



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

**CLASIFICACIÓN Y ORDENACIÓN DE LA
VEGETACIÓN ARBÓREA DEL BOSQUE MESÓFILO
DE MONTAÑA DE ACUERDO AL GRADIENTE
ALTITUDINAL, SANTIAGO ATITLÁN, OAXACA**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

Presenta:

MARÍA HERNÁNDEZ ANTONIO

Bajo la supervisión de:

DIODORO GRANADOS SÁNCHEZ, DR.



Chapingo, Estado de México, 16 de junio de 2022.

**CLASIFICACIÓN Y ORDENACIÓN DE LA VEGETACIÓN ARBÓREA DEL
BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA DE ACUERDO AL GRADIENTE
ALTITUDINAL, SANTIAGO ATITLÁN, OAXACA.**

Tesis realizada por MARÍA HERNÁNDEZ ANTONIO bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR: 
DR. DIODORO GRANADOS SÁNCHEZ

ASESOR: 
M.C. RO LINX GRANADOS VICTORINO

ASESOR: 
DR. ENRIQUE GUIZAR NOLAZCO

ASESOR: 
M.C. ANTONIO VILLANUEVA MORALES

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	I
LISTA DE FIGURAS	I
ABREVIATURAS USADAS	I
DEDICATORIAS	II
AGRADECIMIENTOS	III
DATOS BIOGRÁFICOS	IV
RESUMEN GENERAL	V
ABSTRACT	VI
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	7
1.1 Objetivos	9
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA	1
2.1 Marco conceptual	1
2.1.1 Definición de ecología	1
2.1.2 Poblaciones y sus características	1
2.1.3 Comunidad	2
2.1.4 Especie	3
2.1.2 Características de comunidades vegetales	3
2.1.2.1 Vegetación	3
2.1.2.2 Comunidades vegetales en México	4
2.1.3 Descripción del Bosque Mesófilo de Montaña (BMM)	6

2.1.3.1 Descripción del Bosque Mesófilo de Montaña en el estado de Oaxaca y la Sierra Norte de Oaxaca.....	8
CAPÍTULO 3. ARTÍCULO CIENTÍFICO.....	10
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES GENERALES.....	29
LITERATURA CITADA	30

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de nomenclatura de tipos de vegetación entre diversos autores.....	5
Tabla 1. Especies arbóreas identificadas en el bosque mesófilo de montaña de Santiago Atitlán, Oaxaca.	19

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio.....	15
Figura 2. Agrupamiento aglomerado (I, II, III, IV, V) de los sitios tomando los valores de IVIR representado en un dendograma.	21
Figura 3. Análisis de correspondencia canónica entre los factores ambientales, edáficos e IVIR de las especies arbóreas.....	27

ABREVIATURAS USADAS

BMM: Bosque Mesófilo de Montaña (BMM)

IVIR: Índice de Valor de Importancia Relativo

DEDICATORIAS

A mi madre; antes que nada, por darme la vida, regalo máspreciado que como seres humanos podemos recibir. También por ser padre y madre a la vez demostrándome con ello que cuando uno quiere conseguir algo, imprimiendo el esfuerzo debido se puede conseguir. ¡Gracias, mamá!

A mis hermanos: que cuidaron de mí, por ser la más pequeña o por el motivo que lo hicieran siempre me procuraron; ya sea con una palabra, un mimo, un regalo e incluso hasta jugar conmigo.

En general, a todas las personas que me brindaron su amistad y apoyo incondicional, comparto este logro con ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento de manera general a las instituciones que otorgaron becas para la realización del trabajo de investigación, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Coordinación de posgrado de la División de Ciencias Forestales, Coordinación de posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo, Comisariado comunal del municipio de Santiago Atitlán, Mixe, Oaxaca, que otorgaron permiso para el acceso de la zona de estudio, además de Lic. Margarita Martínez Nabor traductora de la lengua Mixe, por su colaboración en la revisión y traducción de los nombres en mixe de las especies arbóreas.

Particularmente quiero agradecer a mis sinodales; profesionistas de excelencia en sus áreas de estudio, a los cuales expreso una estima especial. Personas que ayudaron en la revisión, corrección y preparación del presente trabajo. Agradezco infinitamente el tiempo dedicado a mí, prestando su atención y compartiendo sus conocimientos para el desarrollo de esta investigación.

DATOS BIOGRÁFICOS



María Hernández Antonio con fecha de nacimiento el 01 de noviembre de 1990, en el municipio de Santiago Atitlán, Mixe, Oaxaca. Originaria de una comunidad indígena y hablante de lengua Mixe (Ayuuk). Realizó sus estudios de media superior en el Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Oaxaca (CECYTEO) Plantel 17, San Pedro y San Pablo Ayutla, Mixe. La licenciatura fue en la División de Ciencias Forestales, en la Universidad Autónoma Chapingo, en la carrera Ingeniería Forestal. Se tituló mediante tesis para obtener el grado de licenciatura, con el tema “Muestreo óptimo para actualización de existencias volumétricas del conjunto predial integral “Atlamaxax, Potrero, Macuilo, Nexiaco y demás”, Amecameca, Estado de México. En el año 2016 a 2017 participó como analista y procesamiento de los datos del estudio “Diagnóstico fitosanitario de áreas verdes infestadas por muérdago en el Ciudad de México”. Del año 2016 a 2020 trabajó en la empresa Ingeniería para el Manejo, Restauración y Conservación de Ecosistemas, S de RL de CV, como supervisor y coordinador de proyectos ambientales, entre ellas elaboración de Manifestación de Impactos Ambientales. En el año 2020 ingresó al posgrado Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, de la División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco de Mora, Estado de México. En el año 2022 ingresó a trabajar como enlace de integración estadística, en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

CLASIFICACIÓN Y ORDENACIÓN DE LA VEGETACIÓN ARBÓREA DEL BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA DE ACUERDO AL GRADIENTE ALTITUDINAL, SANTIAGO ATITLÁN, OAXACA

RESUMEN GENERAL

El bosque mesófilo de montaña alberga una alta riqueza florística y de endemismo, en Santiago Atitlán Mixe, Oaxaca, se distribuye este tipo de vegetación, esta región está aislada, con fisiografía accidentada, ladera de difícil acceso y pendiente pronunciadas lo que ha permitido la conservación de BMM. El objetivo del estudio fue describir las características estructurales de la vegetación arbórea de Santiago Atitlán, mediante un inventario forestal, para realizar la composición florísticas y clasificar las diferentes asociaciones vegetales de acuerdo con gradiente altitudinal. Se muestrearon 15 sitios, consistió en la medición de 10 puntos-cuadrantes, distribuidas de manera aleatoria, a una distancia de 10 a 50 m. El muestro se inició a una altitud de 1500 m y finalizó a los 2500 m. Se registraron datos de diámetro, altura, y especie de los individuos con DAP mayor a 10 cm, altitud, coordenadas, muestra de suelo, pendiente, orientación, y muestra de los árboles de cada subsitio. Las especies arbóreas colectadas fueron identificadas en el herbario Chap de Universidad Autónoma Chapingo. El atributo estructural estimado fue el Índice de Valor de Importancia Relativo (IVIR) de las especies; para la clasificación de los tipos de vegetación mediante la caracterización fisonómica y para la ordenación un análisis de correspondencias canónicas entre las variables ambientales, edáficas y el IVIR. Se determinaron un total de 57 especies, 42 géneros y 35 familias. Se definieron 5 asociaciones arbóreas del BMM, las especies dominantes y abundantes en los pisos altitudinales formaron los aglomerados, grupo I coodominada *Dendropanax arboreus*-*Prunus brachybotrya*; grupo II por *Hedyosmum mexicanum*, grupo III asociado con *Quercus scytophylla*, grupo IV por *Quercus calophylla* y el grupo V *Cercocarpus macrophyllus* y *Quercus sp.* Las variables de altitud, pH, nitrógeno y fósforo son las que más influyen en la estructura y composición de las diferentes asociaciones vegetales de Santiago Atitlán.

Palabras clave: Estructura, Composición, Asociaciones vegetales, Gradiente ambiental

Tesis de Maestría en Ciencias, Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: María Hernández Antonio

Director de Tesis: Dr. Diódoro Granados Sánchez

CLASSIFICATION AND MANAGEMENT OF THE ARBOREAL VEGETATION IN THE CLOUD FOREST ACCORDING TO THE ALTITUDINAL GRADIENT, SANTIAGO ATITLÁN, OAXACA

ABSTRACT

The cloud forest harbors a high floristic richness and endemism, in Santiago Atitlán Mixe, Oaxaca, this type of vegetation is distributed in this isolated region, with rugged physiography, difficult access and steep slopes, which has allowed the conservation of the cloud forest. The objective of the study was to describe the structural characteristics of the arboreal vegetation of Santiago Atitlán, by means of a forest inventory, to carry out the floristic composition and classify the different vegetal associations according to altitudinal gradient. Fifteen sites were sampled, consisting of the measurement of 10 points-quadrants, randomly distributed, at a distance of 10 to 50 m. The sampling began at an altitude of 1500 m and ended at 2500 m. Data were recorded on diameter, height, and species of individuals with DBH greater than 10 cm, altitude, coordinates, soil sample, slope, orientation, and sample of trees in each subsite. The tree species collected were identified in the herbarium of Chap Chapingo Autonomous University. The estimated structural attribute was the Relative Importance Value Index (RVI) of the species; for the classification of the vegetation types by physiognomic characterization and for the ordination an analysis of canonical correspondences between environmental and edaphic variables and the RVI. A total of 57 species, 42 genera and 35 families were determined. Five arboreal associations of the BMM were defined, the dominant and abundant species in the altitudinal levels formed the agglomerates, group I co-dominated *Dendropanax arboreus*-*Prunus brachybotrya*; group II by *Hedyosmum mexicanum*, group III associated with *Quercus scytophylla*, group IV by *Quercus calophylla* and group V *Cercocarpus macrophyllus* and *Quercus* sp. The variables of altitude, pH, nitrogen and phosphorus are those that most influence the structure and composition of the different plant associations of Santiago Atitlán.

Key words: Structure, Composition, Plant associations, Environmental gradient

Master of Science Thesis, Master of Science in Forestry Sciences, Universidad Autónoma Chapingo, Mexico.

Author: María Hernández Antonio

Advisor: Dr. Dióodoro Granados Sánchez

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los boques mesófilos de montaña, también conocidos como bosques de niebla, es uno de los grupos de plantas forestales más importantes en el país. En México, se estima que al menos el 1% de la superficie está ocupado por vegetación primaria de bosque mesófilo y aproximadamente un 50% de la superficie original ha sido reemplazada por otros tipos de cobertura (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2010).

El estudio taxonómico de la flora del BMM comenzó a inicios del siglo XVIII y continúa hasta la actualidad; desde el año 1753 al 2008, se tiene reportado más de 6000 especies de flora del BMM. El bosque de niebla concentra el mayor número de especies en menor superficie de territorio, así como también en este tipo de vegetación se presenta un mayor número de especies endémicas (Villaseñor, 2010).

El bosque mesófilo de niebla se encuentra distribuido en las zonas montañosas del país, en regiones de relieve accidentado y las laderas de pendiente pronunciada constituyen el hábitat más frecuente (Rzedowski, 2006). Se distribuyen principalmente en la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur y la Sierra Madre de Chiapas (Holwerda y Gotsch, 2012).

Una característica importante del bosque mesófilo es la presencia de niebla sobre la vegetación a lo largo de todo el año. Se desarrolla en altitudes entre 800 a 2700m, donde se forman neblinas durante casi todo el año, en zonas con una precipitación media anual superior a los 1000mm y con una temperatura media anual que va de 12 a 23°C. El grupo climático más característico es el Cf, pero en algunos lugares predominan climas Af, Am, y aún Aw y Cw (INEGI, 2015).

Este tipo de vegetación (BMM) es muy diverso, tiene una alta riqueza de especies de plantas vasculares, que comparten elementos de floras de origen boreal y tropical, y que poseen una estructura multiestratificada con abundantes epífitas y helechos (Fortanelli *et al.*, 2014). La riqueza de este tipo de vegetación en México se estima al menos unas 6,790 especies, distribuidas en 1,625 géneros y 238 familias (Villaseñor, 2010).

En Oaxaca el BMM se presenta en las partes altas, templadas y húmedas del barlovento de la Sierra Norte de Oaxaca, donde forma amplias franjas más o menos continuas (INEGI, 2015). La Sierra Norte de Oaxaca agrupa riqueza representativa de la flora del estado, que es la más diversa del país. Se desconoce un número exacto de las especies, es por ello de la importancia seguir realizando estudio para identificar áreas de riqueza y endemismo del grupo, obtener la información taxonómica y geográfica de las especies presentes en los bosques de mesófilo de montaña.

Bajo esta consideración, en el presente trabajo se estudiará la vegetación del municipio de Santiago Atitlán, Mixe, Oaxaca, con el objetivo de describir las características estructurales de la comunidad vegetal del bosque mesófilo de montaña.

Santiago Atitlán, Mixe, se encuentra ubicado en una de las subregiones de la Sierra Norte de Oaxaca, el cual está dentro de la provincia de las Serranías Meridionales, caracterizada por una accidentada orografía, que posibilita una diversidad de tipos de vegetación, tales como bosque de pino-encino, bosque mesófilo de montaña y selva baja subperennifolia (SAGARPA, 2010). Actualmente en la región estos ecosistemas se encuentran severamente amenazados y están siendo reemplazados por las actividades agrícolas

principalmente por cultivo de maíz, frijol, chile, establecimiento de plantaciones de café y árboles frutales.

El bosque mesófilo de montaña por su alto grado endemismo de especies flora, y por la severa amenaza que presenta esta comunidad vegetal, es importante realizar estudios ecológicos, para promover la conservación de esta vegetación. Es de suma importancia generar estudios de la vegetación, a partir de los resultados de investigación, se obtendrán indicadores florísticos, algunos aspectos de su conservación.

Para el municipio de Santiago Atitlán, será un estudio pionero sobre la vegetación existente dentro del mismo. El estudio tiene el propósito de concientizar a los pobladores sobre el cuidado de esta vegetación y sus implicaciones en la cantidad de agua.

1.1 Objetivos

Objetivo general

Describir las características estructurales de la vegetación arbórea del bosque mesófilo de montaña en el municipio de Santiago Atitlán, Mixe, Oaxaca, mediante un inventario forestal, para realizar la composición florísticas y clasificar las diferentes asociaciones vegetales de acuerdo con gradiente altitudinal. Con los resultados del estudio se pretende implementar, elaborar y gestionar proyectos para la protección y conservación del bosque mesófilo de montaña.

Objetivos particulares

- Determinar la composición florística, a través de un muestreo de vegetación, para documentar el listado florístico del bosque mesófilo de Montaña del municipio de Santiago Atitlán.

- Realizar una caracterización estructural de la vegetación (fisonómico) , usando los indicadores de diversidad (frecuencia, abundancias, dominancia, densidad de las especies e índices de valor de importancia relativo (IVIR)), métodos cuantitativos mediante agrupamiento de similitud (dendogramas de similitud), para determinar las asociaciones predominantes vegetales del bosque mesófilo de montaña, Santiago Atitlán.
- Para la ordenación usando el análisis de correspondencia canónica, donde analiza los datos de manera integral considerando los factores ambientales y las especies arbóreas; para así determinar las asociaciones vegetales predominantes del bosque mesófilo de montaña de Santiago Atitlán.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Definición de ecología

La ecología es una ciencia, que estudia procesos internos de los seres vivos, es una rama de la biología, que se enfoca al estudio de las relaciones entre los seres vivos, su ambiente, la distribución, la abundancia, y la relación intraespecífica entre los organismos y el medio ambiente (Jiménez, Gabriel, y Tapia, 2017). La ecología incluye la descripción y la forma de cuantificar las diferentes variables espaciales, y los jerárquicos que declaran de manera precisa los estándares ecológicos (Galicia y Zarco, 2002). Estudia los espectros biológicos, es decir, la comunidad, poblaciones, órgano, la célula y el gen, (Odum, 1986).

2.1.2 Poblaciones y sus características

Conjunto de individuos de la misma especie que viven en un mismo hábitat y tiempo, y que comparten ciertas propiedades biológicas, las que resultan en una afinidad reproductiva y ecológica del grupo (Odum, 1978). La afinidad ecológica se refiere a la presencia de interacciones entre ellos, resultantes de poseer requerimientos similares para la supervivencia y la reproducción, al ocupar un espacio generalmente heterogéneo en cuanto a la disponibilidad de recursos (Morlans, 2004).

Las poblaciones presentan función y estructura, lo cual se relaciona con características, tales como la densidad (número de individuos por unidad de área), frecuencia de nacimiento, defunciones, el porcentaje de individuos en

varias clases de edades, el espacio entre los individuos, potencial biótico y forma de crecimiento (Smith y Smith, 2007; Jiménez, Gabriel, y Tapia, 2017).

2.1.3 Comunidad

Una comunidad es un grupo de especies que ocupa un área determinada, interactúan de diferente manera, compartiendo ambientes y hábitats (Smith y Smith, 2007). Otros autores lo definen como un conjunto de poblaciones que conviven en un mismo hábitat y en un tiempo determinado, es decir, cadenas tróficas, estabilidad, sucesión, diversidad, relaciones interespecíficas, etc., además, las comunidades pueden variar de tamaño y composición de flora, fauna y microorganismos, creando así la interacción de distintas especies en una superficie definida, estableciendo la estructura y la funcionalidad (Margalef, 1974; Rabinovitch, 1978; Krebs, 1985; Paleologos y Saradón, 2014).

De acuerdo con Krebs (1985), existen cinco tipos de comunidades comunes, entre ellas la diversidad de especies, estructura, predominio y abundancia relativa.

Diversidad de especies: se refiere la variedad de organismos de flora, fauna o microorganismos.

Estructura y modo de desarrollo: son las principales formas de hábito: herbáceas, arbustiva, arbóreas, principalmente, es decir, todas las clasificaciones o estratos verticales o niveles de la comunidad.

Predominio: son las especies abundantes, dominantes en mayor parte en una comunidad vegetal.

Abundancia relativa: son los porcentajes relativas de diferentes especies de la comunidad.

2.1.4 Especie

El concepto de especies es un conjunto de personas o de cosas que son semejantes porque presentan uno o más atributos o características en común, que permite clasificarlos en una misma categoría (Jiménez, Gabriel, y Tapia, 2017).

Otros autores mencionan que especie es un conjunto de individuos con características similares, capaces de reproducirse entre sí, dejando descendencia fértil (Paleologos y Saradón, 2014).

Desde el punto de vista biológico una especie, se define como un grupo de poblaciones cuyos individuos presentan el potencial de cruzarse y producir descendencia fértil (Smith y Smith, 2007).

2.1.2 Características de comunidades vegetales

2.1.2.1 Vegetación

La vegetación es uno de los elementos más perceptibles del medio físico, es el resultado de la acción de los factores ambientales sobre el conjunto interacciones de las especies que cohabitan en un espacio continuo, es una representación integral de la interacción entre los factores bióticos (intrínsecos y extrínsecos) y abióticos (suelo, agua y clima, entre otros) (Rangel y Velázquez, 1997).

El objetivo principal al estudiar la vegetación es definir las comunidades vegetales, sin embargo, Matteucci y Colma, (1982), señala que los estudios de la vegetación conforman uno o más de los siguientes objetivos:

1. Detección de patrones espaciales, horizontales o verticales, de las especies.
2. Estudio de los procesos poblacionales que influyen los patrones espaciales o temporales.
3. Detección de tendencias o clases de variación de las relaciones de similitud o disimilitud de las comunidades o de grupos de especies.
4. Establecimiento de asociaciones entre los patrones espaciales de las comunidades o de grupos de especies y patrones de una o más variables ambientales, y formulación de hipótesis acerca de las relaciones causales entre los factores ambientales y las respuestas de la vegetación.

2.1.2.2 Comunidades vegetales en México

En México los términos que se designan a las comunidades vegetales son muy diversas, entre ellas son: bioma, comunidad vegetal, asociación vegetal, tipo de vegetación, formación vegetal y variantes de todas ellas, se usan imparcialmente para referirse a la vegetación. La unidad de mayor nivel de integración utilizada para designar las comunidades vegetales de México es Bioma, y está determinada por la fisonomía de las comunidades, es decir, por las formas de vida o biotipos dominantes. A continuación, se definen los principales niveles de integración de la vegetación (Gual y González, 2014).

Bosques. Comunidad dominada por árboles, plantas leñosas con un tronco bien definido, generalmente de más de cuatro metros de altura.

Matorral. Comunidades vegetales dominadas por plantas leñosas de 0.5 o más metros de altura, con los tallos ramificados desde la base.

Herbazales. Comunidades dominadas por plantas herbáceas, como graminoides (gramíneas o plantas con apariencia de gramínea) o bien, plantas herbáceas.

Los tipos de vegetación son unidades fitogeográficas muy amplias, de tipo ecológico-fisonómico. La composición florística se toma en cuenta para definir las comunidades vegetales, de la tal manera que la primera, principalmente los dominantes por estratos, se utiliza para definir las asociaciones de la vegetación estudiada (Gual y González, 2014).

México es un país con una alta riqueza florística, esto se debe principalmente la diversidad de climas y suelos, características topográficas y la compleja estructura geológica de su suelo, definidas principalmente por su fisonomía, forma de vida (biotipo) de las especies dominantes en una comunidad vegetal (Miranda y Hernández X, 1963).

Otros autores definen clasifican las comunidades vegetales por las características geográficas (templado y tropical), de montaña, o climáticas, además de las características fisonómicas y estructura de la vegetación (González, 2004; Rzedowski, 2006). En el cuadro 1, se presenta la comparación de nomenclatura de la vegetación en México por diferentes autores.

Tabla 1. Comparación de nomenclatura de tipos de vegetación entre diversos autores.

(Rzedowski, Vegetación de México, 1978)	(Miranda y Hernández X, 1963)	(Flores <i>et. al.</i> , 1971)	(Rzedowski, Vegetación de México, 2006)
Bosque tropical perennifolio	Selva alta perennifolia, selva alta o mediana subperennifolia	Selva alta perennifolia, selva mediana subperennifolia (en parte)	Bosque tropical perennifolio
Bosque tropical subcaducifolio	Selva alta o mediana subcaducifolia	Selva mediana subcaducifolia, selva mediana subperennifolia (en parte)	Bosque tropical subcaducifolio
Bosque tropical caducifolio	Selva baja caducifolia	Selva baja caducifolia (en parte)	Bosque tropical caducifolio
Bosque espinoso	Selva subperennifolia (en parte), selva baja espinosa perennifolia,	Selva baja caducifolia (en parte), selva baja subperennifolia, mezquital (en parte)	Bosque espinoso

(Rzedowski, Vegetación de México, 1978)	(Miranda y Hernández X, 1963)	(Flores et. al., 1971)	(Rzedowski, Vegetación de México, 2006)
	selva baja espinosa caducifolia		
Pastizal	Pastizales, zacatonales, vegetación de páramos de altura, sabanas	Pastizal, sabana	Zacatonal, Pastizal
Matorral xerófilo	Matorral espinoso con espinas laterales, cardonales, tetecheras, etc., izotales, nopaleras, matorral espinoso con espinas terminales, matorral inerme parvifolio, magueyales, lechuguillales, guapillales, etc; chaparrales, vegetación de desiertos áridos arenosos	Mezquital (en parte), chaparral, matorral submontano, crasicaule, matorral desértico rosetófilo, matorral desértico micrófilo	Matorral xerófilo
Bosque de Quercus	Encinares	Bosque de encino	Bosque de Quercus
Bosque de coníferas	Pinares, bosque de abetos u oyameles	Bosque de pino, bosque de oyamel	Bosque de coníferas
Bosque mesófilo de montaña	Selva mediana o baja perennifolia, bosque caducifolio (en parte)	Bosque caducifolio	Bosque mesófilo de montaña
Vegetación acuática y subacuática	Manglar, popal, tulares, carrizales, etc., bosque caducifolio (en parte)	Manglar, popal	Vegetación acuática y subacuática

2.1.3 Descripción del Bosque Mesófilo de Montaña (BMM)

El bosque mesófilo de montaña (BMM), es una comunidad vegetal que presenta una alta riqueza florística por unidad de área superior en relación a los otros tipos de vegetación existente en el país, de acuerdo con varios autores reportan que este tipo de vegetación queda poca superficie en vegetación primaria, la mayoría de la superficie ha sufrido algún cambio por las actividades antropogénicas provocados la humanidad (Gual y González, 2014).

Los bosques mesófilos de montaña son un grupo de comunidades distribuidas en las montañas, en regiones de relieve accidentado y las laderas de pendiente pronunciada constituyen un hábitat más frecuente (Rzedowski, 2006). Se distribuyen principalmente en la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur y la Sierra Madre de Chiapas (Holwerd y Gotsch, 2012).

La distribución de los BMM en México es restringida y fragmentaria, en la vertiente este de la Sierra Madre Oriental existe una franja angosta que se extiende desde Tamaulipas hasta el Norte de Oaxaca, incluyendo parte de San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla y Veracruz. En Chiapas, en la vertiente septentrional del macizo central y en ambos declives de la Sierra Madre; en la vertiente del Pacífico es más dispersa la distribución, desde el Norte de Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima y Michoacán; en la Cuenca del Balsas; en el Valle de México y en la vertiente exterior de la Sierra Madre del Sur de Guerrero y Oaxaca se presentan manchones continuos (INEGI, 2015; Rzedowski, 2006).

Se desarrolla en altitudes entre 800 a 2700m, donde se forman neblinas durante casi todo el año, en zonas con una precipitación media anual superior a los 1000mm y con una temperatura de media anual que varía de 12 a 23°C. El clima más característico es el Cf, aunque en ocasiones prosperar en climas Af, Am, y aún Aw y Cw (INEGI, 2015).

Este tipo de vegetación (BMM) es muy diverso, tiene una alta riqueza de especies de plantas vasculares, que comparten elementos de floras de origen boreal y tropical, y que poseen una estructura multiestratificada con abundantes epífitas y helechos (Fortanelli *et al.*, 2014). La riqueza de este tipo de vegetación en México

se estima al menos unas 6,790 especies, distribuidas en 1,625 géneros y 238 familias (Villaseñor, 2010).

En Oaxaca el BMM se presenta en las partes altas, templadas y húmedas del barlovento de la Sierra Norte de Oaxaca, donde forma amplias franjas más o menos continuas (INEGI, 2015), también se encuentran algunos manchones de la Sierra Madre del Sur, con altitudes que varían desde los 500 hasta los 3000m de altitud (CONABIO, 2010).

2.1.3.1 Descripción del Bosque Mesófilo de Montaña en el estado de Oaxaca y la Sierra Norte de Oaxaca

En Oaxaca el BMM se presenta en las partes altas, templadas y húmedas del barlovento de la Sierra Norte de Oaxaca, donde forma amplias franjas más o menos continuas (INEGI, 2015), también se encuentran algunos manchones de la Sierra Madre del Sur, con altitudes que varían desde los 500 hasta los 3000m de altitud (CONABIO, 2010).

En la Sierra Norte de Oaxaca es una región de difícil acceso porque presenta un relieve muy irregular, como consecuencia que existe manchones de áreas conservadas. En general la región alberga una diversidad biológica muy alta y en ella se han identificado un gran número de especies endémicas. La región presenta los niveles más elevados de precipitación en todo el país, en varias localidades se ha registrado una precipitación total anual promedio superior a 5,500mm, con extremos de precipitación anual de casi 8,000mm, estas características permiten el desarrollo de especies representativas del bosque mesófilo de montaña (CONABIO, 2010: INEGI, 2021).

La región norte de Oaxaca se divide en 4 subregiones, Huautla Zongolica, Ixtlán, Sierra Mixe, Guevea de Humbolt, estas subregiones cuentan con 6,313.06 hectáreas de bosque mesófilo de montaña (CONABIO, 2010). La Sierra Norte de Oaxaca comprende una importante riqueza representativa de la flora del estado, la más diversa del país.

La sierra norte de Oaxaca contiene 26.4% de toda la riqueza conocida del estado, incluyendo un importante número de especies endémicas de México, de Oaxaca y endemismos locales conocidos solamente de partes de la Sierra (Suárez *et al.*, 2018). En la Subregión de Sierra Mixe, hay manchones vegetación primaria de bosque mesófilo de montaña, sin embargo, en las cartas de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI (2021), reporta que existe únicamente vegetación secundaria arbórea y arbustiva de bosque mesófilo de montaña.

En el municipio de Santiago Atitlán, ubicado en la Sierra Norte de Oaxaca, se registra el BMM, esta región está aislada, con fisiografía accidentada, ladera de difícil acceso y pendiente pronunciadas lo que ha permitido la conservación de BMM.

CAPÍTULO 3. ARTÍCULO CIENTÍFICO

Clasificación y ordenación de la vegetación arbórea del bosque mesófilo de montaña de la Sierra Mixe, Oaxaca

Classification and management of the arboreal in the cloud forest of the Sierra Mixe, Oaxaca

María Hernández-Antonio¹, *Diódoro Granados-Sánchez¹, Ro Linx Granados-Victorino², Enrique Guízar Nolasco¹, Antonio Villanueva Morales¹

¹División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco. 56230, Chapingo, Estado de México.

²Preparatoria agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco. 56230, Chapingo, Estado de México.

*Correo-e: didorog@hotmail.com

Resumen

Introducción: El bosque mesófilo de montaña alberga una alta riqueza florística y de endemismo, en Santiago Atitlán, Oaxaca, se distribuye este tipo de vegetación.

Objetivo: Realizar la clasificación y ordenación de diferentes asociaciones vegetales de acuerdo con gradiente ambiental y edáfico.

Materiales y métodos: Se muestrearon 15 sitios, consistió en la medición de 10 cuadrantes centrados en un punto distribuidos de manera aleatoria, a una distancia de 10 a 50 m entre cada punto. El muestro se inició a una altitud de 1500 m y finalizó a los 2500 m. El atributo estructural estimado fue Índice de Valor de Importancia Relativo (IVIR) de las especies, para clasificar las distintas asociaciones de acuerdo a las especies relevantes estructuralmente. La ordenación se realizó mediante un análisis de correspondencias canónicas correlacionando las variables ambientales, edáficas e IVIR de las especies.

Resultados y discusión: Se determinaron un total de 57 especies, 42 géneros y 35 familias. Se definieron 5 asociaciones arbóreas del BMM, las especies dominantes y abundantes en los pisos altitudinales formaron los aglomerados, grupo I coodominada *Dendropanax arboreus-Prunus brachybotrya*; grupo II por *Hedyosmum mexicanum*, grupo III asociado con *Quercus scytophylla*, grupo IV por *Quercus calophylla* y el grupo V *Cercocarpus macrophyllus* y *Quercus sp.* Las variables de altitud, pH, nitrógeno y fósforo son las que más influyen en la estructura y composición de las diferentes asociaciones vegetales de Santiago Atitlán.

Conclusión: El gradiente altitudinal presenta una relación directa con el cambio en la composición y estructura de la vegetación de Santiago Atitlán.

Palabras clave: Estructura, Composición, Asociaciones vegetales, Gradiente ambiental

Abstract

Introduction: The cloud forest harbors a high floristic richness and endemism, in Santiago Atitlán, Oaxaca, this type of vegetation is distributed.

Objective: To carry out the classification and arrangement of different plant associations according to environmental and edaphic gradient.

Materials and methods: Fifteen sites were sampled, consisting of the measurement of 10 quadrants centered on a randomly distributed point, at a distance of 10 to 50 m between each point. The sampling started at an altitude of 1500 m and ended at 2500 m. The estimated structural attribute was the Relative Importance Value Index (RVI) of the species, to classify the different associations according to the structurally relevant species. The ordination was carried out by

means of a canonical correspondence analysis correlating the environmental, edaphic and IVIR variables of the species.

Results and discussion: A total of 57 species, 42 genera and 35 families were determined. Five arboreal associations of the BMM were defined, the dominant and abundant species in the altitudinal levels formed the agglomerates, group I co-dominated *Dendropanax arboreus*-*Prunus brachybotrya*; group II by *Hedyosmum mexicanum*, group III associated with *Quercus scytophylla*, group IV by *Quercus calophylla* and group V *Cercocarpus macrophyllus* and *Quercus* sp. The variables of altitude, pH, nitrogen and phosphorus are those that most influence the structure and composition of the different plant associations of Santiago Atitlán.

Conclusion: The altitudinal gradient presents a direct relationship with the change in the composition and structure of the vegetation of Santiago Atitlán.

Keywords: Structure, Composition, Plant associations, Environmental gradient

Introducción

El bosque mesófilo de montaña (BMM), es una comunidad vegetal que presenta una alta riqueza florística por unidad de área, superior en relación a los otros tipos de vegetación existente en el país. La mayoría de la superficie de este tipo de vegetación ha sufrido algún cambio por las actividades antropogénicas, quedando así pocos remanentes de vegetación primaria (Gual y González, 2014).

Los bosques mesófilos es una comunidad distribuida en las montañas con relieve accidentado y las laderas de pendiente pronunciada (Rzedowski, 2006). Se desarrolla en altitudes entre 800 a 2700m, donde se forman neblinas durante casi todo el año, en zonas con una precipitación media anual superior a los 1000mm y con una temperatura de media anual que varía de 12 a 23°C. El clima más característico es el Cf, aunque en ocasiones prosperar en climas Af, Am, y aún Aw y Cw (Instituto Nacional de Estadístico y Geografía (INEGI), 2015). La riqueza de este tipo de vegetación en México se estima en al menos 6,790 especies, distribuidas en 1,625 géneros y 238 familias (Villaseñor, 2010).

En Oaxaca el BMM se presenta en las partes altas, templadas y húmedas del barlovento de la Sierra Norte de Oaxaca, donde forma amplias franjas más o menos continuas (INEGI, 2015), también se encuentran algunos manchones de la Sierra Madre del Sur, con altitudes que varían desde los 500 hasta los 3000m de altitud (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2010).

La región norte de Oaxaca se divide en 4 subregiones, Huautla Zongolica, Ixtlán, Sierra Mixe, Guevea de Humbolt, estas subregiones cuentan con 6,313.06 hectáreas de bosque mesófilo de montaña (CONABIO, 2010). La Sierra Norte de Oaxaca comprende una importante riqueza representativa de la flora del estado, la más diversa del país (Villaseñor, 2010).

La sierra norte de Oaxaca contiene 26.4% de toda la riqueza conocida del estado, incluyendo un importante número de especies endémicas de México, de Oaxaca y endemismos locales (Suárez, Villaseñor y Ramírez, 2018). En la Subregión de Sierra Mixe, hay fragmentos de vegetación primaria de bosque mesófilo de montaña, sin embargo, en las cartas de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI

(2021), reporta que existe únicamente vegetación secundaria arbórea y arbustiva de bosque mesófilo de montaña, lo que demuestra la falta de la información sobre la vegetación de la zona.

El bosque mesófilo de montaña se distribuye en el municipio de Santiago Atitlán, Mixe, Oaxaca, esta región se encuentra aislada, con fisiografía accidentada, ladera de difícil acceso y pendiente pronunciadas lo que ha permitido la conservación de BMM, además no se reportan estudios de vegetación, composiciones florísticas o estructura de la vegetación, por lo que es de suma importancia aportar información cualitativa y cuantitativamente este tipo de vegetación que ayude a entender su dinámica y su posterior protección. En el estudio se describió las características florísticas y estructurales de la vegetación arbórea del bosque mesófilo de montaña en el municipio de Santiago Atitlán, Mixe, Oaxaca, así como clasificar y ordenar las diferentes asociaciones vegetales de acuerdo con el gradiente altitudinal.

Materiales y Métodos

Área de estudio: Santiago Atitlán se ubica en la Sierra Mixe que pertenece a la región Norte de Oaxaca, entre las coordenadas geográficas 17° 06' 09" y 17° 06' 44" de Latitud Norte y 95° 56' 46" de Longitud Oeste. El municipio cuenta con una superficie de 7,084 hectáreas, el cual representa el 0.07% de la superficie del estado (INEGI, 2021).

Presenta elevaciones entre 700 a 2700 m, pendientes superiores al 40%, se encuentra ubicado en la provincia de la Sierra Madre del Sur, subprovincia Sierra Orientales y presenta un sistema de topoformas de Sierra Alta compleja, caracterizada por una accidentada orografía, que posibilita una diversidad de

Mixe; y finalizó a los 2500 m a esta altitud, en los límites del municipio Tlahuitoltepec, Mixe.

Así mismo se obtuvieron datos de altitud, coordenadas geográficas, pendiente, y orientación. Para obtener las variables edáficas, se colectaron 1 kg de suelo tras remover la hojarasca en cada sitio, y se obtuvo el pH, Materia orgánica (Mo), Nitrógeno inorgánico (N Ino), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Hierro (Fe) y Textura (Arena, Limo y Arcilla).

Para obtener la composición arbórea, se colectaron muestras con flor y fruto, y donde no hubo flores y frutos, se colectaron sólo la parte vegetativa (hojas), con la finalidad de contar muestras para su determinación a nivel de especie, lo cual se realizó en el herbario Chap de Universidad Autónoma Chapingo: División de Ciencias Forestales, mediante claves dicotómicas y revisión de literatura de las especies arbóreas a fines de la flora del bosque mesófilo de montaña (García *et. al.*, 2008; Pennington y Sarukhán, 2016; Rzedowski, 1996, 2006; Villaseñor, 2010; Yáñez, 2004). Las muestras identificadas fueron revisadas por especialistas en la identificación las especies arbóreas.

Para la Caracterización fisionómica se utilizó el Índice de Valor de Importancia Relativo, pues facilita la comprensión de la dinámica de vegetación y permite interpretar de cierta forma la conservación de la zona (Matteucci y Colma, 1982; Rangel y Velázquez, 1997). Para estimar el IVIR, se calcula con la siguiente ecuación:

$$IVIR = \frac{Frecuencia\ relativa\ (\%) + Densidad\ relativa\ (\%) + Dominancia(\%)}{3}$$

Donde:

$$\textbf{Frecuencia relativa (\%)} = \frac{\text{Frecuencia absoluta de cada especie}}{\text{Frecuencia absoluta total para todas las especie}} \times 100$$

Frecuencia absoluta

$$= \frac{\text{Número total de registros de una especie en cada unidad muestral}}{\text{Unidad muestral (puntos – cuadrantes)}} \times \text{Superficie muestreada}$$

Densidad relativa (%)

$$= \frac{\text{Densidad absoluta de la especie}}{\text{Densidad absoluta del total de individuos (total de especies)}} \times 100$$

$$\text{Densidad absoluta} = \frac{\text{Superficie muestreada (100 m}^2\text{)}}{D^2} \times \text{abundancia por especie}$$

$$\text{Distancia media (D}^2\text{)} = \frac{\text{Sumatoria de distancias de los individuos}}{\text{Número total de individuos}}$$

$$\text{Abundancia} = \frac{\text{Suma de los individuos de la especie}}{\text{Suma total de los puntos analizados}}$$

$$\text{Abundancia relativa} = \frac{\text{Abundancia de una especie}}{\text{Suma de la abundancia de todas las especies}} \times 100$$

$$\textbf{Dominancia relativa (\%)} = \frac{\text{Dominancia absoluta de cada especie}}{\text{Dominancia absoluta total para todas las especie}} \times 100$$

$$\text{Área basal media de para cada especie} = \frac{\text{Suma de las áreas basales para cada especie}}{\text{Nº de individuos de esa especie}}$$

$$\text{Área basal} = \frac{\pi D^2}{4}; \text{ donde: } D = \text{Diámetro (cm)}$$

$$\text{Dominancia absoluta para cada especie (área basal total por 100 m}^2\text{)}$$

$$= \text{Densidad absoluta} \times \text{Área basal media de cada especie}$$

Se utilizó un análisis de agrupamiento, para determinar las diferentes asociaciones vegetales, de acuerdo con sus valores del IVIR, se realizó un análisis cuantitativo, aglomerativo, y como medida de similitud la distancia euclidiana, obteniendo un dendrograma de similitud y así determinar la afinidad de acuerdo a su estructura dominante, dicho análisis se realizó en el programa

PAST 4.10 (Matteucci y Colma, 1982; Rangel y Velázquez, 1997; Hammer, Harper y Ryan, 2021).

La ordenación de la vegetación arbórea se realizó mediante en análisis de correspondencia canónica (CCA) utilizando el programa PAST 4.10 e InfoStat (Hammer, Harper y Ryan, 2021; Di Rienzo *et al.*, 2008). El CCA es un análisis estadístico lineal de múltiples variables o multivariados, este método permitió relacionar los factores ambientales y edáficos, con la estructura de la vegetación a través el IVIR de las especies arbóreas (Badii, Castillo, Cortez, Wong y Villalpando, 2007; Rangel y Velázquez, 1997).

Resultados y discusión

Caracterización general

El Bosque Mesófilo de Montaña de Santiago Atitlán, Mixe, se encuentra ubicado en la Sierra Norte de Oaxaca, se desarrolla en altitudes de 700 m a 2600m, con climas Semicálido húmedo del grupo C ((A)C(fm)) con lluvias todo el año y Templado húmedo (C(f)), con lluvias todo el año (García y CONABIO, 1998). Presenta un rango de temperatura de 14 a 22°C, rango de precipitación de 1000 a 3000 mm (INEGI, 2015).

La zona es caracterizada fisiográficamente con pendientes abruptos, laderas accidentadas, en el área de estudio se registraron pendientes hasta de 85%, con suelos con un pH entre ácido y neutro (de 3.49 a 7.41), en promedio un contenido de 59.38 mg/kg de Nitrógeno inorgánico, 9.33 mg/kg de Fosforo (P), 258.88 mg/kg de Potasio (K), 413.99 mg/kg Calcio (Ca), 174.94 mg/kg de Hierro (Fe) y

con suelo franco, franco arenoso, franco limoso y arenoso franco, este último se debe a que hay alto porcentaje de arena y relación con los demás texturas. En los pisos altitudinales de 1500 a 1800 m, muestra un alto contenido de los macronutrientes, esto se debe principalmente por la presencia de un alto contenido de humedad, la temperatura es de 18°C a 22°C, pendientes moderadas, lo que permite la mineralización los elementos.

En el área de estudio se registró un total de 57 especies arbóreas (Figura 2), 42 géneros y 35 familias; 8 especies corresponden a Fagaceae, mientras que para Araliaceae, Ericaceae, Fabaceae, Malvaceae y Verbenaceae cada una presentó tres especies, y para Actinidiaceae, Lauraceae, Moraceae, Pinaceae, Rhamnaceae y Rosaceae cada una presentó dos especies y 22 familias sólo presentaron un taxón. Se registraron árboles con diámetros de hasta 60 cm y una altura de hasta 25m.

Tabla 2. Especies arbóreas identificadas en el bosque mesófilo de montaña de Santiago Atitlán, Oaxaca.

Familia	Género	Especie	Nombre común	Nombre en Mixe (Ayuuk)
Actinidiaceae	Saurauia	<i>Saurauia scabrida</i> Hemsl.	Moquillo	Xi'itsy
		<i>Saurauia sp.</i>	Moquillo	Xi'itsy
Adoxaceae	Sambucus	<i>Sambucus nigra subsp. canadensis</i> (L.) Bolli	Sáuco negro Sáuco común	Tëxyaam
Altingiaceae	Liquidambar	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	Liquidámbar	Tsëëy
Araliaceae	Dendropanax	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	Mano de león Mano de oso	Keij kaa
	Oreopanax	<i>Oreopanax capitatus</i> (Jacq.) Decne. & Planch.	Cabellera de palo	---
Arecaceae	Sabal	<i>Sabal mexicana</i> Mercado.	Palma	Tëxy
Asteraceae	Asteraceae	<i>Asteraceae</i>	----	----
Betulaceae	Alnus	<i>Alnus acuminata subsp. glabrata</i> (Fernald) Furlow	Aile	Kamäjk
Celastraceae	Zinowiewia	<i>Zinowiewia integerrima</i> (Turcz.) Turcz.	Jicarillo	----
Chloranthaceae	Hedyosmum	<i>Hedyosmum mexicanum</i> C. Cordem.	Árbol de agua	Mo'nts tso'kj
Clethraceae	Clethra	<i>Clethra alcoceri</i> Greenm.	Jaboncillo	Jeenyky
Cornaceae	Cornus	<i>Cornus disciflora</i> Moc. & Sessé ex DC.	Palo verde	----
Cunoniaceae	Weinmannia	<i>Weinmannia pinnata</i> L.	Arrayán	----
Cupressaceae	Cupressus	<i>Cupressus benthamii</i> Endl.	Cedro blanco Ciprés	Päjpik

Familia	Género	Especie	Nombre común	Nombre en Mixe (Ayuuk)
Ericaceae	Arbutus	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	Madroño	Päjksik
	Bejaria	<i>Bejaria aestuans</i> Mutis ex L.	Cruz de Mayo	----
		<i>Bejaria sp.</i>		----
Euphorbiaceae	Alchornea	<i>Alchornea latifolia</i> Sw.	Palo de mujer Palo de huevo	----
Fabaceae	Cojoba	<i>Cojoba arborea</i> (L.) Britton y Rose	El frijolillo	----
	Inga	<i>Inga paterno</i> Harms <i>Inga sp.</i>	Jinicuil Jinicuil	I'ky I'ky
Fagaceae	Quercus	<i>Quercus affinis</i> Scheidw.	Encino negro	Xoj
		<i>Quercus calophylla</i> Schtdl. y Cham	Encino blanco	Xoj
		<i>Quercus corrugata</i> Hook.	Encino	Xoj
		<i>Quercus eugeniifolia</i> Liebm.	Encino blanco	Xoj
		<i>Quercus glaucescens</i> Humb. & Bonpl.	Encino blanco	Xoj
		<i>Quercus laurina</i> Humb. & Bonpl.	Encino blanco	Xoj
		<i>Quercus scytophylla</i> Liebm.	Encino blanco	Xoj
		<i>Quercus sp.</i>	Encino	Xoj
Garryaceae	Garrya	<i>Garrya longifolia</i> Rosa	Palo azul	----
Hypericaceae	Vismia	<i>Vismia camparaguey</i> Sprague & L.Riley		----
Lauraceae	Ocotea	<i>Ocotea psychotrioides</i> Kunth	Aguacatillo	Kutym
	Persea	<i>Persea sp.</i>	Aguacatillo	Kutym
Lauraceae	Litsea	<i>Litsea glaucescens</i> Kunth	Laurel silvestre	
Malvaceae	Heliocarpus	<i>Heliocarpus appendiculatus</i> Turcz.	Jonote	Pa'ants
	Tilia	<i>Tilia americana</i> L.	Tilo americano	----
Melastomataceae	Miconia	<i>Miconia hemenostigma</i> Naudin	Capulín	----
Moraceae	Trophis	<i>Trophis chiapensis</i> Brandegees	----	----
		<i>Trophis racemosa</i> (L.) Urb.	----	----
Myricaceae	Morella	<i>Morella cerifera</i> (L.) Small	Árbol de cera Encino falso	Tsääk
Phyllonomaceae	Phyllonoma	<i>Phyllonoma laticuspis</i> (Turcz.) Engl.	Cuendilla	----
Picramniaceae	Picramnia	<i>Picramnia antidesma</i> Sw.	Chilillo	----
Pinaceae	Pinus	<i>Pinus chiapensis</i> (Martínez) Andresen	Pino	Tsiin
		<i>Pinus pseudostrobus</i> var. <i>apulcensis</i> (Lindl.) Shaw	Pino	Tsiin
Polygonaceae	Coccoloba	<i>Coccoloba chiapensis</i> Standl.		----
Rhamnaceae	Frangula	<i>Frangula capreifolia</i> (Schtdl.) Grubov	Palo amarillo	Pu'tsyky
		<i>Frangula sp.</i>		----
Rosaceae	Cercocarpus	<i>Cercocarpus macrophyllus</i> CK Schneid.	Olmos	Këpk
	Prunus	<i>Prunus brachybotrya</i> Zucc.	Capulincillo	----
Scrophulariaceae	Buddleja	<i>Buddleja sp.</i>	Tepozan	----
Solanaceae	Solanum	<i>Solanum sp.</i>		----
Symplocaceae	Symplocos	<i>Symplocos longipes</i> Lundell	----	----
		<i>Symplocos prionophylla</i> Hemsl.	----	----
Verbenaceae	Citharexylum	<i>Citharexylum mocinni</i> D. Don	Aceitunillo	Tëmnäts
	Lippia	<i>Lippia sp.</i> <i>Lippia umbellata</i> Cav.	Hierva dulce	Tëkyomkj

Caracterización fisonómica

De acuerdo con Rzedowski (2006), el bosque mesófilo de montaña presenta varias asociaciones, que generalmente cambian entre sí en cuanto a la altura, la fenología y específicamente especies dominante. El cual varía muchas veces de una ladera a otra o bien de una cañada a otra. La caracterización de la vegetación con base en las especies dominantes, se puede abordar según la fisionomía o la composición florística (Matteucci y Colma, 1982; Rangel y Velázquez, 1997). En donde el primer caso, los estudios son para diferenciar las especies que presentan los mayores valores en los parámetros ecológicos (abundancia, densidad, presencia), mientras que el segundo trata de establecer conjuntos de especies que denotan maneras de asociarse en patrones o comunidades.

A través del análisis de agrupamiento se obtuvieron 5 asociaciones de bosque mesófilo de montaña tomando en cuenta una línea de corte del 50% (Figura 2).

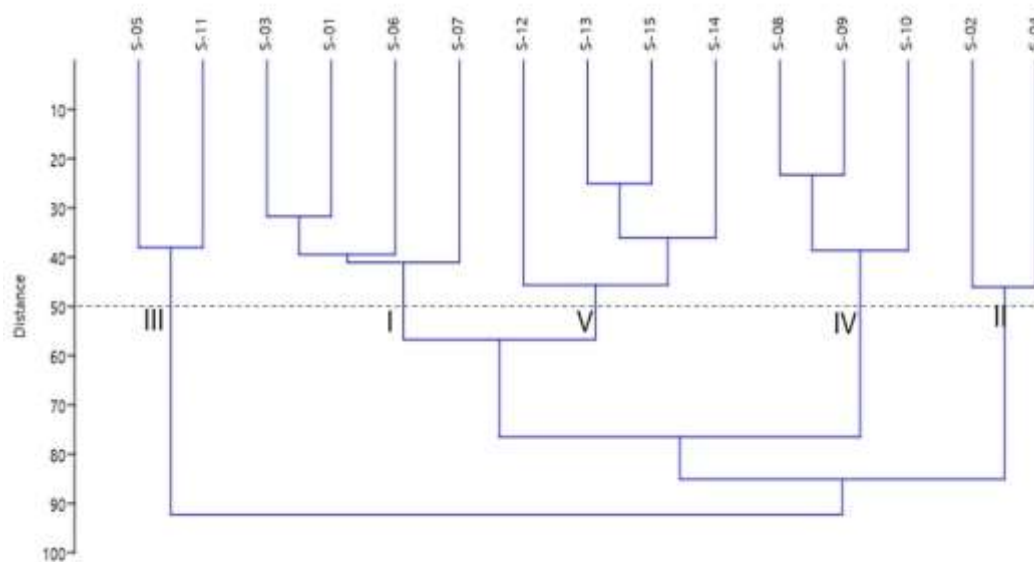


Figura 2. Agrupamiento aglomerado (I, II, III, IV, V) de los sitios tomando los valores de IVIR representado en un dendrograma.

Asociación *Dendropanax arboreus*-*Prunus brachybotrya*

El grupo I está compuesto por arboles con una altura en promedio de 10m y con diámetros de 26cm, aproximadamente con 1058 árboles por hectárea, corresponde a una asociación coodominada en el dosel por *Dendropanax arboreus* y *Prunus brachybotrya*, con especies acompañantes como *Quercus sp.*, *Cojoba arborea*, *Hedyosmum mexicanum*, *Liquidambar styraciflua*, *Lippia umbellata*, *Coccoloba chiapensis*, *Citharexylum mocinni*, *Saurauia scabrida*, *Inga paterno*. Esta asociación se encuentra en las altitudes 1500m (S-01), 1620m (S-03), 1800m (S-06) y 1840m (S-07).

En la elevación de 1500 m, el taxón *Dendropanax arboreus* obtuvo una IVIR DE 12.34, *Prunus brachybotrya* con una IVIR de 11.73, esta última predomina igual en la altitud de 1600m presentado una IVIR de 24.31. Mientras que el piso altitudinal de 1800m abunda la especie de *Zinowiewia integerrima* con una IVIR de 19.89 y *Dendropanax arboreus* con una IVIR de 19.65, y a la altitud de 1840 m hay presencia de encinos (*Quercus sp.* y *Quercus corrugata*), suman una IVIR de 34.08. El taxón *Dendropanax arboreus* es la especie que determina la asociación en el grupo I, se registró en las cuatro altitudes y con un valor de IVIR representativo. *D. arboreus* se registra en las Sierras de los Tuxtlas, dicha especie se distribuye en la zona tropical de México y se desarrolla en sitios con alta humedad relativa (Villaseñor, 2010; Gual y Rendón, 2014; Noyola y Andrés, 2020).

De acuerdo con el análisis de CCA (Figura 3), las especies que se presentaron en el grupo I están directamente relacionado con la cantidad de materia orgánica, hierro, fosforo, nitrógeno inorgánico, en estos sitios las pendientes no son

pronunciadas (30% a 45%) lo que permite la acumulación de materia orgánica y macronutrientes. La vegetación en estos pisos altitudinales se encuentra bien conservada, es por ello que registraron especies que son propias de un bosque mesófilo de montaña (Villaseñor, 2010), como el helecho arbóreo *Cyathea arborea*.

Asociación *Hedyosmum mexicanum*

En el caso del grupo II, corresponde a un BMM asociado *Hedyosmum mexicanum*, está compuesto con árboles a una altura promedio de 8 m y con diámetro promedio de 17, aproximadamente 842 árboles por hectárea, se encuentran ubicados en la franja 1600 m (S-02) y 1730 m (S-04), en una ladera con orientación suroeste (SW), con pendiente 30% y 0.60% respectivamente, dominada por el árbol del agua (*Hedyosmum mexicanum*) con un IVIR de 55.08 y 79.84 respectivamente, esta especie que crece en zonas de alta humedad relativa (Jardel, Cuevas, Santiago, Rodríguez, 2014), los pobladores de Santiago Atitlán denominan al taxón como Mo'nts tso'kj, que significa árbol que crecen en zona inundada. Otras especies que se registran en esta ladera son: *Liquidambar styraciflua*, *Quercus sp*, *Vismia camparaguey*, *Lippia umbellata*, *Morella cerífera* y *Zinowiewia integerrima*.

Asociación *Quercus scytophylla*

El tercer grupo se encuentra a elevaciones de 1740 m (S-05) y 2100 m (S-11), con pendientes abruptas y accidentadas de hasta 75% y predominan y abunda la especie *Quercus scytophylla*, con una IVIR de 93.08 y 60.15 respectivamente, compuesta con especies de: *Dendropanax arboreus*, *Quercus eulgeniifolia*, *Alnus acuminata subsp. glabrata*, *Tilia americana*, *Cercocarpus macrophyllus*, *Sabal*

mexicana, *Quercus calophylla*, *Saurauia* sp. y *Garrya longifolia*. Los árboles presentan una altura promedio 10m y diámetro promedio de 20m, aproximadamente de 836 árboles por ha. En la altitud de 1740 m, esta franja está compuesta por rebrotes de encinos, los pobladores de Santiago Atitlán, aprovechan los encinos para leña como combustible y el método de derribo es dejar un tocón a una altura de 1 m aproximadamente, lo que permite la regeneración o repoblación del bosque de manera acelerada.

Asociación *Quercus calophylla*

El grupo IV corresponden un bosque de *Quercus calophylla*, que obtuvo el mayor IVIR (a 67.92, 76.29 y 44.10) en las altitudes a 1800 a 2000m (1800m (S-08), 1900m (S-09), 2000m (S-10)), se encuentra ubicados en la misma ladera con una orientación Este, con pendientes de hasta 85 %, son zonas accidentadas y presenta una textura de suelo limo y arcilla, árboles con una altura promedio de 12m y diámetro promedio de 20m y 1580 árboles por hectárea, está compuesta por *Quercus calophylla*, *Quercus glaucescens* Humb. & Bonpl., *Alnus acuminata* subsp. *Glabrata* y *Saurauia* sp.

Asociación *Cercocarpus macrophyllus*-*Quercus* sp.

El aglomerado V son los pisos altitudinales 2200 m a 2500 m, se caracteriza por la presencia de árboles con una altura promedio de 9m y diámetro promedio de 20, 1188 individuos por hectáreas, el *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* presentó una altura de hasta 20m y un diámetro de hasta 44m; se trata de una zona de difícil acceso, con pendientes del 80%, orientación Noreste (NE), textura de suelo franco arenoso, pH ácido. En estas elevaciones la especie dominante

en el dosel es *Cercocarpus macrophyllus*, siendo es la más representativa en los cuatro pisos altitudinales, con una IVIR de 17.20 (2200m), 43.38 (2300m), 37.66 (2400m), 35.68 (2500m), se asocia con las especies de encinos (*Quercus affinis*, *Quercus glaucescens*, *Quercus eugeniifolia*, *Quercus laurina*, *Quercus calophylla*), pinos (*Pinus chiapensis* y *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis*), *Alnus acuminata* subsp. *glabrata*, *Arbutus xalapensis*, *Garrya longifolia*, *Litsea glaucescens*, *Bejaria aestuans*, *Cupressus benthamii* y *Buddleja* sp.

Tabla 1. Matriz de correlación entre los factores ambientales y edáficos, donde: Altitud(m), Pendiente (Pendiente), MO (Materia orgánica), N Ino (Nitrógeno inorgánico), P (Fosforo asimilable), K (Potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), Fe (Hierro).

	Altitud (m)	Pendiente	pH	Mo	N Ino	P	K	Ca	Mg	Fe	Arena	Limo	Arcilla
Altitud (m)	1												
Pendiente	0.59	1											
pH	0.48	0.59	1										
MO	0.17	-0.17	0.02	1									
N Ino	-0.54	-0.38	0.16	-0.1	1								
P	-0.46	-0.74	0.36	0.25	0.03	1							
K	0.17	0.16	0.4	0.28	0.42	0.27	1						
Ca	0.55	0.17	0.53	0.57	0.29	0.07	0.6	1					
Mg	0.45	0.2	0.38	0.46	0.25	0.03	0.74	0.84	1				
Fe	-0.37	-0.44	0.31	0.28	0.68	0.15	0.66	0.46	0.42	1			
Arena	0.01	-0.02	0.33	0.75	0.14	0.1	0.21	0.58	0.42	0.12	1		
Limo	-0.06	-0.12	0.28	0.67	0.09	0.01	0.17	0.52	0.46	0.1	-0.92	1	
Arcilla	0.07	0.23	0.28	0.62	0.16	0.24	0.21	0.47	-0.2	0.11	-0.77	0.45	1

Correlaciones canónicas

	L(1)	L(2)
R	0.98	0.97
R ²	0.96	0.94

Lambda	43.13	20.28
gl	22.00	10.00
p-valor	4. SE-0.3	0.03

Coefficientes de las combinaciones lineales

	L(1)	L(2)
Altitud (m)	1.23	-0.17
Pendiente	-0.86	-0.89
pH	0.52	-0.31
MO	0.84	0.05
N Ino	-0.54	0.04
P	0.42	0.63
K	-1.29	0.28
Ca	0.38	0.06
Mg	1.07	-0.21
Fe	0.54	0.55
Arena	-74.30	21.72
Limo	-52.36	15.67
Arcilla	-32.78	9.47

De acuerdo con la matriz de correlación (Tabla 1), la pendiente está directamente relacionada con la altitud, la correlación es positiva, entre la altitud de 1900 a 2500, se registraron pendiente entre 60% a 80%, en estas elevaciones los sitios se encuentran en laderas pronunciadas y accidentadas.

El Nitrógeno, Fosforo, Hierro y Limo, presentaron valores de correlación negativos con la altitud, es decir, disminuyen conforme va aumentando la altitud. El contenido de nitrógeno está directamente relacionado con las especies presentes en las altitudes de 1500m a 1800m, en estas elevaciones el nivel de nitrógeno es alto, por la presencia de especies de Fabaceae, especies como *Cojoba arborea*, *Inga sp* e *Inga paterno*. De igual manera el pH se relaciona con la altitud, a elevaciones más altas (1900m a 2500m) encontramos el pH ácido, esto es por la presencia de *Quercus* y *Pinus*.

En las altitudes 1500m a 1800m predominan las especies de *Hedyosmum mexicanum*, *Quercus* sp., *Dendropanax arboreus*, *Liquidambar styraciflua*, *Prunus brachybotrya*, *Lippia umbellata*, *Zinowiewia integerrima*, *Persea* sp., *Inga paterno*, *Buddleja* sp., *Citharexylum mocinni*, *Clethra alcoceri*, *Coccoloba chiapensis*, *Inga* sp., *Ocotea psychotrioides*, *Picramnia antidesma*, *Sambucus nigra* subsp. *canadensis*, *Vismia camparaguey*, *Weinmannia pinnata*, *Saurauia scabrida*, *Alchornea latifolia* y *Alnus acuminata* subsp. *glabrata*, de acuerdo con el análisis de CCA, éstas especies se desarrollan en sitios la cantidad de materia orgánica, hierro, fosforo, nitrógeno inorgánico, en estos sitios las pendientes no son pronunciadas lo que permite la acumulación de materia orgánica y macronutrientes.

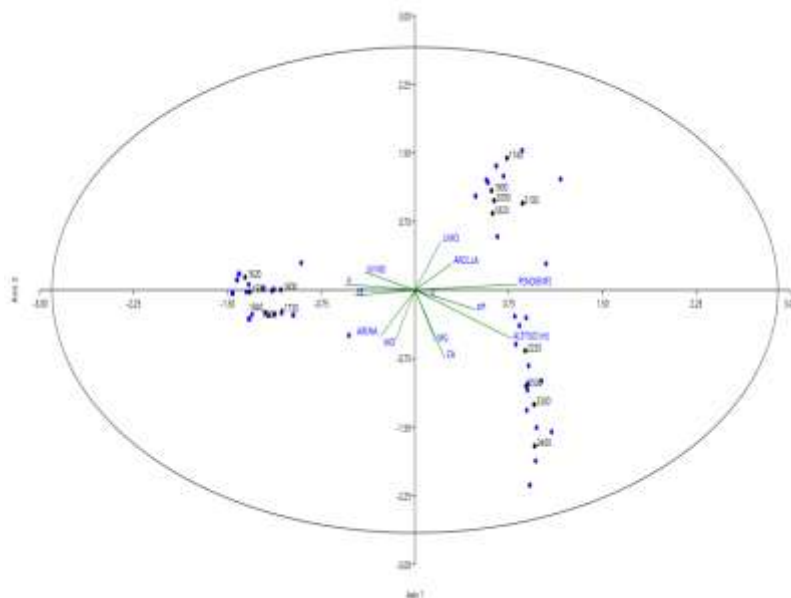


Figura 3. Análisis de correspondencia canónica entre los factores ambientales, edáficos e IVIR de las especies arbóreas.

Coefficientes de las combinaciones lineales

Ejes	Valor	%
1	0.94943	16.99
2	0.80257	14.36
3	0.77623	13.89
4	0.69622	12.46
5	0.58553	10.48
6	0.45099	8.07
7	0.39568	7.08
8	0.32647	5.842
9	0.21512	3.849
10	0.17804	3.186
11	0.13975	2.501
12	0.072687	1.301
13	1.32E-15	2.36E-14

La composición florística de la vegetación del bosque mesófilo de montaña, cambia de acuerdo al piso altitudinal, de igual manera está relacionada con los factores edáficos y ambientales, de acuerdo con Salas y Williams (2019) la diversidad florística disminuye en relación con el aumento de las altitudes. En los pisos altitudinales de 1500 a 1800 m, se registraron un total de 36 especies arbóreas, mientras que en las elevaciones de 1900 m a 2500, se obtuvo un total de 26 especies, sin embargo, 6 corresponden al género encino (*Quercus affinis*, *Quercus calophylla*, *Quercus eugeniifolia*, *Quercus glaucescens*, *Quercus laurina*, *Quercus scytophylla*).

De acuerdo con Gual y Rendón (2014), el bosque mesófilo de montaña se desarrolla en suelo con pH ácido. En este estudio el pH va cambiando de neutral a ácido, de acuerdo al gradiente altitudinal, por la presencia de encinos y pinos, estas especies se desarrollan en suelos con pH ácidos (Rzedowski, 2006). El contenido de nitrógeno es negativo de acuerdo al gradiente altitudinal, esto se debe principalmente por la presencia de especies de la familia Fabaceae, que

son fijadores de nitrógeno (Moreno, 2007). En las altitudes 1500 m a 1800 y en los pisos altitudinales de 1900 m a 2500 m no se registró especies que pertenezcan a las leguminosas. La altitud es determinante para establecer las variantes estructurales en las comunidades vegetales, de acuerdo Díaz *et. al.*, (2012), la altitud es uno de los factores que mejor clasifican los hábitats de las diferentes especies.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES GENERALES

De acuerdo con los resultados obtenidos se aprecia que el gradiente altitudinal presenta una relación directa con la estructura de la vegetación del municipio de Santiago Atitlán, dado que el cambio en la altitud modifica factores como la humedad, la precipitación, la temperatura e incluso el tipo de suelo. Se observó que en pendientes pronunciadas se registraron especies de encinos, es determinante esta variable para las formaciones de asociaciones de vegetación, de igual manera, la acumulación de materia orgánica, en pendientes suave se registró mayor cantidad de macronutrientes, en relación con pendientes pronunciadas.

LITERATURA CITADA

- Badii, M. H., Castillo, J., Cortez, K., Wong, A., y Villalpando, P. (2007). Correlación canónica Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica. *Innovaciones de Negocios*, 4(2), 405–422.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2010). El bosque mesófilo de montaña en México: Amenazas y oportunidades para su conservación y manejo sostenible. México.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C.W. (2008). InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba Argentina.
- Flores, M. G., Jiménez, L. J., Madrigal, S. X., Mocayo, R. F., y Takaki, T. F. (1971). Tipos de Vegetación de la República Mexicana. México: Secretaría de Recursos Hidráulicos.
- Fortanelli M, J., García P, J., & Castillo L, P. (2014). Estructura y composición de la vegetación del bosque de niebla de Copalillos, San Luis Potosí, México. *Acta Botanica Mexicana* 106:161-186, 26 pp.
- Galicia, L., y Zarco, A. E. (2002). El concepto de escala y la teoría de las jerarquías en ecología. *Ciencia*, Universidad Autónoma de México, 8.
- García, E., y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (1998). Climas. Recuperado de: http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/clima1mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no

- González, M. F. (2004). Las comunidades vegetales de México. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).
- Gual D. M., y Rendón C. A. (2014). Bosques mesófilos de montaña de México: diversidad, ecología y manejo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Hammer, O., Harper, A. T., y Ryan, D.P. (2001). Past: Paleontological Statistics Software Package For Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, (4), 4-9.
- Holwerda, F., y Gotsch, F. (2012). La niebla y la ecohidrología del Bosque Mesófilo de Montaña en México. *Boletín de Ciencias de la Atmósfera*, 6 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015). Guía para la interpretación de cartografía: uso de suelo y vegetación: escala 1:250,000: serie V. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). Conjunto de datos vectoriales de Uso del suelo y vegetación. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463173359>
- Jardel, P. E., Cuevas G. R., Santiago P. A., y Rodríguez G. J. (2014). Ecología y manejo de los bosques mesófilos de montaña en México. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/274780080>
- Jiménez, P. D., Gabriel, P. D., J., y Tapia M., M. (2017). Ecología Forestal. Manabí-Ecuador: Compás Editorial.
- Krebs, C. J. (1985). Ecología: estudio de la distribución y la abundancia. México, D.F.: Segunda edición. Harla S.A. de C.V.
- Margalef, R. (1974). Ecología. Barcelona, España: Omega, S.A.

- Matteucci, S. D., y Colma, A. (1982). Metodología para el estudio de la vegetación. Venezuela: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos; Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Venezuela.
- Miranda, F., y Hernández, X. E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Boletín de la Sociedad Botánica de México, 151.
- Moreno, T. C. (2007). Fabaceae potencialmente útiles de la provincia de Huánuco. Investigación Valdizana, 1(1), 30–34. ISSN: 1994-1420. [fecha de Consulta 01 de Mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=586061876007>.
- Morlans, M. C. (2004). Introducción a la ecología de poblaciones. Área de Ecología. Editorial. Científica Universitaria-Universidad Nacional de Catamarca.
- Mostacedo, B., y Fredericksen, T. S. (2000). Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal (El País; D. Nash, Ed.). Santa Cruz, Bolivia.
- Noyola, M. L., y Andrés, H. R. (2020). Tres especies de *Dendropanax arboreus* (Araliaceae) en la Selva de los Tuxtlas. Elementos, 117, 15-19.
- Odum, E. P. (1978). Ecología. México: 1a ed. CECSA.
- Odum, E. P. (1986). Fundamentos de la ecología. México D.F.: Continental S.A. de C.V.
- Paleologos, M., y Saradón, S. (2014). Principios de ecología de poblaciones.
- Pennington, T.D., y Sarukhánnn. (2005). Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies. México. 3a ed. Fondo de Cultura Económica, Universidad Nacional Autónoma de México. D.F., México, 523pp.

- Rabinovitch, J. (1978). Ecología de poblaciones animales. Venezuela: Centro de Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos Washington, D.C.
- Rangel, J. O., y Velázquez, A. (1997). Método de estudio de la vegetación. En: J. O. Rangel, P.D. Lowy y M. Aguilar. (eds) Colombia diversidad biótica II, tipos de vegetación en Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., 59–87.
- Rzedowski, J. (1996). Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana*, (35), 25-44. <https://doi.org/10.21829/abm35.1996.955>.
- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. México. 1ar. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Salas M. S., y Williams L. G. (2019). Patterns of vegetation along contrasting elevation gradients in Oaxaca and Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90, 1-21. <https://doi.org/10.22201/IB.20078706E.2019.90.3059>.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2010). Plan Municipal de Desarrollo. Oaxaca, México.
- Smith, T. M., y Smith, R. L. (2007). Ecología. España: Pearson Addison Wesley.
- Suárez M. E., Villaseñor, J. L., y Ramírez A. M. (2018). Sitios prioritarios para la conservación de la riqueza florística y el endemismo de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Acta Botánica Mexicana*, 124, 49–74. <https://doi.org/10.21829/abm124.2018.1296>.
- Tropicos.org. (2022). Missouri Botanical Garden. Recuperado de <https://www.tropicos.org/home>.

UNAM. (2022). Colecciones Biológicas. Recuperado de <https://datosabiertos.unam.mx/biodiversidad/>.

Villaseñor, J. L. (2010). El bosque húmedo de montaña en México y sus plantas vasculares: catálogo florístico-taxonómico. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

Yáñez E. L. (2004). Las principales familias de árboles en México. México: División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. México.