de componentes principales

Derivado de la obtención de las variables dasométricas y de los índices de diversidad alfa de los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo, se realizó un análisis de componentes principales por medio del software STATISTICA versión 6.0 (StatSoft, Inc., 1998) para determinar cuáles son las variables que aportan la mayor cantidad de información en la variación de los datos.

6.6. Análisis de correlación de Pearson

Con los resultados obtenidos, se realizó una correlación de Pearson en el software STATISTICA versión 6.0 (StatSoft, Inc., 1998) para conocer el grado de asociación entre las diferentes variables

7. Resultados

7.1. Estructura arbórea

Para los tres conglomerados se registraron cinco especies de árboles de los géneros *Pinus*, *Abies*, y *Quercus*; las especies comunes son *P. patula*, *A. religiosa* y *Q. laurina*. En el caso de *P. patula* es la especie con mayor abundancia total. El conglomerado del MDS presentó la mayor abundancia de *P. patula*, pero menor de *A. religiosa*, MMOBI y el área Testigo presentan igual abundancia de *P. patula*, pero mayor número de árboles de *A. religiosa*. El conglomerado Testigo presentó un mayor número de individuos de *Q. laurina* con respecto a los otros conglomerados (Tabla 2).

Tabla 2. Abundancia de las especies registradas en los tres conglomerados

| Método (Conglomerado) | <i>Pinus patula</i> | <i>Abies religiosa</i> | <i>Quercus glaucoides</i> | <i>Quercus laurina</i> | <i>Quercus crassifolia</i> | Total de individuos |
|-----------------------|---------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------|---------------------|
| MDS | 47 | 13 | 5 | 1 | 0 | 66 |
| MMOBI | 24 | 19 | 0 | 1 | 0 | 44 |
| Testigo | 24 | 20 | 0 | 11 | 2 | 57 |
| Total | 95 | 52 | 5 | 13 | 2 | 167 |

Los resultados obtenidos de los índices de diversidad (Tabla 3) muestran que el área MMOBI presenta menor valor de diversidad, el TESTIGO menor valor de dominancia y mayor valor de equidad (Shanon-Wiener); sin embargo, no existen diferencias estadísticas significativas entre las tres áreas en los valores obtenidos con este último índice.

Tabla 3. Índices de diversidad de las especies arbóreas.

| Método/Índice | Índice margalef | índice de Simpson | índice de Shannon-Wiener | Log n | T pareada de Hutchenson Valor cal/Valor tabl | |
|----------------|-----------------|-------------------|--------------------------|-------|--|---------------------------------------|
| MDS | 0.716 | 0.551 | 0.82 | 1.386 | 1.0390 / 1.6725 | MDS y MMOBI no existe diferencias |
| MMOBI | 0.529 | 0.484 | 0.779 | 1.09 | 1.5613 / 1.6602 | MMOBI y TESTIGO No existe diferencias |
| Testigo | 0.742 | 0.338 | 1.167 | 1.386 | 1.0011 / 1.6449 | TESTIGO y MDS No existe diferencias |

La Figura 5 muestra el dendrograma obtenido con el índice de similitud de Morisita para las especies arbóreas, en donde se aprecia que al 96% de similitud se forman seis grupos y los cuatro sitios del área Testigo comparten pocas especies.

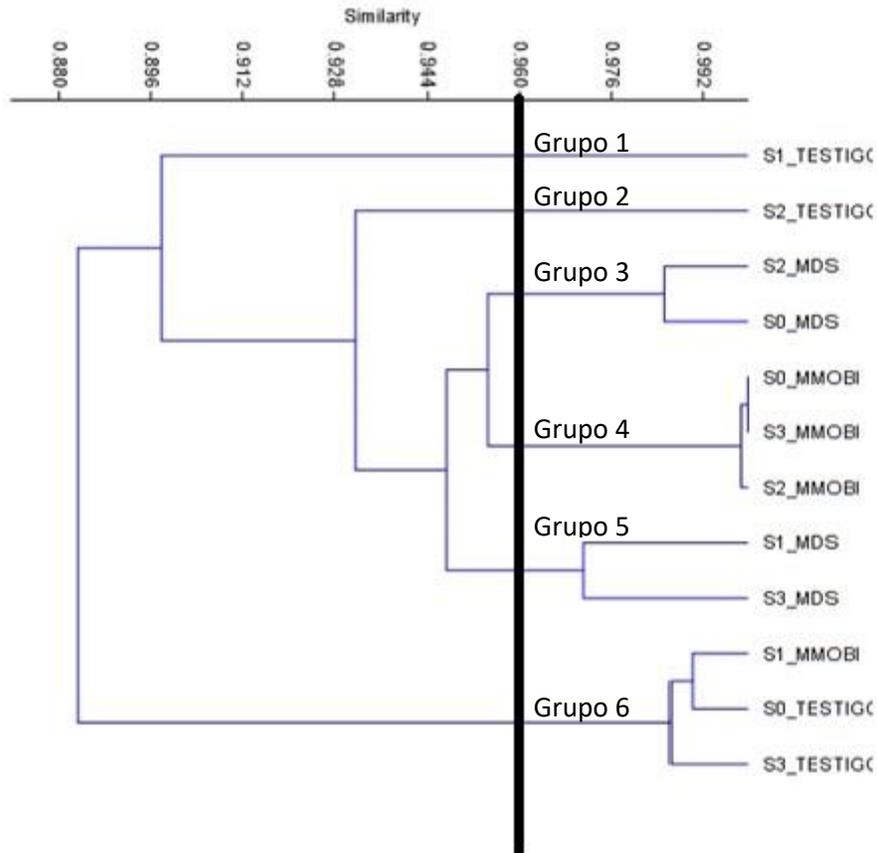


Figura 5. Agrupamiento de los árboles por sitio en similitud de Morisita; al 96 % se observan 6 grupos al corte de la línea.

7.1.1. Análisis de variables dasométricas dentro de los conglomerados MDS, MMOBI y TESTIGO

7.1.1.1. Diámetro a la altura del pecho (DAP)

Con respecto a los valores obtenidos para la variable DAP, en MDS no existen diferencias significativas entre los promedios de *P. patula*, *A. religiosa* y *Q. glaucooides* ($F= 3.009$, $p= 0.0566$), aunque *Abies religiosa* presentó los valores más bajos; para MMOBI si existen diferencias significativas entre los promedios de *P. patula* y *A. religiosa* ($F= 36.527$, $p= 0.0001$) y para Testigo la diferencia significativa es de *Quercus laurina* que presenta valores menores con respecto a *P. patula* y *A. religiosa* ($F= 7.370$, $p= 0.00015$) (Figura 6).

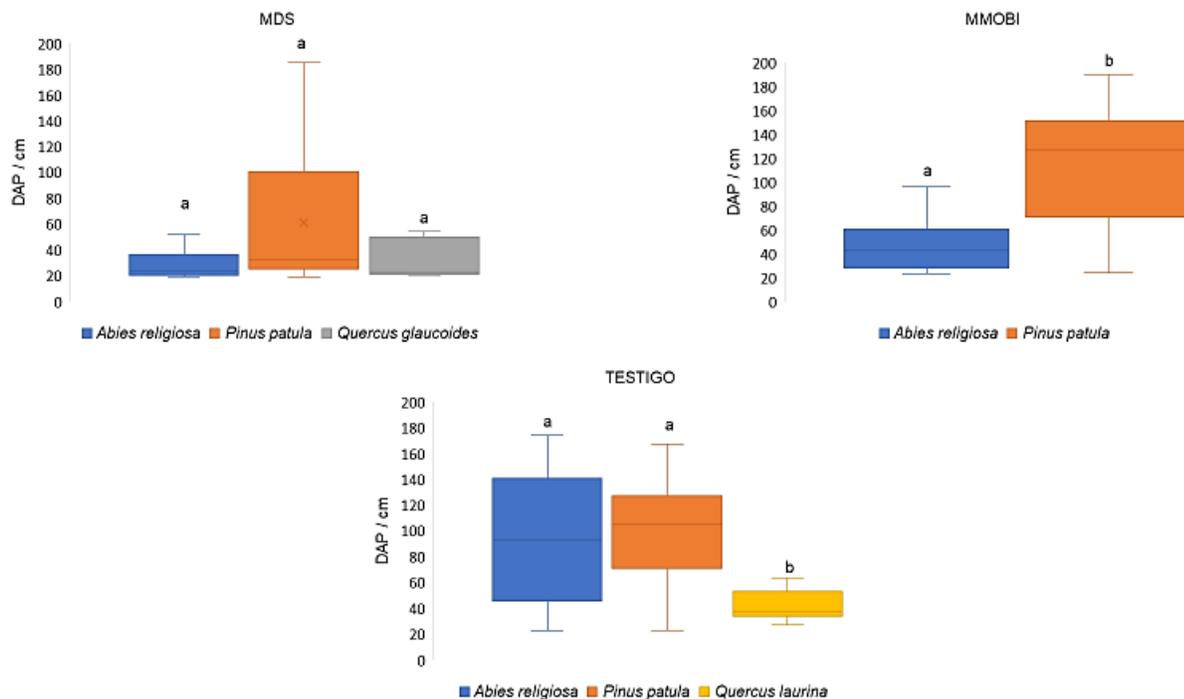


Figura 6. Graficas de cajas y bigotes del diámetro a la altura del pecho, la mediana está representada por la línea horizontal, la media por la X en el centro de las cajas; letras iguales no existen diferencias significativas, letras diferentes presentan diferencias significativas.

7.1.1.2. Altura

Para esta variable, en MDS las diferencias observadas se relacionan con los valores de *P. patula* y *Q. glaucoides* ($F= 6.550, p= 0.0026$) con los valores más bajos en esta última especie; para el caso de MMOBI, existen diferencias ($F= 50.001, p= 0.0001$) entre las dos especies arbóreas presentes *A. religiosa* y *P. patula*, siendo esta última la que presenta los valores más altos. En el caso del área Testigo, *Q. laurina* presenta valores bajos y con diferencias significativas ($F= 14.933, p= 0.0000075$) con respecto a *A. religiosa* y *P. patula* (Figura 7).

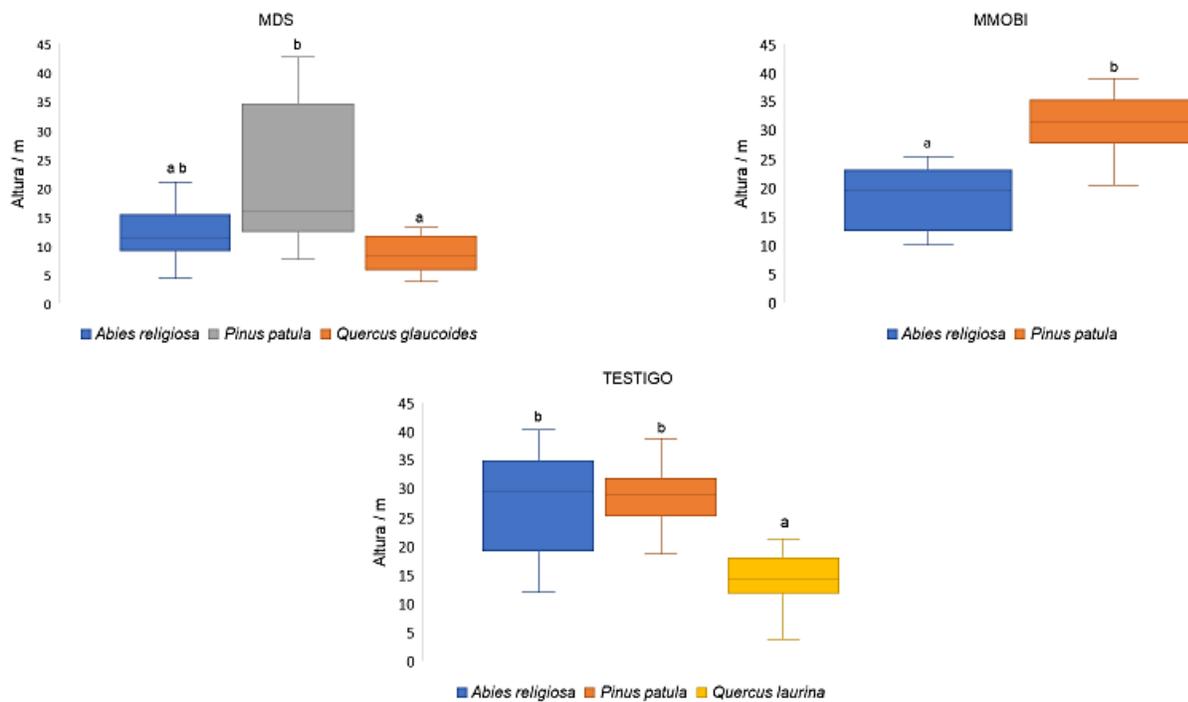


Figura 7. Graficas de cajas y bigotes de la altura, la mediana esta representada por la línea horizontal, la media por la X en el centro de las cajas; letras iguales no existen diferencias significativas, letras diferentes presentan diferencias.

7.1.1.3. Cobertura

En el caso de la variable cobertura de copa, solo en el método MMOBI existen diferencias significativas ($F= 5.013$, $p= 0.0306$) entre *P. patula* y *A. religiosa*, esta última especie presenta los valores más bajos (Figura 8). El área Testigo presentó el valor más alto de cobertura (Tabla 4).

Tabla 4. Cobertura total de cada conglomerado

| Método | Área del conglomerado | Cobertura del conglomerado |
|---------|-----------------------|----------------------------|
| MDS | 1600 m ² | 1791.96 m ² |
| MMOBI | 1600 m ² | 2279.77 m ² |
| Testigo | 1600 m ² | 2731.86 m ² |

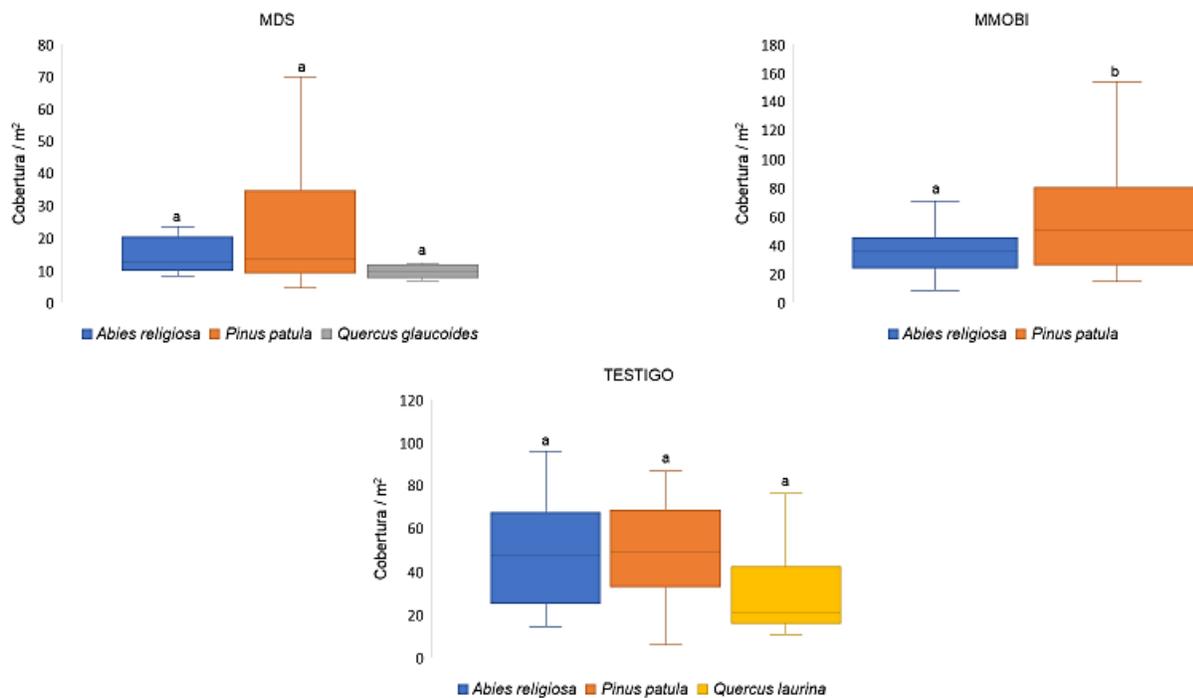


Figura 8. Graficas de cajas y bigotes de la cobertura, la mediana está representada por la línea horizontal, la media por la X en el centro de las cajas; letras iguales no existen diferencias significativas, letras diferentes presenta diferencias.

7.1.1.4. Volumen de madera en pie

En el caso de la variable de volumen, el método MDS no presentó diferencias significativas, en el caso del método MMOBI existen diferencias significativas ($F= 2.891$, $p= 0.000005$) entre *P. patula* y *A. religiosa*, siendo la primera especie la que presenta los valores más altos. Para el área Testigo, existen diferencias significativas ($F= 6.782$, $p= 0.0024$) siendo *Q. laurina* la especie que presenta diferencias además de los valores más bajos (Figura 9).

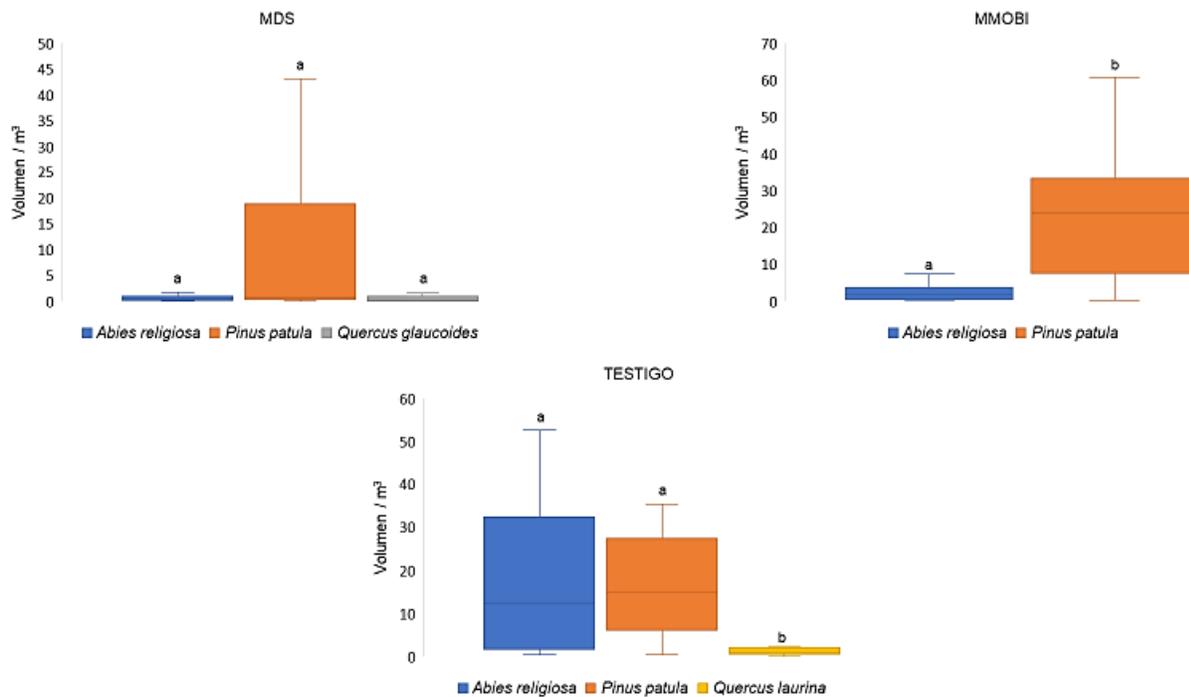


Figura 9. Graficas de cajas y bigotes del volumen, la mediana está representada por la línea horizontal, la media por la X en el centro de las cajas; letras iguales no existen diferencias significativas, letras diferentes presentan diferencias.

7.1.2. Comparación entre conglomerados

Los datos de cobertura, altura y DAP de los tres conglomerados se utilizaron para el análisis de varianza aplicado, el cual muestra que existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre conglomerados, y la prueba de Tukey indica que MDS es el diferente del MMOBI y del TESTIGO en todas las variables: DAP ($F= 10.426$, $p= 0.000055$), altura ($F= 7.827$, $p= 0.000566$) y cobertura ($F= 8.597$, $p= .000566$) Figura 10.

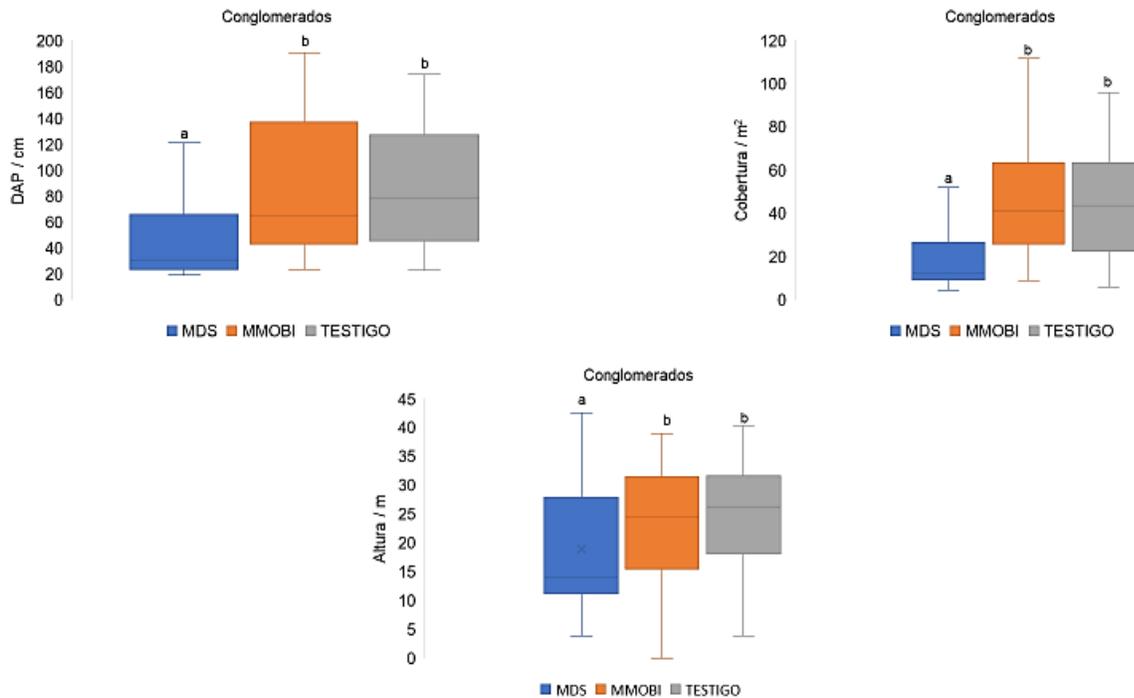


Figura 10. Graficas de cajas y bigotes de la comparación de variables entre conglomerados, la mediana está representada por la línea horizontal, la media por la X en el centro de las cajas; letras iguales no existen diferencias significativas, letras diferentes presentan diferencias.

7.1.2.1. Índice de valor de importancia

El valor máximo para *P. patula* se presentó en el área con tratamiento MDS, teniendo un IVI de 214.367; para *A. religiosa* el valor máximo se presentó en el área con tratamiento MMOBI, mientras que para *Quercus* spp, el valor máximo se presentó en el área TESTIGO con un IVI de 68.943 (Tabla 5).

Tabla 5. Índice de valor de importancia de las especies arbóreas de cada conglomerado.

| ESPECIE/CONGLOMERADO | DENSIDAD RELATIVA | AREA BASAL | FRECUENCIA RELATIVA | INDICE DE VALOR DE IMPORTANCIA (IVI) % |
|----------------------|-------------------|------------|---------------------|--|
| MDS | | | | |
| <i>P. patula</i> | 82.225 | 92.142 | 40 | 214.367 |
| <i>A. religiosa</i> | 11.175 | 4.493 | 40 | 55.668 |
| <i>Quercus</i> spp. | 6.600 | 3.364 | 20 | 29.965 |
| TOTAL MDS | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 300.000 |
| MMOBI | | | | |
| <i>P. patula</i> | 56.818 | 76.198 | 44.444 | 177.461 |
| <i>A. religiosa</i> | 40.909 | 22.541 | 44.444 | 107.894 |
| <i>Quercus</i> spp. | 2.273 | 1.261 | 11.111 | 14.645 |
| TOTAL MMOBI | 100 | 100 | 100 | 300 |
| TESTIGO | | | | |
| <i>P. patula</i> | 42.105 | 48.208 | 33.333 | 123.646 |
| <i>A. religiosa</i> | 35.088 | 38.990 | 33.333 | 107.411 |
| <i>Quercus</i> spp. | 22.807 | 12.803 | 33.333 | 68.943 |
| TOTAL TESTIGO | 100 | 100 | 100 | 300 |

7.2. Componentes arbustivo y herbáceo

7.2.1. Composición del estrato arbustivo en las temporadas seca y de lluvia

Derivado de la identificación taxonómica de las muestras botánicas correspondiente al periodo de sequía, las familias botánicas mejor representadas en las tres áreas para arbustos fueron Asteraceae, Caprifoliaceae y Ericaceae y para la temporada de lluvia, las familias mejor representadas en las tres áreas fueron Asteraceae, Solanaceae y Ericaceae. El número de especies para la época seca es de 13 (Anexo 1) y de 14 especies para la temporada de lluvia (Anexo 2).

En la temporada seca, en el área con MDS, *Chimaphila umbellata* (Figura 11 A) fue la más abundante; en el área con MMOBI, la de mayor abundancia fue *Cestrum roseum* (Figura 11 B); para el área TESTIGO, nuevamente *C. umbellata* fue la más abundante. En la temporada de lluvia, en el área con MDS, *C. umbellata* persistió como la más abundante; en el área con MMOBI, la de mayor abundancia fue *Eupatorium glabratum* (Figura 11 C); para el área TESTIGO, *C. umbellata* se mantuvo como la más abundante. En la Tabla 6 y 7 se puede observar las abundancias de las especies arbustivas mencionadas anteriormente en la temporada seca y de lluvia, respectivamente.

Tabla 6. Especies arbustivas con más abundancia de cada conglomerado de la temporada seca.

| Método | Especie | Abundancia |
|---------|-----------------------------|------------|
| MDS | <i>Chimaphila umbellata</i> | 316 |
| MMOBI | <i>Cestrum roseum</i> | 53 |
| Testigo | <i>Chimaphila umbellata</i> | 467 |

Tabla 7. Especies arbustivas con mayor abundancia de cada conglomerado de la temporada de lluvia.

| Método | Especie | Abundancia |
|---------|-----------------------------|------------|
| MDS | <i>Chimaphila umbellata</i> | 217 |
| MMOBI | <i>Eupatorium glabratum</i> | 88 |
| Testigo | <i>Chimaphila umbellata</i> | 480 |



Figura 11. Especies arbustivas con mayor abundancia: A) *Chimaphila umbellata*, B) *Cestrum roseum*, C) *Eupatorium glabratum*.

Se calculó el índice de similitud de Morisita para las temporadas seca y de lluvia. En el dendrograma de la temporada seca (Figura 12 A) se observa que se forman tres grupos a una similitud del 72 %, el primer grupo se forma con las especies correspondientes a los sitios 0, 3 y 1 del conglomerado 2 (MMOBI), otro grupo se forma únicamente con el sitio 0 del conglomerado 1 (MDS) y el último grupo es integrado con el resto de los sitios correspondientes a los tres conglomerados. Asimismo, en el dendrograma de la temporada de lluvia (Figura 12 B) se observa que se forman cinco grupos a una similitud del 72 %, un grupo se forma con el sitio 0 del conglomerado 3 (TESTIGO), otro se integra únicamente con el sitio 0 del conglomerado 2 (MMOBI), uno más se forma con el sitio 1 del conglomerado 2, otro grupo se integra únicamente por el sitio 3 del conglomerado 2 y el último grupo se conforma por el resto de sitios de los conglomerados.

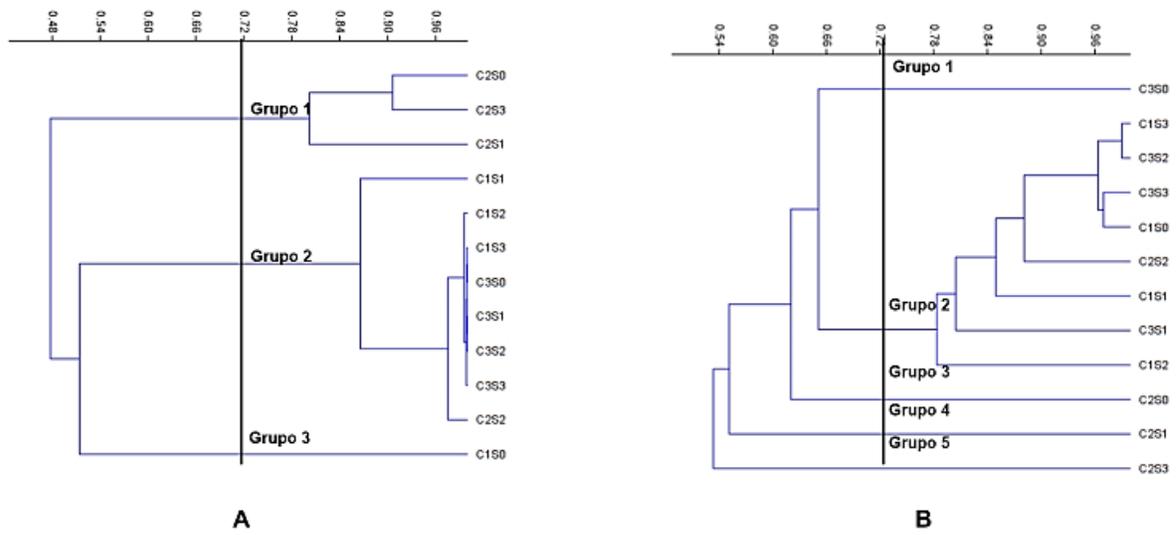


Figura 12. Dendrogramas del componente arbustivo de las temporadas seca (A) y de lluvia (B).

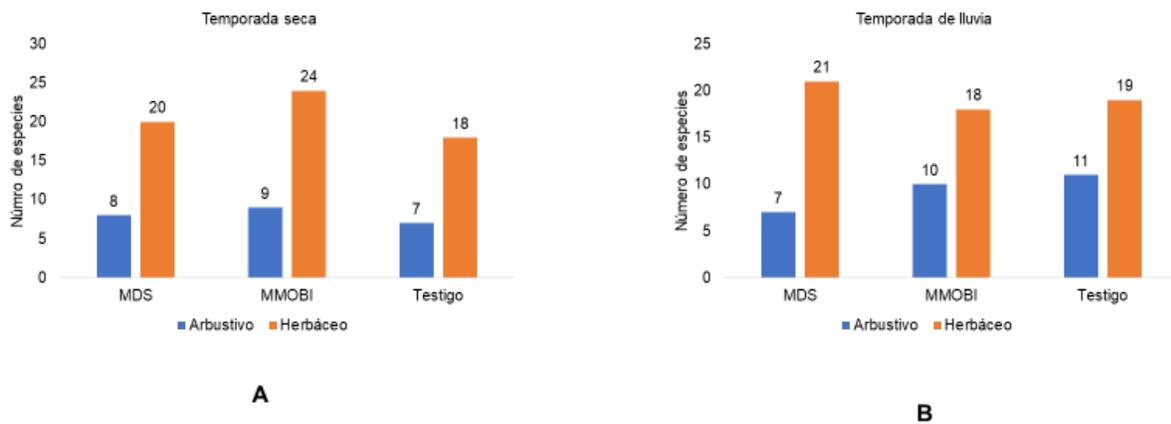


Figura 13. Número de especies totales de los componentes arbustivo y herbáceo de cada conglomerado por temporada.

7.2.2. Composición del estrato herbáceo en las temporadas seca y de lluvia

Derivado de la identificación taxonómica de las muestras botánicas correspondiente al periodo de sequía, las familias botánicas mejor representadas fueron Asteraceae y Poaceae, mientras que para el periodo de lluvias fueron Asteraceae, Poaceae y Lamiaceae. En total se identificaron 34 especies en época seca (Anexo 1) y 33 en época de lluvias (Anexo 2).

En la temporada seca, en el área con MDS, la especie más abundante fue *Alchemilla procumbens* (Figura 14 letra A); en el área del MMOBI, *A. procumbens* también fue la más abundante y para el área TESTIGO, la especie de mayor abundancia fue *Bromus anomalus* (Figura 14 letra B). En la temporada de lluvia, en el área con MDS, *A. procumbens* nuevamente fue la más abundante; en el área del MMOBI de igual manera *A. procumbens* fue la de mayor abundancia; para el área TESTIGO, la más abundante fue *Avena fatua* (Figura 14 letra C). En las Tablas 8 y 9 se pueden observar las abundancias de las especies herbáceas mencionadas anteriormente de la temporada seca y de lluvia respectivamente.

Tabla 8. Especies herbáceas con más abundancia de cada conglomerado de la temporada seca.

| Método | Especie | Abundancia |
|---------|------------------------------|------------|
| MDS | <i>Alchemilla procumbens</i> | 449 |
| MMOBI | <i>Alchemilla procumbens</i> | 230 |
| Testigo | <i>Bromus anomalus</i> | 133 |

Tabla 9. Especies herbáceas con más abundancia de cada conglomerado de la temporada de lluvia.

| Método | Especie | Abundancia |
|---------|------------------------------|------------|
| MDS | <i>Alchemilla procumbens</i> | 256 |
| MMOBI | <i>Alchemilla procumbens</i> | 149 |
| Testigo | <i>Avena fatua</i> | 40 |



Figura 14. Especies herbáceas con mayor abundancia: A) *Alchemilla procumbens*, B) *Bromus anomalus*, C) *Avena fatua*.

Se estimó el índice de similitud de Morisita para las temporadas seca y de lluvia. En el dendrograma de la temporada seca (Figura 15 letra A) se observa que a una similitud del 84 % se forman 5 grupos; uno de éstos grupos se integra por los sitios 3 y 0 del conglomerado 3 (TESTIGO) y el sitio 3 del conglomerado 2 (MMOBI), otro grupo se conforma únicamente por el sitio 0 del conglomerado 2, otro grupo se forma exclusivamente por el sitio 1 del conglomerado 2, uno más de igual manera exclusivamente por el sitio 2 del conglomerado 3 y el último grupo con el resto de sitios compuesto por los tres conglomerados. Asimismo, en el dendrograma de la temporada de lluvia (Figura 15 letra B) se observa que en una similitud del 74% se forman 5 grupos; el grupo 1 lo conforman el sitio 2 del conglomerado 2 (MMOBI) y los sitios 2, 0, 1 y 3 del conglomerado 1 (MDS); el grupo 2 lo integran el sitio 0 del conglomerado 2 y los sitios 0, 1 y 3 del conglomerado 3 (TESTIGO); el grupo 3 incluye únicamente el sitio 3 del conglomerado 2; el grupo 4 se forma por el sitio 2 del conglomerado 3 y el grupo 5 por el sitio 1 del conglomerado 2.

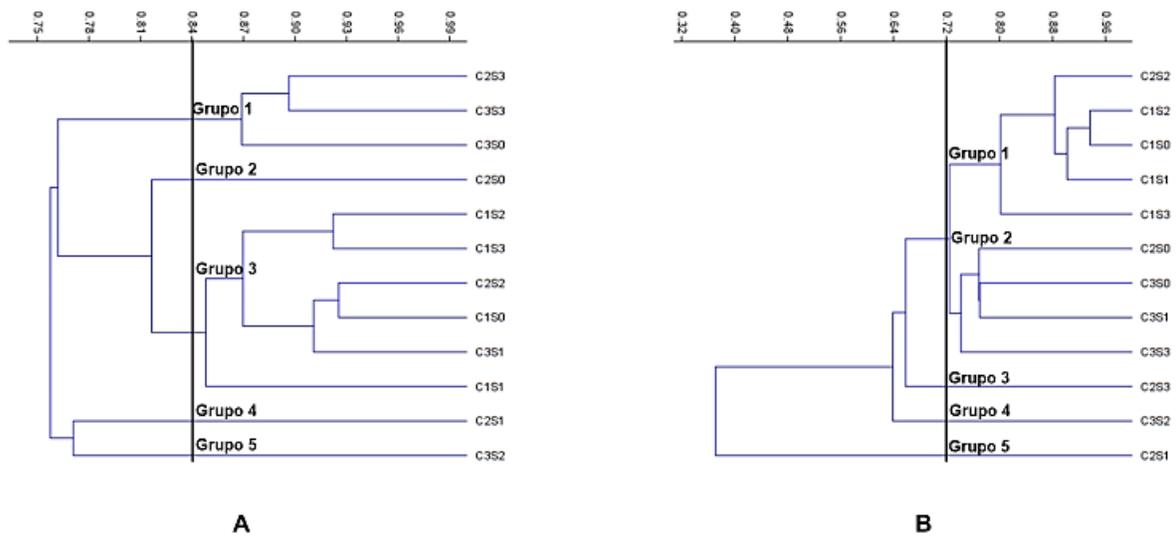


Figura 15. Dendrogramas del componente herbáceo de la temporada seca (A) y de lluvia (B).

7.2.3. Índices de diversidad

Los resultados obtenidos de los índices de diversidad para el componente arbustivo (Tabla 10) muestran que el índice de riqueza en la temporada seca es mayor en el MMOBI, el de dominancia es mayor en el TESTIGO y el de equidad en el MMOBI; mientras que para la temporada de lluvia, MMOBI presenta los mayores valores en los tres índices.

Una vez aplicada la *t* de Hutcheson al índice de Shannon-Wiener, se obtuvo que entre métodos y temporadas existen diferencias (números en rojo Tabla 10).

Tabla 10. Índices de diversidad del estrato arbustivo en los tres conglomerados por temporada.

| Estrato Arbustivo | Índice de Margalef (Riqueza) | | Índice de Simpson (Dominancia) | | Índice de Shannon-Wiener (Equidad) | | | |
|--------------------------|------------------------------|-------|--------------------------------|--------|------------------------------------|-------|--------|-------|
| | Lluvia | Seca | Lluvia | Seca | Lluvia | Log n | Seca | Log n |
| MÉTODO/TEMPORADA | | | | | | | | |
| MDS | 1.032 | 1.167 | 0.5404 | 0.6281 | 1.115 | 1.94 | 0.86 | 2.07 |
| MMOBI | 1.558 | 1.603 | 0.8091 | 0.2671 | 1.8 | 2.3 | 1.608 | 2.19 |
| TESTIGO | 1.5 | 0.968 | 0.5833 | 0.9015 | 1.249 | 2.39 | 0.2822 | 1.94 |

En el componente herbáceo, los índices de diversidad (Tabla 11) muestran que MMOBI presenta los mayores valores de los tres índices en la temporada seca, mientras que en la temporada de lluvia el área TESTIGO presenta los mayores valores en los tres índices.

Una vez aplicada la *t* de Hutcheson al índice de Shannon-Wiener, se obtuvo que entre métodos y temporadas existen diferencias (números en rojo Tabla 11).

Tabla 11. Índices de diversidad del estrato herbáceo en los tres conglomerados por temporada.

| Estrato Herbáceo | Índice de Margalef (Riqueza) | | Índice de Simpson (Dominancia) | | Índice de Shannon-Wiener (Equitatividad) | | | |
|-------------------------|------------------------------|-------|--------------------------------|--------|--|-------|-------|-------|
| | Lluvia | Seca | Lluvia | Seca | Lluvia | Log n | Seca | Log n |
| MÉTODO/TEMPORADA | | | | | | | | |
| MDS | 3.037 | 2.801 | 0.7481 | 0.6822 | 1.853 | 3.04 | 1.638 | 2.99 |
| MMOBI | 2.719 | 3.469 | 0.8323 | 0.8489 | 2.091 | 2.89 | 2.329 | 3.1 |
| TESTIGO | 3.394 | 2.774 | 0.8766 | 0.834 | 2.373 | 2.94 | 2.125 | 2.89 |

7.3. Análisis de componentes principales (PCA)

El análisis de PCA indica que 10 variables en el componente 1 explican el 50 % de la variación y 6 variables en el componente 2 explican el 32 % (tabla 12). El método de manejo forestal forma un grupo (Figura 16-1) con algunos índices del componente arbustivo y herbáceo. Las variables dasométricas forman otro grupo (Figura 16-2) junto con algunos índices de diversidad de componente herbáceo y arbustivo. La riqueza y equidad del componente arbóreo se agrupan (Figura 16-3) con 2 índices de diversidad del componente herbáceo y del componente arbustivo. Cabe resaltar que la dominancia del componente arbóreo se mantiene distanciada del resto de las variables.

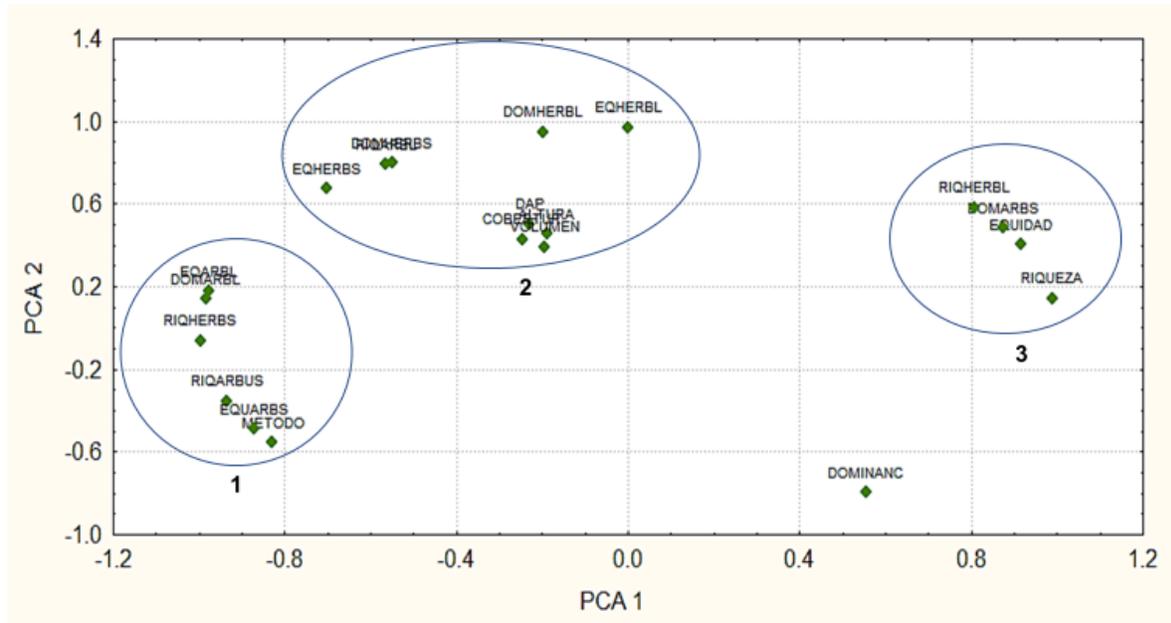


Figura 16. Grafica de PCA con sus respectivos grupos formados, en el grupo 1 se encuentran algunos índices cercanos al método, en el grupo 2 se encuentran variables dasométricas con algunos índices y en el grupo 3 algunos índices de diversidad.

Tabla 12. Componentes 1 y 2 del PCA, los números en rojo son aquellos que explican el porcentaje de variabilidad de cada componente.

| Variable | Componente 1 | Componente 2 |
|------------|--------------|--------------|
| Método | 0.982736 | -0.16933 |
| Altura | -0.012787 | 0.492871 |
| DAP | 0.004036 | 0.55335 |
| Cobertura | 0.04924 | 0.493496 |
| Volumen | 0.017256 | 0.437783 |
| Riqueza | -0.961645 | -0.271365 |
| Dominancia | -0.181115 | -0.953622 |
| Equidad | -0.999535 | -0.006356 |
| Riq Arbu S | 0.998206 | 0.057503 |
| Dom Arbu S | -0.99491 | 0.085508 |
| Eq Arbu S | 0.9943 | -0.091442 |
| Riq Herb S | 0.934074 | 0.351732 |
| Dom Herb S | 0.1753 | 0.954599 |
| Eq Herb S | 0.36577 | 0.903889 |

| | | |
|------------|-----------|----------|
| Riq Arbu L | 0.193346 | 0.951456 |
| Dom Arbu L | 0.842369 | 0.527598 |
| Eq Arbu L | 0.820142 | 0.559697 |
| Riq Herb L | -0.975475 | 0.203782 |
| Dom Herb L | -0.205906 | 0.945949 |
| Eq Herb L | -0.396901 | 0.88566 |

7.4. Análisis de correlación de Pearson

A partir de los resultados del análisis, considerando los valores iguales o mayores a 0.7 (Anexo 3) el método tiene una correlación negativa con las variables de riqueza y equidad del componente arbóreo, con la dominancia de arbustos de la temporada seca y la riqueza de especies herbáceas de la temporada de lluvia. Además, el método tiene una correlación positiva con la riqueza y equidad de arbustos de la temporada seca y con la riqueza de herbáceas de la temporada seca.

Las variables dasométricas del componente arbóreo (Altura, DAP, cobertura y volumen) muestran entre si una correlación positiva. El índice de riqueza del componente arbóreo presentó una correlación negativa con la riqueza y equidad de arbustos de la temporada seca, con la riqueza de herbáceas de la temporada seca y con la dominancia y equidad de arbustos de la temporada de lluvia. Además, muestra una correlación positiva con la dominancia de arbustos de la temporada seca y la riqueza de herbáceas de la temporada de lluvia. El índice de dominancia presentó una correlación negativa con la dominancia y equidad de herbáceas de la temporada seca, la riqueza y la equidad de arbustos de la temporada de lluvia y con la dominancia y equidad de herbáceas de la temporada de lluvia. El índice de equidad presentó una correlación negativa con la riqueza y equidad de arbustos de la temporada seca, con la riqueza de herbáceas de la temporada seca y con la dominancia y equidad de arbustos de la temporada de lluvia. Además, presenta una correlación positiva con la dominancia de arbustos en temporada seca y con la riqueza de herbáceas de la temporada de lluvia (Anexo 3).

8. Discusión

8.1. Estrato arbóreo

La CONABIO (2019) menciona que en general, especies de los géneros *Pinus*, *Quercus* y *Abies* son predominantes en los bosques templados de México. En el área de estudio estos géneros son los que fueron registrados como dominantes del componente arbóreo. Dos de las especies del género *Abies* y *Quercus* fueron registradas por López-Domínguez (2008) en un trabajo previo en el estado de Tlaxcala en localidades relativamente cercanas. Aunque Hernández-Salas *et al.* (2013) realizaron un estudio similar, no existe alguna semejanza entre las especies encontradas en la investigación con las halladas por ellos, ya que dicho estudio se realizó en el norte de México, localidad muy alejada geográficamente de la del presente estudio, con dominancia de especies de aquellas latitudes.

En general, las áreas dedicadas al manejo forestal (MDS y MMOBI) promueven la selección de pocas especies y en este caso *P. patula* se obtuvo como especie dominante. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Monarrez-González *et al.* (2020), no obstante, en áreas forestales en las que no se ha aplicado algún método de manejo, como el Testigo del presente estudio, existen otras especies arbóreas que presentan valores altos en cobertura de la copa, el diámetro y la altura del árbol, siendo el caso específico de *A. religiosa*. Estos valores altos también se reflejan en el índice de valor de importancia (IVI), el cual variará de acuerdo con la especie dominante y al método de manejo aplicado entre otros atributos, pero que coincide con lo que encontraron Hernández-Salas *et al.*, 2013; López-Hernández *et al.* 2017; Monarrez-González *et al.*, 2020, siendo que las especies del género *Pinus* presentan valores altos en el IVI.

Es importante destacar el valor ecológico de las especies de *Pinus*, ya que se sabe lo que aporta de agua al suelo, al menos para *P. montezumae* (Barradas, 1983). La presencia de oyamel pudiera ser un indicativo de que estos bosques pudieran presentar una estructura arbórea semi-madura, dado que la presencia de esta especie es un indicador de maduración en la estructura de los bosques templados.

8.2. Componente arbustivo y herbáceo

Los resultados obtenidos indican que en las áreas del MMOBI y del TESTIGO el estrato arbustivo tiene más componentes dentro de las áreas estudiadas, dado el aumento de riqueza de este estrato en la temporada de lluvia. Al respecto, Luna-Bautista (2015) hace énfasis en que los arbustos contribuyen de manera importante en la diversidad de los bosques. Esto es un indicativo de la relevancia de considerar el mantenimiento del estrato arbustivo en los programas de manejo forestal; aun cuando éste no aporte a la producción de madera, pero que constituye una parte primordial del ecosistema y es una fuente de recursos no maderables variados. Esto puede atribuirse a que en el estrato arbóreo en las áreas del MMOBI y el TESTIGO, la cobertura es mayor, por lo cual la incidencia de luz es poca, lo que permite un mejor desarrollo de especies arbustivas, a la vez que limita el de las herbáceas, que durante la temporada de lluvia, tienen una mayor disponibilidad de agua. Existe una relación de lo anterior con respecto a lo que mencionan Ampooter *et al.* (2014) y Berger y Puetman (2000), puesto que existe cierta influencia favorable del estrato arbóreo sobre la presencia de algunas especies arbustivas. En ese sentido, la especie arbustiva favorecida en el área con aplicación del MMOBI es *Eupatorium glabratum* en época de lluvia, especie que se encuentra presente en bosque de oyamel, de pino y de encino en altitudes de 2600 a 3500 m (Rzedowski, 2005) mientras que en época seca es *Cestrum roseum*, especie que se le puede encontrar en bosques mesófilos de montaña, de *Pinus*, de *Abies*, de *Quercus* y en bosque mixto, preferentemente en áreas perturbadas (Rzedowski, 2005); para el MDS y el área TESTIGO, *Chimaphila umbellata* es la especie favorecida por las condiciones que presentan estas áreas, teniendo mayor abundancia tanto en la temporada seca y en la de lluvia. Por lo anterior, se presume que *C. umbellata* podría representar gran importancia para el bosque, no solo por su abundancia, sino por el hecho que es una planta que presenta una relación micoheterótrofa con especies de hongos micorrízicos del suelo (Tedersoo *et al.*, 2006), contribuyendo en el mantenimiento y equilibrio del bosque.

Con base a los resultados obtenidos en el estrato herbáceo, la familia con mayor número de especies en las 3 áreas estudiadas fue la Asteraceae. Villaseñor (2018) menciona que esta familia es de amplia distribución tanto a nivel mundial como a nivel nacional,

pudiéndose encontrar desde las dunas o vegetación costera, hasta los picos nevados de las altas montañas, aunado al hecho de que su eficiente distribución se debe al vilano (fruto con pelos simples o plumosos) y a su gran plasticidad genética. Esta última por la capacidad de generar metabolitos secundarios que sintetizan como estrategias de protección contra los depredadores o competidores. Un alto número de especies repercute en el índice de Margalef, donde el valor es mayor en MDS en la temporada de lluvia con respecto a la temporada seca, pero en la misma temporada seca, el índice es mayor en el MMOBI que en la de lluvia, mientras que en el área TESTIGO ocurre lo mismo que en el MDS, donde el valor es mayor en temporada de lluvia que en seca. Tanto para el MDS como para el MMOBI, en las dos temporadas, la especie de mayor abundancia es *Alchemilla procumbens*. Lo anterior concuerda con lo encontrado por Mejía-Canales *et al.* (2018) donde reporta que la especie dominante en el componente herbáceo en bosques de pino y oyamel fue *A. procumbens*. Al respecto, Rzedowski. (2005) menciona que esta especie es la más común de encontrar en las montañas del Valle de México y que su presencia se ve favorecida por el disturbio. En el área TESTIGO, la especie de mayor abundancia en temporada seca es *Bromus anomalus* y en la de lluvia *Avena fatua*. Rzedowski, 2005 menciona que *B. anomalus* se presenta en bosques de coníferas y encinos y además ocasionalmente en ambientes con perturbación; mientras que *A. fatua* es una planta considerada maleza arvense (presencia en cultivos) o ruderal (crece en sitios perturbados por el hombre) con una amplia distribución en todos los continentes. En este caso de estudio, la presencia y la dominancia de las citadas especies, principalmente en las áreas bajo MDS y MMOBI, aunque también en el TESTIGO, son indicadoras del disturbio ocasionado por las actividades de manejo forestal. Aunque el área TESTIGO de este trabajo se seleccionó debido a que no está manejada forestalmente, es indudable que al ser una zona adyacente a las que sí tienen manejo forestal, está sujeto a cierto grado de perturbación, ocasionado por el tránsito entre áreas y la extracción de la madera de las zonas bajo manejo.

9. Conclusiones

Las características dasométricas del estrato arbóreo en el MDS son menores que en el MMOBI y en el TESTIGO, lo que evidencia que su intensidad de manejo es desfavorable para estas características en el arbolado.

Las áreas con aplicación de métodos de manejo forestal favorecen la dominancia de la especie *Pinus patula*, sin embargo, su producción de madera es menor, específicamente en el área con aplicación del MDS.

Abies religiosa es una especie con una cantidad de madera considerable que pudiera ser utilizada y darle un valor comercial.

De manera general es importante considerar a los estratos bajos en los planes para el manejo de los bosques puesto que son importantes dentro de la dinámica de este ambiente, teniendo en cuenta un manejo integral de los bosques, permitiría un mejor aprovechamiento sustentable y sostenible de la madera sin perjudicar a otras especies de plantas.

La temporada es un factor que debe considerarse para realizar dicho aprovechamiento, en especial para evitar perturbaciones que pudieran disminuir la riqueza.

No obstante, es importante realizar estudios en otro tipo de características y organismos del ambiente, como la calidad del suelo o la diversidad en mamíferos o insectos para determinar los cambios que el manejo intensivo provoca en todos los aspectos que conforman el bosque templado, un ejemplo de ello es el estudio realizado por (Guarneros, 2017) sobre el impacto del manejo forestal sobre la diversidad de hongos ectomicorrízicos.

10. Literatura citada

- Aguirre De Los Rios, H., (2012). Viabilidad de alternativas de certificación de carbono en sistemas agroforestales a pequeña escala para mercados voluntarios. Taller de capacitación a líderes campesinos en técnicas de medición de carbono en sistemas agroforestales. Moyobamba, 16 y 17 de Octubre.
- Ampoorter, E., Baeten, L., Koricheva, J., Vanhellefont, M., & Verheyen, K. (2014). Do diverse overstoreys induce diverse understoreys Lessons learnt from an experimental–observational platform in Finland. *Forest Ecology and Management*, 318, 206–215.
- Armendáriz, H., (2014). Curso Regional De Regulación, Manejo y Salud Forestal. SEMARNAT.
- Barradas, V. L., (1983). Capacidad de captación de agua a partir de la niebla en *Pinus montezumae* Lambert, de la region de las grandes montañas del estado de Veracruz. *Biotica*, Vol. 8, Num 4 pp. 427-431.
- Battles, J., Shlisky, A., Barrett R., Heald, R., Allen, B. (2001). The effects of forest management on plant species diversity in a Sierran conifer forest. *Forest Ecology and Management*, 146, 211-222
- Baker, F.S. 1950. Principles of silviculture. Mc GrawHill, New York.
- Barton Bray D y Merino Pérez L. 2004. La Experiencia de las Comunidades Forestales en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología-Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A.C.
- Berger, A., & Puettmann, K. J. (2000). Overstory composition and stand structure influence herbaceous plant diversity in the mixed aspen forest of northern Minnesota. *American Midland Naturalist*, 143, 111–125.
- Calderón de Rzedowsky, G., Rzedowsky, J. (2005). Flora Fanerogámica del Valle de México. 2a. ed., 1a reimp., Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán), 1406 pp.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad CONABIO, 2019. Ecosistemas, Ecosistemas de México, Bosque Templado. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/bosqueTemplado>
- Comisión Nacional Forestal, CONAFOR. (2004). Perspectiva Forestal. https://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?p=2905
- Corral-Rivas, j. j., Aguirre-Calderón, O. A., Jiménez-Pérez, J., Corral-Rivas, S. (2005) Un análisis del efecto del aprovechamiento forestal sobre la diversidad estructural en el bosque mesófilo de montaña «El Cielo», Tamaulipas, México. *Invest Agrar: Sist Recur For* 14(2), 217-228.
- Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México, Estado de Tlaxcala, Tlaxco (2020). INAFED.gob.mx
- Fraatz-López, R., Montúfar-García, C. (2007). Estudio florístico-estructural de una comunidad vegetal madura en el Macizo Montañoso Apagüiz-Apahuerta, El Paraíso, Honduras. Tesis Ingeniero en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente
- Guarneros-Hernández A., M. (2017). Impacto del manejo forestal intensivo sobre la diversidad de los hongos ectomicorrízicos en un bosque de coníferas en la región de Chignahuapan, Puebla. Tesis de Maestría, Centro de Investigación en Genética y Ambiente, Maestría en Ciencias en Sistemas del Ambiente, Universidad Autónoma de Tlaxcala.

- Guerra C., V.; F. Carrillo A.; M. Acosta M.; F. Islas G.; E. Flores A.; C. Mallen R. y E. Buendía R., (2007). El manejo forestal en el estado de Tlaxcala, Una revisión del desarrollo de la silvicultura. Folleto Técnico No. 25 INIFAP-CIR-CENTRO. México. 69 p.
- Guerra de la C., V. y C. Mallén R. (Comp.). 2008. Tlaxcala sus recursos forestales: conservación, aprovechamiento y bases para su manejo sustentable. Libro Técnico Núm. 4. INIFAP-CENID-COMEF. México, D.F. México. 276 p.
- Halpern, C., Spies, T. (1995). Plant Species Diversity in Natural and Managed Forests of the Pacific Northwest. *Ecological Applications*, Volume 5, pp. 913-934.
- Hammer, Oyvind., Harper, D., Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica*. Vol. 4. pp. 9
- 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*. pp. 189-199. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2012.08.052.
- Hernández-Salas, J., (2014). Curso regional: Regulación, manejo y salud forestal: Ordenación forestal.
<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2014/CD001804.pdf>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (2018). INIFAP-CIR Centro, Tlaxcala.
- Jiménez, L., Damon, A., Ochoa, S., Clark, R. (2014). Impact of silvicultural methods on vascular epiphytes (ferns, bromeliads and orchids) in a temperate forest in Oaxaca, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 329, pp.10-20.
- López-Domínguez, J. C., Guerra de la Cruz, V., Martínez y Pérez, J. L. (2018). Diversidad vegetal en bosques bajo producción maderable del ejido peñuelas-pueblo nuevo, Chignahuapan, Puebla. Memoria de la IV Reunión Estatal de Investigación: La biodiversidad como base de los sectores agrícola, pecuaria y forestal. Coatlinchán, Texcoco, Edo. de México., México 20 de septiembre.
- López-Domínguez, J. C., (2008). Estructura silvícola y dinámica de bosques de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en el estado de Tlaxcala. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación en Genética y Ambiente. Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- López-García, G., Nieto de Pascual, M. C. (2018). Características estructurales de un bosque de pino en Tlalnepantla, Morelos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* Vol. 10 pp. 51: DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i51.187>.
- López-Hernández, J. A., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., Monarrez-González, J. C., Gonzales-Tagle, M. A., Jiménez-Pérez, J. (2017). Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México. *Madera y Bosques*, 23(1), pp. 39-51.
- Luna-Bautista, L., Hernández-de la Rosa, P., Velázquez-Martínez, A., Gómez-Guerrero, A., & Acosta-Mireles, M. (2015). Understory in the composition and diversity of managed forest areas in Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 21(1), pp. 109–121.

- Mejía-Canales, A., Franco-Maass, S., Endara-Agramont, A. R. y Ávila-Akerberg, V., (2018). Caracterización del sotobosque en bosques densos de pino y oyamel en el Nevado de Toluca, México. *Madera y Bosques*, 24(4), 1-15. doi: 10.21829/myb.2018.2431656
- Monarrez-Gonzalez J.C., Gonzalez-Elizondo M.S., Marquez-Linares M.A., Gutierrez-Yurrita P.J., Perez-Verdin G. (2020). Effect of forest management on tree diversity in temperate ecosystem forests in northern Mexico. *Plos ONE* Vol. 15(5). pp. 16 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233292>
- Moreno, C., E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.
- Mostacedo, B. y Fredericksen, T. S., (2000). Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Proyecto de manejo forestal sostenible, BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia.
- Olvera-Vargas, M. y Figueroa-Rangel, B. L., (2000). Inventario forestal en bosques dominados por encino (*Quercus Fagaceae*) en la Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima, México: Descripción de los patrones de respuesta al medio físico y biológico. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de la Costa Sur. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. L015. México D. F.
- Rivas-Torres, D. (2006). Sistemas de producción forestal. Unidad II, Evaluación de los recursos forestales. Universidad Autónoma de Chapingo, Preparatoria agrícola, área de agronomía, pp. 1-26.
- Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski y colaboradores, (2005). Flora fanerogámica del Valle de México. 2a. ed., 1a reimp., Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán), 1406 pp.
- Rzedowski, J., (2006). Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.
- Salinas, E., Gonzales, M., León, A., y Rodríguez, F. (2017). La actividad forestal en el desarrollo económico de Chignahuapan, Puebla. *Región y Sociedad*, Año 29, No. 69 2017.
- Tedersoo, L., Pellet, P., Kõljalg, U., y Selosse, M. A., (2006). Parallel evolutionary paths to mycoheterotrophy in understorey Ericaceae and Orchidaceae: ecological evidence for mixotrophy in Pyroleae. *Oecologia*, 151, 206-217. doi: 10.1007/s00442-006-0581-2
- Villaseñor, J. L., (2018). Diversidad y distribución de la familia Asteraceae en México. *Botanical Sciences*. 96(4), 332-358. doi: 10.17129/botsci.1872

V. Anexos

Anexo 1: Listado de especies arbustivas y herbáceas de la temporada seca.

| Lista de especies arbustivas de la temporada seca | | | | |
|--|------------|--------------|----------------|--------------|
| Especie | MDS | MMOBI | TESTIGO | Total |
| <i>Acaena elongata</i> | 10 | 3 | 4 | 17 |
| <i>Baccharis conferta</i> | 20 | 0 | 2 | 22 |
| <i>Buddleia parviflora</i> | 1 | 1 | 0 | 2 |
| <i>Cestrum roseum</i> | 10 | 53 | 7 | 70 |
| <i>Chimaphila Umbellata</i> | 316 | 51 | 467 | 834 |
| <i>Eupatorium glabratum</i> | 16 | 0 | 0 | 16 |
| <i>Heuchera orizabensis</i> | 1 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Symphoricarpus microphyllus</i> | 28 | 12 | 8 | 28 |
| <i>Lonicera mexicana</i> | 0 | 5 | 0 | 5 |
| <i>Pernettya prostrata</i> | 0 | 5 | 3 | 8 |
| <i>Salvia sp</i> | 0 | 11 | 0 | 11 |
| <i>Smilax moranensis</i> | 0 | 6 | 1 | 7 |
| Lista de especies herbáceas de la temporada seca | | | | |
| Especie | MDS | MMOBI | TESTIGO | Total |
| <i>Alchemilla Procumbens</i> | 449 | 230 | 86 | 765 |
| <i>Bromus anomalus</i> | 28 | 129 | 133 | 290 |
| <i>Cirsium ehrenbergii</i> | 1 | 0 | 1 | 2 |
| <i>Didymaea alsinoides</i> | 39 | 16 | 23 | 78 |
| <i>Eleocharis</i> | 6 | 0 | 0 | 6 |
| <i>Eupatorium pazcuarensis</i> | 3 | 18 | 14 | 35 |
| <i>Fragaria mexicana</i> | 30 | 78 | 22 | 130 |
| <i>Galium aschenbornii</i> | 19 | 9 | 0 | 28 |
| <i>Geranium semanii</i> | 1 | 1 | 0 | 2 |
| <i>Gnaphalium americanum</i> | 1 | 6 | 0 | 7 |
| <i>Lepechinia schiedeana</i> | 197 | 22 | 1 | 220 |
| <i>Piptochaetium virescens</i> | 17 | 0 | 0 | 17 |
| Poaceae | 2 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Salvia sp</i> | 11 | 0 | 9 | 20 |
| <i>Salvia stricta</i> | 4 | 0 | 0 | 4 |
| Scrophulariaceae | 1 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Senecio sp</i> | 62 | 39 | 81 | 182 |
| <i>Stellaria cuspidata</i> | 8 | 2 | 0 | 10 |
| <i>Thouidium</i> | 3 | 4 | 0 | 7 |
| <i>Viola guatemalensis</i> | 2 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Aegopogon af. Tenellus</i> | 0 | 3 | 0 | 3 |
| <i>Arracacia atropurpurea</i> | 0 | 3 | 4 | 7 |

| | | | | |
|-------------------------------|---|----|----|----|
| <i>Bidens sp</i> | 0 | 3 | 0 | 3 |
| <i>Bidens aurea</i> | 0 | 36 | 1 | 37 |
| <i>Brachypodium mexicanum</i> | 0 | 73 | 8 | 81 |
| <i>Eupatorium glabratum</i> | 0 | 1 | 1 | 2 |
| <i>Galium sphagnophilum</i> | 0 | 33 | 11 | 44 |
| <i>Piptochaetium seleri</i> | 0 | 13 | 38 | 51 |
| <i>Salvia elegans</i> | 0 | 20 | 19 | 39 |
| <i>Senecio angulifolius</i> | 0 | 11 | 0 | 11 |
| <i>Sibthorpia repens</i> | 0 | 5 | 0 | 5 |
| <i>Viola sp</i> | 0 | 3 | 0 | 3 |
| <i>Bryum</i> | 0 | 0 | 4 | 4 |
| <i>Heuchera orizabensis</i> | 0 | 0 | 3 | 3 |

Anexo 2: Listado de especies arbustivas y herbáceas de la temporada de lluvia.

| Lista de especies arbustivas de la temporada de lluvia | | | | |
|---|------------|--------------|----------------|--------------|
| Especie | MDS | MMOBI | TESTIGO | Total |
| <i>Acaena elongata</i> | 4 | 1 | 2 | 7 |
| <i>Baccharis conferta</i> | 44 | 5 | 0 | 49 |
| <i>Baccharis salicifolia</i> | 1 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Cestrum roseum</i> | 5 | 77 | 17 | 99 |
| <i>Chimaphilla umbellata</i> | 217 | 57 | 480 | 754 |
| <i>Eupatorium glabratum</i> | 21 | 84 | 1 | 106 |
| <i>Eupatorium pazcuareense</i> | 42 | 0 | 122 | 164 |
| <i>Buddleia parviflora</i> | 0 | 1 | 1 | 2 |
| <i>Pernettya prostrata</i> | 0 | 6 | 0 | 6 |
| <i>Salvia elegans</i> | 0 | 51 | 93 | 144 |
| <i>Smilax moranensis</i> | 0 | 11 | 3 | 14 |
| <i>Symphoricarpus microphyllus</i> | 0 | 30 | 49 | 79 |
| <i>Lonicera mexicana</i> | 0 | 0 | 5 | 5 |
| <i>Salvia stricta</i> | 0 | 0 | 12 | 12 |
| Lista de especies herbáceas de la temporada de lluvia | | | | |
| Especie | MDS | MMOBI | TESTIGO | Total |
| <i>Alchemilla procumbens</i> | 256 | 149 | 38 | 443 |
| <i>Bidens aurea</i> | 3 | 0 | 0 | 3 |
| <i>Brachypodium mexicanum</i> | 2 | 3 | 0 | 5 |
| <i>Bromus Anomalous</i> | 23 | 1 | 0 | 24 |
| <i>Commelina tuberosa</i> | 4 | 0 | 0 | 4 |
| <i>Cirsium ehrenbergii</i> | 4 | 4 | 5 | 13 |
| <i>Didymaea alsinoides</i> | 27 | 0 | 8 | 35 |
| <i>Drymaria molluginea</i> | 18 | 0 | 0 | 18 |
| <i>Festuca callosa</i> | 2 | 0 | 0 | 2 |

| | | | | |
|---------------------------------|-----|-----|----|-----|
| <i>Fragaria mexicana</i> | 33 | 0 | 1 | 34 |
| <i>Gnaphalium americanum</i> | 16 | 1 | 0 | 17 |
| <i>Lepechinia schiedeana</i> | 249 | 15 | 20 | 284 |
| <i>Piptochaetium seleri</i> | 21 | 7 | 23 | 51 |
| <i>Piptochaetium virescenes</i> | 2 | 0 | 0 | 2 |
| <i>Salvia stricta</i> | 34 | 13 | 0 | 47 |
| <i>Salvia tubifera</i> | 1 | 0 | 0 | 1 |
| <i>Senecio sp</i> | 6 | 78 | 1 | 85 |
| <i>Senecio sp1</i> | 3 | 0 | 2 | 5 |
| <i>Senecio sinuatus</i> | 16 | 3 | 1 | 20 |
| <i>Thouidium</i> | 3 | 4 | 4 | 11 |
| <i>Trifolium amabile</i> | 2 | 0 | 1 | 3 |
| <i>Avena fatua</i> | 0 | 103 | 40 | 143 |
| <i>Galium aschenbornii</i> | 0 | 3 | 2 | 5 |
| <i>Oxalis</i> | 0 | 12 | 0 | 12 |
| <i>Scrophuraleaceae</i> | 0 | 20 | 0 | 20 |
| <i>Senecio angulifolius</i> | 0 | 2 | 0 | 2 |
| <i>Sibthorpia repens</i> | 0 | 43 | 0 | 43 |
| <i>Stellaria cuspidata</i> | 0 | 58 | 27 | 85 |
| <i>Arracacia atropurpurea</i> | 0 | 0 | 4 | 4 |
| <i>Asteraceae 2</i> | 0 | 0 | 6 | 6 |
| <i>Bryum</i> | 0 | 0 | 4 | 4 |
| <i>Heuchera orizabensis</i> | 0 | 0 | 8 | 8 |
| <i>Scutellaria caerulea</i> | 0 | 0 | 6 | 6 |

Anexo 3: Tabla de correlación de Pearson, valores en rojo indican significancia con un nivel de 0.7.

| Variab le | Método | Altura | DAP | Cober tura | Volum en | Rique za | Dom inan cia | Equ ida d | Riq Arb u S | Dom Arbu S | Eq Arb u S | Riq Her b S | Dom Herb S | Eq Her b S | Riq Arb u L | Dom Arbu L | Eq Arb u L | Riq Her b L | Dom Herb L | Eq Her b L |
|--------------|---------------|--------------|-------------|---------------|-------------|-------------|--------------------|-----------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Método | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Altura | 0.040 479 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DAP | 0.029 543 | 0.837 06 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cobertura | 0.016 666 | 0.608 13 | 0.805 35 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Volumen | 0.006 5432 | 0.789 37 | 0.952 68 | 0.787 61 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Riqueza | 0.896 13 | 0.093 496 | -0.122 | 0.151 44 | 0.101 25 | 0 | | | | | | | | | | | | | | |
| Dom in | 0.001 3948 | 0.292 47 | 0.334 6 | 0.307 57 | 0.214 93 | 0.442 54 | 0 | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|------------|------------------|------------------|------------|-------------|--------------|------------|-------------|------------------|------------|-------------|------------|---|
| anci a | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Equ ida d | - 0.983 42 | - 0.013 215 | - 0.031 614 | - 0.072 166 | - 0.045 409 | 0.961 75 | 0.17 996 | 0 | | | | | | | | | | | | |
| Riq Arb u S | 0.972 47 | 0.028 777 | 0.049 235 | 0.087 887 | 0.056 451 | 0.974 88 | 0.23 168 | 0.9 986 | 0 | | | | | | | | | | | |
| Do m Arb u S | - 0.996 19 | 0.014 814 | 0.000 24185 | 0.043 438 | 0.025 27 | 0.931 43 | 0.08 5854 | 0.9 954 | - 0.98 909 | 0 | | | | | | | | | | |
| Eq Arb u S | 0.996 71 | 0.016 628 | 0.002 3088 | 0.041 56 | 0.023 955 | 0.929 17 | 0.07 9721 | 0.9 948 | - 0.98 817 | 0.99 998 | 0 | | | | | | | | | |
| Riq Her b S | 0.853 82 | 0.117 66 | 0.148 94 | 0.174 35 | 0.117 48 | 0.996 16 | 0.51 938 | 0.9 340 | - 0.95 162 | - 0.89 598 | 0.8 932 | 0 | | | | | | | | |
| Do m Her b S | 0.007 307 | 0.292 7 | 0.334 77 | 0.307 46 | 0.214 88 | 0.437 23 | 0.99 998 | 0.1 741 | 0.22 592 | 0.07 9962 | 0.0 738 | 0.51 432 | 0 | | | | | | | |
| Eq Her b S | 0.189 88 | 0.279 41 | 0.322 87 | 0.305 16 | 0.212 27 | 0.605 88 | 0.98 154 | 0.3 647 | 0.41 345 | 0.27 481 | 0.2 688 | 0.67 323 | 0.98 039 | 0 | | | | | | |
| Riq Arb u L | 0.011 062 | 0.291 95 | 0.334 22 | 0.307 76 | 0.215 | 0.453 68 | 0.99 992 | 0.1 922 | 0.24 378 | 0.09 8258 | 0.0 921 | 0.52 999 | 0.99 983 | 0.838 5 | 0 | | | | | |
| Do m Arb u L | 0.730 32 | 0.170 19 | 0.206 97 | 0.222 29 | 0.151 6 | 0.957 62 | 0.68 209 | 0.8 420 | 0.86 94 | 0.78 713 | 0.833 2 | 0.97 917 | 0.67 775 | 0.8 093 | 0.69 114 | 0 | | | | |
| Eq Arb u L | 0.702 37 | 0.179 71 | 0.217 39 | 0.230 65 | 0.157 59 | 0.945 31 | 0.71 083 | 0.8 198 | 0.84 891 | 0.76 18 | 0.577 9 | 0.97 025 | 0.70 666 | 0.8 322 | 0.71 954 | 0.99 92 | 0 | | | |
| Riq Her b L | - 0.999 34 | 0.051 054 | 0.041 653 | 0.005 5034 | 0.001 2532 | 0.879 45 | 0.03 7647 | 0.9 762 | 0.96 338 | 0.99 237 | 0.931 1 | 0.83 438 | 0.04 3555 | 0.1 541 | 0.02 519 | - 0.70 508 | 0.6 761 | 0 | | |
| Do m Her b L | - 0.381 19 | 0.285 76 | 0.320 56 | 0.278 02 | 0.196 21 | 0.068 685 | 0.92 503 | 0.2 072 | 0.15 526 | 0.29 908 | 0.3 049 | 0.15 58 | 0.92 726 | 0.8 352 | 0.92 022 | 0.35 313 | 0.3 903 | 0.41 446 | 0 | |
| Eq Her b L | - 0.557 97 | 0.265 25 | 0.294 12 | 0.245 96 | 0.174 72 | 0.131 73 | 0.83 064 | 0.3 982 | 0.34 922 | 0.48 344 | 0.4 888 | 0.04 440 | 0.83 392 | 0.7 088 | 0.82 364 | 0.15 938 | 0.1 988 | 0.58 769 | 0.97 99 | 0 |