



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

LICENCIATURA DE BIOLOGÍA

TÍTULO DE LA TESIS:

**“ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA VEGETACIÓN DEL ÁREA NATURAL
PROTEGIDA CERRO ZAPOTECAS PUEBLA, MÉXICO.”**

MAYO 2021

Tesis presentada para obtener el grado de:

LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

DIANA SALAS ALVARADO

DIRECTOR DE TESIS: DR. CARLOS ALBERTO RUIZ JIMÉNEZ



AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mi tutor Dr. Carlos Alberto Ruíz Jiménez por guiarme en esta investigación, su asesoría fue imprescindible para que pudiera comprender la importancia y el alcance de este estudio. Los conocimientos que me ha compartido han sido el parteaguas para que indague y amplíe mi conocimiento en Ecología, Biología de la conservación, áreas naturales protegidas, flora de México y Botánica. Otorgo infinitas gracias a Jenni, Jessica, Karen, Alan, Enrique, Karla, Jessica, Marte, Jorge, Joan, Armando, Diana, Juz, Liz, Cuate, Francisco, Daniela, Pamela y Vladimir por su apoyo en algunas colectas de campo, como también a mis amigos Araceli Sánchez, Karina Lara Cruz, Iván Tello Huixtlaca, María Vázquez Pérez, César M. Vázquez Franco, Alejandro Tello Huixtlaca, Esther Avendaño, Cesar Flores Huitzil, Adriana Jiménez Montiel, Lucero Jiménez Aguilar, Marisol Sánchez Lugo, Martin Rojas, Paulina Castañeda y en especial a Francisco Tello Huixtlaca, sin su apoyo no hubiera sido posible este trabajo de investigación.

Merecen una mención muy especial la Dra. Susana Valencia Avalos, la M. en C. Rosa María Fonseca Juárez, el M. en C. Ramiro Cruz Durán y la Dra. Martha Juana Martínez Gordillo por su apoyo y asesoría en la determinación de algunos grupos de plantas que se emplearon en la presente investigación, tales como los encinos, pinos, fabáceas, labiadas y euforbiáceas. De igual manera, les doy las gracias por su atención y servicio a la Lic. María Concepción Morales Zárate, Secretaria de Ecología y Medio Ambiente del Gobierno Municipal de San Pedro Cholula, y a la Comisaría de Seguridad Pública de San Pedro Cholula.

Agradezco a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, a la Facultad de Ciencias Biológicas, al Laboratorio de Ecología y Restauración de Sistemas Acuáticos y Terrestres y a todos mis profesores por haberme formado con profesionalismo, sin olvidar los valores que aprendí de algunos de ellos con su ejemplo. Con mucho cariño agradezco a la familia Tello Huixtlaca por toda su calidez y apoyo para llevar a término esta tesis. Por último, a mis padres y hermanos toda la gratitud del universo por brindarme todo lo tangible e intangible para llegar hasta al día de hoy.

DEDICATORIA

A mi familia, pareja, amigas y amigos

Al Cerro Zapotecas y a la sociedad poblana para el enriquecimiento del conocimiento científico y la conservación de la naturaleza

INDICE

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 Antecedentes.....	11
Las Áreas Naturales Protegidas.....	11
Las Áreas Naturales Protegidas en México.....	12
Las Áreas Naturales Protegidas en Puebla.....	14
Área Natural Protegida Estatal Cerro Zapotecas.....	16
Estudio de la vegetación y el análisis estructural.....	19
Los bosques templados y su análisis estructural.....	22
Evaluación del estado de conservación de los bosques templados	27
Recursos e Instituciones Forestales Internacionales	29
1.2 Justificación.....	31
2. HIPÓTESIS.....	32
3. OBJETIVOS.....	32
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	34
4.1 Área de estudio.....	34
4.2 Métodos.....	39
4.3 Análisis de datos.....	44
5. RESULTADOS.....	49
Ubicación y caracterización ambiental de las unidades de muestreo.....	49
Composición florística del Cerro Zapotecas.....	49
Estructura cuantitativa de cada estrato, especies estructuralmente	
importantes y su estructura vertical y horizontal.....	54
Riqueza, distribución y estructura cuantitativa de las comunidades	
vegetales.....	70
Índice de diversidad en números equivalentes de especies.....	75
Índice de similitud de Sorensen.....	76
Análisis de agrupamiento entre los sitios de muestreo.....	77
Especies estructuralmente importantes de las comunidades vegetales	79
Estructurapoblacional de las comunidades vegetales.....	84
Perfiles diagramáticos de vegetación.....	87
Estado de conservación del cerro.....	90
Propuestas de conservación.....	96
6. DISCUSIÓN.....	97
7. CONCLUSIONES.....	117
8. REFERENCIAS.....	120
9. ANEXOS.....	138

RESUMEN

Se describe la estructura de la vegetación del área natural protegida de jurisdicción estatal “Cerro Zapotecas” ubicada en el municipio de San Pedro Cholula, Puebla. El método de muestreo empleado fue una modificación del formato P del IFRI (Ostrom y Wertime, 1995). Se realizaron 39 muestreos circulares concéntricos en los estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo en laderas y cañadas en diferentes intervalos altitudinales del cerro con presencia de vegetación sin disturbio aparente, además de perfiles diagramáticos de vegetación por comunidad vegetal.

Con base en las variables estructurales cuantitativas calculadas (área basal, cobertura, densidad [de individuos con diámetro a la altura del pecho ≥ 3.18 cm.], y valor de importancia relativo), así como los intervalos diamétricos y de alturas, se identificaron bosques de coníferas (*Pinus* y *Juniperus*), bosque de *Quercus* y una plantación forestal con fines de reforestación de *Eucalyptus camaldulensis*. Cada tipo de vegetación presenta diferentes asociaciones vegetales. El bosque de *Juniperus* presentó valores de área basal ($10.22-23.49 \text{ m}^2\text{h}^{-1}$), cobertura ($4,413-15,947.75 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$) y densidad ($159-382 \text{ ind/ha}^{-1}$) característicos de bosques de enebro abiertos. El bosque de *Pinus* tiene valores de área basal ($15.47-37.45 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$), cobertura ($7,035-18,773.75 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$) y densidad ($64-382 \text{ ind/ha}^{-1}$) bajos comparados con los pinares de México. El bosque de *Quercus* muestra valores de área basal ($4.54-28.25 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$), cobertura ($2,304.75-12,870.00 \text{ m}^2 \text{ha}^{-1}$) y densidad ($159-637 \text{ ind/ha}^{-1}$) bajos, comparados con los bosques de encino del país. Las variables estructurales calculadas para la plantación de eucalipto, área basal ($2.42 - 33.19 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$), cobertura ($190.15 - 10396.83 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$) y densidad ($64-669 \text{ ind/ha}^{-1}$) son valores bajos con respecto a plantaciones comerciales.

Se registró un total de 128 especies de plantas vasculares, de ellas 81 son nativas, 4 introducidas y 22 endémicas. De éstas, 31 especies (24%) son indicadoras de perturbación en los ecosistemas. Se registró una especie de herbácea en categoría de riesgo, enlistada en la Normativa Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 como “sujeta a protección especial” (Pr) (*Gentiana spathacea*). Las especies arbóreas más importantes fueron: *Eucalyptus camaldulensis*, *Arbutus xalapensis*, *Pinus leiophylla*, *Juniperus deppeana*, y *Quercus glabrescens*.

Los resultados basados en los bajos valores estructurales, a la presencia de especies de plantas ruderales, arvenses e introducidas, y a las señales de impacto antrópico en los bosques de coníferas y de encino del Cerro Zapotecas, indican que la vegetación es secundaria y presenta diversos grados de perturbación. Se proponen las siguientes estrategias de restauración, conservación y manejo sostenible a) Creación de un vivero de especies nativas para reforestación, b) Hacer efectiva la zonificación y definición de las actividades permitidas para cada área (zona[s] núcleo y de amortiguamiento), c) Regulación de actividades agropecuarias, deportivas, ecoturísticas y culturales.

Palabras clave: Muestreo de vegetación, variables estructurales cuantitativas, bosques de coníferas, bosques de encino, estado de conservación.

1. INTRODUCCIÓN

La vegetación es una de las expresiones más perceptibles de los hábitats naturales (Terradas, 2001) y constituye la suma de las comunidades vegetales de un área geográfica (Villaseñor, 2014). Es un componente esencial del flujo de energía en los ecosistemas y provee el hábitat para otros seres vivos en una comunidad ecológica (González-Medrano, 2004). Rzedowski (1978) la define como el “conjunto de plantas que habitan una región, analizado desde el punto de vista de las comunidades bióticas que forman”, y clasificó la vegetación de México en diez tipos representativos que han servido de marco de referencia en innumerables investigaciones para describir y estudiar la vegetación y las regiones biogeográficas de nuestro país. Sin embargo, existen diversos autores como Challenger (1998), Challenger y Soberón (2008), González-Medrano (2004), INEGI (2017), Leopold (1950), Miranda y Hernández (1963), y Morrone (2005), cuyas aportaciones han sido muy importantes y complementarias.

Ha sido esencial la recapitulación y comprensión de numerosos estudios sobre la riqueza florística de nuestro país para poder entender integralmente la vegetación de México, pues la gran diversidad de formas vegetales junto con el entorno abiótico en el que se establecen, han dado cabida a las múltiples comunidades vegetales que conocemos actualmente. Así, en las investigaciones más recientes, Villaseñor (2016) reportó 23,314 especies de plantas vasculares nativas para México, en cambio, Sarukhán *et al.* (2017) estiman que esta cifra puede ubicarse entre 27 000 y 30 000 especies. Aproximadamente, la mitad de la flora vascular hasta ahora reportada es endémica de nuestro país (Villaseñor, 2016). Gracias al conocimiento acumulado a lo largo de las últimas décadas, México es reconocido como uno de los países con mayor riqueza de plantas vasculares, sólo después de Brasil, China y Colombia (Villaseñor, 2016).

Sin embargo, la vegetación sigue en constante cambio y disminución debido a la presión que representa el incremento de la población y nuestras actividades. El cambio de uso del suelo, debido a la agricultura y la ganadería, han sido los principales factores que han modificado extensas áreas de cobertura vegetal en nuestro país, provocando erosión y pérdida de biodiversidad (González, 1998). Ante esta problemática, se

continúan haciendo esfuerzos para conservar la vegetación por medio de diversas estrategias, tal como es el establecimiento de zonas protegidas para aprovechar y cuidar adecuadamente los recursos naturales que nos proveen los ecosistemas terrestres.

En México se implementaron las Áreas Naturales Protegidas (ANP) como parte de una estrategia mundial para la conservación de la biodiversidad y de los servicios ambientales que nos proveen (CONANP, 2018 a). Las ANP en nuestro país se clasifican de acuerdo a los lineamientos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA; DOF, 2018) y a los códigos y tratados internacionales; así en México tenemos las ANP federales que son reguladas por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP; DOF, 2012), y las ANP estatales que son administradas por los gobiernos locales. A pesar de que las secretarías encargadas de su gestión reciben año con año recursos públicos para asegurar el cuidado de nuestro patrimonio natural, el escenario indica que cada vez son menos los recursos destinados y los que se tienen no se emplean adecuadamente para cuidar y manejar las ANP (Tlapa *et al.* 2019). Lo anterior se puede ver reflejado en la falta de implementación de planes de manejo basados en un conocimiento biológico, ecológico y socio-económico robusto (Block y Meave, 2015).

En el estado de Puebla, para el año 2012, la situación de algunas ANP de jurisdicción estatal reflejaba una carencia de estudios referentes a la diversidad biológica que poseían (Badano *et al.* 2012), contexto que persiste hasta nuestros días, además de que muy pocas cuentan con un plan de manejo y de acciones efectivas para su conservación (Tlapa, 2011, Tlapa *et al.* 2019). Se pueden reconocer como “reservas de papel” pues sólo existen en decretos oficiales, pero no tienen personal ni presupuesto destinado para su protección (Ortega-Rubio, Pinkus-Rendón y Espitia-Moreno, 2015 [Editores]). En el año 2011, Tlapa realizó un diagnóstico sobre los factores limitantes del funcionamiento de las “ANP periurbanas” de Puebla reconocidas en aquel entonces: Cerro de Amalucan, Cerro Cómalo, Cerro Mendocinas, Cerro Tepeyac, Cerro Totolqueme, Cerro Zapotecas y el Parque Estatal Flor del Bosque. Mostró que la mayoría de ellas presentaban deterioro ambiental y pérdida territorial provocada por el cambio de

uso de suelo, el crecimiento urbano, comercialización de tierras, agricultura, pastoreo, extracción de recursos naturales y falta de un plan de manejo.

En el caso del ANP de jurisdicción estatal Cerro Zapotecas, persisten además otras problemáticas que han fragmentado y comprometido la estabilidad de su biodiversidad: el deporte de alto impacto, incendios, la construcción de antenas de telecomunicaciones, vandalismo, la extracción de arcilla para la fabricación de ladrillo (POE, 2016), la introducción de vegetación exótica y la falta de financiamiento de personal para su cuidado (Tlapa, 2011). Por otro lado, no se ha estudiado su vegetación, pues hasta la fecha no se tiene publicado ningún documento científico que describa claramente su estructura, composición florística, etnobotánica y sinecología, información importante para llevar a cabo acciones adecuadas para el manejo del cerro.

La importancia de esta ANP radica en los componentes de biodiversidad que posee y en los servicios ecosistémicos que éstos proveen, tales como la regulación del clima, la captación de agua pluvial y en consecuencia la recarga de los mantos acuíferos de la región, posee valores estéticos y culturales, mejora la calidad del aire y es un área de recreación para los visitantes. Por lo tanto, cumple con funciones sociales y económicas, además es considerado un pulmón importante para el municipio de San Pedro Cholula (Tlapa, 2005) y para la zona metropolitana de Puebla, pues, aunque algunas áreas de su superficie se encuentren deforestadas u ocupadas con áreas de cultivo, cuenta con remanentes de vegetación de bosque de pino-encino (SDRSOT, 2013), que proveen de estos servicios ecosistémicos y que conforman el último ecosistema natural que posee el municipio de San Pedro Cholula.

Teniendo presente que la importancia de la investigación científica aplicada en el manejo y gestión de las ANPs es necesaria para alcanzar el desarrollo sostenible de la sociedad (Ortega-Rubio, Pinkus-Rendón y Espitia-Moreno, 2015 [Editores]), surgió la motivación de emprender esta investigación para estudiar la vegetación del Cerro Zapotecas a través de un análisis estructural, ya que este análisis es una herramienta sólida, muy útil e importante para definir las principales comunidades vegetales que lo habitan, su composición de especies, su distribución espacial y su estado de conservación actual. Teniendo estos conocimientos disponibles para los tomadores de

decisiones, será posible que se ejecuten medidas mejor fundamentadas para regular y hacer un buen manejo de las actividades económicas, recreativas y de conservación que acontecen sobre el cerro, tales como las reforestaciones, el turismo, la construcción de antenas de comunicación y de casas habitación, la extracción de recursos, la agricultura y las actividades ganaderas.

1.1. ANTECEDENTES

Las Áreas Naturales Protegidas

Las áreas naturales protegidas (ANP) surgieron hacia finales del siglo XIX en Estados Unidos de América, y fueron concebidas como lugares para preservar la belleza escénica natural que representaban (Galindo, 2016; Halffter, 2011), sin embargo, esta concepción evolucionó a medida que se hacía evidente el acelerado deterioro y pérdida de la diversidad biológica (Halffter *et al.* 2015) y finalmente se convirtieron en un instrumento de política ambiental para salvaguardar a la biodiversidad del impacto antrópico (Galindo, 2016).

Se les ha definido como un espacio geográfico reconocido y gestionado a través de medios legales u otros efectivos para lograr la conservación a largo plazo de la naturaleza, los servicios ecosistémicos que proveen y los valores culturales que poseen (Dudley, 2008). Actualmente son parte fundamental de las estrategias nacionales e internacionales para asegurar la permanencia de la biodiversidad *in-situ* (CDB, 2010; CDB, 2012; CONABIO, 2012, 2016a; Dudley, 2008; SDRSOT, 2013; Naciones Unidas, 2015). De acuerdo al plan de acción mundial acordado por los estados miembros de la ONU en 2015 se estableció “La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible”, en el que las ANP se vinculan con el objetivo 15, que señala: Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de la biodiversidad (Naciones Unidas, 2015).

La comisión encargada a nivel mundial de su gestión es la Comisión Mundial de Áreas Protegidas (CMAP) administrada por el Programa de Áreas Protegidas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), creada en 1962 (Dudley, 2008). En 1994 la UICN clasificó a las áreas protegidas en las siguientes categorías (Dudley, 2008; Leung *et al.* 2018; Melo, 2002):

- Categoría Ia. Protección estricta: Reserva Natural Estricta.
- Categoría Ib. Protección estricta: Área natural silvestre.
- Categoría II. Conservación y protección del ecosistema: Parque Nacional.

- Categoría III. Conservación de los rasgos naturales: Monumento Natural.
- Categoría IV. Conservación mediante manejo activo: Área de manejo de hábitats / especie.
- Categoría V. Conservación de paisajes terrestres y marinos y recreación: Paisaje terrestre y marino protegido.
- Categoría VI. Uso sostenible de los recursos naturales: Área protegida con manejo de recursos.

Este sistema de categorización se mantiene vigente y es un modelo a nivel internacional para la planificación, establecimiento y manejo de las ANP del mundo, empero las categorías establecidas en cada país pueden variar de nombre (Dudley, 2008).

Las Áreas Naturales Protegidas en México

Las ANP mexicanas están sujetas a los convenios de carácter internacional firmados por México (SDRSOT, 2013), al régimen de la LGEEPA, a los programas de ordenamiento ecológico, así como a los decretos que las constituyen y programas de manejo correspondientes (DOF, 2018). La LGEEPA se encarga de la reglamentación para la preservación y restauración del equilibrio ecológico, y para la protección de la biodiversidad en México (CONABIO, 2016b), y define a las ANP como zonas del territorio nacional, en las que la nación ejerce soberanía y autoridad, cuyo ambiente natural no esté alterado significativamente, o que sus ecosistemas y funciones precisen ser preservadas y restauradas (DOF, 2018).

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) es la institución gubernamental encargada de preservar y proteger el patrimonio natural de nuestro país por medio de la administración de las ANP (CONANP, 2018a). Fue creada en el año 2000 como un órgano desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (CONABIO, 2012; DOF, 2012; Gobierno de la República, 2014). Es responsable de regular sólo a las ANP de jurisdicción federal, sin embargo, sus lineamientos sirven de base para la regulación de las ANP estatales a través de las dependencias locales correspondientes (SDRSOT, 2013).

Las ANP se regulan de acuerdo el tipo de jurisdicción que tengan. De acuerdo a lo establecido en el Artículo 46 de la LGEEPA son de competencia federal las Reservas de la Biósfera, Parques Nacionales, Monumentos naturales, Áreas de protección de recursos naturales, Áreas de protección de flora y fauna, Santuarios y las Áreas destinadas voluntariamente a la conservación. En tanto que son de jurisdicción local las ANP estatales, municipales y comunitarias, tales como los Parques y Reservas estatales y las Zonas de conservación ecológica municipales (DOF, 2018; Mérida Melo, 2006). Actualmente se cuenta a nivel nacional con 182 ANP terrestres y marinas de carácter federal (Figura 1) y 332 Áreas destinadas voluntariamente a la conservación (CONANP, 2019).

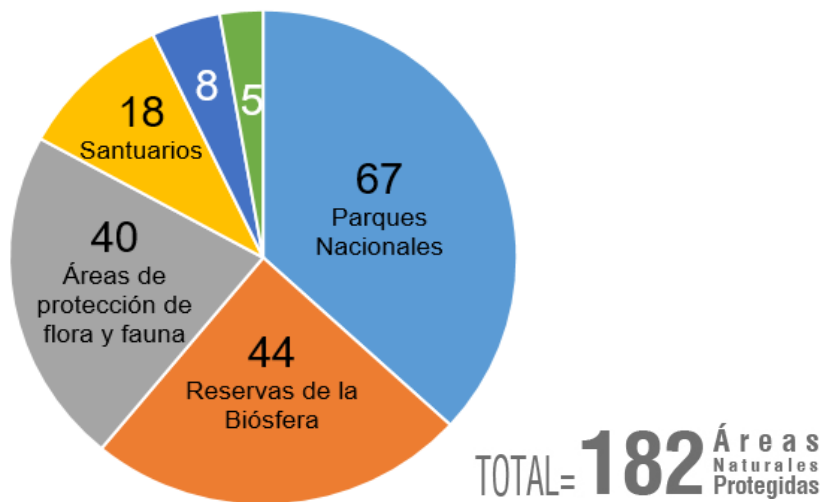


Figura 1. Categorías y cantidad de Áreas Naturales Protegidas federales en México. (Las secciones de color azul marino y verde, corresponden a 8 ANP de Áreas de protección de recursos naturales, y a 5 ANP de Monumentos naturales, respectivamente) CONANP, 2019.

Existe una importante red de investigadores en todo el país que han desarrollado proyectos de diversa índole en algunas ANP mexicanas para contribuir a un manejo óptimo basado en el conocimiento científico. Esta red se denomina “Red temática de investigación sobre Áreas Naturales Protegidas” (RENANP) y fue impulsada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) para promover la asociación de investigadores interesados en las ANP del país. A la fecha, como resultado se han

organizado dos Congresos Internacionales (2015 y 2018) de Áreas Naturales Protegidas y se han publicado dos libros: “Las Áreas Naturales Protegidas y la Investigación Científica en México” (Ortega-Rubio, Pinkus-Rendón y Espitia-Moreno, 2015 [Editores]) y “Gestión, Manejo y Conservación en Áreas Naturales Protegidas” (Espitia-Moreno, Arriola-Padilla y Ortega-Rubio, 2017 [Editores]), en los que se analizan como estudios de caso solamente a algunas ANP federales o sitios Ramsar, por lo que es urgente realizar más esfuerzos para estudiar y evaluar la gestión de las ANP tanto federales como estatales.

Las Áreas Naturales Protegidas en Puebla

En 1994 fue publicada la “Declaratoria de reservas, destinos y usos de predios y áreas territoriales del programa regional de ordenamiento territorial de la zona centro-poniente del estado de Puebla” (POE, 1994), donde declararon como reservas ecológicas: Parque Nacional Malintzi, Parque Nacional Izta-Popo, Cerro Zapotecas, Cerro Cómalo, Parque Ecológico Flor Del Bosque “General Lázaro Cárdenas”, Cerro de Amalucan, Cerro Mendocinas, Cerro Tepeyac y Cerro Totolqueme. Los Parques Nacionales mencionados, son ANP de jurisdicción federal (CONABIO, 2011), mientras que, de los sitios restantes, solamente el Cerro Zapotecas está declarado como ANP de jurisdicción estatal desde el 2008. En los años 2011, 2012 y 2017, fueron decretadas otras ANP estatales para Puebla respectivamente: la Sierra del Tentzo, el Humedal de Valsequillo y el Cerro Colorado. El resumen del plan de Manejo y el decreto oficial de estas ANP se encuentra disponible en el portal de la Red Nacional de Sistemas Estatales de Áreas Naturales Protegidas (RANP; RANP, 2013a).

La RANP fue creada en el año 2010 como resultado de una iniciativa de la CONANP y de los gobiernos estatales. En el año 2013 publicaron un portal donde integra la información referente a las ANP estatales del país (RANP, 2013), para Puebla incluye el programa de manejo de cuatro ANP estatales, y el decreto de diez ANP estatales (RANP, 2013a). No obstante, la Coordinación de Transparencia y Gobierno Abierto del Estado de Puebla, a través del portal de Datos Abiertos de la administración estatal, cuya última actualización fue el 31 de diciembre de 2018, reporta cinco ANP estatales en su

base de datos: *Cerro Zapotecas, Sierra del Tentzo, Humedal de Valsequillo, Cerro Colorado y Lagos de Tepeyahualco y Guadalupe Victoria* (Coordinación de Transparencia y Gobierno Abierto, 2018) (Tabla 1). De acuerdo con la regionalización de las ANP federales en nuestro país llevada a cabo por la CONANP (DOF, 2007; CONANP 2018b), cuatro ANP presentes en Puebla forman parte de la “Región Centro y Eje Neovolcánico”, y una de la “Región Planicie Costera y Golfo de México” (Tabla 1).

Tabla 1. Áreas Naturales Protegidas de jurisdicción federal y estatal en el estado de Puebla clasificadas de acuerdo a la LGEEPA. Las ANP federales se clasifican de acuerdo a la regionalización de la CONANP (Coordinación de Transparencia y Gobierno Abierto, 2018; SDRSOT, 2013).

ANP FEDERALES EN PUEBLA			ANP ESTATALES EN PUEBLA	
Región CONANP: Centro y Eje Neovolcánico		Región CONANP: Planicie Costera y Golfo de México	Reserva Estatal	Parque Estatal
Parques Nacionales	Reserva De La Biosfera	Área De Protección De Recursos Naturales		
Iztaccíhuatl-Popocatepetl	Tehuacán-Cuicatlán	Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa	Sierra del Tentzo	Humedal de Valsequillo
Pico de Orizaba			Cerro Colorado	Lagos de Tepeyahualco y Guadalupe Victoria
Malinche			Cerro Zapotecas	

Área Natural Protegida Estatal Cerro Zapotecas

El Cerro Zapotecas se localiza en el centro del municipio de San Pedro Cholula, Puebla. Es un cono de origen volcánico (Salomón, 2008a) que se eleva a 2,380 m s.n.m. ubicado en la Provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico donde predominan los bosques de pino-encino (Morrone, 2005; Rzedowski, 1978) e históricamente fue asentamiento de culturas

prehispánicas durante el Preclásico (650-350 a.C.), el Epiclásico (600/650-800 d.C.) y el Posclásico (800-1500 d.C.) (Salomón, 2008; Figura 2). Actualmente, los terrenos ubicados dentro del polígono del ANP son de propiedad privada (SDRSOT, 2013).

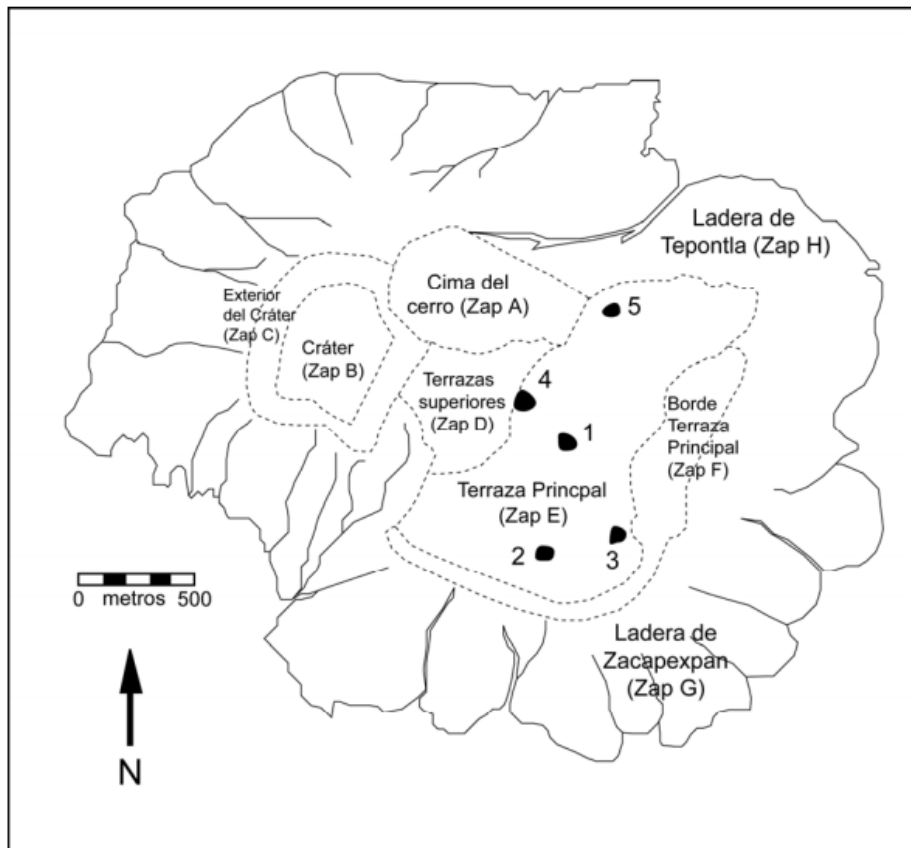


Figura 2. Croquis del Cerro Zapotecas elaborado por Mountjoy (1987b) redibujado por Salomón (2008a), donde se muestran las unidades de estudio arqueológicas y los montículos de la Terraza principal.

Fue decretado como Reserva Ecológica en la “Declaratoria de reservas, destinos y usos de predios y áreas territoriales del programa regional de ordenamiento territorial de la zona centro-poniente del estado de Puebla” (POE, 1994; SDRSOT, 2013). Posteriormente fue declarado Área Natural Protegida con categoría de Reserva Estatal el 26 de noviembre de 2008 (POEP, 2008). No obstante, en el portal de Datos Abiertos de la administración estatal de Puebla 2018-2024, está catalogado como ANP con categoría de Parque estatal (Coordinación de Transparencia y Gobierno Abierto, 2018).

A nivel internacional, se encuentra registrado en la base de datos de la Comisión Mundial de Áreas Protegidas (CMAP), en la cual menciona que no se reportan evaluaciones de manejo efectivas para el cerro (PNUMA-CMAP, 2018). Por el contrario, en la RANP se encuentra publicado un resumen del plan de manejo del Cerro Zapotecas (RANP, 2013 b). Este resumen también se puede encontrar en el sitio web de la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial de Puebla (SMADSOT, 2020). Además, existe la versión impresa del plan de manejo completo, que se encuentra disponible en la Secretaría de Desarrollo Rural, Sustentabilidad y Ordenamiento Territorial de Puebla (SDRSOT, 2013); sin embargo, no se ha publicado formalmente en el sitio web de la SMADSOT.

El objetivo general que plantea el plan de manejo es “Conservar la biodiversidad, los hábitats y los ecosistemas, así como los servicios ecosistémicos, los procesos biológicos y los cambios naturales que fomentan la continuidad, la variabilidad y adaptación de la vida en la Reserva Estatal Cerro Zapotecas y sus zonas de influencia; promoviendo al mismo tiempo el rescate de la cultura tradicional, así como la mejora en el bienestar y desarrollo sustentable de los habitantes de la región, asegurando el capital natural y cultural a largo plazo” (SDRSOT, 2013). Dentro de los objetivos específicos se encuentra uno que coincide con este proyecto de investigación: “Aumentar el conocimiento de la Reserva Estatal Cerro Zapotecas, mediante el fomento a la investigación científica y el monitoreo de los elementos ecosistémicos, los cuales deberán estar encaminados a resolver la problemática y necesidades sociales, económicas y ambientales de la región” (SDRSOT, 2013).

De acuerdo con la zonificación del cerro propuesto en su declaratoria (POEP, 2008), la zona de uso restringido o zona núcleo corresponde a las “zonas forestales conservadas” que requieren protección especial, y abarcan una superficie de 173.491 ha. La zona de amortiguamiento abarca 31.266 ha, que consiste en una franja de diez metros que rodea la zona núcleo. La zona de aprovechamiento sustentable de agroecosistemas comprende 119.87 ha. La zona de asentamientos urbanos, 1.297 ha; y la zona de recuperación, 210.508 ha. La suma de estas hectáreas resulta en 536.432 ha. Sin embargo, no son claros los límites entre las zonas que establece y actualmente la

zonificación ha cambiado, pues en el mapa más reciente publicado en el plan de manejo y en la RANP (Figura 3) (RANP, 2013 c; SDRSOT, 2013) suma otras dos subzonas: zona de aprovechamiento especial (1.7194 ha) y de uso público (41. 4927 ha), y cambian las dimensiones en hectáreas para la subzona de recuperación (186.4938 ha) y la subzona de asentamientos urbanos (6.4939 ha) (Figura 3). A pesar de que es clara la información del mapa, no lo es la extensión en hectáreas de cada zona pues la suma de éstas en el plan de manejo resulta en un total de 560.8268 ha, cuando la extensión original del cerro es de 536.43039 ha.

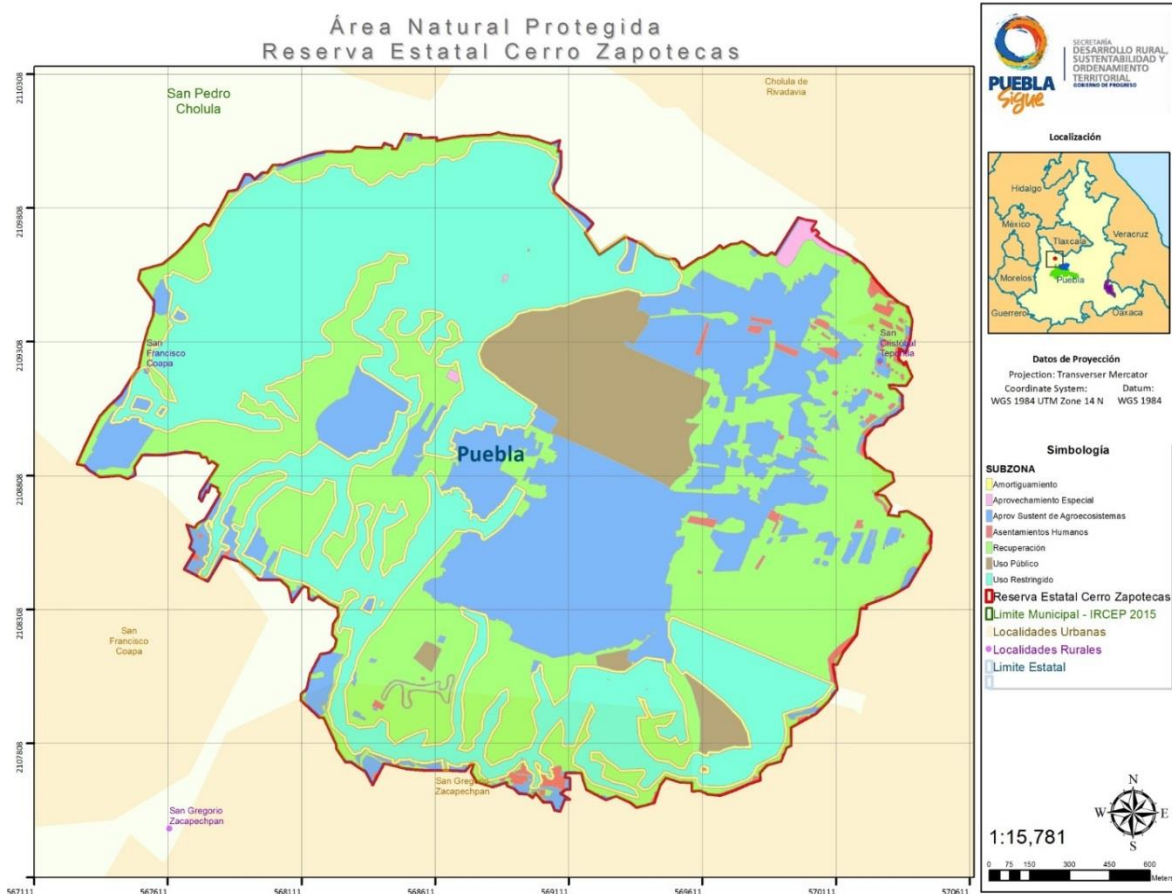


Figura 3. Zonificación del ANP estatal cerro Zapotecas (RANP, 2013 c).

Respecto a los estudios que se han realizado en el Zapotecas, estos únicamente abordan aspectos antropológicos (Mountjoy y Peterson, 1973; Mountjoy 1987a y 1987b; Salomón, 2008 y 2008a), sociales-ambientales (Tlapa, 2005; 2011) y ecoturísticos (Chang-Silva, 2009).

Estudio de la vegetación y el análisis estructural

Estudiar la vegetación es muy complejo debido a que interactúan una gran variedad de organismos en múltiples condiciones ambientales. Así tenemos que una comunidad vegetal está compuesta no sólo por plantas vasculares, sino también por briofitos, líquenes y algas. Sin embargo, los árboles y arbustos, e incluso hierbas grandes suelen ser las dominantes en una vegetación y condicionan el ambiente en el que viven las plantas menores (Terradas, 2001).

Los estudios ecológicos de la vegetación son muy importantes porque están relacionados con el manejo de los bosques y su conservación (Mostacedo, y Fredericksen, 2000), además, “cuanto más completo y detallado sea el conocimiento de su estructura y función mayor será el aporte al manejo armonioso e inteligente de los ecosistemas, de los cuales el hombre es parte” (Mateucci y Colma, 1982).

La fitosociología o sinecología es una rama de la ecología que estudia las relaciones de las comunidades vegetales y su medio (González-Medrano, 2004). Se ocupa del estudio de las comunidades vegetales por medio de su identificación, descripción, clasificación, desarrollo, distribución espacial y de las interrelaciones entre las mismas en función de su composición florística y categorías fisonómicas-estructurales (Mateucci y Colma, 1982). De acuerdo con González-Medrano (2004) el término de “ecología de la vegetación” es equivalente al de “sociología botánica” de las escuelas europeas de ecología y a la “sinecología” de los autores angloamericanos.

La asociación vegetal es la unidad de estudio de la sinecología y es un conjunto de especies características donde dos o más son las dominantes, es decir, algunas especies tienen valores diagnósticos mayores que otras. Por otro lado, la consociación es una de las unidades de clasificación de la vegetación más detallada y está caracterizada por sólo una especie dominante. Ambos conceptos conforman niveles de estudio en la composición florística para definir unidades de vegetación (González-Medrano, 2004; Mateucci y Colma, 1982).

Las comunidades vegetales son un conjunto de especies de plantas que crecen en un lugar determinado, interactúan entre sí y con el ambiente, se pueden repetir en el

espacio a manera de un mosaico, debido a las condiciones ambientales y presiones bióticas similares (González-Medrano, 2004). Sin embargo, es frecuente encontrar comunidades que no pueden diferenciarse en unidades discretas, ya que se presentan gran cantidad de gradientes y combinaciones de especies (González-Elizondo, González-Elizondo, y Cortés-Ortiz, 1993). Por ello, para determinar las asociaciones vegetales es necesario conocer su composición florística, su fenología, su fisonomía y estructura (González-Medrano, 2004).

La composición florística es el conjunto de taxa (familias, géneros, especies) de un lugar dado. La fenología es el estudio de los fenómenos biológicos periódicos que ocurren en las plantas y es una respuesta al dinamismo con el entorno. La fisonomía se refiere a las características visibles de los elementos (formas de vida, caracteres foliares de las especies dominantes, tamaño, cobertura, etc.) (González-Medrano, 2004). Por otro lado, la estructura de la vegetación está definida como la distribución espacial de la biomasa vegetal a través de caracteres como la altura del dosel y la disposición de estratos (estructura vertical) y la distribución de las poblaciones (estructura horizontal), principalmente (Escutia, 2004; Mateucci y Colma, 1982).

Para comprender mejor la estructura, es necesario identificar las formas de vida, y evaluar las variables cuantitativas (estructura cuantitativa), ya sean variables continuas como el área basal de los troncos y la cobertura de las copas, y variables discretas como la densidad y la frecuencia de los individuos (Escutia, 2004; Mateucci y Colma, 1982). Las variables sintéticas son el resultado del análisis de las variables antes mencionadas, y en conjunto son importantes para describir la estructura. Para identificar y clasificar a nivel local las comunidades vegetales es importante emplear índices de importancia relativa (Mateucci y Colma, 1982).

Los criterios más adecuados a tomar en cuenta para clasificar las comunidades vegetales son: características de la vegetación (fisonomía, estructura, fenología, florística), características del entorno (factores ambientales como clima, suelo, relaciones con el agua, influencia antropogénica, localización geográfica, entre otros) y propiedades de correlación e interdependencia funcional de la vegetación con el ambiente (González-Medrano, 2004). Sin embargo, para identificar comunidades vegetales a un nivel local,

conocer sólo la composición florística es muy útil (González-Medrano, 2004; González Elizondo, González Elizondo y Márquez Linares, 2006) reconociendo las especies dominantes (González-Elizondo, González-Elizondo, y Cortés-Ortiz, 1993). Por otro lado, si se requiere diferenciar entre una vegetación nativa de una cultivada o artificial es importante conocer la composición florística y la estructura de la vegetación, pues en ellas se ve reflejado los tipos e intensidad de disturbios (González-Medrano, 2004).

Las comunidades vegetales se pueden clasificar de acuerdo con diversas nomenclaturas, para México está disponible la nomenclatura de Rzedowski (1978) que permite la subcategorización (González-Elizondo, González-Elizondo, y Cortés-Ortiz, 1993) y la nomenclatura de González-Medrano (2004) que se basa en los trabajos de Miranda y Hernández (1963) y de Dansereau (1957).

Para definir el nombre de una asociación se puede recurrir a indicar el nombre de las especies dominantes de cada estrato (arbóreo, arbustivo y herbáceo) separándolos con una diagonal, por ejemplo: *Pinus cembroides-Quercus grisea/Mimosa aculeaticarpa/Stevia spp.* Otra opción es sólo indicando los elementos dominantes del estrato más importante fisonómicamente, el arbóreo, como en el trabajo de González Elizondo, González Elizondo y Márquez Linares (2006). En el presente estudio se recurrirá a identificar las comunidades y asociaciones vegetales considerando sólo a los elementos dominantes del estrato arbóreo, por cuestiones prácticas.

Los Bosques templados y su análisis estructural

Los bosques templados de México se encuentran en su mayoría en las zonas montañosas, y sus componentes principales son los pinares y encinares (Rzedowsky, 1978). Se pueden dividir en bosques de clima templado subhúmedo, (que comprenden al bosque de coníferas, bosque de latifoliadas y bosques mixtos de pino y encino), y en bosques de clima templado húmedo (que abarcan los bosques mesófilos de montaña) (Challenger y Soberón, 2008). De acuerdo con Rzedowsky (1978) el bosque de coníferas está compuesto por varias comunidades vegetales que son: bosque de *Pinus*, matorral de *Pinus*, bosque de *Abies*, bosque de *Pseudotsuga* y de *Picea*, bosque de *Juniperus*,

matorral de *Juniperus* y bosque de *Cupressus*. Sin embargo, un dato importante a recalcar es que los géneros de coníferas más diversos en la flora mexicana son *Pinus* y *Juniperus* (Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014).

De las 120 especies que se han descrito para el género *Pinus*, 49 (40%) especies habitan en nuestro país, y 22 de ellas son endémicas (Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014). Respecto al género *Juniperus*, se conocen alrededor de 16 especies para México (Fonseca, 2006), de las cuales 10 son endémicas (Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014).

Los encinares también son componentes principales de los bosques templados, la riqueza de especies es de 161 especies para México, y se calcula que 109 (67.7%) son endémicas (Valencia, 2004). Los estados con mayor diversidad son Oaxaca, Nuevo León, Jalisco, Chihuahua y Veracruz (Valencia, 2004). En Puebla se han reportado 12 especies y 4 variedades de *Pinus* que se distribuyen de manera natural (*Pinus ayacahuite*, *Pinus chiapensis*, *Pinus cembroides*, *Pinus douglasiana*, *Pinus greggi*, *Pinus hartwegii*, *Pinus leiophylla*, *Pinus montezumae*, *Pinus oocarpa*, *Pinus patula*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote*, *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*, *Pinus pseudostrobus* fo. *protuberans*, *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis*) (Ramos-Dorantes, 2015; Ramos-Dorantes et al. 2017). La extensión de bosques de coníferas en Puebla es del 9.7%, y de bosque de encino del 4.89% de la superficie total del estado (CONABIO, 2011).

Los bosques de coníferas y encino albergan una gran biodiversidad, son el tipo de vegetación que contiene el mayor porcentaje de flora fanerogámica del país con alrededor del 24% (Rzedowski, 1991), sin embargo, su cubierta forestal se ha visto reducida debido a la elevada frecuencia de los incendios, a su aprovechamiento directo e indirecto a través de las actividades agrícolas y pecuarias sin un manejo adecuado, además presentan otras amenazas como el crecimiento poblacional y el cambio climático (Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014).

Debido a estas razones es urgente que se estudie a los bosques templados desde el enfoque taxonómico, ecológico, etnobotánico y económico principalmente para asegurar su permanencia y aprovechamiento sostenible. Con respecto a los estudios ecológicos que analizan la estructura de su vegetación, son escasos los que se han

realizado en el país (Zacarias-Eslava *et al.* 2011), sin embargo, se ha resaltado la importancia de incrementar el conocimiento cuantitativo ecológico de los ecosistemas forestales para lograr su manejo integral y conservación (Jiménez, Aguirre y Kramer, 2001).

Entre los estudios disponibles, se tiene que la mayoría se ha realizado en bosques bajo aprovechamiento en los estados de Durango, Nuevo León y Oaxaca. En general se enfocan en describir la composición florística, diversidad y estructura de los bosques templados con base en atributos cuantitativos (área basal, densidad, cobertura, y valor de importancia [los métodos de toma de datos, variables e índices varían en cada estudio]).

Algunas investigaciones que comparan los valores estructurales de bosques bajo aprovechamiento contra bosques sin aprovechamiento son las realizadas por: Domínguez *et al.* (2018) en Durango, Ramírez-Santiago *et al.* (2019) y Vásquez-Cortez *et al.* (2018) en Oaxaca. En Áreas Naturales Protegidas se han elaborado los trabajos de González-Elizondo, González-Elizondo, y Cortés-Ortiz, (1993) en la Reserva de la Biósfera La Michilía; el de Block y Meave, (2015) en los encinares del Parque Nacional El Tepozteco; y el de Encina *et al.* (2009) en los bosques de encino de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, Zona Sujeta a Conservación Ecológica.

La mayoría de los estudios que han estudiado los bosques templados, sólo consideran la vegetación arbórea, dejando a un lado los componentes del sotobosque que forman parte importante dentro de las comunidades vegetales. Los estudios que sí han contemplado el sotobosque son: Aragón-Piña *et al.* (2010), Block y Meave, (2015), Santibañez-Andrade, Castillo-Argüero y Martínez-Orea (2015), Encina *et al.* (2009) y Vásquez-Cortez *et al.* (2018).

Las investigaciones que han evaluado la estructura diamétrica mediante histogramas de distribución de frecuencias, han mostrado que la mayoría de los individuos se encuentran en las clases diamétricas bajas, dando lugar a una gráfica con forma de “J” invertida, es decir, que la mayoría de los individuos son árboles jóvenes. Con esta información, los autores concluyen que el bosque está en proceso de regeneración, o que se encuentra en proceso de reclutamiento (Block y Meave, (2015) en Morelos;

Encina *et al.* (2009) en Coahuila; López-Hernández *et al.* (2017) en Puebla; Méndez *et al.* (2018) en Guerrero; Návar-Cháidez (2010) en Nuevo León; y Ramírez-Santiago *et al.* (2019) en Oaxaca). A continuación, se detallan algunos de los aspectos florísticos, composicionales y fisiográficos más importantes de las investigaciones analizadas.

Castellanos-Bolaños *et al.* (2010), en los bosques de pino-encino bajo aprovechamiento de la Sierra de Juárez, Oaxaca, identificaron ocho comunidades vegetales con base en valores de importancia. En todas las comunidades las especies dominantes pertenecieron al género de *Pinus* (*Pinus patula*, *Pinus oaxacana*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus douglasiana*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus teocote*, *Pinus rudis*, y *Pinus leiophylla* [donde cada especie de *Pinus* corresponde a cada comunidad]). En conclusión, encontraron que los pinos dominan con la mayor área basal y densidad, y que la competencia interespecífica y el aprovechamiento forestal influyen en la composición y estructura del bosque.

En el mismo estado de Oaxaca, Vásquez-Cortez *et al.* (2018) evaluaron la estructura, composición y diversidad de árboles y arbustos en tres condiciones de manejo en el bosque de Ixtlán de Juárez: franjas no aprovechadas, franjas aprovechadas y bordes. La familia Pinaceae fue la que obtuvo los valores de importancia relativa más altos. Por otro lado, Ramírez-Santiago *et al.* (2019) evaluaron los efectos del aprovechamiento forestal en la estructura de los bosques de la Sierra de Juárez, Oaxaca. Encontraron que en los bosques no manejados la riqueza de especies arbóreas es mayor (40 especies) que en los bosques manejados (21 a 16 especies) y además la distribución diamétrica mostró mayor densidad de especies en las clases bajas, donde las latifoliadas fueron las más abundantes, en contraste, en rodales manejados, los pinos son los que dominan y se simplifica la estructura. Concluyeron que es importante retener a las latifoliadas, además de las coníferas, en los planes de manejo forestal para promover la conservación de la biodiversidad.

En el estado de Durango, Aragón-Piña *et al.* (2010) además de analizar la estructura, se enfocaron en la composición de especies de la localidad estudiada. Analizaron tres tipos de vegetación: bosque de encino-pino (31 especies encontradas), bosque de pino-encino (22) y pastizal (26).

Domínguez *et al.* (2018) analizaron la estructura arbórea de bosques de coníferas de tres ejidos con aprovechamiento y una ANP sin aprovechamiento en Durango. Concluyeron que la dominancia estructural de las especies: *Pinus cooperi*, *P. duranguensis*, *P. leiophylla*, *Quercus durifolia* y *Q. sideroxylla* entre los cuatro sitios, se debe a que son especies de importancia económica y son favorecidas por los métodos silvícolas.

Graciano-Ávila *et al.* (2017) también analizaron la estructura arbórea de un ejido del estado de Durango y realizaron un censo de nueve parcelas. Las especies con los valores más altos de importancia relativa fueron: *Pinus cooperi*, *P. durangensis*, *Quercus sideroxylla* y *Juniperus deppeana*. Návar-Cháidez (2010) en Nuevo León, evaluaron 63 sitios de bosque templado con presencia de *Pinus sp.* del inventario nacional forestal de 2004-2006 bajo aprovechamiento, en los que se analizó su estructura, densidad de biomasa, carbono, entre otros. Evidenciaron que la productividad (medida como la densidad de biomasa, entre otros) está relacionada directamente con la diversidad biológica y estructural.

Méndez *et al.* (2018) en la Sierra Madre del Sur, en Guerrero, establecieron un censo de los árboles con DAP >10 cm en cinco parcelas dentro del bosque de pino-encino del ejido Atoyaquillo. Concluyeron que el bosque está en proceso de regeneración, ya que las categorías diamétricas inferiores (10-28 cm) fueron las mejor representadas.

En el Eje Volcánico Transversal, destaca la investigación de Zacarias-Eslava *et al.* (2011) que consistió en describir los tipos de vegetación del cerro El Águila en Michoacán, cuya cubierta forestal se encuentra en riesgo debido a las actividades económicas que se llevan a cabo a su alrededor. Delimitaron cinco tipos de vegetación identificados por recorridos de campo y por el reconocimiento de las especies leñosas dominantes. Las especies de pino que se registraron fueron *Pinus leiophylla*, *Pinus michoacana*, *Pinus montezumae* y *Pinus pseudostrobus*. Las especies más importantes fueron *Ipomoea murucoides*, *Quercus castanea*, *Q. deserticola*, *Q. rugosa* y *Q. laurina*.

En Coahuila, Encina *et al.* (2009) estudiaron la composición florística, la estructura y el impacto de los disturbios antrópicos en los bosques de encino de la Sierra de Zapalinamé, Zona Sujeta a Conservación Ecológica. Concluyeron que el área basal y la

densidad del arbolado registrado fueron bajas en comparación de la mayoría de los encinares mexicanos. También concluyeron que debido a la diversidad de troncos de diferente grosor el bosque es incoetáneo, es decir árboles de diferentes edades.

Se ha analizado el efecto de los incendios forestales sobre la estructura de los bosques templados en la investigación de López Martínez *et al.* (2017). Encontraron que los valores de área basal y cobertura fueron menores en el área incendiada que en la no incendiada, concluyeron que, a 19 años de la ocurrencia del incendio, la vegetación arbórea registra una recuperación parcial. Mientras que Block y Meave, (2015) estudiaron los encinares del Parque Nacional El Tepozteco, que yacen sobre suelo de origen volcánico. Relacionaron los atributos estructurales, florísticos y de diversidad con la complejidad geomorfológica del lugar. Evaluaron el dosel y el sotobosque. Debido al número de especies encontradas, confirman que este Parque Nacional goza de una gran riqueza biológica vegetal. Los encinos y pinos fueron los que más contribuyeron al área basal total del bosque.

Entre las escasas investigaciones que se han enfocado en evaluar el estado de conservación de los bosques templados en México, se encuentra la de Santibañez-Andrade *et al.* (2015) realizada en la cuenca del río Magdalena en la Cd. de México. De acuerdo con los autores, estas comunidades presentan presiones antrópicas como incendios, agricultura, pastoreo y turismo. Reconocen que es importante conocer la composición de especies introducidas y malezas que existen en la comunidad vegetal ya que pueden ocasionar la disminución de la riqueza de las especies características.

En el estado de Puebla sólo se encontró la investigación de López-Hernández *et al.* (2017), donde estudiaron la “Unidad de Manejo Forestal 2105” ubicada en la región forestal Centro y Pico de Orizaba al este del estado, para evaluar la composición y diversidad de las especies forestales en el bosque templado. Las especies con mayores valores del índice de valor de importancia (IVI), empleando la fórmula de Moreno (2001), fueron *Pinus montezumae*, *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii*, otras especies que se hallaron en este estudio fueron: *Pinus greggi*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus rudis*, *Quercus glabrescens*, *Quercus laurina*, *Alnus jorulensis*, *Juniperus monticola* y *Cupressus lusitanica*.

Otros estudios que no se basan en cuantificar la estructura, pero son igualmente importantes porque se enfocan en describir los servicios ambientales que proveen estos bosques, además de ser complementarios para los estudios ecológicos, son las investigaciones de Galicia y Zarco-Arista (2014) y Galicia *et al.* (2018). En este último, resaltan que la integración de la sociedad-naturaleza en los bosques templados puede contribuir a reducir el déficit en la producción maderable, proteger la diversidad biológica y mantener la provisión de los servicios ecosistémicos.

En conclusión, la mayoría de las investigaciones, sugieren que es urgente planear actividades de conservación y restauración para mantener la biodiversidad de los bosques; sin embargo, muy pocos mencionan actividades concretas, como la de Ramírez Santiago *et al.* (2019) y la de Nívar Cháidez (2010) que recomendó realizar prácticas silvícolas que aumenten la diversidad de especies, cercando áreas para permitir la regeneración natural, realizando prácticas de pastoreo sostenible y controlando los incendios.

Evaluación del estado de conservación de los bosques templados

La conservación de los ecosistemas implica mantener su biodiversidad y procesos ecológicos que los caracterizan. Para lograrlo, es fundamental que se tomen en cuenta estudios de ecología, con carácter multidisciplinario e interdisciplinario, aplicados a la conservación (List *et al.* 2017). Asimismo, conocer el estado de conservación de un ecosistema, es decir, conocer las características y condiciones ecológicas en las que se encuentra, puede ayudar a planificar de manera más integral estrategias de manejo, restauración y conservación (Navarro *et al.* 2008; Santibañez-Andrade *et al.* 2015). De acuerdo con List *et al.* (2017) para planear estas estrategias es importante entender los gradientes de perturbación en las que se encuentra distribuida la diversidad.

Los métodos de evaluación del estado de conservación de los ecosistemas son variados y dependen del objeto de estudio, ya sea cobertura vegetal o algún animal o conjunto de animales. En los bosques de Bolivia se han utilizado imágenes satelitales, y fotografía y videografía aérea para evaluar los bosques, sin embargo, estos métodos no

aportan datos suficientes (Navarro *et al.* 2008); por otro lado, las inspecciones de campo que evalúan la composición y estructura de los bosques pueden aportar mayor información para la evaluación, además de que se pueden identificar perturbaciones antrópicas, como incendios, extracción de madera, caminos, ganadería, entre otros, (Navarro *et al.* 2008) que permiten identificar gradientes de perturbación. También se ha utilizado la instalación de parcelas permanentes o temporales que sirven para evaluar los bosques a través del tiempo (Navarro *et al.* 2008). Con base en la composición de la vegetación se han realizado índices de conservación (Natale *et al.* 2020; Santibañez-Andrade *et al.* 2015)

Entre las investigaciones recientes que han estudiado el estado de conservación de bosques templados en México, resalta la de Santibañez-Andrade *et al.* (2015) en los bosques de coníferas y encinos de la cuenca del Río Magdalena. Se basaron en la estructura y composición de los bosques para diferenciar gradientes de conservación, ya que las especies introducidas y malezas pueden indicar modificaciones en el hábitat y pérdida de diversidad de especies nativas, permitiendo identificar sitios con diferente grado de disturbio (Stenhouse, 2004).

Los pasos que siguieron para determinar el estado de conservación fue el siguiente: “(1) delimitación y caracterización de las unidades biofísicas basadas en condiciones ambientales, (2) cuantificación de la estructura y la composición de la vegetación (calcularon valores de densidad, cobertura, área basal, riqueza, diversidad, valor de importancia relativa de las especies características, malezas e introducidas, (3) clasificación de las especies de acuerdo a sus respuestas funcionales (grupos de especies de plantas con diferentes respuestas ambientales), unidades biofísicas, y (4) evaluación del estado de conservación” de las unidades basado en el cálculo del índice Stenhouse (índice de conservación) (Santibañez-Andrade *et al.* 2015).

Entre los grupos funcionales, registraron entre 1-5 especies introducidas, y entre 10-19 especies de malezas. Describieron el nivel de conservación de las unidades biofísicas del bosque con base en los valores del índice de conservación y con las denominaciones de conservado, semiconservado y con signos de disturbio. Concluyeron que los bosques de la cuenca mantienen estructura y composición conservada, y

sugirieron que la composición de las especies es un indicador importante del estado de conservación, afirmación sustentada por Hooper *et al.* (2002) ya que mencionan que en la composición de especies nativas e introducidas se ve reflejada la respuesta de la vegetación ante los disturbios que afectan las condiciones del ambiente.

Navarro *et al.* (2008) propuso un método basado en la evaluación de cinco criterios para el diagnóstico del estado de conservación de los bosques de Bolivia (1. Reducción en la extensión original del bosque, 2. Fragmentación del bosque, 3. Degradación del bosque, 4. Integridad faunística, 5. Niveles de adecuación y equilibrio del paisaje cultural). Para fines de esta investigación resultó útil el criterio “Degradación del bosque” ya que se basan en indicadores como: cambios en la estructura del dosel y del sotobosque, cambios en la composición florística y presencia de señales de impacto antrópico. Con base en esta evaluación describen categorías de degradación de la vegetación denominadas como: bosque poco degradado, medianamente degradado, degradado, sustituido por matorrales y pajonales sucesionales, y bosque transformado.

Recursos e Instituciones Forestales Internacionales

La red de investigación de Recursos e Instituciones Forestales Internacionales (IFRI, por sus siglas en inglés de: The International Forestry Resources and Institutions) es un programa de investigación global con centro en la Universidad de Michigan, Estados Unidos de América, impulsado por Elinor Ostrom y Mary Beth Wertime en 1995 (Ostrom y Wertime, 1995). Tienen disponible un manual de libre acceso electrónico que contiene una serie de formatos que integra conocimientos de las poblaciones humanas y sus recursos forestales, para posteriormente compartirlos con los diferentes sectores sociales locales (gobierno, campesinos, técnicos, usuarios de los bosques) y promover la elaboración de políticas a favor del aprovechamiento sostenible de los recursos forestales (Ostrom y Wertime 1995; Ostrom, 2008; IFRI, 2013). Ha sido utilizado en varios países del mundo, incluido México. Este manual fue diseñado por la economista y politóloga Elinor Ostrom, quien fue galardonada con el Premio del Banco de Suecia en Ciencias Económicas en memoria de Alfred Nobel en el 2009.

El formato P del Manual de campo del IFRI se enfoca en registrar nombres, coberturas y tamaños de las especies de árboles, arbustos y herbáceas en un bosque. La información colectada sirve para conocer la densidad, frecuencia, dominancia, índices de diversidad, tamaño de la estructura de clase y abundancia de las plantas clasificadas como especies prioritarias por usuarios locales (Ostrom, 2008). El método completo del IFRI se ha empleado en algunas localidades de Michoacán, y Oaxaca en bosques mesófilos de montaña (Ruiz Jiménez, no publicado). Por otro lado, se ha empleado sólo el formato P del IFRI en otras investigaciones de estructura de la vegetación, tales como en Hidalgo (Escutia, 2004) y en Guerrero (Saavedra-Millán, 2009). En estos estudios se propusieron modificaciones en las variables de inclusión para reducir el número de individuos vegetales que se estaban perdiendo en el formato original del IFRI.

En la presente investigación se obtuvo sólo la información relacionada con la estructura de la vegetación por medio del formato P (Ostrom, 2008; IFRI, 2013).

1.2. JUSTIFICACIÓN

Debido a que las Áreas Naturales Protegidas forman parte medular del desarrollo social y económico de una población y son un instrumento para hacer un uso responsable de la naturaleza y sus recursos, los estudios de vegetación dentro de ellas juegan un papel muy importante ya que proporcionan información valiosa respecto a la composición, diversidad, estructura y estado de conservación.

Los estudios que se han realizado en el ANP Cerro Zapotecas versan sobre su patrimonio cultural y ecoturístico, no obstante, no se cuenta hasta la fecha con un estudio que avale la descripción de su vegetación con el respaldo de ejemplares en colecciones científicas. Emplear el método del formato P del International Forestry Resources and Institutions (IFRI) de renombre mundial, será una gran aportación para conocer la vegetación del cerro y su estado de conservación actual. Con dicha base científica se pueden impulsar posteriores trabajos de investigación ambiental y social, ya sea en la línea de investigación que aborda el IFRI o en el área ecológica y biológica principalmente.

La información importante que resulte de esta investigación estará a disposición de las dependencias correspondientes para que tomen decisiones fundamentadas en cuanto al manejo, preservación y aprovechamiento sostenible del cerro. Con su compromiso y trabajo correspondiente, de la mano con las comunidades, se podrán regular actividades de ecoturismo, deportivas de alto impacto, agrícolas y ganaderas, reforestaciones, construcciones, etc.

Publicar, difundir y divulgar esta investigación será un parteaguas para promover el interés en otros estudiantes e investigadores para comprender, aplicar o analizar más líneas de investigación sobre el Cerro Zapotecas, apreciar el valor intrínseco que posee e incentivar a que los habitantes del cerro y de los alrededores continúen organizándose para lograr un aprovechamiento y conservación sostenible de sus recursos.

2. HIPÓTESIS

Las comunidades vegetales del ANP de jurisdicción estatal Cerro Zapotecas están compuestas por plantaciones forestales de eucalipto, fragmentos de bosque de pino y de encino que presentan un alto grado de perturbación debido al impacto antrópico, lo que influye en la estructura y composición de las comunidades vegetales.

3. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es analizar la estructura y composición florística de la vegetación en el estrato herbáceo, arbustivo y arbóreo del cerro Zapotecas empleando una modificación del método del formato P del IFRI de Ostrom (IFRI, 2013; Ostrom, 2008;). En tanto que los objetivos específicos son los siguientes:

- Describir la composición florística del estrato herbáceo, arbustivo y arbóreo por medio de la elaboración de un listado florístico obtenido de la identificación de las especies halladas en los muestreos.
- Calcular la estructura cuantitativa de los tres estratos a partir de la obtención de tablas sintéticas de información que muestran número de especies, número de individuos, número de plántulas, área basal, porcentaje de cobertura, densidad, intervalo de altura y de DAP por unidad de muestreo.
- Identificar las principales comunidades y asociaciones vegetales del cerro a partir del análisis de los valores estructurales y de los valores de importancia relativa de las especies, considerando los elementos dominantes del estrato arbóreo, complementando con la elaboración de perfiles de vegetación.
- Reconocer las especies que más contribuyen en la estructura cuantitativa de cada estrato y de cada comunidad vegetal por medio de la magnitud de sus valores de área basal, cobertura, densidad y de los valores de importancia relativa.
- Conocer la estructura horizontal y vertical del estrato arbustivo y arbóreo, así como de cada comunidad vegetal y de las especies más abundantes por medio de histogramas de distribución de frecuencias de diámetro y altura.

- Conocer el estado de conservación de la vegetación del Cerro Zapotecas mediante la comparación de sus valores estructurales de la vegetación con otros bosques templados del país, así como mediante el análisis de la flora hallada y de señales de impacto antrópico.
- Identificar las especies nativas de la vegetación del Cerro Zapotecas y proponer medidas de manejo sostenible y de restauración para la conservación de esta ANP.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

El Cerro Zapotecas se localiza en el centro del municipio de San Pedro Cholula dentro de la zona metropolitana del estado de Puebla, entre los paralelos 19° 03' 38" y 19° 04' 55" de latitud Norte y entre los meridianos 98° 19' 44" y 98° 20' 28" de longitud Oeste (POEP, 2016). De acuerdo con el sistema Universal Transversal de Mercator (UTM) (ArcGis 10.3) el Cerro Zapotecas se encuentra entre las coordenadas extremas inferior 2,107,555.73 m, superior 2,110,091.1 m, izquierda 567,271.33 m y derecha 570,467.96 m. Presenta un intervalo altitudinal de 2,160 a 2,380 m s.n.m. en su punto más alto (INEGI, 2015). Tiene una superficie total de 536.43039 ha (POEP, 2008), sin embargo, 160.127844 ha son dedicadas a la agricultura (Figura 4). La ladera Norte, Noroeste y Oeste exhiben pendientes abruptas, donde se desprenden varias cañadas con vegetación nativa.

Sobre la superficie del cerro se encuentran veredas de terracería y de concreto para transeúntes y automóviles, como también infraestructura para el manejo de pólvora, casas habitación, tres antenas de telecomunicación en la cima, un campo de béisbol, una mina a cielo abierto y campos de cultivo (SDRSOT, 2013). Colinda con siete localidades: San Cristóbal Tepontla, San Gregorio Zacapecpan, San Francisco Coapa, San Juan Tlautla, San Sebastián Tepalcatepec, San Diego Cuachayotla y San Agustín Calvario (Tlapa, 2005; SDRSOT, 2013). A un costado del cerro circula la carretera al municipio de Calpan (Figura 4).

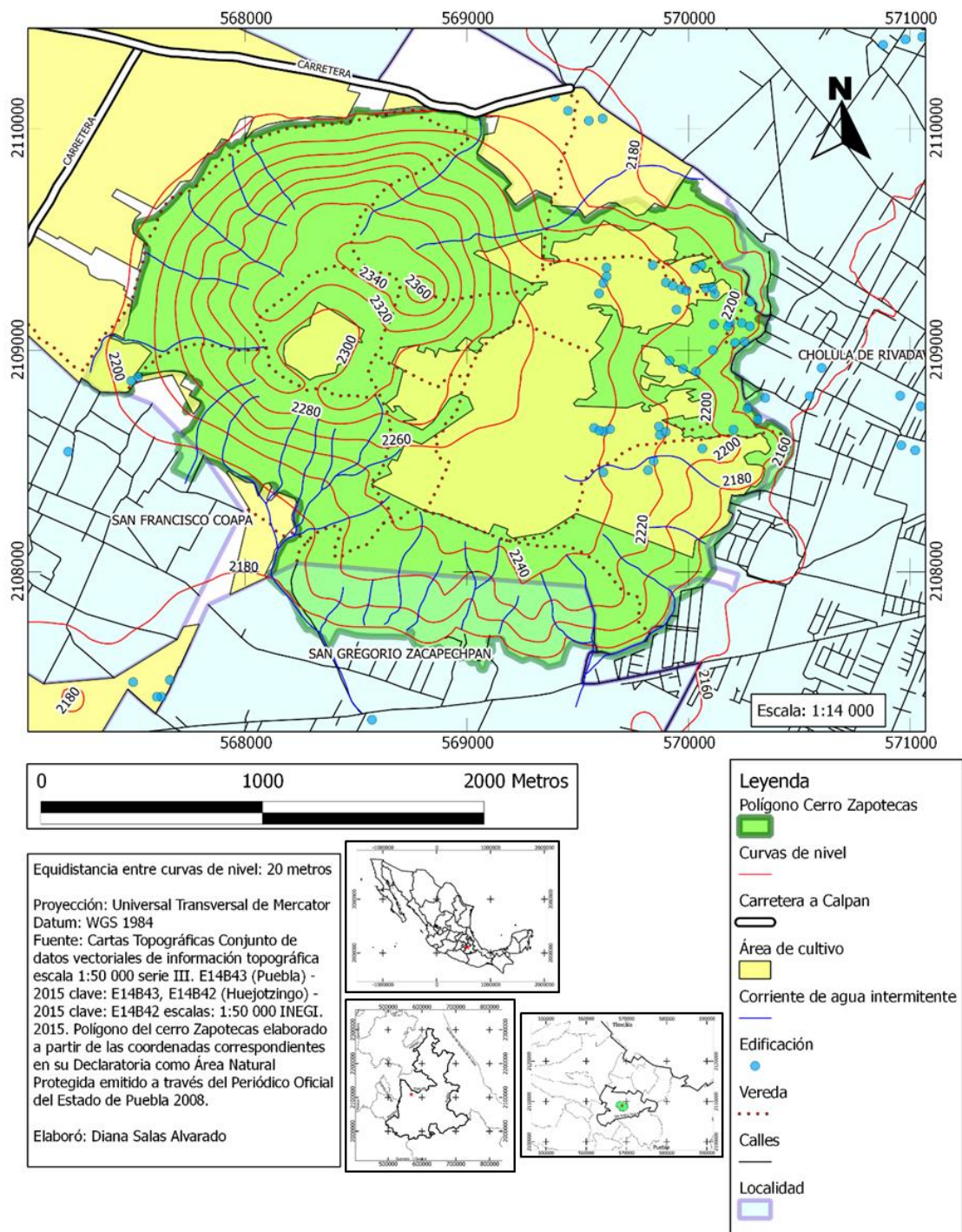


Figura 4. Mapa topográfico del área de estudio Cerro Zapotecas.

Clima

De acuerdo con el sistema de Koeppen modificado por García, (2004) el clima que predomina en el Zapotecas es templado subhúmedo con lluvias en verano C (w2) con una temperatura media anual de entre 15.7° C. a 16. 6° C, con una temperatura promedio de 14°C, mientras que el intervalo de precipitación anual varía entre 837 a 911 mm (POE, 2016; SDRSOT, 2013).

Hidrografía

Ubicado en la cuenca del Río Atoyac, perteneciente a la región hidrológica RH18 “Balsas” (POEP, 2016). Sobre su superficie se presentan escorrentías en la temporada de lluvias que promueven la captación de agua y la recuperación de mantos acuíferos (SDRSOT, 2013).

Geología y tipo de suelo

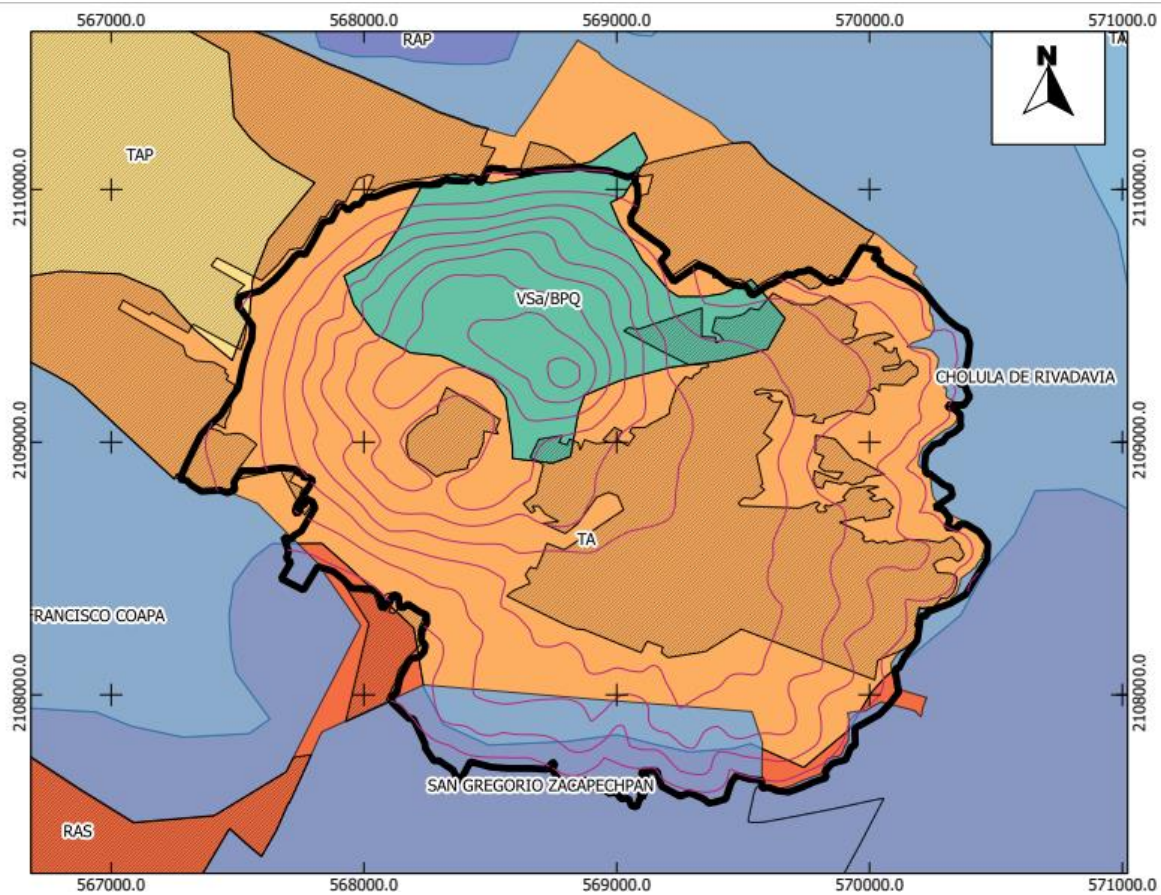
El Cerro Zapotecas es un cono de origen volcánico cuya pendiente oriental es un manto de lava (Salomón, 2008; Figura 4). Está compuesto por planicies, laderas con pendientes suaves y escarpadas, y cañadas. El tipo de suelo reportado es regosol, que se caracteriza por ser de color claro y pobre en materia orgánica, además está asociado con afloramientos de roca, tepetate y suelos de litosol. También cuenta con un pequeño porcentaje de feozem que presenta una capa superficial oscura y rica en materia orgánica (INEGI, 2004; SDRSOT, 2013; POE, 2016).

Uso de suelo y Vegetación

De acuerdo con los mapas de uso de suelo y vegetación del INEGI (2011) el cerro Zapotecas cuenta con bosque de pino-encino con vegetación secundaria arbustiva en la ladera norte y agricultura de temporal anual en la mayor parte de lo que resta de su superficie (Figura 5). En una porción pequeña de las faldas de la ladera oeste tiene agricultura de temporal anual y permanente, y en los costados de la ladera sur agricultura de riego anual y semipermanente. Sin embargo, en el plan de manejo se reportan diferentes comunidades vegetales.

El Plan de Manejo del Cerro Zapotecas indica que “las comunidades vegetales que lo componen responden principalmente a gradientes altitudinales y a características topográficas como cañadas húmedas y secas, exposición de pendientes y tipos de suelo” (SDRSOT, 2013). Sin embargo, no especifica la composición de cada comunidad vegetal, su distribución y estado de conservación. Por otro lado, menciona que “(...) el pastizal inducido ocupa la mayor superficie (...) seguido de la agricultura de temporal y del bosque de pino-encino, el cual es un remanente de la vegetación del sitio” (SDRSOT, 2013). Contiene un mapa de uso de suelo y vegetación donde especifica en su simbología: áreas de bosques perturbados de *Arbutus sp.*, *Juniperus deppeana*, y *Pinus sp.*, plantaciones de *Eucalyptus camaldulensis* y áreas reforestadas con especies de *Juniperus deppeana* y *Cupressus lusitanica*. Sin embargo, el mapa no tiene una buena resolución y los colores para reconocer las áreas no son diferenciables. Dicho plan de manejo reporta 33 especies de plantas (Anexo 1), empero no se especifica que hayan sido colectadas o que se encuentren depositadas en algún herbario.

Las comunidades de vegetación exótica con *Eucalipto camaldulensis*, han modificado la estructura y composición de la flora del lugar (Tlapa, 2005). Además, se ha visto afectado por incendios forestales frecuentes, pues cada año se incendian porciones de su cubierta forestal.



Proyección: Universal Transversal de Mercator
 Datum: WGS_1984
 Fuente: Cartas topográficas E14B42 y E14B43 escala 1:50 000, INEGI 2015.
 Conjunto de datos vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación escala 1:250 000, serie V (Capa Union) INEGI 2011.
 Polígono del cerro Zapotecas elaborado a partir de las coordenadas correspondientes en su Declaratoria como Área Natural Protegida emitido a través del Periódico Oficial del Estado de Puebla 2008.
 Elaboró: Diana Salas Alvarado

Leyenda

Polígono Cerro Zapotecas
 —

Localidades
 ■

Área de cultivo (cartas topográficas 1: 50 000 INEGI 2015)
 ■

Uso de suelo y vegetación (escala 1:250 000 INEGI 2011)
 ■ Vsa/BPQ= Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino
 ■ TA= Agricultura de temporal anual
 ■ TAP= Agricultura de temporal anual y permanente
 ■ RAS= Agricultura de riego anual y semipermanente

Figura 5. Mapa de uso de suelo y vegetación del cerro Zapotecas.

4.2 Métodos

Se solicitó el permiso de la Secretaria de Ecología y Medio Ambiente del Gobierno Municipal de San Pedro Cholula para la realización de esta investigación en el Cerro Zapotecas, así como el apoyo de la Comisaría de Seguridad Pública de San Pedro Cholula para contar con su auxilio ante cualquier percance durante la realización de los muestreos y las colectas botánicas.

A partir de una prospección inicial del Cerro Zapotecas se identificaron comunidades vegetales peculiares en cada ladera. En la ladera Este, se encontraron plantaciones de eucalipto, mientras que en la ladera Oeste y Norte se encontraron remanentes de vegetación original con bosques de pino-encino y cañadas con bosque de encino. Estas características en la distribución de su vegetación indicaron que no es uniforme su composición vegetal en las diferentes orientaciones de ladera del cerro, además de que se observó que los remanentes de vegetación natural se encuentran fragmentados por campos de cultivo, veredas y brechas cortafuegos.

Mediante los programas ArcMap10.3 y QuantumGIS 1.8.0 'Lisboa' se elaboró el polígono del cerro Zapotecas con los datos de las coordenadas UTM obtenidos del documento de su Declaratoria como ANP (POEP, 2008). Se descargaron las cartas topográficas 1:50, 000 con clave E14B42 y E14B43 (INEGI, 2015) y las cartas de conjunto de datos vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación, Escala 1:250 000 (INEGI, 2011) y se elaboró el mapa de la vegetación (Figura 5) y el mapa topográfico del área de estudio que incluye las curvas de nivel, uso de suelo y vegetación, carreteras próximas al cerro, áreas de cultivo, corrientes de agua intermitentes, edificaciones, calles y localidades de los alrededores (Figura 4).

La selección de las unidades de muestreo consistió en un muestreo dirigido y se ubicaron en el cerro tomando en cuenta los siguientes criterios con el fin de abarcar todas las características posibles de la vegetación forestal del área:

- Superficie con presencia de vegetación arbórea sin disturbios aparentes y alejados de veredas.

- Las distintas comunidades vegetales reportadas en el plan de manejo (SDRSOT, 2013), reportadas en el mapa de uso de suelo y vegetación (Figura 5) y reconocidas tentativamente con una prospección previa del área de estudio: plantación de eucalipto, bosque de coníferas y cañadas con bosque de encino.
- La altitud: Se ubicaron en un intervalo altitudinal comprendido entre 2,160 y 2,380 m s. n. m. (220 m de gradiente que conforman al cerro), situando por lo menos un muestreo de cada comunidad vegetal en cada intervalo que marcan las curvas de nivel en el mapa.

De acuerdo con el formato P del IFRI, se recomienda realizar un mínimo de 30 muestreos en un bosque con una superficie de 0.5 a 200 hectáreas. Si el área de estudio mide más de 200 ha, es necesario realizar más muestreos y se recomienda determinar el número de muestras mediante cálculos estadísticos: “Performance Curve” (promedio corrido [Mostacedo, y Fredericksen, 2000]) o “Two-Step sampling” (IFRI, 2013). En el Cerro Zapotecas, a pesar de que su extensión es de 536.43039 ha, la superficie que contiene vegetación boscosa es de aproximadamente 225.50335 ha. Por ello se realizaron los métodos estadísticos mencionados para lograr un muestreo representativo, de los que se obtuvo un número de 22 muestreos, sin embargo, se realizaron un total de 39 unidades de muestreo para cumplir con el mínimo de 30 recomendados con el IFRI y tener una muestra representativa de las comunidades vegetales del cerro. En el anexo 2 se muestran las fórmulas empleadas.

Datos ambientales de las unidades de muestreo

De cada unidad de muestreo se obtuvo la altitud y las coordenadas geográficas (x, y) en unidades UTM con un GPS Garmin y con la aplicación GPS Status, se registró la pendiente del terreno en grados utilizando un clinómetro “Brunton clino master” y la orientación de la ladera del cerro con una brújula, además se registró el tipo de suelo de cada muestreo.

Muestreo de la vegetación

El método de muestreo se basó en el formato P del IFRI (Ostrom y Wertime 1994; Ostrom, 2007; IFRI, 2013) el cual consiste en realizar tres parcelas de forma circular concéntrica

de uno, tres y diez metros de radio respectivamente por unidad de muestreo para medir hierbas, plántulas de árboles, arbustos, árboles jóvenes, trepadoras leñosas y árboles adultos.

Se tomaron en cuenta las modificaciones al método del formato P propuestas por Escutia (2004) y Saavedra-Millán (2009) para incluir a individuos vegetales que se estaban perdiendo en el formato original, pues los parámetros no incluían arbustos y árboles de talla más pequeña. Tales modificaciones son: en el estrato arbustivo se cambió el criterio de inclusión del diámetro a la altura del pecho (DAP a 1.30 m del suelo) de 2.5-9.9 cm a <3.18 cm, y se adicionó medir el diámetro basal ≥ 1.0 cm y la altura mayor a 1 m; en el estrato arbóreo se redujo el límite inferior de inclusión del DAP de 10 cm a 3.18 cm (equivalente a 10 cm de perímetro) y se adicionó calcular la cobertura de la copa y la altura de la primera ramificación importante. Por último, se consideró dividir las tres parcelas circulares concéntricas en cuatro cuadrantes para la toma de datos.

El muestreo de parcelas concéntricas del IFRI consistió en trazar dos líneas perpendiculares de 20 metros cada una con dos flexómetros. Utilizando una brújula la orientación del eje Y estuvo orientada de Sur a Norte y la coordenada X de Este a Oeste. De esta manera se formó una cruz de 10m de cada lado y a partir del centro se trazaron los círculos concéntricos con ayuda de estacas en la intersección del límite de cada círculo con los ejes (Figura 6). El centro de los círculos concéntricos se georreferenció con GPS Garmin Etrex 20, se tomaron fotos del área del muestreo desde el centro, cuidando no pisar las herbáceas del círculo de 1m de radio, y se prosiguió con la toma de datos de cada círculo, tomando en cuenta el orden de los cuadrantes, empezando siempre por el 1 y así sucesivamente. A continuación, se describen las formas de vida que se incluyeron en cada círculo y las variables que se registraron:

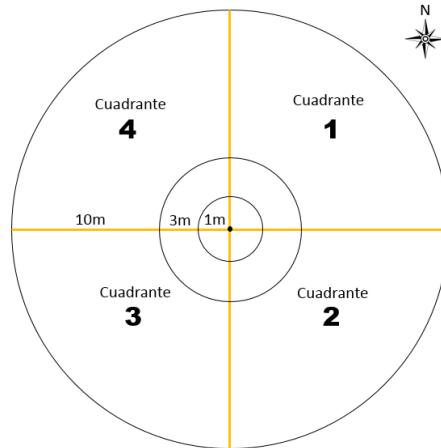


Figura 6. Esquema del método de muestreo de parcelas circulares concéntricas.

Parcela de 1m de radio: estrato herbáceo

En el círculo de 3.14 m² de superficie se midieron todas las hierbas y plántulas de árboles presentes en los cuatro cuadrantes sin pisarlas. El criterio de inclusión fue el diámetro basal < 1.0 cm. Se registró: 1) identidad con nombre científico o con morfoespecie, 2) cobertura en metros por medio de dos líneas perpendiculares (largo x ancho) y 3) altura en metros de cada individuo con ayuda de un flexómetro de metal.

Parcela de 3 m de radio: estrato arbustivo

En el círculo de 28.27 m² de superficie se midieron arbustos, árboles jóvenes y trepadores leñosos. Los criterios de inclusión fue el diámetro basal ≥ 1.0 cm y el diámetro a la altura del pecho (DAP) <3.18 cm. Se registró: 1) identidad, 2) diámetro basal del tronco en centímetros con un vernier, 3) cobertura del follaje en metros y 4) altura total en metros con un flexómetro.

Parcela de 10 m de radio: estrato arbóreo

En el círculo de 314.16 m² de superficie se cuantificaron arbustos, trepadoras leñosas y árboles. El criterio de inclusión fue el DAP ≥ 3.18 cm, equivalente a ≥ 10 cm de perímetro, a la altura del pecho (PAP) medido a 1.30 m del suelo. Se registró: 1) identidad, 2) perímetro a la altura del pecho en metros, 3) cobertura de la copa en metros usando un

flexómetro, 4) altura total del árbol, 5) altura al inicio de la copa reconociendo la primera ramificación importante, 6) posición del individuo en la unidad de muestreo anotando sus coordenadas en metros con respecto al eje X y Y de la parcela, tal como en un plano cartesiano, y 7) la forma de su copa, tronco, ramas principales y su orientación cartográfica por medio de un bosquejo para elaborar los perfiles de vegetación.

Para obtener la altura total y la altura al inicio de la copa de los árboles nos basamos en la fórmula del despeje del cateto opuesto de la razón trigonométrica de la tangente del ángulo A (Caballero, Martínez, y Bernardez, 1957; Anexo 2). Además, se colectaron ejemplares de plantas dentro de los muestreos. Por cada especie que aparecía por primera vez en los muestreos se colectó un ejemplar o varios, dependiendo de su disponibilidad, y se herborizaron mediante la técnica de Lot y Chiang (1986) para su posterior identificación taxonómica. Por otro lado, si ya se tenía colectado el ejemplar en muestreos o colectas previas sólo se anotaba el nombre y se proseguía con el muestreo.

Trabajo de gabinete

Para la identificación de los ejemplares botánicos se consultaron las siguientes claves taxonómicas especializadas: los fascículos de la Flora del Bajío y de regiones adyacentes (INECOL, 1975-2018), Flora fanerogámica del Valle de México (Rzedowski, J., y Calderón de Rzedowski, G. (Editores)., 2005), Flora de Veracruz (INECOL, 1975-2017), Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (Instituto de Biología, 1993-2012), Gramíneas de Coahuila (Valdés Reyna, 2015), incluyendo claves digitales como la de Hutchinson en el programa vegetal de Montero (Hutchinson, 1959) y FAMEX (Murguía-Romero, Villaseñor-Ríos, y Serrano-Estrada, 2015).

La determinación fue cotejada con fotografías digitales de tipos disponibles en sitios electrónicos como el Jardín Botánico de Missouri (Tropicos, 2020), Herbario Nacional de México (IBUNAM, 2020) y Herbario virtual de CONABIO (HCV, 2020). Se contó con el apoyo de taxónomos especialistas de la Facultad de Ciencias de la UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México) para la identificación de encinos, pinos, fabáceas, labiadas y euforbiáceas ya que algunos ejemplares carecían de estructura reproductiva o por la dificultad que presentaban para identificar a nivel de especie.

Se elaboró un listado florístico de las especies registradas en los muestreos (Anexo 3). Las especies se clasificaron por familias de acuerdo con la APG IV (APG IV, 2016) para las angiospermas, Christenhusz *et al.* (2011) para las gimnospermas y PPG I (2016) para las licofitas y helechos. Las autoridades nomenclaturales fueron designadas siguiendo las bases de datos de IPNI (2020), The Plant List (2013), POWO (2019) y Tropicos (2020).

Dentro de cada uno de los grupos, se muestra la secuencia alfabética para familias y especies. Para cada taxón se proporciona el estrato en el que fue registrado, las siglas de los colectores y sus números de colecta. Los vouchers de referencia fueron depositados en el Herbario de la BUAP (HUAP) y en el Herbario Nacional de México (MEXU), por otro lado, los vouchers que carecían de estructuras reproductivas o que son de poco valor para las colecciones se encuentran resguardados en la colección de plantas del Laboratorio de Ecología y Restauración de Sistemas Acuáticos y Terrestres de la Facultad de Ciencias Biológicas, BUAP.

4.3. Análisis de datos

Se verificaron las coordenadas de las unidades de muestreo y se ubicaron sobre el mapa topográfico del cerro en una imagen satelital por medio de Google Earth (2019). Así mismo se elaboró en una hoja de datos EXCEL® (Microsoft, 2013), la tabla con los datos de coordenadas geográficas, altitud, unidad topográfica, orientación de ladera y pendiente en grados de cada muestreo.

Composición florística del Cerro Zapotecas

Con base en la identificación de los ejemplares hallados en los muestreos se describió la composición florística del estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo. Para cada uno se indicó el número de especies (riqueza), géneros y familias, se mencionaron los ejemplares que sólo fueron reconocidos hasta género, se identificaron las familias con mayor abundancia de especies. Se señalaron las especies exclusivas para cada estrato y se indicaron las especies que se encontraron con mayor frecuencia entre los muestreos, es decir, se expresó el porcentaje del número de unidades de muestreo en los que apareció la

especie en relación con el número total de unidades de muestreo de cada estrato (Mateucci y Colma, 1982; Anexo 2).

Estructura cuantitativa

Con los datos obtenidos se determinaron el área basal, cobertura, densidad y frecuencia de acuerdo con el método establecido por Mateucci y Colma (1982) a través de hojas de cálculo de EXCEL[®] (Microsoft, 2013) para todos los individuos de cada unidad de muestreo y para cada especie dentro de cada muestreo. Estos valores se calcularon para los tres estratos, recalando que en el estrato herbáceo no se calculó el área basal. Estas variables se obtuvieron en valores absolutos y se analizaron en metros cuadrados (m²) y se extrapolaron a una hectárea (m² ha⁻¹). Para los valores de cobertura se obtuvieron porcentajes. En el anexo 2, se muestran las fórmulas empleadas.

A partir del procesamiento de los datos mencionados, se elaboraron tablas sintéticas de la información en hojas de cálculo en EXCEL[®] (Microsoft, 2013), en las que se muestran los valores totales de las variables cuantitativas por unidad de muestreo y por especie para cada estrato. Esta información sirvió para identificar los patrones de variación de la vegetación e interpretar las interrelaciones entre los componentes vegetales de los muestreos. Asimismo, se obtuvieron los valores de importancia relativa (VIR) para cada especie dentro de cada muestreo. En esta investigación se calculó el VIR sumando los valores relativos del área basal, cobertura, densidad y frecuencia (Anexo 2), como se calculó en la investigación de Saavedra-Millán (2009).

Caracterización de las comunidades vegetales

Con base en los criterios florísticos, fisonómicos y estructurales de las variables cuantitativas calculadas en cada muestreo del estrato arbóreo (área basal, cobertura, densidad [de individuos con diámetro a la altura del pecho ≥ 3.18 cm.], y valor de importancia relativo), se identificaron las asociaciones vegetales principales que habitan en el cerro con base a las especies dominantes (con el VIR más alto). Posteriormente se agruparon para definir las comunidades vegetales, denominándolas de acuerdo a la clasificación de vegetación de Rzedowski (1978). Los nombres científicos de las especies dominantes sirvieron para denominar a cada asociación. La composición herbácea,

arbustiva y arbórea de cada comunidad se describió gracias a la previa identificación de la flora y a su ordenamiento en bases de datos en EXCEL ® (Microsoft, 2013). Se elaboraron tablas sintéticas con los datos de las variables cuantitativas de cada comunidad en hojas de datos en EXCEL ® (Microsoft, 2013) para su posterior análisis.

Se calculó la diversidad verdadera de las comunidades (Jost, 2006) (diversidad alfa) mediante el uso de números efectivos de las especies, llamada qD (Jost, 2006) a través de la conversión de un índice común (índice de Shannon) (Anexo 2), en números efectivos, cuyos valores resultantes sí permiten elaborar una interpretación adecuada de la diversidad de especies de una comunidad (Jost y González-Oreja, 2012 y Moreno *et al*, 2011). Para ver conversiones de otros índices ver la tabla 1 de Jost (2006). Se empleó el programa Past 3.26 (Hammer, Harper y Ryan, 2001) para obtener los índices de Shannon y en EXCEL ® se aplicó la fórmula de Jost para obtener la diversidad (Anexo 2).

Se utilizó el índice de Sørensen (1948) (diversidad beta) (Anexo 2) para dilucidar las potenciales similitudes florísticas entre pares de comunidades vegetales y medir la heterogeneidad del paisaje a nivel del estrato arbóreo.

Para corroborar las diferencias de la composición florística entre las comunidades vegetales, incluyendo sólo a las especies del estrato arbóreo, se realizó un análisis multivariado de clasificación mediante el método de Ward, tal como lo realizó Escutia (2004). Éste es un método de agrupamiento jerárquico que consiste en que las unidades de muestreo se unen por medio de una función de similitud en grupos cada vez más grandes, mostrando así las relaciones entre los muestreos a través de un dendograma. Para este análisis se utilizó el programa Past 3.26 (Hammer, Harper y Ryan, 2001) y se agruparon los muestreos de acuerdo con el valor de importancia relativa de las especies arbóreas, empleando el índice de similitud euclidiano, usando como algoritmo el método de Ward.

Contribución de las especies a la estructura de la vegetación

Se describieron los valores estructurales de las especies más importantes de los tres estratos y de cada comunidad vegetal, es decir, se identificaron las especies que tuvieron los valores más altos de las variables cuantitativas. Así mismo, se calculó el valor de importancia relativa de las especies en cada estrato y en cada comunidad con el fin de estimar su contribución a la estructura de la vegetación del Cerro Zapotecas.

Estructura vertical y horizontal

Para conocer la estructura poblacional de la vegetación se analizaron los valores de alturas y de diámetros de los individuos del estrato arbóreo y arbustivo. Con estos datos se elaboraron histogramas de distribución de frecuencias de todas las especies del estrato arbustivo y arbóreo, de cada comunidad vegetal y de las especies más abundantes con más de 30 individuos. Se empleó la regla de Sturges (Sturges, 1926) para determinar el número de las clases adecuado para cada conjunto de datos. La amplitud de las clases se definió hallando el cociente del rango de los datos entre el valor de número de clases (Anexo 2).

Perfiles diagramáticos de vegetación

Para complementar el análisis de la estructura de la vegetación y permitir su comparación visual se elaboró un perfil de vegetación por cada tipo de comunidad vegetal, mostrando los individuos arbóreos con $DAP \geq 3.18$ cm, y eligiendo el muestro con mayor número de especies. Para su elaboración se emplearon: inclinación de la pendiente del terreno, las coordenadas X y Y registradas para cada individuo arbóreo que reflejan los puntos de su enraizamiento en el muestreo, los datos de sus coberturas para determinar los anchos de las copas, las alturas de la primera ramificación y la total de cada árbol, y los esquemas de la forma del tronco y de la orientación y forma de la copa.

Estado de conservación del cerro

Con la información generada, se elaboró una tabla comparativa con valores estructurales de otros bosques de pino, pino-encino, encino-pino, encino y de eucalipto del país para conocer el estado estructural actual de las comunidades vegetales que conforman el

cerro. Además, se tomó en cuenta la interpretación de la información de los histogramas de distribución de frecuencias para conocer el grado de reclutamiento de los individuos. También se describió la degradación de cada comunidad vegetal con base en la composición de las especies, por ello se indagó la siguiente información para las especies halladas dentro de los muestreos y de algunas fuera de éstos: estatus migratorio, estado ruderal o arvense, registro en la lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2018 b) y de la IUCN (2020) (CONABIO, 2019; Espinosa-García y Sarukhán, 1997; Heike, 2012; IPNI, 2020; POWO, 2019; Villaseñor y Espinosa-García, 2004; Villaseñor, 2016).

También se identificaron señales de impacto antrópico como: senderos y veredas en los bosques, extracción de leña, rastros de incendios, fogatas, campos de cultivo, presencia de ganado e infraestructura en cada comunidad vegetal. Con la integración de esta información se identificó el grado de conservación aproximado de la vegetación del cerro, calificando el estado de conservación de la vegetación como vegetación primaria (conservada) o secundaria (perturbada) (Challenger y Dirzo, 2009), con diferentes grados de perturbación (bosque poco degradado, medianamente degradado, degradado, sustituido por matorrales sucesionales, y transformado [Navarro *et al.* 2008]).

Propuestas de conservación

Se elaboró una lista con las especies nativas de la vegetación del cerro para que se tomen en cuenta en posteriores proyectos de reforestación y restauración, como también sugerencias técnicas para llevar a cabo dichas actividades e indicando cuáles son las áreas más vulnerables y que merecen mayores esfuerzos para conservar.

5. RESULTADOS

Ubicación y caracterización ambiental de las unidades de muestreo

En el periodo de junio de 2017 a abril de 2019 se efectuaron 53 salidas de campo para coleccionar ejemplares botánicos y se realizaron 39 unidades de muestreo circulares concéntricas (Figura 7) en los estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo distribuidos en los 220 m de gradiente altitudinal del cerro con presencia de vegetación sin disturbio aparente en laderas y cañadas. En la tabla 2 se muestran algunas características topográficas de cada unidad de muestreo. Se cubrió una superficie total de 12252.21 m² (1.22 ha) para el estrato arbóreo, 1102.69 m² (0.11 ha) para el estrato arbustivo y 122.52 m² (0.01 ha) para el estrato herbáceo, lo que suma un total de 1.347742 ha.

El gradiente altitudinal de 220 m que componen al cerro, se dividió entre tres para reconocer los intervalos altitudinales que corresponden a las laderas y cañadas bajas, medias y altas (Tabla 3). En el intervalo altitudinal de 2234-2308 msnm, que corresponde a las laderas y cañadas medias, se ubicaron la mayor cantidad de muestreos. Por otro lado, las orientaciones de ladera en las que se ubicaron la mayoría de los muestreos fueron la Noroeste, Norte y Sureste (Tabla 4), lo cual es un indicio que la vegetación predomina en estas regiones tal como se puede corroborar visualmente con el mapa satelital de Google Earth (Figura 7). La pendiente más baja fue de 7° en una ladera y la más alta de 47° en una cañada, sin embargo, el promedio fue de 20.18° (Tabla 2).

Composición florística del Cerro Zapotecas

Se registraron 128 especies de plantas en el cerro (Anexo 3). De las cuales, 121 especies corresponden a las encontradas en los muestreos, y pertenecen a 37 familias y a 92 géneros. Sin embargo, de los 121 registros, 100 se determinaron hasta nivel de especie y las restantes se identificaron hasta nivel de género. Las familias que predominaron con mayor número de especies fueron: Asteraceae (21), Fabaceae (18) y Poaceae (16) (Anexo 3). Por estrato la composición específica fue la siguiente:

Tabla 2. Ubicación y características geográficas de los sitios de muestreo en el Cerro Zapotecas.

Unidad de Muestreo	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m.)	Unidad topográfica	Orientación de ladera	Pendiente (grados)
	x (m)	y (m)				
1	569853	2107920	2195	Ladera baja	SE	11°
2	569161	2109264	2267	Ladera media	NE	9°
3	569621	2108763	2239	Ladera media	E	7°
4	568801	2109907	2245	Ladera media	N	40°
5	569581	2108120	2248	Ladera media	SE	11°
6	569422	2108077	2227	Ladera baja	SE	11°
7	569771	2108021	2176	Ladera baja	SE	13°
8	568760	2109316	2367	Ladera alta	N	17°
9	568677	2108680	2269	Ladera media	S	10°
10	568284	2109664	2312	Ladera alta	NO	12°
11	568202	2109734	2281	Ladera media	NO	16°
12	569719	2107861	2222	Ladera baja	SE	7°
13	569593	2107948	2233	Ladera baja	SE	10°
14	568780	2109066	2305	Ladera media	S	23°
15	570112	2108865	2185	Ladera baja	E	21°
16	569033	2109087	2287	Ladera media	SE	10°
17	568884	2109154	2322	Ladera alta	SE	28°
18	568896	2110008	2207	Ladera baja	N	14°
19	568667	2109872	2275	Ladera media	N	26°
20	568365	2109801	2261	Ladera media	NO	22°
21	568172	2109866	2230	Ladera baja	NO	18°
22	567953	2109561	2266	Ladera media	NO	16°
23	568837	2109381	2348	Ladera alta	N	21°
24	568842	2109204	2361	Ladera alta	SE	21°
25	569277	2109527	2224	Cañada baja	NE	26°
26	569109	2109492	2267	Cañada media	NE	47°
27	568826	2109488	2320	Cañada alta	N	41°
28	568832	2109758	2223	Cañada baja	N	30°
29	568694	2109648	2358	Cañada alta	N	32°
30	567792	2109600	2225	Cañada baja	NO	39°
31	567935	2109490	2266	Cañada media	NO	26°
32	567985	2109471	2275	Cañada media	NO	28°
33	568128	2109765	2263	Cañada media	NO	27°
34	568212	2109660	2298	Cañada media	NO	14°
35	568253	2109506	2321	Ladera alta	NO	17°
36	568329	2109722	2312	Ladera alta	NO	25°

Tabla 2. Continuación

Unidad de Muestreo	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m.)	Unidad topográfica	Orientación de ladera	Pendiente (grados)
	x (m)	y (m)				
37	568315	2109782	2288	Ladera media	NO	22°
38	568545	2109726	2290	Ladera media	N	7°
39	568608	2109546	2330	Ladera alta	N	12°

N: Norte, **NO:** Noroeste, **NE:** Noreste, **S:** Sur, **SO:** Suroeste, **SE:** Sureste.

Tabla 3. Muestreo por unidad topográfica en el Cerro Zapotecas.

Unidad topográfica	Altitud (msnm)	Número de muestreos
Ladera baja	2160-2234	8
Ladera media	2234-2308	13
Ladera alta	2308-2380	8
Cañada baja	2160-2234	3
Cañada media	2234-2308	5
Cañada alta	2308-2380	2

Tabla 4. Muestreos por orientación de ladera en el Cerro Zapotecas.

No. de muestreos	Orientación de ladera							
	Norte	Sur	Este	Oeste	Noroeste	Noreste	Sureste	Suroeste
	10	2	2	0	13	3	9	0

La composición florística del estrato herbáceo se constituye por 102 especies, de las cuales sólo se determinaron 84, y las restantes se determinaron a nivel de género. Las familias con mayor abundancia de especies fueron: Asteraceae, con 17 especies; Poaceae con 16 y Fabaceae con 13. Otras familias menos numerosas, pero también importantes, fueron Pteridaceae con cinco especies, y Rubiaceae, Euphorbiaceae y Solanaceae con cuatro especies cada una. Por otro lado, las especies que se encontraron con mayor frecuencia entre los muestreos fueron: *Muhlenbergia capillaris* (51%), *Cologania broussonetti* y *Euphorbia adiantoides* (38%), *Setaria parviflora* (36%),

Elionurus barbiculmis (33%), *Verbesina virgata* (28%), *Salvia lavanduloides* y *Trachypogon spicatus* (26%) y *Bouvardia ternifolia*, *Cyperus manimae*, *Loeselia mexicana* y *Stevia serrata* (23%).

Se hallaron siete especies de plántulas arbóreas: *Crataegus mexicana*, *Juniperus deppeana*, *Pinus devoniana*, *Pinus leiophylla*, *Prunus serotina*, *Quercus glabrescens* y *Quercus laeta*. Para este estrato 67 especies fueron exclusivas (Anexo 3).

En el estrato arbustivo todas las especies correspondieron a arbustos y árboles jóvenes, ninguna a bejucos. La composición florística fue de 45 especies, 27 géneros y 20 familias (Anexo 3). Debido a que cinco individuos no contaban con estructuras reproductivas sólo se reconocieron hasta género (*Acacia*, *Coursetia*, *Lysiloma sp. 2*, *Lysiloma sp. 3*, y *Mimosa sp. 3*). Las familias con más abundancia de especies fueron tres: Asteraceae con 10 especies (*Acourtia cordata*, *Bidens odorata*, *Chromolaena pulchella*, *Dahlia coccinea*, *Lagascea rigida*, *Sonchus oleraceus*, *Stevia aff. organoides*, *Stevia serrata*, *Tithonia tubaeformis* y *Verbesina virgata*), Fabaceae con nueve especies (*Acacia sp.*, *Acaciella angustissima*, *Brongniartia intermedia*, *Calliandra houstoniana var. anomala*, *Coursetia sp.*, *Eysenhardtia aff. polystachya*, *Lysiloma sp. 2*, *Lysiloma sp. 3*, *Mimosa sp. 3*) y Fagaceae con cinco especies (*Quercus deserticola*, *Q. glabrescens*, *Q. glaucoides*, *Q. laeta* y *Q. obtusata*). Las especies exclusivas de este estrato fueron 10 (*Acacia sp.*, *Acaciella angustissima*, *Chromolaena pulchella*, *Dahlia coccinea*, *Eryngium columnare*, *Oenothera anomala*, *Lagascea rigida*, *Mimosa sp. 3*, *Ricinus communis* y *Solanum pubigerum*). Las especies que se encontraron con mayor frecuencia entre los muestreos fueron: *Verbesina virgata* (38%), *Brongniartia intermedia* (33%), *Eucalyptus camaldulensis* y *Calliandra houstoniana var. anómala* (18%). Se hallaron once especies de árboles: *Arbutus xalapensis*, *Crataegus mexicana*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Ipomoea murucoides*, *Juniperus deppeana*, *Prunus serotina*, *Quercus deserticola*, *Quercus glabrescens*, *Quercus glaucoides*, *Quercus laeta* y *Quercus obtusata*.

En el estrato arbóreo la composición florística fue de 18 especies, 12 géneros y 11 familias (Anexo 3). Los ejemplares fueron identificados hasta especie, sin embargo, sólo se reconocieron hasta género un individuo de *Quercus* y un individuo de *Coursetia*. La

familia con mayor número de especies fue Fagaceae con cinco especies (*Quercus glabrescens*, *Q. laeta*, *Q. obtusata*, *Q. deserticola*, *Q. glaucooides*), seguida de Pinaceae con tres especies (*Pinus leiophylla*, *P. devoniana*, *P. pseudostrobus*). Para este estrato las especies de *Montanoa leucantha subsp. arborescens* y *Pinus pseudostrobus* fueron las únicas exclusivas, y las especies que se encontraron con mayor frecuencia entre los muestreos fueron: *Arbutus xalapensis* (46%), *Eucalyptus camaldulensis* (38%), *Pinus leiophylla* (31%), *Juniperus deppeana* (28%) y *Quercus glabrescens* (26%).

Estructura cuantitativa de cada estrato, especies estructuralmente importantes y su estructura vertical y horizontal

Estructura del estrato herbáceo

Todos los muestreos presentaron individuos de especies herbáceas. Se registraron un total de 1,986 individuos pertenecientes a 102 especies. La riqueza de especies por sitio fluctuó entre 3 y 18. El porcentaje de cobertura total del estrato fue de 3,480%, por otro lado, entre los muestreos el valor máximo de cobertura fue de 203%, en contraste con el 6% de cobertura registrado en un muestreo (Tabla 5). Respecto a las alturas registradas, los individuos más altos encontrados fueron los siguientes, siendo en su mayoría pastos: *Trachypogon spicatus*, *Muhlenbergia sp. 2*, *Setaria parviflora*, *Salvia lavanduloides*, *Muhlenbergia capillaris*, *Piptochaetium fimbriatum*, *Brongniartia intermedia* y *Verbesina virgata*, superando los 1.2 m de altura.

En este estrato se hallaron siete especies de plántulas arbóreas. En siete unidades de muestreo se registró una especie de plántula, mientras que sólo en cuatro muestreos se registraron un máximo de dos especies. Por otro lado, el número total de individuos de plántulas registrados en este estrato fue de 39 (Tabla 6).

Tabla 5. Resumen de las variables estructurales cuantitativas del estrato herbáceo en el Cerro Zapotecas.

UM	N sp	N	Np	C (%)	Intervalo de altura (m)
1	9	60	0	166%	0.05 -0.67
2	9	50	0	122%	0.12 -1.12
3	9	44	0	62%	0.04 -1.12

Tabla 5. Continuación

UM	N sp	N	Np	C (%)	Intervalo de altura (m)
4	11	62	2	61%	0.01
5	14	78	0	106%	0.01
6	7	33	0	42%	0.03
7	4	34	0	32%	0.04
9	10	65	0	135%	0.05 -1.2
8	8	46	0	36%	0.05 -0.96
10	12	82	1	30%	0.01 -0.55
11	12	50	0	136%	0.01 -1.3
12	10	65	0	149%	0.01 -1.6
13	9	41	1	140%	0.05 -1.52
14	7	22	0	201%	0.2 -1.2
15	9	76	0	155%	0.04 -1.46
16	7	170	0	203%	0.17 -0.94
17	7	52	0	126%	0.12 -1.15
18	18	119	2	141%	0.01 -1.05
19	18	88	2	145%	0.02 -1.11
20	14	45	0	143%	0.02 -1.17
21	15	47	1	104%	0.03 -1.12
22	13	60	0	96%	0.01 -1.1
23	16	81	1	80%	0.03 -0.66
24	7	39	0	122%	0.08 -1.12
25	7	13	0	19%	0.002 -0.7
26	5	40	2	47%	0.05 -1.37
27	9	38	0	45%	0.005 -1.16
28	9	26	1	27%	0.02 -0.5
29	11	40	0	28%	0.01 -0.93
30	9	30	1	21%	0.02 -0.78
31	5	17	0	66%	0.005 -0.95
32	7	31	0	50%	0.05 -1.16
33	4	26	0	151%	0.08 -1.5
34	8	19	1	17%	0.01 -1.3
35	7	24	0	6%	0.06 -0.85
36	9	22	0	94%	0.09 -1.2
37	3	7	0	67%	0.24 -0.95
38	6	91	0	57%	0.02 -0.72
39	7	53	0	54%	0.02 -1.32
Total	102	1986	7	3480%	0.002 -1.6

UM: Unidad de muestro, **N sp:** Número de especies, **N:** Número de individuos, **Np:** Número de especies de plántulas, **C:** Cobertura, **D:** Densidad. En **negritas** valores máximos.

Tabla 6. Número de individuos por especie de plántula arbórea hallados en las unidades de muestreo.

UM	Especie	N
4	<i>Pinus leiophylla</i>	4
4	<i>Prunus serotina</i>	1
10	<i>Pinus leiophylla</i>	2
13	<i>Prunus serotina</i>	2
18	<i>Pinus devoniana</i>	2
18	<i>Prunus serotina</i>	1
19	<i>Pinus leiophylla</i>	3
19	<i>Quercus glabrescens</i>	1
21	<i>Pinus leiophylla</i>	1
23	<i>Juniperus deppenana</i>	4
26	<i>Quercus glabrescens</i>	1
26	<i>Quercus laeta</i>	3
28	<i>Quercus glabrescens</i>	1
30	<i>Crataegus mexicana</i>	3
34	<i>Quercus aff. glabrescens</i>	10
Total		39

UM: Unidad de muestro, N: Número de individuos.

Especies estructuralmente importantes del estrato herbáceo

En la tabla 7, se muestran las especies que obtuvieron los valores más altos de las variables cuantitativas y de los valores de importancia relativa (VIR) en todo el estrato herbáceo. Las especies con mayor número de individuos fueron *Euphorbia adiantoides* (297) y *Muhlenbergia capillaris* (138). La especie con el registro más alto fue *Trachypogon spicatus* (1.6 m), asimismo, esta especie junto con *Muhlenbergia capillaris* obtuvieron los mayores valores de porcentaje de cobertura (463% y 713%, respectivamente). La especie más densa fue *Euphorbia adiantoides* (904,004 ind/ha⁻¹), mientras que *Muhlenbergia capillaris* fue la que obtuvo el valor más alto de VIR (la especie con los mayores valores en color fuerte y las de menor valor en degradado).

Tabla 7. Contribución a la estructura cuantitativa de las especies más importantes del estrato herbáceo.

No	Especie	N	Intervalo altura (m)	C (%)	D (ind/ha)	Cr	Dr	Fr	VIR
1	<i>Muhlenbergia capillaris</i>	138	0.08-1.32	713%	426537	7.26	2.96	3.09	13.31
2	<i>Euphorbia adiantoides</i>	297	0.01-1.16	333%	904004	3.39	3.94	2.54	9.88
3	<i>Trachypogon spicatus</i>	82	0.1-1.6	463%	261014	3.71	1.61	1.44	6.76
4	<i>Cologania broussonetti</i>	88	0.01-0.95	92%	241919	1.53	1.93	2.13	5.59
5	<i>Setaria parviflora</i>	97	0.04-1.46	279%	267384	2.02	1.26	1.66	4.94
6	<i>Elionurus barbiculmis</i>	60	0.05-1.1	224%	190986	1.87	1.35	1.62	4.85
Especies restantes (96)		1224	0.002-1.5	1375%	4029790	19.22	25.94	26.51	71.67
Total de especies (102)		1986	0.002-1.6	3480%	6321634	39	39	39	117

N: número de individuos por especie, **C:** cobertura, **D:** densidad, **Cr:** cobertura relativa, **Dr:** densidad relativa, **Fr:** frecuencia relativa, **VIR:** valor de importancia relativa.

Estructura del estrato arbustivo

En este estrato se registraron un total de 228 individuos y 45 especies. En seis unidades de muestreo no se encontró ninguna especie, por otro lado, el número máximo de especies encontradas fueron ocho en un muestreo, mientras que en seis muestreos sólo se encontraron individuos de una especie que incluyeron a: *Eucalyptus camaldulensis*, *Calliandra anómala*, *Verbesina virgata*, *Chromolaena pulchella* e *Iresine cassiniiformis*.

El área basal correspondiente a los 359 tallos registrados en todo el estrato fue de 32.93 m²ha⁻¹, con un intervalo de 0.03 m²ha⁻¹ a 3.57 m²ha⁻¹ entre muestreos. La cobertura total del estrato fue de 463%. En todos los sitios la cobertura no excedió el 50% de la superficie a muestrear, siendo el valor mínimo registrado de 0.000355%. La altura de los individuos fluctuó entre 0.2 m a 5.1 m, cuyo último valor correspondió a un individuo de la especie de *Crataegus mexicana*. La densidad total fue de 80,639 ind/ha⁻¹, con un intervalo que va de 354 ind/ha⁻¹ a 7,074 ind/ha⁻¹ (Tabla 8).

Tabla 8. Resumen de las variables estructurales cuantitativas del estrato arbustivo.

UM	N sp.	N	AB (m ² ha ⁻¹)	C (%)	D (ind/ha)	Intervalo de altura (m)
1	2	2	0.13	0.9%	707	0.96 -1.9
2	1	3	1.06	10.7%	1061	2.42 -2.96
3	1	1	0.27	1.0%	354	- -0.55
4	5	6	0.37	7.4%	2122	0.32 -1.26
5	0	0	-	-	-	-
6	2	2	1.12	0.0%	707	1.6 -2.46
7	0	0	-	-	-	-
8	5	20	1.27	21.7%	7074	0.8 -1.7
9	1	1	0.03	0.6%	354	- -1.25
10	2	7	0.85	19.3%	2476	1.25 -2.2
11	1	5	1.02	21.6%	1768	1.57 -2.3
12	1	4	0.24	6.5%	1415	1.23 -1.63
13	2	2	0.10		707	1.1 -1.36
14	4	6	3.57	21.2%	2122	0.65 -3.26
15	7	18	1.08	26.6%	6366	0.37 -1.9
16	0	0	-	-	-	-
17	2	2	0.26	8.5%	707	1.43 -2.7
18	4	7	0.25	3.5%	2476	0.63 -2.04
19	3	6	0.26	3.4%	2122	1.01 -2.1
20	4	9	0.50	8.1%	3183	0.6 -2.2
21	4	4	0.22	3.2%	1415	0.5 -1.37
22	3	3	0.94	4.1%	1061	- -1.7
23	7	18	3.00	44.8%	6366	0.5 -2.07
24	0	0	-	-	-	-
25	8	12	0.99	31.5%	4244	0.6 -1.94
26	6	10	1.98	39.1%	3537	0.215 -2.1
27	4	5	0.61	5.6%	1768	0.5 -2.2
28	4	7	2.80	21.3%	2476	1 -2.8
29	6	17	2.89	48.5%	6013	0.5 -2.7
30	6	11	1.59	37.4%	3890	0.57 -5.1
31	1	3	3.17	19.1%	1061	1.6 -3.3
32	3	5	0.39	1.1%	1768	0.2 -2
33	5	6	0.66	14.0%	2122	0.96 -2
34	4	4	0.35	7.9%	1415	1.42 -2.3
35	5	7	0.38	6.5%	2476	0.42 -1.7
36	2	9	0.43	9.5%	3183	1.2 -1.77
37	2	6	0.17	7.4%	2122	0.87 -2.05
38	0	0	-	-	-	-
39	0	0	-	-	-	-

Total	45	228	32.93	463%	80639	0.2	-5.1
--------------	-----------	------------	--------------	-------------	--------------	------------	-------------

UM: Unidad de muestro, **N sp.:** Número de especies, **N:** Número de individuos, **AB:** Área basal, **C:** Cobertura, **D:** Densidad.

Estructura vertical y horizontal del estrato arbustivo

En la figura 8 se muestra el histograma de distribución de frecuencias de las alturas de todos los individuos del estrato arbustivo (estructura vertical). En el eje horizontal se muestran nueve clases o intervalos de altura, y están rotulados con los valores de límite inferior de cada clase. La amplitud de clase fue de 0.55. En el eje vertical se muestran los porcentajes de frecuencia que obtuvo cada clase por medio de las dimensiones de cada barra rectangular. Las primeras clases abarcan los intervalos de altura más bajos, mientras que las últimas, los valores de altura más altos, hasta llegar a la última clase cuyo intervalo de altura fue de 4.6 a 5.1 m.

La forma de la gráfica es asimétrica, debido a que las primeras categorías tienen altos valores de porcentaje de frecuencia, lo cual se ve reflejado en la segunda y tercera barra que muestran alrededor de 35% de frecuencia cada una, y cuyos valores sumados representan el 67% de todos los individuos arbustivos, lo que significa que ese porcentaje de individuos tienen entre 0.7 a 1.8 m de altura.

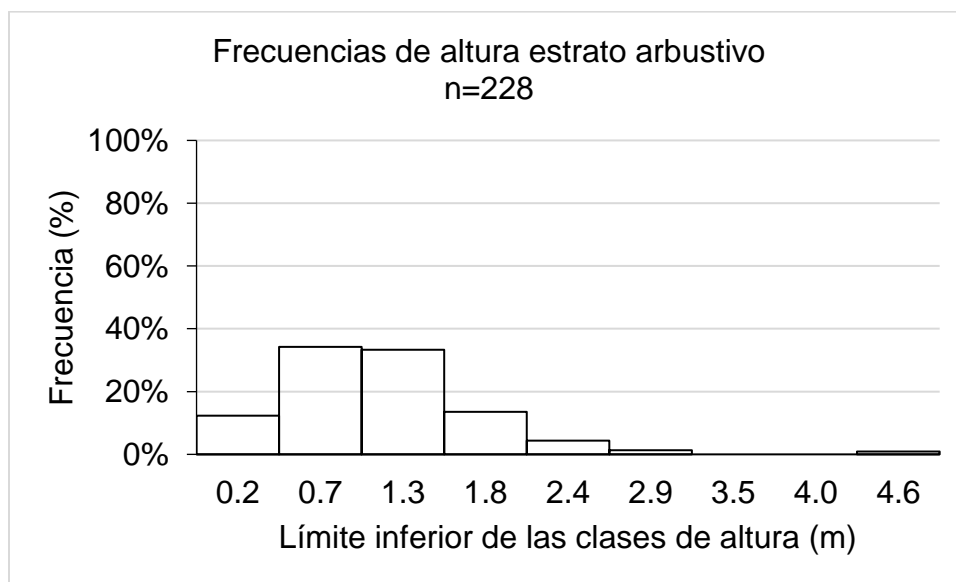


Figura 8. Distribución de frecuencias de alturas de todos los individuos del estrato arbustivo. n= número de individuos.

En la figura 9 se muestra el histograma de distribución de frecuencias de los diámetros basales de todos los individuos del estrato arbustivo (estructura horizontal), con un valor de amplitud de 1.0. La gráfica es notoriamente asimétrica, ya que la primera categoría, que corresponde al intervalo de clase de 1.0 a 2.1 cm, incluye al 85% de los individuos. Por otro lado, la última categoría sólo contiene el 0.3% de los individuos, es decir, sólo un individuo obtuvo un valor de diámetro basal mayor a 10.1 cm, que corresponde a *Eucalyptus camaldulensis*. La gráfica muestra que con el aumento del diámetro basal disminuye drásticamente la frecuencia, dando lugar a una gráfica de “J” invertida.

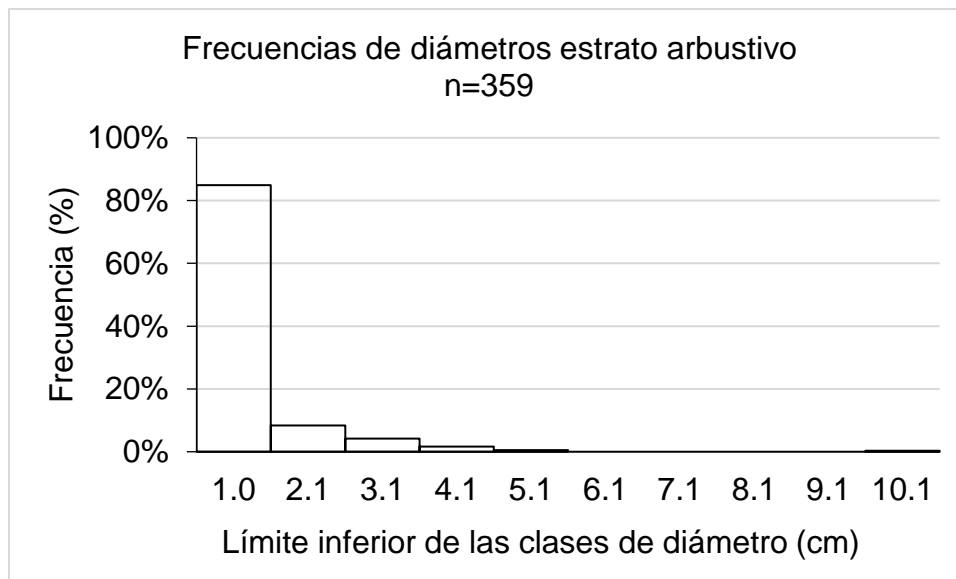


Figura 9. Distribución de frecuencias de diámetros basales de todos los individuos del estrato arbustivo. n= número de individuos.

Especies estructuralmente importantes del estrato arbustivo

En la tabla 9 se muestra el resumen de las especies importantes del estrato arbustivo, y entre ellas destacan *Eucalyptus camaldulensis*, ya que fue la especie con el mayor valor de área basal ($6.21 \text{ m}^2/\text{ha}^{-1}$), seguida de *Verbesina virgata* ($4.25 \text{ m}^2/\text{ha}^{-1}$) e *Iresine cassiniiformis* ($3.55 \text{ m}^2/\text{ha}^{-1}$); *Verbesina virgata* obtuvo el valor más alto de densidad ($15,562 \text{ ind}/\text{ha}$), seguida de *Brongniartia intermedia* ($10,864 \text{ ind}/\text{ha}^{-1}$); las especies con los porcentajes de cobertura más altos también fueron *Verbesina virgata* (103%) y *Brongniartia intermedia* (62%). Los individuos más altos que sobrepasaron los 3 m de altura fueron: *Eucalyptus camaldulensis* e *Iresine cassiniiformis* (3.3 m) y *Crataegus*

mexicana (5.1 m). Las especies con los valores de importancia relativa más elevados también se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Contribución a la estructura cuantitativa de las especies más importantes del estrato arbustivo.

No	Especie	N	AB (m ² ha ⁻¹)	D (ind/ha)	C (%)	Intervalo altura (m)	Abr	Cr	Dr	Fr	VIR
1	<i>Verbesina virgata</i>	44	4.25	15562	103%	0.63-2.3	5.99	7.45	6.25	6.19	25.87
2	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	9	6.21	3183	30%	0.55-3.3	5.56	4.99	3.72	3.77	18.05
3	<i>Brongniartia intermedia</i>	31	2.60	10964	62%	0.65-2.7	2.36	2.93	3.02	2.90	11.21
4	<i>Calliandra houstoniana</i> var. <i>anomala</i>	9	0.31	3183	5%	0.77-1.4	1.80	1.67	2.81	2.79	9.07
5	<i>Cestrum aurantiacum</i>	15	1.50	5305	20%	0.86-2.3	2.40	1.81	1.70	1.58	7.48
6	<i>Iresine cassiniiformis</i>	6	3.55	2122	28%	1.2-3.3	1.24	1.25	1.27	1.25	5.01
Especies restantes (39)		114	14.51	40319	215%		13.66	12.89	14.24	14.5	55.312
Total de especies (45)			32.93	80639	463%		33	33	33	33	132

N: número de individuos por especie, **AB:** área basal, **D:** densidad, **C:** cobertura, **Abr:** área basal relativa, **Cr:** cobertura relativa, **Dr:** densidad relativa, **Fr:** frecuencia relativa, **VIR:** valor de importancia relativa.

Estructura poblacional de las especies más abundantes del estrato arbustivo

Las especies *Verbesina virgata* y *Brongniartia intermedia* fueron las únicas con más de 30 individuos en el estrato arbustivo (Figura 10). Su estructura poblacional muestra que la mayoría de los individuos de *Verbesina virgata* presentaron una altura de 1.11 a 1.82 m (75%), y se puede observar en la mayor frecuencia de las categorías intermedias del histograma. Respecto a la distribución de frecuencia de los diámetros de esta misma especie, la primera clase muestra el mayor porcentaje, es decir que el 62% de los individuos presentaron ramas de entre 1 y 1.2 cm de diámetro basal, sin embargo, se registró un valor máximo de 2.6 cm, cuyo valor se muestra con 1% en la última categoría de la gráfica.

La distribución de frecuencias de los diámetros basales de *Brongniartia intermedia*, igualmente presentaron una mayor concentración en la primera clase, pero los individuos quedaron repartidos más equitativamente entre las clases restantes. A comparación de

Verbesina virgata, las alturas de los individuos de *Brongniartia intermedia* mostraron que las primeras categorías fueron las más abundantes, ya que 77% de los individuos presentaron una altura de entre 0.7 y 1.7 m.

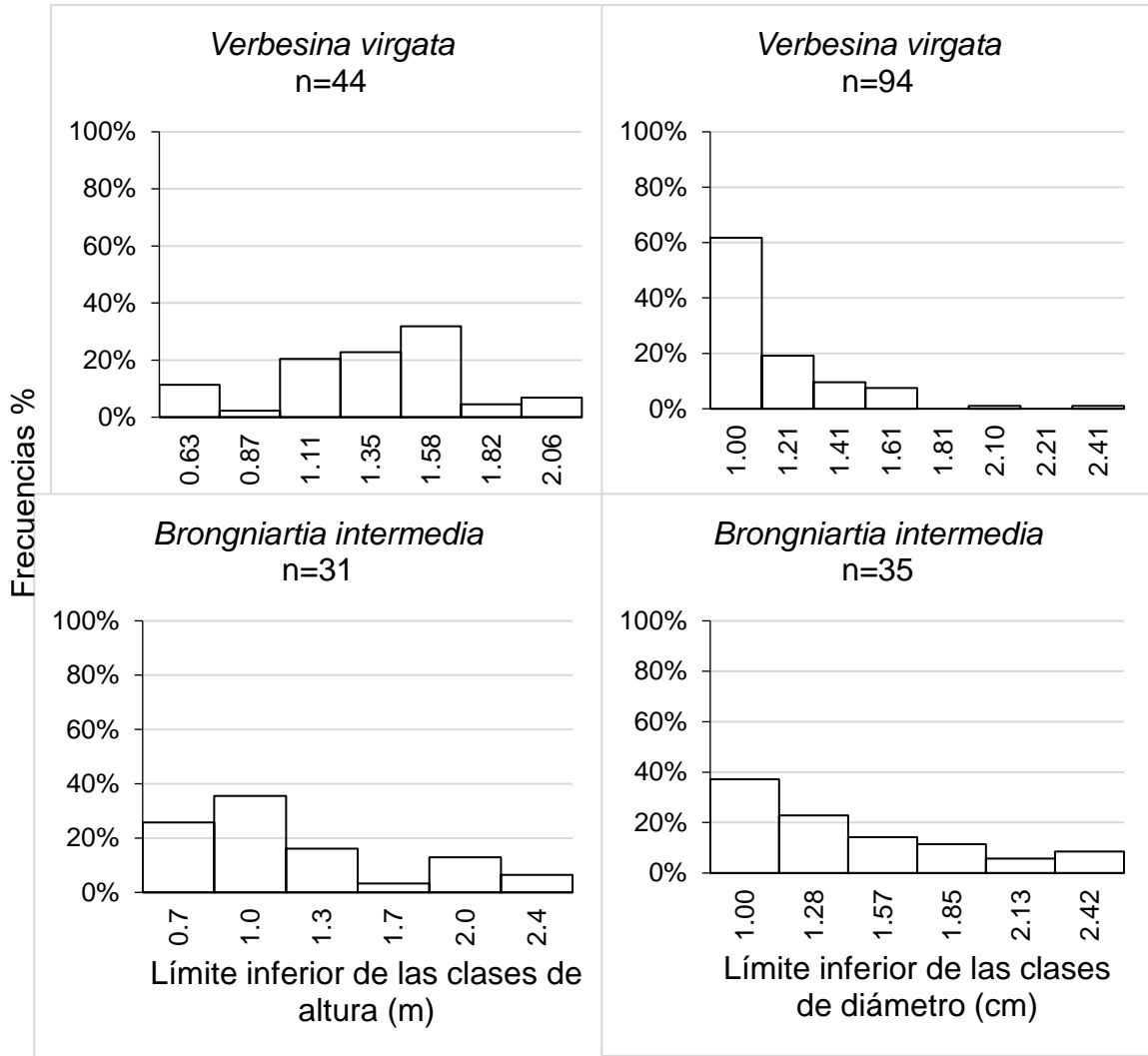


Figura 10. Distribuciones de frecuencia de las alturas y diámetros basales de las especies más abundantes del estrato arbustivo. n= número de individuos.

Estructura del estrato arbóreo

Se registraron un total de 376 individuos correspondientes a 18 especies. La riqueza entre los muestreos fue variable con un intervalo de una a seis especies. En 11 muestreos sólo se registró a la especie de *Eucalyptus camaldulensis*, mientras que en dos muestreos se

registró una especie de pino (*Pinus devoniana* y *Pinus leiophylla* respectivamente). El único sitio de muestreo con el número máximo de especies registradas (seis) corresponden a *Arbutus xalapensis*, *Crataegus mexicana*, *Juniperus deppeana*, *Quercus desertícola*, *Quercus glabrescens* y *Quercus obtusata* estuvo ubicado en una cañada con bosque de encino. En la tabla 10 se muestra el resumen de las variables estructurales de este estrato.

La suma total del área basal de los 487 troncos registrados en todos los muestreos fue de 674.09 m²ha⁻¹, con un intervalo de 2.42 m²ha⁻¹ a 37.45 m²ha⁻¹ entre los sitios. La cobertura total del estrato fue de 3,182%, entre muestreos ésta fluctuó de 2% a 188%, cuyo valor mínimo correspondió a un muestreo de plantación de *Eucalyptus camaldulensis*, y el máximo a un muestreo con individuos de *Pinus devoniana*. Por otro lado, en once muestreos la cobertura excedió el 100% de la superficie muestreada. El intervalo de altura del dosel fue de 1.54 m a 28.91 m, cuyos valores corresponden respectivamente a un individuo de *Arbutus xalapensis* y a *Eucalyptus camaldulensis*. Por otro lado, el intervalo de diámetro de todo el dosel fue de 3.18 a 71.3 cm, cuyo valor máximo correspondió a un individuo de *Pinus leiophylla*. La densidad total fue de 11,968 ind/ha, con un intervalo entre muestras de 64 ind/ha⁻¹ y 668 ind/ha⁻¹, cuyo mínimo y máximo corresponden a plantaciones de *Eucalyptus camaldulensis*.

Tabla 10. Resumen de las variables estructurales cuantitativas del estrato arbóreo.

UM	N sp.	N	AB (m ² ha ⁻¹)	C (%)	D (ind/ha ¹)	Intervalo de altura (m)	Intervalo DAP (cm)
1	1	12	16.48	77%	382	9.60 - 18.14	3.18 - 32.47
2	1	2	2.42	2%	64	4.68 - 20.70	4.93 - 30.24
3	1	9	12.74	48%	286	4.26 - 22.95	4.58 - 36.29
4	3	12	23.49	155%	382	2.70 - 15.76	3.88 - 54.11
5	1	9	18.31	53%	286	6.19 - 19.98	10.35 - 35.33
6	2	12	20.01	154%	382	6.49 - 18.64	6.53 - 42.97
7	3	21	33.19	93%	668	4.00 - 28.91	3.50 - 41.70
8	3	10	30.62	160%	318	3.00 - 16.64	3.21 - 54.11
9	1	5	11.63	34%	159	7.93 - 18.02	7.00 - 50.93
10	3	7	19.57	105%	223	7.10 - 17.42	7.96 - 39.15
11	2	8	20.24	105%	255	4.86 - 17.61	14.32 - 43.93
12	1	8	9.79	36%	255	4.83 - 19.29	7.80 - 35.01
13	1	11	14.68	62%	350	4.40 - 21.06	4.14 - 34.70

Tabla 10. Continuación.

UM	N sp.	N	AB (m ² ha ⁻¹)	C (%)	D (ind/ha)	Intervalo de altura (m)	Intervalo DAP (cm)
14	1	15	25.49	104%	477	4.50 - 25.06	4.77 - 41.38
15	2	16	22.96	86%	509	4.19 - 24.66	3.50 - 58.89
16	1	10	22.14	62%	318	7.66 - 27.23	14.80 - 40.11
17	1	10	16.11	59%	318	2.53 - 19.04	3.50 - 46.22
18	1	6	37.45	188%	191	22.21 - 26.53	42.97 - 57.04
19	4	9	19.27	76%	286	7.05 - 14.30	9.23 - 38.04
20	2	20	16.84	54%	637	1.54 - 16.02	4.62 - 31.19
21	3	6	29.89	159%	191	13.15 - 25.95	37.24 - 56.66
22	3	12	11.34	44%	382	3.60 - 5.36	4.46 - 24.19
23	3	8	19.62	85%	255	9.25 - 26.23	12.73 - 62.71
24	1	11	14.79	47%	350	3.70 - 23.48	3.82 - 41.38
25	4	14	28.25	129%	446	2.60 - 18.14	3.82 - 45.52
26	3	14	7.86	66%	446	2.70 - 13.04	3.50 - 26.74
27	5	8	7.47	65%	255	1.60 - 13.00	7.96 - 30.88
28	6	13	13.22	80%	414	2.80 - 14.66	4.14 - 35.65
29	2	15	12.65	128%	477	3.46 - 14.53	3.50 - 28.01
30	3	8	15.44	64%	255	5.00 - 15.87	3.18 - 44.56
31	4	10	12.20	74%	318	3.60 - 20.80	3.18 - 43.29
32	4	10	18.99	118%	318	3.50 - 13.81	3.18 - 43.93
33	4	5	4.54	23%	159	4.40 - 8.77	3.18 - 28.01
34	2	7	6.83	34%	223	3.50 - 11.49	3.18 - 28.33
35	2	2	15.47	70%	64	5.90 - 14.96	6.37 - 71.30
36	3	5	14.10	78%	159	2.60 - 15.26	6.37 - 56.66
37	4	8	15.41	46%	255	3.00 - 14.37	8.59 - 43.93
38	1	3	22.37	90%	95	13.65 - 15.99	45.20 - 60.48
39	3	5	10.22	68%	159	3.24 - 7.53	3.18 - 40.43
Total	18	376	674.09	3182%	11968	1.54 - 28.91	3.18 - 71.3

UM: Unidad de muestro, **N sp.:** Número de especies, **N:** Número de individuos, **AB:** Área basal,

C: Cobertura, **D:** Densidad, **DAP:** Diámetro a la altura del pecho.

Estructura vertical y horizontal del estrato arbóreo

En la figura 11 se muestra el histograma de distribución de frecuencias de las alturas de todos individuos del estrato arbóreo. Se observan en el eje horizontal 10 clases con una amplitud de 2.737. La segunda categoría presenta los valores más elevados de frecuencia y representa un 21% de los individuos que tienen una altura entre 4.3 y 7 m de altura. A partir de la tercera categoría la frecuencia disminuye continuamente hacia el incremento de las clases de altura. Sólo el 15% presentó una altura mayor a 18 m.

La estructura poblacional con base en la distribución de frecuencia de los diámetros a la altura del pecho (DAP a 1.3 m del suelo) de todo el estrato arbóreo (figura 12) muestra a 10 categorías con una amplitud de 6.8. Las categorías con los diámetros menores son las más abundantes. La primera categoría es la más frecuente con 25%, es decir que ese porcentaje de individuos registró un diámetro de 3.18 a 9.99 cm. El número de individuos disminuye conforme aumentan los valores de las clases y no muestra discontinuidades notables. Las últimas cuatro categorías conforman un 5% de los individuos que tienen un diámetro de 44 a 71.3 cm.

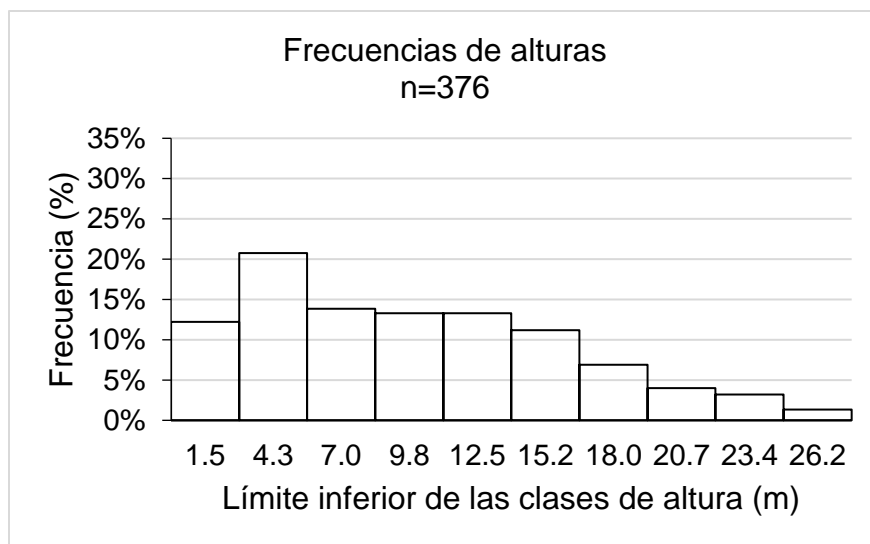


Figura 11. Distribución de frecuencias de alturas de todos los individuos del estrato arbóreo. n= número de individuos.

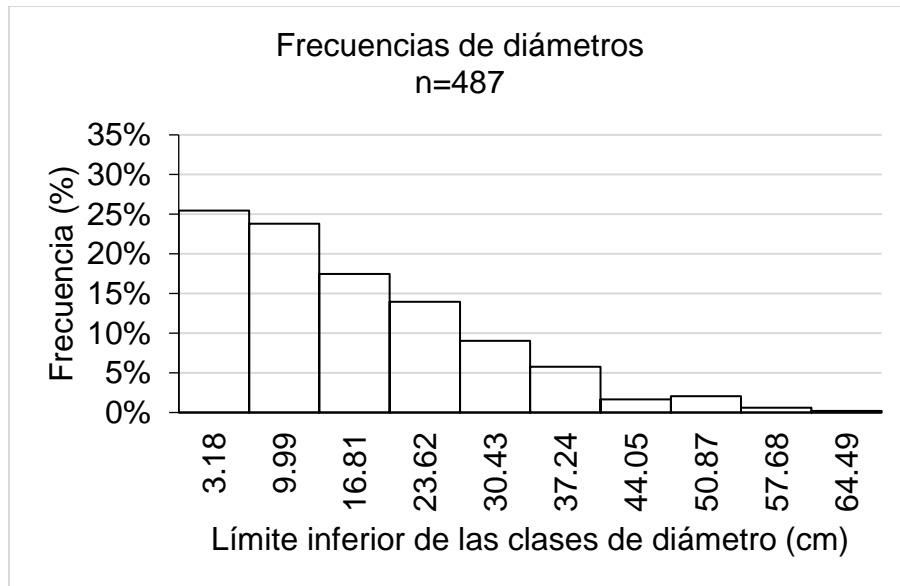


Figura 12. Distribución de frecuencias de diámetros de todos los individuos del estrato arbóreo. n= número de individuos.

Se puede observar de manera general en los histogramas de frecuencia de altura y diámetros del estrato arbóreo que las categorías con los valores más bajos son las que muestran mayor concentración de datos.

Especies estructuralmente importantes del estrato arbóreo

La especie con mayor área basal, densidad y porcentaje de cobertura fue *Eucalyptus camaldulensis*. La segunda especie con mayor área basal fue *Pinus leiophylla* (111.25 m²ha⁻¹), en cuanto a densidad fue *Arbutus xalapensis* (1496 ind/ha⁻¹) y en porcentaje de cobertura fue *Pinus leiophylla* (539%). Los individuos más altos fueron individuos de *Eucalyptus camaldulensis* (28.9 m). Por otro lado, la especie con individuos cuyos diámetros alcanzados fueron los más anchos fue *Pinus leiophylla* (71.3 cm), seguida de *Eucalyptus camaldulensis* (62.71 cm), *Pinus devoniana* (57.0 cm) y *Arbutus xalapensis* (50.93 cm). Las especies con menor densidad fueron *Pinus devoniana* y *Pinus leiophylla* (Tabla 11).

Tabla 11. Contribución a la estructura cuantitativa de las especies más importantes del estrato arbóreo.

N: número de individuos por especie, **AB:** área basal, **D:** densidad, **C:** cobertura, **DAP:** diámetro

No	Especie	N	AB (m ² ha ⁻¹)	D (ind/ha ⁻¹)	C (%)	Intervalo altura (m)	Intervalo DAP (cm)	Abr	Cr	Dr	Fr	VIR
<i>Eucalyptus</i>												
1	<i>camaldulensis</i>	145	230.52	4615	825%	2.5 - 28.9	3.18 - 62.71	14	13.6	14	13	54
2	<i>Arbutus xalapensis</i>	47	97.39	1496	483%	1.5 - 16.6	3.18 - 50.93	5.8	5.5	4.4	5.3	21
3	<i>Pinus leiophylla</i>	25	111.25	796	539%	3 - 17.6	8.59 - 71.3	5.6	5.6	4	4.2	19
4	<i>Juniperus deppeana</i>	42	55.74	1337	280%	2.7 - 12.3	3.18 - 34.7	3.7	3.6	5.2	4.6	17
5	<i>Quercus glabrescens</i>	45	52.45	1432	320%	3.4 - 18.1	3.18 - 43.93	3.6	3.8	3.9	3.6	15
6	<i>Pinus devoniana</i>	10	60.38	318	333%	19.1-26.5	42.2-57.0	1.8	1.9	1.7	1.6	6.9
Especies restantes (12)		62	66.36	1974	402%			4.9	5.0	5.9	6.4	22.2
Total de especies (18)		376	674.09	11968	3182%			39	39	38.9	39	156

a la altura del pecho, **Abr:** área basal relativa, **Cr:** cobertura relativa, **Dr:** densidad relativa, **Fr:** frecuencia relativa, **VIR:** valor de importancia relativa.

En la tabla 11 también se muestran en celdas de colores los valores de importancia relativa de las especies del estrato arbóreo. *Eucalyptus camaldulensis* mostró los datos más elevados, sin embargo, después de ésta *Arbutus xalapensis* obtuvo el mayor VIR en área basal relativa y frecuencia relativa, *Pinus leiophylla* en cobertura relativa y *Juniperus deppeana* en densidad relativa.

Estructura poblacional de las especies más abundantes del estrato arbóreo

Las especies con más de 30 individuos del estrato arbóreo fueron: *Arbutus xalapensis*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Juniperus deppeana* y *Quercus glabrescens*. En la figura 13 y 14 se muestran los histogramas que representan la estructura vertical y horizontal respectivamente de estas cuatro especies. Es importante observar que para cada gráfica el número de clases y los valores mínimos y máximos de altura y diámetro no son los mismos.

Se puede apreciar que en *Arbutus xalapensis* y *Eucalyptus camaldulensis* las categorías con mayor abundancia son las intermedias, representando una gráfica casi simétrica, lo que significa que la mayoría de los individuos tienen una altura mediana relativa a los valores mínimos y máximos de cada especie en el cerro. En las especies

restantes, se exhibe que la primera o segunda categoría son las más abundantes y conforme aumentan las clases de altura los valores de frecuencia decrecen de manera continua y equitativa en *Juniperus deppeana*, y de manera discontinua en *Quercus glabrescens*, ya que aumentan los valores en una categoría intermedia y en la penúltima. Para *Quercus glabrescens*, el 84 % de los individuos tienen una altura menor a 11.9 m, mientras que para *Juniperus deppeana* en la mayoría de las categorías se encontró casi el mismo porcentaje de distribución de frecuencias, es decir, existe casi el mismo porcentaje de individuos con tallas pequeñas y tallas medianas (Figura 13).

La estructura horizontal, basada en la distribución de las frecuencias del diámetro (Figura 14) mostró de manera general que en todos los histogramas la mayor concentración de individuos corresponde a las primeras cuatro clases (específicamente en la segunda categoría en *Juniperus deppeana* y *Quercus glabrescens*, y en la segunda y tercera categoría para *Eucalyptus camaldulensis*) y decrecen de manera regular los porcentajes de frecuencia conforme aumentan las clases de diámetro. Sin embargo, en *Arbutus xalapensis* se observa una distribución irregular, ya que, si sumamos los valores de porcentaje de las últimas dos categorías, se muestra que el 20% de los individuos tiene un diámetro de 37.29 a 50.93 cm, es decir, que esta fue la única especie de la que se encontraron casi el mismo porcentaje de individuos con diámetro pequeño-mediano (10 a 16.82 cm, 23% de la segunda categoría) y grande (37.29 a 50.93 cm, 20% de las últimas dos categorías).

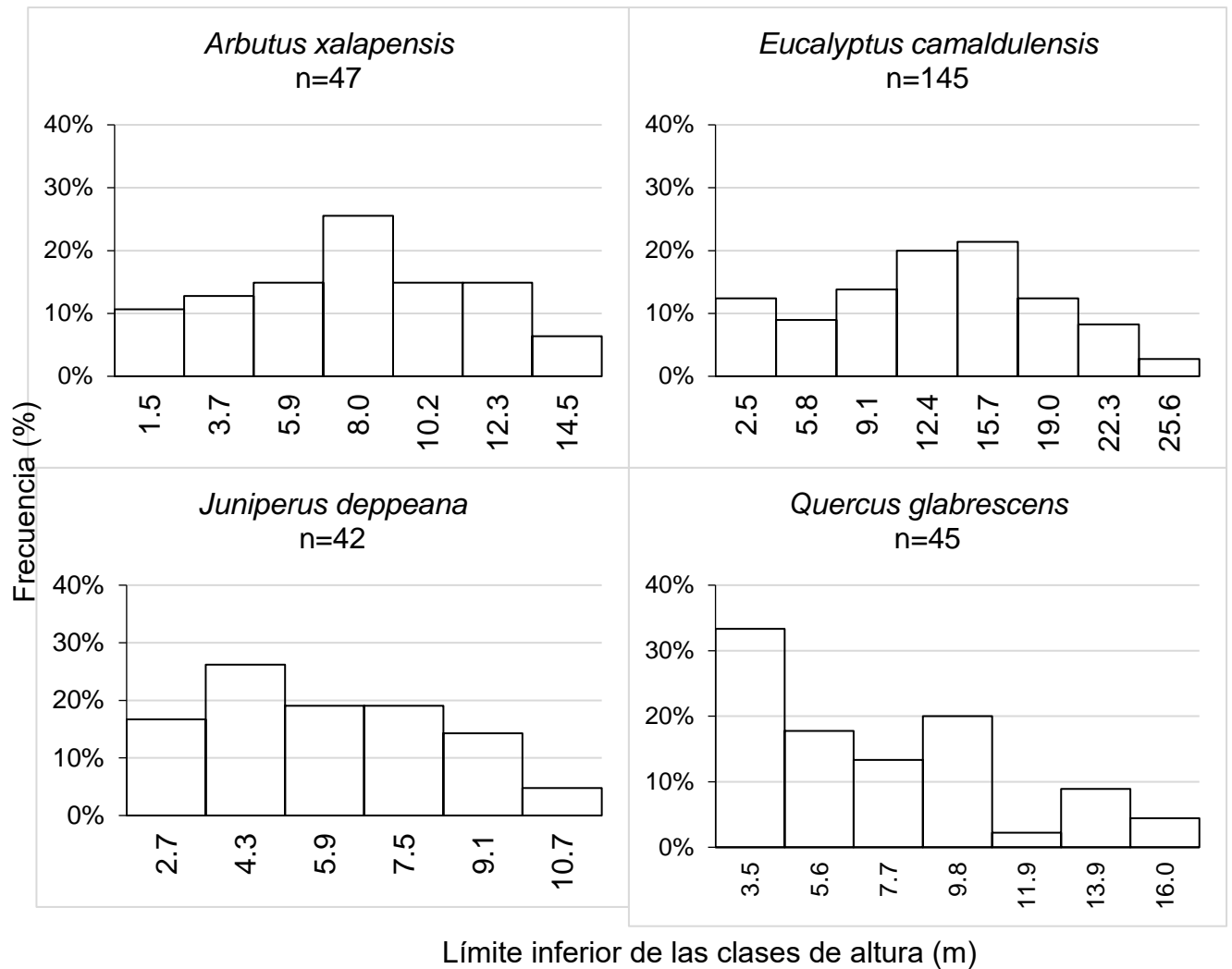


Figura 13. Distribuciones de frecuencia de las alturas de las especies más abundantes del estrato arbóreo. n= número de individuos.

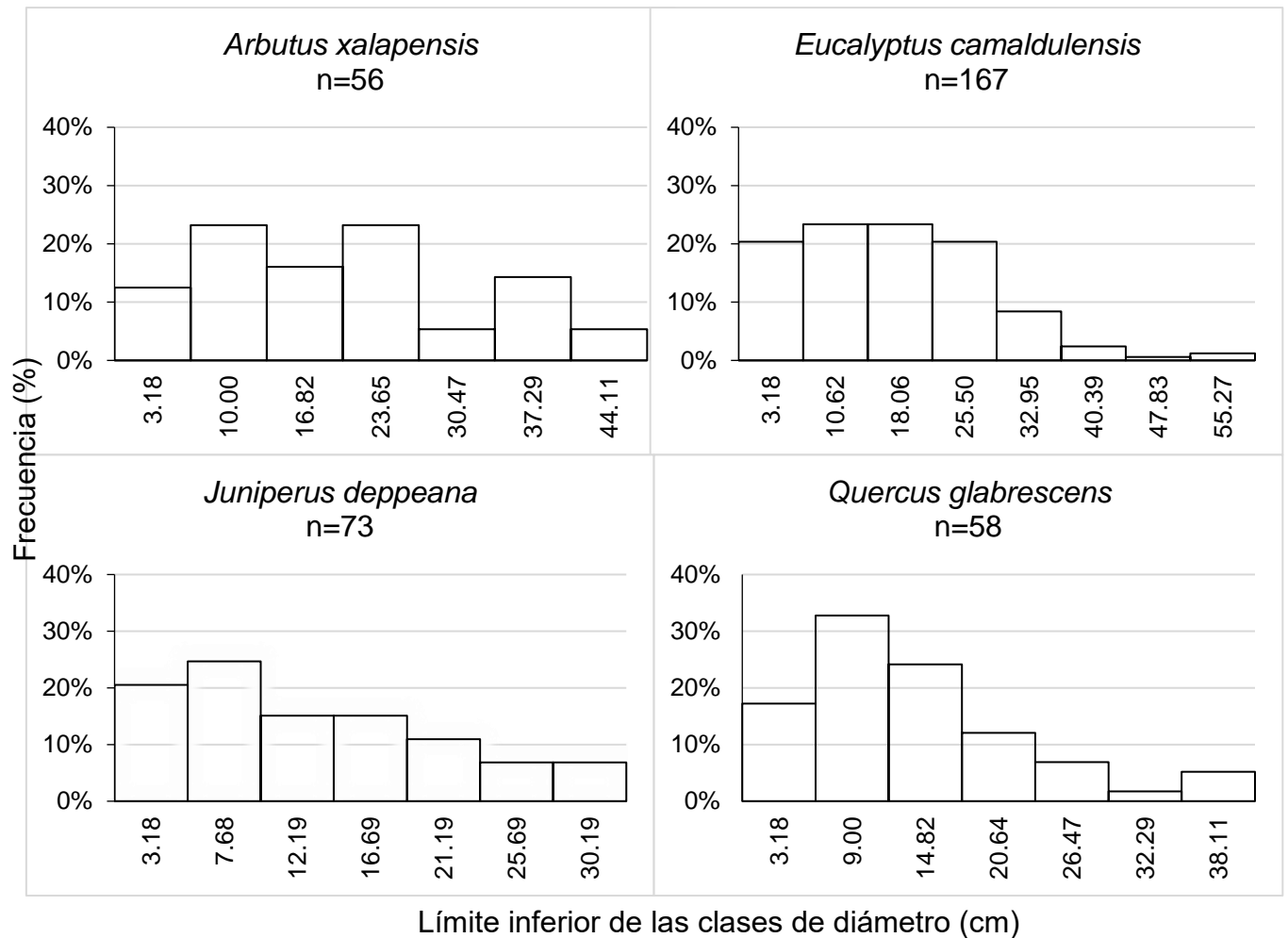


Figura14. Distribuciones de frecuencia de los diámetros de las especies más abundantes del estrato arbóreo. n= número de individuos.

Riqueza, distribución y estructura cuantitativa de las comunidades vegetales

Se identificaron cinco comunidades vegetales, entre ellas bosques de coníferas (bosque de *Pinus* y bosque de *Juniperus*), bosque de *Quercus* y una plantación forestal con fines de reforestación de *Eucalyptus camaldulensis*. Cada comunidad vegetal presenta diferentes asociaciones vegetales (Tabla 12). La comunidad vegetal con mayor riqueza de especies en el estrato arbóreo fue el bosque de *Quercus* (13 spp.), en el estrato arbustivo fue el bosque de *Pinus* y el de *Quercus* (23 spp., en cada caso) y en el estrato herbáceo fue el bosque de *Pinus* (52 spp.). La comunidad con mayor número de

especies, contemplando a los tres estratos, fue el bosque de *Pinus* (64 spp.) (Tabla 13). En el anexo 4 se muestra la composición florística de cada comunidad.

Tabla 12. Comunidades y asociaciones vegetales identificadas en el estrato arbóreo del Cerro Zapotecas. Se muestran los muestreos que corresponden a cada asociación.

Comunidades vegetales	Asociaciones	UM
Bosque de <i>Juniperus</i>	<i>Juniperus deppeana</i> - <i>Pinus leiophylla</i>	4, 10, 36
	<i>Juniperus deppeana</i>	22
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> - <i>Juniperus deppeana</i>	23
	<i>Juniperus deppeana</i> - <i>Crataegus mexicana</i>	30
	<i>Juniperus deppeana</i> - <i>Arbutus xalapensis</i>	39
Bosque de <i>Pinus</i>	<i>Pinus pseudostrobus</i> - <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	6
	<i>Arbutus xalapensis</i> - <i>Pinus leiophylla</i>	8
	<i>Pinus leiophylla</i> - <i>Juniperus deppeana</i>	11, 35
	<i>Pinus devoniana</i>	18, 21
	<i>Pinus leiophylla</i> - <i>Arbutus xalapensis</i>	19
Bosque de <i>Quercus</i>	<i>Pinus leiophylla</i>	38
	<i>Arbutus xalapensis</i> - <i>Quercus glabrescens</i>	20, 25
	<i>Quercus laeta</i>	26
	<i>Quercus obtusata</i> - <i>Eysenhardtia Polystachia</i>	27
	<i>Quercus glabrescens</i> - <i>Quercus deserticola</i>	28
	<i>Quercus glabrescens</i> - <i>Arbutus xalapensis</i>	29, 32, 34
	<i>Quercus glabrescens</i> - <i>Quercus obtusata</i>	31
	<i>Quercus deserticola</i> - <i>Arbutus xalapensis</i>	33
<i>Quercus glabrescens</i> - <i>Pinus leiophylla</i> - <i>Arbutus xalapensis</i>	37	
Plantación de <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	1, 2, 3, 5, 7, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 24

UM: Unidades de muestreo.

Tabla 13. Riqueza de especies por comunidad en cada estrato y valores totales.

Comunidad vegetal	Riqueza de especies			Total
	Arbóreo	arbustivo	herbáceo	
Bosque de <i>Juniperus</i>	7	14	51	58
Bosque de <i>Pinus</i>	8	23	52	64
Bosque de <i>Quercus</i>	13	23	34	52
Plantación de <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	3	12	48	54

En la tabla 14 se muestra el número de plántulas halladas por cada comunidad vegetal, donde se observa que el bosque de *Quercus* obtuvo el mayor valor con 15 individuos, seguido del bosque de *Juniperus* con 14. Asimismo, en ambos bosques se registraron cuatro especies de plántulas arbóreas, mientras que en el bosque de *Quercus* se registraron dos, y en la plantación de eucalipto una.

Tabla 14. Especies de plántulas y número de individuos por especie y por comunidad vegetal.

Especie	Bosque de <i>Juniperus</i>	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	Plantación de eucalipto
<i>Pinus devoniana</i>	-	2	-	-
<i>Pinus leiophylla</i>	6	4	-	-
<i>Prunus serotina</i>	1	1	-	2
<i>Juniperus deppenana</i>	4	-	-	-
<i>Quercus glabrescens</i>	-	1	12	-
<i>Quercus laeta</i>	-	-	3	-
<i>Crataegus mexicana</i>	3	-	-	-
Total	14	8	15	2

En la figura 15 se muestra una imagen satelital de Google Earth del Cerro Zapotecas con la distribución de las comunidades vegetales (Anexo 6) reconocidas a partir de la ubicación y análisis de los datos de las unidades de muestreo y de las observaciones en campo. En la figura se aprecia que las comunidades no se distribuyen de manera uniforme, más bien en manchones o fragmentos, algunos con bosques muy abiertos, con individuos muy separados entre sí (bosque de *Pinus*), y otros aparentemente cerrados (bosque de *Quercus* y plantación de eucalipto). A continuación, se describe su distribución en el cerro:

Bosque de *Juniperus*: Se ubica en manchones pequeños sobre la ladera norte y noroeste en las superficies sobresalientes entre las cañadas a lo largo de todo el intervalo altitudinal del cerro. Se intercala con el bosque de *Pinus*. Se encuentran pequeñas poblaciones cerca de la cima.

Bosque de *Pinus*: se distribuye en manchones grandes en la ladera norte, noroeste y oeste, también a lo largo de todo el intervalo altitudinal del cerro; sin embargo, hay un pequeño manchón en la ladera sur y otros dos cercanos a la plantación de eucalipto.

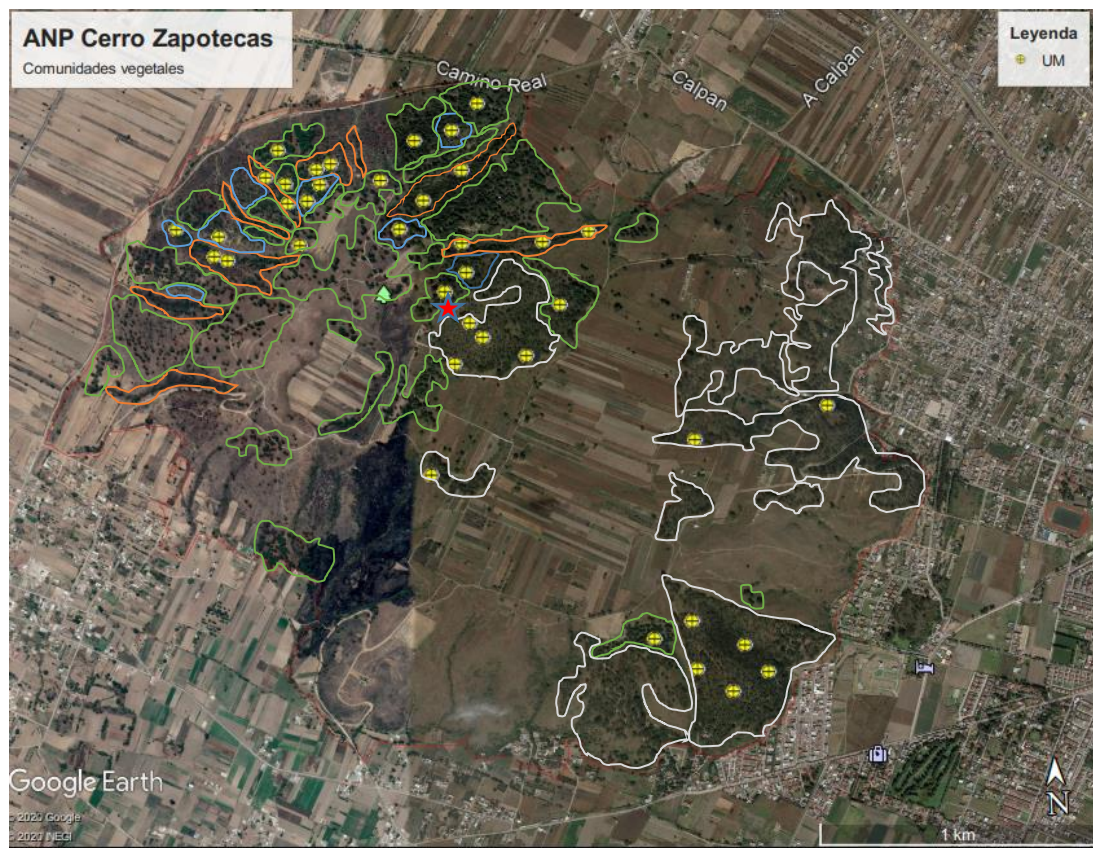
El ubicado al este de los eucaliptos es una población de *Pinus leiophylla* con algunos individuos de *Juniperus deppeana*, y el del costado oeste es una población de *Pinus pseudostrobus*, la única hallada en el cerro. Es importante recalcar que cerca de esta última población se hallaron algunos individuos de *Pinus montezumae* y *Pinus greggii*. Una población de *Pinus devoniana* se encuentra al costado este de la cima, junto a un manchón de plantación de eucalipto y con algunos individuos de *Pinus leiophylla* en el borde del manchón. Otros manchones de *Pinus devoniana* se hayan en las laderas bajas al noroeste del cerro colindando con la carretera "Camino Real".

En las laderas medias al norte y noroeste, alrededor de la cima y alrededor del cráter se encuentran principalmente poblaciones de *Pinus leiophylla* intercaladas con manchones de bosque de *Juniperus*. Al costado de un camino principal en la ladera norte se hallaron también algunos individuos de *Pinus greggii* de talla mediana. Peculiarmente se hizo el hallazgo de un único individuo de *Pinus teocote* de talla grande, éste se encuentra aislado entre árboles de eucalipto en el costado este de la cima del cerro.

Bosque de *Quercus*: Se ubica principalmente a lo largo de las cañadas en la ladera norte, noroeste y oeste en todo el rango altitudinal, excepto en la cima. También se encuentran algunos manchones entre las comunidades de bosque de *Juniperus* y *Pinus* en la ladera noroeste. Estas cañadas también se pueden observar en el mapa topográfico identificando los flujos de corriente de agua de temporal en las laderas norte, noroeste y oeste del cerro, pues a lo largo de estos flujos se encuentran las cañadas (figura 4).

Los bosques de coníferas y de encino se ubican predominantemente en las pendientes más pronunciadas del cerro en las laderas norte, noroeste y oeste, en contraste con la plantación de *Eucalyptus camaldulensis* que se ubica en las pendientes menos abruptas del cerro en el costado este de la cima y en las laderas noreste, este y sureste del cerro. En el extremo de la ladera noreste, entre las plantaciones de eucalipto, se encuentran la mayoría de casas habitación y otros inmuebles. El área que no está

encerrada por ningún polígono en el mapa, evidentemente carece de cubierta forestal importante, o son pastizales o campos de cultivo.



- Simbología**
- Bosque de *Juniperus*
 - Bosque de *Pinus*
 - Bosque de *Quercus*
 - Plantación de *E. camaldulensis*
 - ★ Cima

Figura 15. Mapa de ubicación de las comunidades de vegetación en el Cerro Zapotecas en el municipio de San Pedro Cholula, Puebla. (Elaboró: Diana Salas Alvarado)

En la tabla 15 se muestran los valores estructurales e intervalos diamétricos y de altura para las cuatro comunidades, basándose en los valores totales de cada muestreo del estrato arbóreo, que agrupados conformaron a cada comunidad vegetal (Tabla 10 y 12). Es importante observar que el número de muestreos que corresponden a cada comunidad vegetal varía de 7 a 13 muestreos.

La comunidad vegetal con mayor cantidad de especies arbóreas fue el bosque de *Quercus* con 13 especies y fue una de las comunidades con mayor densidad sólo después de la plantación de *Eucalyptus camaldulensis*, sin embargo, esta última sólo presentó tres especies. Los individuos más altos se registraron en la plantación de eucalipto (28.9 m valor máximo). Por otro lado, la comunidad con individuos cuyo intervalo de diámetro del tronco alcanzó el mayor valor (71.3 cm), al igual que los valores más altos de intervalo de área basal (15.5-37.5 m²ha⁻¹) y de porcentaje de cobertura (1002%) fue el bosque de *Pinus*, a pesar de que fue la comunidad menos densa en número de individuos (56) y por muestreo (64-382 ind/ha⁻¹). Por otro lado, la plantación de eucalipto obtuvo el valor máximo de área basal total debido a que tuvo una densidad muy alta de individuos a comparación del bosque de *Pinus*.

Tabla 15. Resumen sintético de las variables estructurales para cada comunidad.

Comunidad vegetal	Intervalos								Totales		
	N	N sp.	N um	Altura (m)	DAP (cm)	AB (m ² /ha ⁻¹)	D ind/ha ⁻¹	C (%)	AB (m ² /ha ⁻¹)	D ind/ha	C (%)
Bosque de <i>Juniperus</i>	57	7	7	2.6-26.2	3.18-62.71	10.22-23.49	159-382	44%-155%	113.79	1814	600%
Bosque de <i>Pino</i>	56	8	10	3.0-26.5	3.21-71.3	15.47-37.45	64-382	70%-188%	195.33	1783	1002%
Bosque de <i>Quercus</i>	124	13	9	1.5-20.8	3.18-45.52	4.54-28.25	159-637	23%-129%	144.24	3947	817%
Plantación de <i>E. camaldulensis</i>	139	3	13	2.5-28.9	3.18-58.89	2.42 -33.19	64-669	2%-104%	220.73	4425	763%
Total	376	18	39	-	-	-	-	-	674.09	11968	3182%

N: número de individuos, **N sp:** Número de especies, **N um:** Número de unidades de muestreo.

DAP: Diámetro a la altura del pecho, **AB:** Área basal, **D:** Densidad, **C (%):** porcentaje de cobertura.

Índice de diversidad en números equivalentes de especies

Los valores de diversidad de cada comunidad vegetal, tomando sólo los valores del estrato arbóreo se muestran en la tabla 16. La comunidad con mayor diversidad fue el bosque de *Pinus* (6.76), mientras que la menos diversa fue la plantación de *Eucalyptus camaldulensis* (1.16). En la misma tabla también se presentan los valores de diversidad para cada comunidad vegetal, pero incluyendo todas las especies que se registraron en los tres estratos (herbáceo, arbustivo y arbóreo). Los valores muestran que la comunidad

con mayor diversidad fue nuevamente el bosque de *Pinus* (33.99) y la menos diversa fue la plantación de *Eucalyptus camaldulensis* (18.77).

Tabla 16. Diversidad en números equivalentes de especies del estrato arbóreo y de los tres estratos para cada comunidad vegetal.

Comunidad vegetal	D estrato arbóreo	D de los 3 estratos
Bosque de <i>Juniperus</i>	3.55	30.11
Bosque de <i>Pinus</i>	6.76	33.99
Bosque de <i>Quercus</i>	6.30	26.60
Plantación de <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	1.16	18.77

D=Diversidad en números equivalentes de las especies, en negritas los valores máximos. exponencial de la entropía de Shannon cuando se utilizan logaritmos naturales

Índice de similitud de Sørensen

La similitud de especies arbóreas entre los sitios fluctuó entre 0% y 67% (Tabla 17). Los pares de comunidades que tuvieron las mayores similitudes fueron: bosque de *Pinus*-bosque de *Juniperus* (67%) y bosque de *Juniperus*-plantación de eucalipto (60%). Por otro lado, los sitios menos similares florísticamente fueron bosque de *Quercus* y plantación de eucalipto (0%).

Tabla 17. Porcentajes de índice de similitud de Sørensen entre las comunidades de vegetación del Cerro Zapotecas.

	Bosque de <i>Juniperus</i>	Plantación de eucalipto	Bosque de <i>Pinus</i>
Plantación de eucalipto	60%	-	-
Bosque de <i>Pinus</i>	67%	36%	-
Bosque de <i>Quercus</i>	40%	0%	38%

Análisis de agrupamiento entre los sitios de muestreo

El dendograma resultante (Figura 16) muestra las relaciones entre las 39 unidades de muestreo de acuerdo con los valores de importancia relativa de las especies dentro de cada muestreo. En la gráfica se observan dos grupos principales (1 y 2). El grupo 1 engloba 14 unidades de muestreo y sus elementos tienen corta distancia (es decir con componentes muy parecidos). Incluye a todos los muestreos cuyas especies dominantes fueron *Eucalyptus camaldulensis*, sin embargo, también incluye al muestreo 23 J, perteneciente al bosque de *Juniperus*. El dendograma lo agrupa con este grupo debido a que contiene como especie dominante al eucalipto, pero como segunda especie dominante contiene a *Juniperus deppeana*. Por otro lado, la ubicación de este muestreo en el cerro es en una porción donde se encuentran pinos y juniperos cerca de la cima, sin embargo se encuentra muy cercana a la plantación de eucalipto, es muy probable que esta comunidad sea originalmente de bosque de *Juniperus* y que los eucaliptos la hayan invadido, por ello se ha catalogado al muestreo 23 J como parte de la comunidad de *Juniperus*.

El grupo 2, engloba a su vez cuatro subgrupos (2a, 2b, 2c, 2d). Los subgrupos 2a y 2b agrupan muestreos que corresponden al bosque de *Pinus*. El subgrupo 2c incluye a todos los muestreos que contienen bosque de *Quercus* (11 muestreos), sin embargo también incluye a dos muestreos que corresponden a bosque de *Pinus* (19P y 8 P). El muestreo 19 P contiene a la especie *Pinus leiophylla* con el mayor VIR, sin embargo también incluye a *Quercus glabrescens* y *Arbutus xalapensis*, elementos muy comunes en el bosque de *Quercus*, y que además también componen al muestreo 37 Q, razón por la cual el dendograma los haya agrupado. Por otro lado el muestreo 8 P tuvo como especie más importante a *Arbutus xalapensis*, y con menores valores a *Pinus leiophylla* y a *Cestrum tomentosum*. El dendograma agrupó a este muestreo con el 20 Q, que está compuesto de *Arbutus xalapensis* y *Quercus glabrescens*. Probablemente el dendograma los agrupó de esa manera debido a la dominancia de *Arbutus xalapensis*, sin embargo, se consideró identificar al muestreo 8 P como parte de la comunidad del bosque de *Pinus* porque tiene a la especie *Pinus leiophylla* como la segunda importante.

Por último, el subgrupo 2d muestra dos grupos que se pueden distinguir porque uno conforma tres muestreos de bosque de *Pinus* y el segundo seis muestreos de bosque de *Juniperus*.

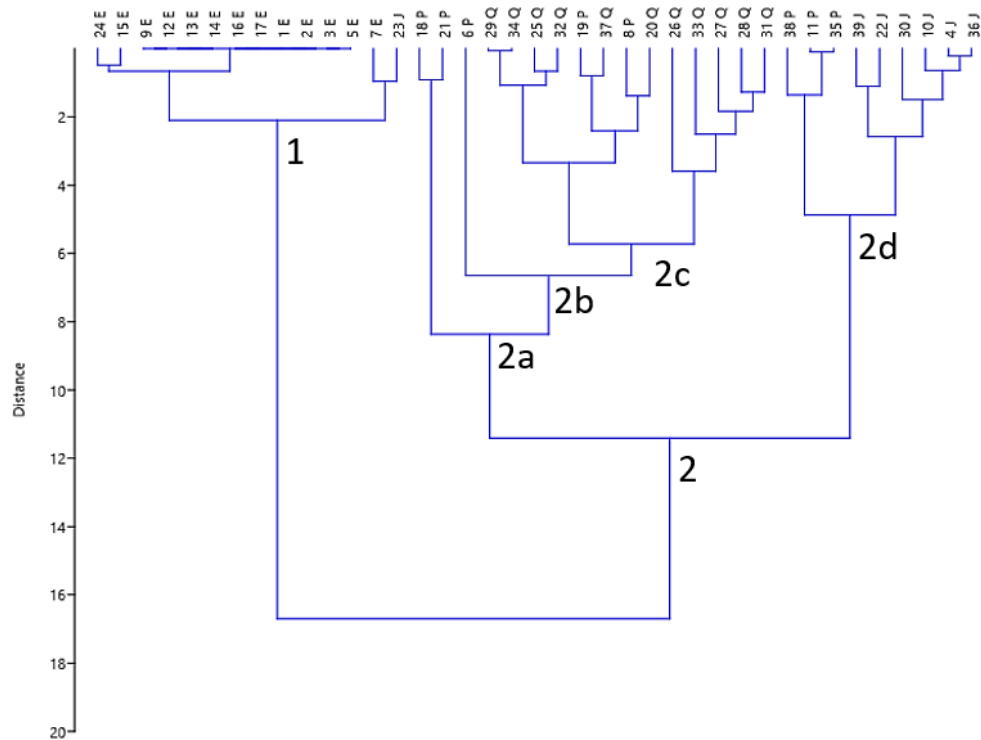


Figura 16. Dendrograma derivado del análisis multivariado por medio del método de Ward y la distancia euclidiana. En la parte superior de la gráfica se muestran las 39 unidades de muestreo representadas con su número de registro y con la inicial de la comunidad vegetal a la que corresponde según los análisis previos (E: plantación de *Eucalyptus camaldulensis*, J: bosque de *Juniperus*, P: bosque de *Pinus*, Q: bosque de *Quercus*).

Especies estructuralmente importantes de las comunidades vegetales

En las siguientes tablas, se muestran los valores estructurales de las cinco especies con los valores de importancia más altos de cada estrato para cada comunidad vegetal. Por consiguiente, estas tablas sirven como una herramienta para conocer cuáles son las especies que contribuyen de manera más significativa a la formación estructural de cada comunidad vegetal.

En el bosque de *Juniperus* la especie arbórea más importante fue *Juniperus deppeana*, aunque no fue la especie con mayores valores de intervalo de altura ni de diámetro sí fue la que obtuvo mayor área basal y cobertura de copa ya que tuvo una alta densidad. En el estrato arbustivo la especie más importante fue la Asteraceae *Verbesina virgata*, otros arbustos importantes fueron un individuo joven de *Juniperus deppeana*, la Solanaceae *Cestrum aurantiacum*, el tejocote (*Crataegus mexicana*) y la Fabaceae *Brongniartia intermedia*. En el estrato herbáceo, las especies más importantes fueron los pastos *Muhlenbergia capillaris* y *Stipa clandestina*, la Asteraceae *Verbesina virgata*, la Commelinaceae *Thyrsanthemum macrophyllum* y el helecho *Adiantum poiretii*. En la tabla 18 se muestran detalladamente los valores estructurales de las especies.

El bosque de *Pinus* estuvo bien representado por tres especies arbóreas de pino: *Pinus leiophylla*, *Pinus devoniana* y *Pinus pseudostrobus*; otras especies fueron *Juniperus deppeana* y *Arbutus xalapensis*. Este bosque compartió con el bosque de *Juniperus* tres especies arbustivas con altos VIR: *Verbesina virgata*, *Brongniartia intermedia* y *Cestrum aurantiacum*. También se reconocieron a *Eucalyptus camaldulensis* y *Acourtia cordata* como especies importantes de este estrato. Las especies herbáceas importantes fueron los pastos *Muhlenbergia capillaris* y *Setaria parviflora*, la Fabaceae *Desmodium aff. molliculum*, la Euphorbiaceae *Acalypha phleoides*, y la Lamiaceae *Salvia lavanduloides* (Tabla 19).

Tabla 18. Estructura de la comunidad de los tres estratos del bosque de *Juniperus*

N: número de individuos, **DAP:** Diámetro a la altura del pecho, **AB:** Área basal, **D:** Densidad, **C**

Bosque de <i>Juniperus</i>												
No	Especie	N	Intervalo altura (m)	Intervalo DAP (cm)	AB (m ² ha ⁻¹)	D ind/ha ⁻¹	C (%)	Abr	Cr	Dr	Fr	VIR
Estrato arbóreo												
1	<i>Juniperus deppeana</i>	35	2.7-12.3	3.18-34.7	46.05	1114	247%	3.13	3.24	4.09	3.30	13.75
2	<i>Pinus leiophylla</i>	7	5-17.4	10.66-56.66	30.71	223	175%	1.73	1.62	0.86	1.20	5.41
3	<i>Arbutus xalapensis</i>	6	2.6-13.7	6.37-40.43	16.12	191	89%	0.97	0.96	0.89	1.15	3.97
4	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	5	11.7-26.2	14.01-62.71	14.75	159	59%	0.75	0.69	0.63	0.60	2.66
5	<i>Crataegus mexicana</i>	2	6.0-11.1	5.73-44.56	5.05	64	23%	0.33	0.36	0.25	0.33	1.27
	Especies restantes (2)	2	3.24-4.2	3.18-13.21	1.12	64	7%	0.10	0.13	0.28	0.42	0.93
	Total de especies (7)	57	2.6-26.2	3.18-62.71	113.79	1814	600%	7	7	7	7	28
Estrato arbustivo												
1	<i>Verbesina virgata</i>	22	0.64-2.2	-	2.48	7781	50%	2.52	2.82	2.55	2.54	10.43
2	<i>Juniperus deppeana</i>	1	1.7	-	0.83	354	3%	0.88	0.61	0.33	0.33	2.16
3	<i>Cestrum aurantiacum</i>	5	1.23-1.77	-	0.52	1768	6%	0.50	0.25	0.54	0.40	1.69
4	<i>Crataegus mexicana</i>	3	1.6-5.1	-	0.91	1061	19%	0.57	0.52	0.27	0.25	1.61
5	<i>Brongniartia intermedia</i>	4	0.77-2.1	-	0.42	1415	11%	0.25	0.34	0.37	0.43	1.40
	Especies restantes (9)	19	0.32-2.07	-	2.02	6720	34%	1.28	1.46	1.93	2.03	6.71
	Total de especies (14)	54	0.32-5.1	-	7.18	19099	123%	6	6	6	6	24
Estrato herbáceo												
1	<i>Muhlenbergia capillaris</i>	40	0.08-1.32	-	-	127324	183%	-	2.32	0.67	0.68	3.68
2	<i>Stipa clandestina</i>	37	0.08-1.19	-	-	117775	55%	-	0.80	0.70	0.51	2.02
3	<i>Verbesina virgata</i>	53	0.01-1.2	-	-	168704	34%	-	0.51	0.91	0.50	1.91
	<i>Thyrsanthemum macrophyllum</i>	20	0.02-0.42	-	-	63662	17%	-	0.32	0.38	0.27	0.97
4	<i>Adiantum poiretii</i>	10	0.02-0.24	-	-	31831	6%	-	0.30	0.33	0.20	0.83
	Especies restantes (46)	230	0.01-1.0	-	-	732113	140%	-	2.74	4.00	4.85	11.60
	Total de especies (51)	390	0.01-1.32	-	-	1241409	437%	-	7	7	7	21

(%): porcentaje de cobertura, **Abr:** área basal relativa, **Cr:** cobertura relativa, **Dr:** densidad relativa, **Fr:** frecuencia relativa, **VIR:** valor de importancia relativa.

El bosque de *Quercus* estuvo igualmente bien representado por varias especies de encino (Tabla 20). Tuvo como especie más importante del estrato arbóreo a *Quercus glabrescens*, ya que ésta obtuvo los mayores valores de densidad y porcentaje de cobertura. La segunda especie más importante fue *Arbutus xalapensis* y ésta sobresalió por tener el valor de área basal más alto, además el individuo con mayor altura registrado correspondió a esta especie. En el estrato arbustivo las especies que más contribuyeron

fueron *Verbesina virgata*, *Quercus glabrescens*, *Quercus deserticola*, *Eysenhardtia polystachia* y *Brongniartia intermedia*. En el estrato herbáceo las especies más importantes fueron los pastos *Muhlenbergia sp. 2* y *Muhlenbergia capillaris*, y otras como *Euphorbia adiantoides*, *Adiantum poiretii*, y *Critonia quadrangularis*.

Tabla 19. Estructura de la comunidad de los tres estratos del bosque de *Pinus*.

Bosque de <i>Pinus</i>												
No	Especie	N	Intervalo altura (m)	Intervalo DAP (cm)	AB (m ² ha ⁻¹)	D ind/ha ⁻¹	C (%)	Abr	Cr	Dr	Fr	VIR
Estrato arbóreo												
1	<i>Pinus leiophylla</i>	16	11.5-17.6	13.69-71.3	77.16	509	355%	3.66	3.75	2.93	2.72	13.05
2	<i>Pinus devoniana</i>	10	19.1-26.5	42.18-57.04	60.38	318	333%	1.77	1.91	1.67	1.60	6.95
3	<i>Arbutus xalapensis</i>	8	3-16.6	4.14-50.93	25.55	255	117%	0.92	0.85	0.89	1.10	3.76
4	<i>Juniperus deppeana</i>	5	4.9-9.8	6.37-31.67	8.04	159	23%	0.44	0.26	0.99	1.13	2.82
5	<i>Pinus pseudostrobus</i>	7	6.5-17.9	6.53-42.97	15.46	223	120%	0.77	0.78	0.58	0.57	2.71
	Especies restantes (3)	10	3.9-18.6	3.21-34.7	8.72	318	55%	0.44	0.45	0.95	0.88	2.72
	Total de especies (8)	56	3-26.5	3.21-71-3	195.33	1783	1002%	8	8	8	8	32
Estrato arbustivo												
1	<i>Verbesina virgata</i>	12	0.63-2.3	-	1.43	4244	31%	2.25	2.42	2.05	1.99	8.71
2	<i>Brongniartia intermedia</i>	13	0.8-1.53	-	0.85	4598	16%	0.78	0.82	0.80	0.73	3.12
3	<i>Cestrum aurantiacum</i>	8	0.86-2.2	-	0.51	2829	8%	0.84	0.79	0.71	0.68	3.01
4	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	1	2.46	-	1.09	354	0%	0.97	0.80	0.50	0.50	2.77
5	<i>Acourtia cordata</i>	3	1.35-2.1	-	0.15	1061	2%	0.58	0.62	0.50	0.50	2.20
	Especies restantes (18)	35	0.42-2.04	-	1.98	12379	42%	3.58	3.56	4.45	4.60	16.19
	Total de especies (23)	72	0.42-2.46	-	6.01	25465	100%	9	9	9	9	36
Estrato herbáceo												
1	<i>Muhlenbergia capillaris</i>	65	0.08-1.17	-	-	206901	356%	-	3.07	1.04	0.89	5.00
2	<i>Desmodium aff. molliculum</i>	50	0.01-0.5	-	-	159155	72%	-	0.61	0.76	0.69	2.06
3	<i>Acalypha phleoides</i>	62	0.03-0.26	-	-	197352	53%	-	0.65	0.83	0.45	1.93
4	<i>Salvia lavanduloides</i>	32	0.05-0.85	-	-	101859	8%	-	0.18	0.85	0.62	1.65
5	<i>Setaria parviflora</i>	31	0.06-1.08	-	-	98676	54%	-	0.54	0.45	0.57	1.56
	Especies restantes (47)	316	0.002-1.3	-	-	1005859	285%	-	4.96	6.06	6.78	17.80
	Total de especies (52)	556	0.002-1.3	-	-	1769803	828%	-	10	10	10	30

N: número de individuos, **DAP:** Diámetro a la altura del pecho, **AB:** Área basal, **D:** Densidad, **C (%)**: porcentaje de cobertura, **Abr:** área basal relativa, **Cr:** cobertura relativa, **Dr:** densidad relativa, **Fr:** frecuencia relativa, **VIR:** valor de importancia relativa.

Tabla 20. Estructura de la comunidad de los tres estratos del bosque de *Quercus*.

Bosque de <i>Quercus</i>												
No	Especie	N	Intervalo altura (m)	Intervalo DAP (cm)	AB (m ² ha ⁻¹)	D ind/ha ⁻¹	C (%)	Abr	Cr	Dr	Fr	VIR
Estrato arbóreo												
1	<i>Quercus glabrescens</i>	42	3.5-18.1	3.18-43.93	48.47	1337	306%	3.39	3.61	3.58	3.37	13.95
2	<i>Arbutus xalapensis</i>	33	3.7-14.3	3.18- 45.52	55.71	1050	277%	3.94	3.71	2.62	3.08	13.34
3	<i>Quercus laeta</i>	17	2.6-13.0	3.5-24.19	7.61	541	69%	0.90	0.97	1.27	0.97	4.11
4	<i>Quercus obtusata</i>	9	2.9- 20.8	6.68-30.88	7.78	286	40%	0.86	0.64	1.00	1.25	3.75
5	<i>Quercus deserticola</i>	7	2.8-8.8	4.14-17.19	2.66	223	14%	0.46	0.50	0.78	0.58	2.32
	Especies restantes (8)	16	1.6-12.3	3.18-41.38	22.01	509	112%	1.45	1.57	1.75	1.75	6.53
	Total de especies (13)	124	1.6-20.8	3.18-45.52	144.24	3947	817%	11	11	11	11	44
Estrato arbustivo												
1	<i>Verbesina virgata</i>	10	1.16-2.05	-	0.34	3537	23%	1.21	2.219	1.7	1.65	7.389
2	<i>Quercus glabrescens</i>	7	0.87-2.3	-	2.00	2476	14%	1.03	0.385	0.6	0.61	4
3	<i>Quercus deserticola</i>	3	2.6-2.3	-	2.23	1061	10%	0.80	0.478	0.4	0.4	4
4	<i>Eysenhardtia polystachia</i>	2	0.95-2.0	-	0.49	707	13%	0.77	1.054	0.4	0.45	2.726
5	<i>Brongniartia intermedia</i>	10	1.15-2.7	-	1.16	3537	30%	0.62	1.066	1	0.96	2.34
	Especies restantes (18)	31	0.2- 3.3	-	6.80	10964	74%	4.57	3.798	4.9	4.93	15.54
	Total de especies (23)	63	0.2-3.3	-	13.01	22282	164%	9	9	9	9	36
Estrato herbáceo												
1	<i>Muhlenbergia sp. 2</i>	24	0.14- 1.5	-	-	76394	195%	-	2.24	0.86	1.17	4.27
2	<i>Muhlenbergia capillaris</i>	8	0.1-0.95	-	-	25465	65%	-	0.98	0.81	0.79	2.58
3	<i>Euphorbia adiantoides</i>	25	0.09-1.16	-	-	79577	67%	-	1.43	0.70	0.44	2.56
4	<i>Adiantum poiretii</i>	39	0.05-0.28	-	-	124141	20%	-	0.53	1.04	0.77	2.34
5	<i>Critonia quadrangularis</i>	12	0.01-0.95	-	-	38197	59%	-	0.88	0.71	0.44	2.03
	Especies restantes (29)	136	0.005-1.36	-	-	432901	91%	-	2.94	4.88	5.39	13.21
	Total de especies (34)	244	0.005-1.5	-	-	776676	497%	-	9	9	9	27

N: número de individuos, **DAP:** Diámetro a la altura del pecho, **AB:** Área basal, **D:** Densidad, **C (%)**: porcentaje de cobertura, **Abr:** área basal relativa, **Cr:** cobertura relativa, **Dr:** densidad relativa, **Fr:** frecuencia relativa, **VIR:** valor de importancia relativa.

En la plantación de eucalipto, *Eucalyptus camaldulensis* fue la especie con los valores más altos en todas las variables, tanto en el estrato arbóreo como en el arbustivo. Las especies arbóreas *Ipomoea murucoides* y *Cestrum tomentosum* tuvieron en realidad bajos valores de VIR, pero se muestran en la tabla porque fueron las únicas que constituyeron a esta comunidad vegetal junto con *E. camaldulensis*. Los arbustos

importantes fueron: *Calliandra houstoniana* var. *Anómala*, *Chromolaena pulchella*, *Brongniartia intermedia* y *Stevia* aff. *organoides*; por otro lado, la herbáceas más importantes fueron los pastos *Trachypogon spicatus*, *Elionurus barbiculmis* y *Setaria parviflora*, la Euphorbiaceae *Euphorbia adiantoides*, y la Fabaceae *Cologania broussonetti* (Tabla 21).

Tabla 21. Estructura de la comunidad de los tres estratos de la plantación de *Eucalyptus camaldulensis*.

Plantación de <i>Eucalyptus camaldulensis</i>												
No	Especie	N	Intervalo altura (m)	Intervalo DAP (cm)	AB (m ² ha ⁻¹)	D ind/ha ⁻¹	C (%)	Abr	Cr	Dr	Fr	VIR
Estrato arbóreo												
1	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	135	2.5-28.9	3.18-58.89	211.22	4297	733%	12.69	12.66	12.79	12.30	50.44
2	<i>Ipomoea murucoides</i>	3	4.9-10.7	8.12-21.49	9.38	95	25%	0.31	0.28	0.16	0.58	1.33
3	<i>Cestrum tomentosum</i>	1	4.0	3.5-5.09	0.14	32	5%	0.00	0.06	0.05	0.13	0.24
	Especies restantes (0)											
	Total de especies (3)	139	2.5-28.9	3.18-58.89	220.73	4425	763%	13	13	13	13	52
Estrato arbustivo												
1	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	7	0.55-3.26	-	5.01	2476	29%	4.55	4.18	3.17	3.20	15.09
2	<i>Calliandra houstoniana</i> var. <i>anomala</i>	2	1.25-1.43	-	0.08	707	1%	1.18	1.08	1.50	1.50	5.26
3	<i>Chromolaena pulchella</i>	5	0.76-1.63	-	0.27	1768	8%	1.03	1.05	1.06	1.08	4.22
4	<i>Brongniartia intermedia</i>	4	0.65-1.1	-	0.17	1415	4%	0.71	0.70	0.89	0.78	3.08
5	<i>Stevia</i> aff. <i>organoides</i>	4	0.6-1.36	-	0.13	1415	4%	0.44	0.60	0.67	0.58	2.29
	Especies restantes (7)	17	0.37-1.9	-	1.09	6013	31%	1.10	1.39	1.72	1.85	6.06
	Total de especies (12)	39	0.37-3.26	-	6.74	13793	77%	9	9	9	9	36
Estrato herbáceo												
1	<i>Trachypogon spicatus</i>	73	0.22-1.6	-	-	232366	454%	-	3.52	1.35	1.21	6.08
2	<i>Euphorbia adiantoides</i>	223	0.06-1	-	-	709831	240%	-	1.69	2.62	1.45	5.77
3	<i>Cologania broussonetti</i>	58	0.01-0.94	-	-	184620	72%	-	1.01	1.29	1.67	3.97
4	<i>Elionurus barbiculmis</i>	42	0.05-1.1	-	-	133690	200%	-	1.43	0.99	1.10	3.52
5	<i>Setaria parviflora</i>	61	0.04-1.46	-	-	194169	212%	-	1.28	0.67	0.97	2.92
	Especies restantes (43)	339	0.01-1.15	-	-	1079071	540%	-	4.06	6.08	6.60	16.74
	Total de especies (48)	796	0.01-1.6	-	-	2533747	1718%	-	13	13	13	39

N: número de individuos, **DAP:** Diámetro a la altura del pecho, **AB:** Área basal, **D:** Densidad, **C (%)**: porcentaje de cobertura, **Abr:** área basal relativa, **Cr:** cobertura relativa, **Dr:** densidad relativa, **Fr:** frecuencia relativa, **VIR:** valor de importancia relativa.

Estructura poblacional de las comunidades vegetales

Se consideraron sólo las especies del estrato arbóreo para realizar los histogramas de distribución de porcentajes de frecuencia para cada comunidad vegetal (Figura 21). La estructura poblacional representada en los histogramas exhibe una distribución particular para cada comunidad. Observar que el número de las categorías, amplitud, y los valores mínimos y máximos de altura y diámetro para cada comunidad son distintos, aunque el valor superior de porcentaje del eje vertical es para todos del 40%, ya que no se excedió este valor.

En el bosque de *Juniperus*, tanto la distribución vertical como la horizontal muestran que la primera categoría es la que contiene el mayor porcentaje (33% y 32% respectivamente) y el número de individuos disminuye continuamente conforme aumentan los valores de las clases; por lo tanto, son más frecuentes los individuos con altura de 2.6 a 6.0 m, y con diámetro de 3.18 a 10.62 cm. Una distribución muy parecida la tiene el bosque de *Quercus* igualmente para ambos histogramas, sin embargo, para este caso, la categoría con mayor abundancia fue la segunda, con una frecuencia de 31% en la clase de 3.9 a 6.4 m de altura y 27% en la clase de 8.48 a 13.77 cm de diámetro.

El bosque de *Pinus*, presentó una distribución peculiar de los porcentajes de frecuencias de las alturas, ya que una categoría intermedia obtuvo el mayor valor de porcentaje, mostrando que el 32% de los individuos tuvo una altura de 13.1 a 16.4 m, mientras que las categorías restantes tuvieron un porcentaje muy parecido, pues la primera categoría que representa a los individuos con menor altura y la última categoría con los individuos más altos tienen el mismo porcentaje (11%). La distribución horizontal mostró que los individuos quedaron repartidos más equitativamente entre las clases, principalmente en las primeras.

Los histogramas de la plantación de eucalipto muestran que los individuos con tallas intermedias fueron las más abundantes, aunque entre todas las categorías de altura estuvieron repartidos más o menos equitativamente. En la distribución de porcentajes de frecuencia de los diámetros, se observa que la tercera categoría es la más abundante y decrecen los porcentajes continuamente conforme aumentan los valores de clase; la

mayoría de los individuos de esta plantación (95%) tienen un diámetro de 3.18 a 38.00 cm (sumando valores de la 1ra a la 5ta clase).

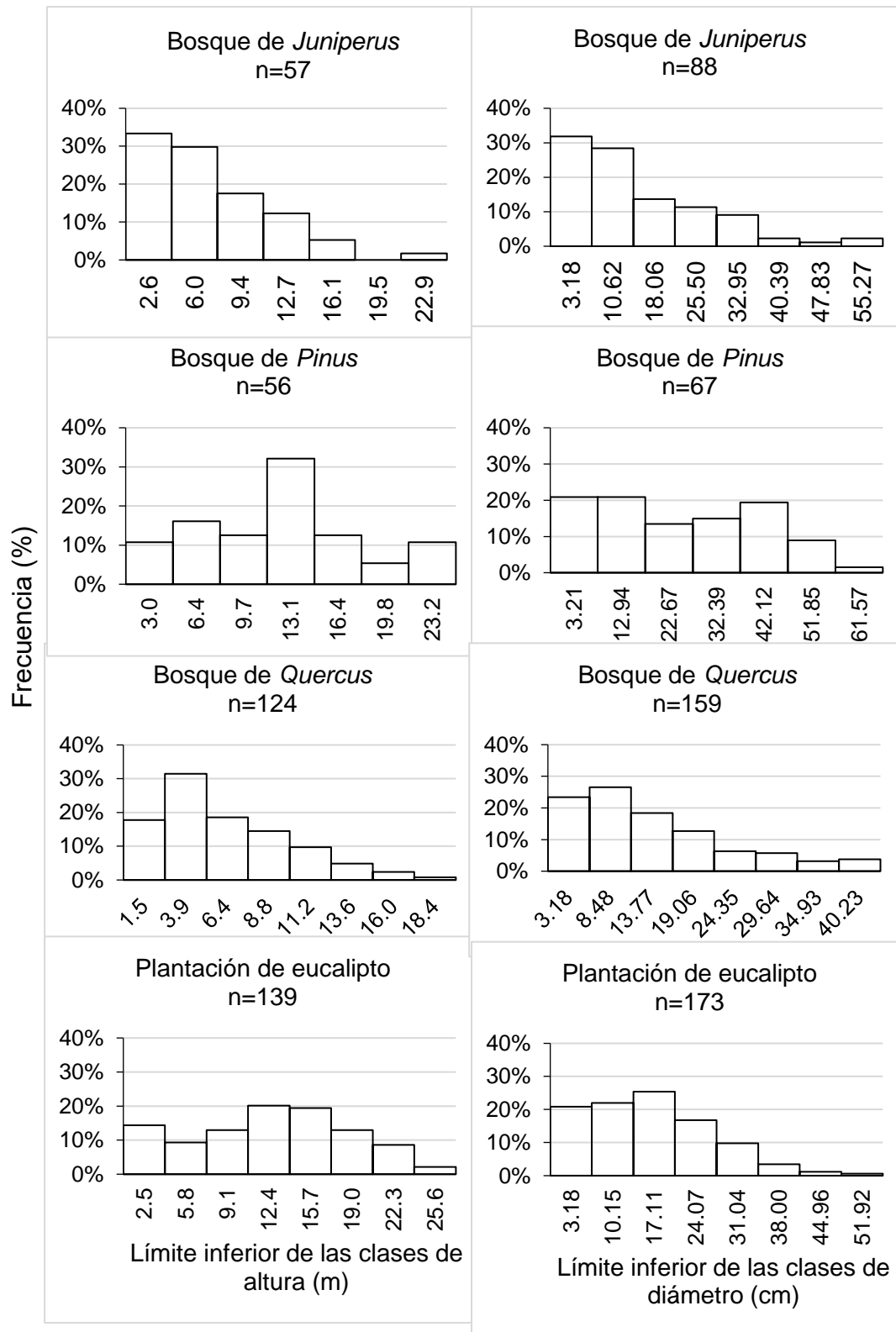


Figura 21. Distribución de frecuencias de alturas y diámetros de todos los individuos del estrato arbóreo para cada comunidad vegetal. n= número de individuos.

Perfiles diagramáticos de vegetación

En los perfiles de vegetación de cada comunidad vegetal (Figura 17, 18, 19 y 20) se pueden corroborar visualmente las características de su estructura ya descritas previamente. En la parte inferior de cada perfil se muestra la proyección de las copas de los árboles.

La plantación de eucalipto muestra que los individuos son numerosos, localizados muy cerca unos de otros, de talla muy alta, pero con copas pequeñas. Se ubican sobre un terreno con inclinación no superior a los 28°. Por otro lado, el bosque de *Juniperus* muestra individuos jóvenes, de altura baja, con tallos angostos y también copas pequeñas sobre un terreno de entre 12° y 40° de inclinación.

El bosque de *Pinus* muestra en la mayoría de las unidades de muestro individuos altos con tallos anchos y con copas grandes en un terreno con una pendiente entre 7° y 18° grados de inclinación, sin embargo en el sitio representado en el perfil diagramático se registró una pendiente de 26° ubicada en una ladera media, cercana a las cañadas de bosque de encino.

El bosque de *Quercus* muestra individuos tanto altos como pequeños, cuyas copas son correspondientes con su talla, sobre un terreno con inclinación entre 14° y 47°. El muestreo representado en el perfil tiene 30° de inclinación.

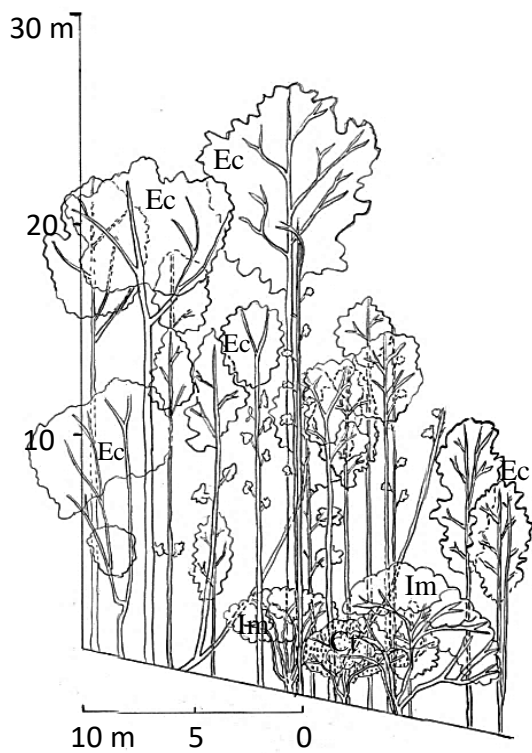


Figura 17. Perfil diagramático de la vegetación de un muestreo de una plantación de eucalipto en el Cerro Zapotecas. En la parte inferior se muestra la proyección de las copas de los árboles sobre el suelo. Clave para las especies: Ct: *Cestrum tomentosum*, Ec: *Eucalyptus camaldulensis*, Im: *Ipomoea murucoides*.

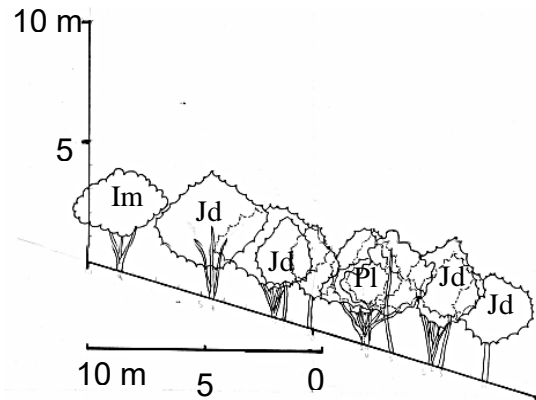


Figura 18. Perfil diagramático de la vegetación de un muestreo del bosque de *Juniperus* en el Cerro Zapotecas. Clave para las especies: Im: *Ipomoea murucoides*, Jd: *Juniperus deppeana*, Pl: *Pinus leiophylla*

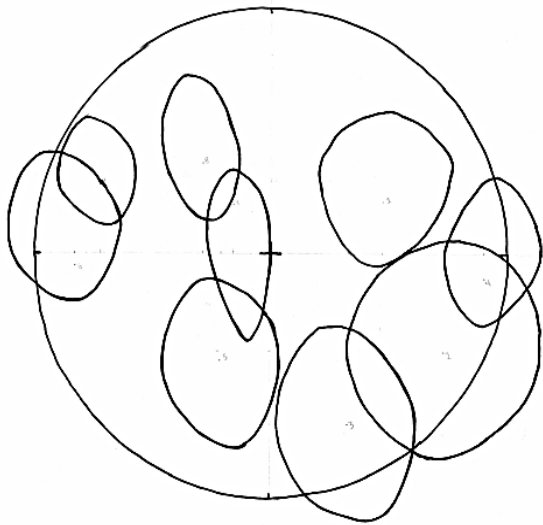
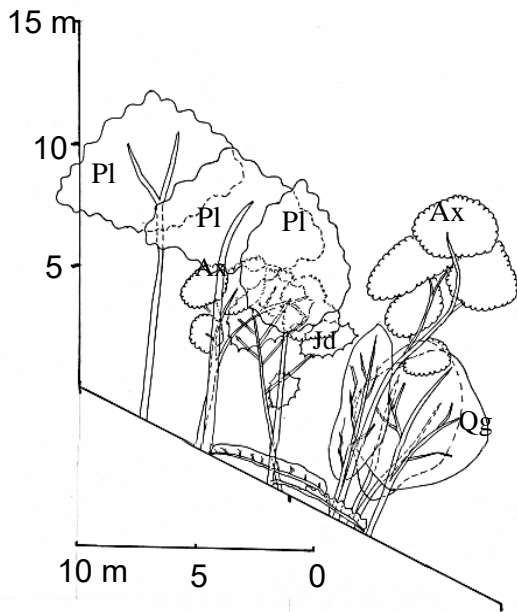


Figura 19. Perfil diagramático de la vegetación de un muestreo del bosque de *Pinus* en el Cerro Zapotecas. Clave para las especies: Ax: *Arbutus xalapensis*, Jd: *Juniperus deppeana*, Pl: *Pinus leiophylla*, Qg: *Quercus glabrescens*.

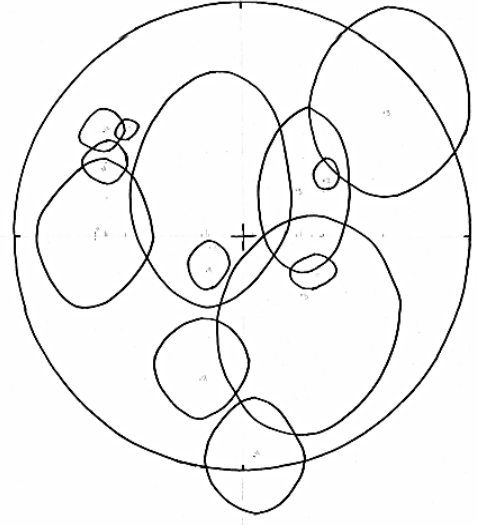
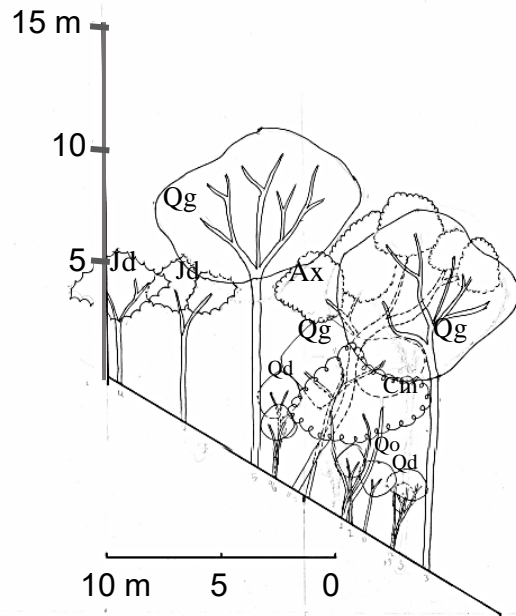


Figura 20. Perfil diagramático de la vegetación de un muestreo del bosque de *Quercus* en el Cerro Zapotecas. Clave para las especies: Ax: *Arbutus xalapensis*, Cm: *Crataegus mexicana*, Jd: *Juniperus deppeana*, Qd: *Quercus deserticola*, Qg: *Quercus glabrescens*, Qo: *Quercus obtusata*.

Estado de conservación del cerro

En la tabla 22 se comparan los datos de tipos de vegetación, área muestreada, límite inferior de DAP, área basal, cobertura y densidad de las comunidades vegetales de bosque de *Juniperus*, bosque de *Pinus* y bosque de *Quercus* de este estudio con los valores de otros bosques templados del país.

Algunos trabajos abordan comunidades adyacentes que no forman parte de los bosques templados, como es el caso del bosque tropical caducifolio (Zacarias-Eslava *et al.* 2011) y pastizales (Aragón-Piña *et al.* 2010). En general se observa que los valores obtenidos en esta investigación fueron bajos e intermedios a comparación de los que reportan las referencias, sin embargo, en el capítulo de Discusión se continúa ampliamente con el análisis crítico de los valores estructurales encontrados en este estudio.

Haciendo un resumen de los resultados mostrados en la distribución de frecuencias de diámetros de todo el estrato arbóreo (Figura 12), se muestra que las primeras categorías son las más abundantes y los valores decrecen conforme aumentan las clases de diámetro, dando lugar a una gráfica con forma de J invertida, lo que significa que en general el bosque está en proceso de regeneración. Sin embargo, si se observa la distribución diamétrica para cada comunidad (Figura 21), solamente el bosque de *Juniperus* presenta una gráfica en forma de J invertida, por otro lado, el bosque de *Pinus* no muestra que haya un alto porcentaje de individuos juveniles y más bien se encuentran individuos repartidos casi igualmente en casi todas las clases de diámetros. El bosque de *Quercus* y la plantación de eucalipto muestran una gráfica unimodal, y no presentan un alto reclutamiento de individuos debido a que la primera clase diamétrica no presenta la mayor concentración de individuos.

Tabla 22. Resumen sintético de los valores estructurales de las comunidades vegetales del Cerro Zapotecas y de otras comunidades de bosque templado en México citadas en la literatura.

Sitio y estado	Intervalo altitudinal (msnm)	Tipo de vegetación	Área muestreada	N sp.	Límite inferior de DAP (cm)	Área basal (m ² ha ⁻¹)	Cobertura (m ² ha ⁻¹)	Cobertura (%)	Densidad (ind/ha ⁻¹)	Altura (m) valor máximo	Referencia
Cerro Zapotecas, Puebla	2,160-2,380	Bosque de <i>Juniperus</i>	Método con área IFRI (1.22 ha)	7	≥3.18	10.22-23.49	4,413-15,545.55	44-155	159-382	26.2	Esta tesis
		Bosque de <i>Pinus</i>		8		15.5-37.5	7,035-18,773.75	70-188	64-382	26.5	
		Bosque de <i>Quercus</i>		13		4.54-28.25	2,304.75-12,870	23-129	159-637	20.8	
		Plantación de <i>eucalipto</i>		3		2.42 -33.19	190.15-10,396.83	2-104	64-669	28.9	
Región forestal Centro y Pico de Orizaba, Puebla	n/e	Bosque templado	4.05 ha	-	≥7.5	148.65	8,463	-	389	-	López-Hernández <i>et al.</i> (2017)
Rancho El Duranguense, Durango	2,450-2,554	BQP	Método sin área cuadrantes centrados en un punto	16	n/e	-	-	-	319-933	6.9 *	Aragón-Piña <i>et al.</i> (2010)
		BPQ				-	-	-	310-1,612	10.5*	
		Pastizal				-	-	-	151-197	12*	
Ejido Adolfo Ruíz Cortines, Durango	2,450-2,650	S1- BP, BPQ, BQP	0.4 ha	18	n/e	46.38	20,537	-	2,060	-	Domínguez <i>et al.</i> (2018)
Ejido Banderas del Águila	2,400	S2- BP				24.75	15,864	-	1,340	-	
Ejido El Brillante	2,670-2,750	S3- BPQ				45.17	27,498	-	5,120	-	
ANP Santa Bárbara	2,721	S4- Bosque de <i>Picea-Abies-Pseudotsuga</i> ANP				84.73	35,134	-	1,680	-	

Tabla 22. Continuación											
Sitio y estado	Intervalo altitudinal (msnm)	Tipo de vegetación	Área muestreada	N sp.	Límite inferior de DAP (cm)	Área basal (m ² ha ⁻¹)	Cobertura (m ² ha ⁻¹)	Cobertura (%)	Densidad (ind/ha)	Altura (m) valor máximo	Referencia
Ejido La Victoria, Durango	n/e	BPQ	0.25 ha	12	n/e	23.54	-	-	575	-	Graciano-Ávila <i>et al.</i> (2017)
Ejido Atoyaquillo, Guerrero	1,000-1,100	BPQ	0.5 ha	5	>10	-	15,349	-	254	28	Méndez <i>et al.</i> (2018)
Cerro El Águila, Michoacán	1,900-3,080	BTC	3.2 ha	23	≥2.5	17.83	-	-	1,269	7.04	Zacarias-Eslava <i>et al.</i> (2011)**
		Bosque de <i>Q. deserticola</i>		17		25.97	-	-	1,106	6.84	
		Bosque de <i>Q. castanea-Q. obtusata</i>		18		24.15	-	-	738	14.01	
		Bosque de <i>Q. rugosa</i>		15		40.39	-	-	941	18.86	
		BQP		13		60.17	-	-	797	29.56	
Sierra de Zapalinamé, Coahuila	2,380-2,600	Bosque de <i>Q. greggii-Q. mexicana</i>	3.3 ha	20	>5	28.83	-	-	2,277	-	Encina <i>et al.</i> (2009)
Zona Sujeta a Conservación Ecológica	2,000-2,300	Bosque de <i>Q. saltillensis-Q. laeta</i>				17.35	-	-	2,346	-	
Calpulálpam de Méndez, Oaxaca	2,000-3,080	Bosque de referencia BPQ	2.9 ha	-	≥10	81.26	-	-	945	-	Ramírez-Santiago <i>et al.</i> (2019)
		Selección grupal BPQ				44.08	-	-	1,137	-	
		Árboles padre BPQ				35.98	-	-	1,270	-	

Sitio y estado	Intervalo altitudinal (msnm)	Tipo de vegetación	Área muestreada	N sp.	Límite inferior de DAP (cm)	Área basal (m ² ha ⁻¹)	Cobertura (m ² ha ⁻¹)	Cobertura (%)	Densidad (ind/ha)	Altura (m) valor máximo	Referencia
Sureste de Nuevo León	n/e	BPQ área incendiada	1.6 ha	-	≥7.5	-	4,542.1*	-	186*	-	López Martínez <i>et al.</i> (2017)
		BPQ área no incendiada				-	7,409.9*	-	206*	-	
Parque Nacional El Tepozteco, Morelos	1,380-3,350	Chichinautzin BQ	0.6 ha	-	≥2.5	19.6 ±2.8 3.4-29.0	10,424±1,830 1,743-18,577	-	610.0±99.4 100-1,100	9.0±0.7 11.8	Block y Meave, (2015)
		Suchiooc BQ				42.0±4.3 20.3-66.5	20,919±2,315 9,889-29,957	-	1,040.0±172. 0 400-1,900	14.4±1. 2 24	
		Upper Otates BQ				46.4±10.6 10.3-120.9	21,526±3,995 6,440-42,313	-	940.0±131.8 300-1,900	16.7±2. 1 25.5	
		Lower otates BQ				42.3±7.9 0.2-81.3	31,341±6,135 577-65,475	-	900.0±182.0 100-2,200	15.2±2. 0 23.2	
		Oclayuca BQ				60.5±15.4 6.5-145.9	26,041±3,868 8,536-44,260	-	990.0±172.8 300-2,000	22.8±4. 0 55	
		El Tepozteco range BQ				32.7±6.2 0.5-56.1	22,028±2,903 2,768-31,671	-	810.0±79.5 400-1,100	13.3±1. 3 20	

BPQ: Bosque de pino-encino, BQP: Bosque de encino-pino, BP: Bosque de pino, BQ: Bosque de encino, BTC: Bosque tropical caducifolio (no pertenece a bosque templado). *valores promedio. n/e: no especificado. N sp.: Número de especies arbóreas. **Zacarias-Eslava *et al.* (2011) muestra el número de especies leñosas (árboles y arbustos).

Respecto a los histogramas de alturas, la comunidad de *Juniperus* muestra que hay más individuos de tallas pequeñas que medianas y grandes, el bosque de *Pinus* y la plantación de eucalipto presentan más abundancia de individuos de tallas medianas, y el bosque de *Quercus* muestra que las tallas entre pequeñas y medianas son las más abundantes.

Por otro lado, la distribución diamétrica de las especies más importantes y abundantes (Figura 14) muestran que ninguna tiene alto reclutamiento de especies, sin embargo, *Juniperus deppeana*, *Quercus glabrescens* y *Eucalyptus camaldulensis* muestran una gráfica unimodal, donde la segunda categoría fue la más abundante (la segunda y tercera para el eucalipto). *Arbutus xalapensis* mostró una distribución bimodal con bajos porcentajes de individuos en la clase diamétrica más pequeña. La distribución de porcentajes de frecuencias de sus alturas, muestran que la mayoría tiene tallas medianas, excepto *Quercus glabrescens*, ya que un alto porcentaje de individuos son de tallas pequeñas.

De las 128 especies que se reportan en este trabajo, 81 son nativas, cuatro introducidas (*Eucalyptus camaldulensis*, *Melinis repens*, *Ricinus communis*, *Sonchus oleraceus*) y 22 endémicas por otro lado, 13 especies son ruderales, tres son arvenses y 15 son arvenses y ruderales, es decir que 31 especies (24%) son indicadoras de perturbación. De acuerdo a la base de datos de la IUCN (2020) 23 especies se reportan con preocupación menor (LC: Least concern), una como casi amenazada (NT: Near Threatened) (*Eucalyptus camaldulensis*) y una como vulnerable (VU: Vulnerable) (*Pinus greggii*). En la lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2018 b) sólo se encuentra una especie registrada con la categoría “sujeta a protección especial” (Pr) (*Gentiana spathacea*) (Anexo 3), sin embargo, esta especie no se registró dentro de los muestreos, sino cerca de ellos, principalmente en las comunidades de bosque de *Pinus* y *Juniperus*.

El número de especies arvenses y ruderales, introducidas, endémicas y total por comunidad fue la siguiente (Anexo 4):

- Bosque de *Juniperus* (15 arvenses y ruderales, 3 introducidas, 8 endémicas, 58 especies en total)

- Bosque de *Pinus* (21 arvenses y ruderales, 3 introducidas, 5 endémicas, 64 total)
- Bosque de *Quercus* (12 arvenses y ruderales, 0 introducidas, 9 endémicas, 52 total)
- Plantación de eucalipto (16 arvenses y ruderales, 2 introducidas, 4 endémicas, 54 total)

Las señales de impacto antrópico que se identificaron en las comunidades fueron las siguientes (Anexo 6):

- Bosque de *Juniperus*: Se encontraron senderos en las laderas norte y noroeste donde se distribuye este bosque junto con el de *Pinus*, sin embargo, en la ladera noroeste, donde la pendiente es más pronunciada, se observaron brechas cortafuego, que las personas visitantes las utilizan para practicar motocross ciclismo de montaña y senderismo (obs. pers). En las zonas más húmedas al noroeste, en la ladera media, no se observaron señales de incendios, caso contrario en la ladera baja donde abundan pastizales, pues fui testigo de incendios que ocurrieron durante la época seca cada año que comprendió el presente estudio.
- Bosque de *Pinus*: Se encontraron brechas cortafuego y senderos como en el bosque de *Juniperus* que son usados para practicar deportes. Se detectaron señales de incendios pues se hallaron árboles vivos con la corteza carbonizada en la ladera norte y oeste principalmente, e igualmente presencié incendios en las zonas donde el bosque está más abierto (ladera oeste y algunas zonas de la ladera norte en la cima, y en las zonas bajas de la ladera noroeste). Alrededor del cráter el bosque está abierto y es muy concurrido por los visitantes, esta zona ha sido muy impactada por fogatas, campos de cultivo, por los caminos que son más amplios y el suelo está compactado, y además se observaron varios árboles muertos a causa de los incendios. En la ladera alta, cerca de la cima, se encuentra establecida infraestructura de telecomunicaciones.
- Bosque de *Quercus*: Se detectaron señales de incendios, extracción de leña, y la cañada que su ubica en la ladera norte es muy concurrida por ciclistas.

- Plantación de eucalipto: La presencia dominante del eucalipto habla de la transformación casi total de las laderas ubicadas al oriente del cerro, sin embargo, esta comunidad vegetal continúa siendo deteriorada por la presencia de personas que practican ciclismo, senderismo y motocross, y por el ramoneo en la ladera sur y sureste. Por otro lado, en la ladera este y noreste la presencia de casas-habitación, caminos y campos de cultivo son los factores que más impactan el cerro.

Con base en la integración de la información previa, el grado de conservación estimado de las comunidades vegetales del cerro es:

- Bosque de *Juniperus*: Bosque secundario con diferentes grados de perturbación (medianamente degradado, degradado, sustituido por arbustales sucesionales).
- Bosque de *Pinus*: Bosque secundario con diferentes grados de perturbación (poco degradado, medianamente degradado, degradado, sustituido por arbustales sucesionales).
- Bosque de *Quercus*: Bosque secundario con diferentes grados de perturbación (poco degradado, medianamente degradado, degradado).
- Plantación de eucalipto: Bosque transformado (sustituido por tipos de vegetación de origen antrópico y por asentamientos humanos)

Propuestas de conservación

En el Anexo 5 se muestra una lista con las especies nativas del cerro para considerarlas en proyectos de reforestación y restauración del cerro en cada comunidad vegetal, así como propuestas para la restauración y conservación de su vegetación.

6. DISCUSIÓN

A la luz de los resultados obtenidos, se comprueba la hipótesis de estudio que aborda que las comunidades vegetales del ANP de jurisdicción estatal Cerro Zapotecas presentan un alto grado de perturbación debido al impacto antrópico que se ve reflejado en sus bajos valores estructurales y a la elevada presencia de especies ruderales, arvenses e introducidas, aunque cabe discutir los fundamentos que llevan a dichas aseveraciones, ya que se debe tomar con cautela la relación de bajos valores estructurales con signos de perturbación. Asimismo, se sustentan los métodos empleados en esta investigación.

Métodos empleados

Los métodos que se han empleado para establecer los sitios de muestreo en los bosques templados de México son muy variados, por ejemplo, Block y Meave (2015) realizaron sitios al azar; Encina *et al.* (2009) y Castellanos-Bolaños *et al.* (2010), muestreo aleatorio estratificado; Aragón-Piña *et al.* (2010), cuadrantes centrados en un punto y López-Hernández *et al.* (2017), sitios permanentes de investigación silvícola. A diferencia de éstos, que son métodos probabilísticos, el presente estudio realizó un muestreo dirigido y por ende se desconoce la probabilidad de que una unidad muestral sea elegida, por ello no se pudieron construir intervalos de confianza para estimar el valor poblacional, sino sólo realizar estimaciones puntuales por medio de extrapolaciones a una hectárea, ya que la vegetación en el cerro se encuentra muy fragmentada y era necesario realizar los muestreos en lugares representativos. Por ello se muestran sólo valores de intervalo de los muestreos para cada comunidad vegetal, basándonos únicamente en la extrapolación a una hectárea, cuyo método emplean todas las referencias, evitando así errar en el análisis de los datos.

Varios autores se basaron en parcelas circulares para la obtención de los datos tal como en esta investigación (Encina *et al.*, 2009 con 66 parcelas de 500m²; Castellanos-Bolaños *et al.*, 2010 con 91 sitios de 500m²; Zacarias-Eslava *et al.*, 2011 con 80 parcelas de 400m²; Méndez *et al.*, 2018 con cinco sitios de 1000m²; Ramírez-Santiago *et al.*, 2019 con 43 parcelas de 1000m²). La ventaja de este diseño consiste en que sólo se requiere

de un punto de control al centro y no de cuatro como en las parcelas cuadradas o rectangulares (Méndez *et al.*, 2018).

Entre las referencias analizadas, el valor más alto de área muestreada fue de 4.05 ha (López-Hernández *et al.*, 2017) y el mínimo de 0.25 ha (Graciano-Ávila *et al.*, 2017). Por otro lado, el límite inferior de diámetro de inclusión varió de 2.5 a 10 cm, añadiendo que algunos trabajos no lo especificaron. Asimismo, los valores de las variables estructurales de área basal, cobertura y densidad no se muestran rigurosamente en todos los estudios. Respecto a los métodos de análisis de datos, éstos difieren igualmente, aunque la mayoría emplea los valores de importancia relativa para conocer cuáles especies aportan más a la estructura del bosque y el índice de Shannon para calcular la diversidad alfa.

Por las razones antes mencionadas, es posible que los métodos empleados influyan en los valores estructurales totales y de diversidad para cada estudio y que éstos sean difíciles de comparar con los resultados de la presente investigación.

En este estudio se empleó el método del formato P del IFRI para la obtención de datos, porque contempla la vegetación arbórea, arbustiva y herbácea, lo cual es importante porque se puede obtener más información sobre las especies dominantes y subordinadas, así como conocer las indicadores de un factor o conjunto de factores ambientales (Mateucci y Colma, 1982), en este caso las especies herbáceas sirvieron de indicadores de perturbación. Por otro lado, el IFRI es usado mundialmente y se le puede dar seguimiento a los resultados estructurales para obtener información con una perspectiva social. Por otro lado, se obtuvo la diversidad alfa en números equivalentes o efectivo de especies (D) por medio del exponencial del índice de Shannon, la cual es una medida correcta de la diversidad de acuerdo con Jost (2006) y Jost y González-Oreja (2012). Por ello, no fue posible comparar los valores de diversidad debido a que ningún estudio de referencia empleó esta fórmula, a excepción de Block y Meave (2015), aunque ellos sólo la usaron para calcular la curva de acumulación de especies.

Riqueza de especies del Cerro Zapotecas

El plan de manejo (SDRSOT, 2013) subestima la riqueza de especies del cerro puesto que sólo reporta 32 especies de plantas, por el contrario, este estudio reporta 121 especies que fueron registradas en los muestreos (18 arbóreas, 45 arbustivas, 102 herbáceas).

Respecto a la riqueza de especies de árboles, arbustos y herbáceas reportada en los estudios analizados se encontraron las siguientes cifras: 74 especies repartidas en 16 especies de árboles, 5 de arbustos y 53 de hierbas y pastos (Aragón-Piña *et al.*, 2010); 259 especies distribuidas en 20 especies de árboles, 48 especies de arbustos y 189 herbáceas (Encina *et al.*, 2009); 192 repartidas en 17 arbóreas y 106 del sotobosque en el bosque de *Quercus rugosa-Q. laurina*, 10 arbóreas y 88 del sotobosque en el bosque de *Abies religiosa* y tres arbóreas y 56 del sotobosque en el bosque de *Pinus hartwegii* (Santibañez-Andrade *et al.* 2015); y 324 especies en el Parque Nacional el Tepozteco (Block y Meave, 2015) (en la Tabla 22 se muestra la riqueza arbórea).

Con base en estos datos se infiere que la riqueza total del Cerro Zapotecas es considerable pues las cifras de especies arbóreas y del sotobosque son muy cercanas a las reportadas. Sin embargo, es importante considerar múltiples factores que pueden influir en la riqueza florística de cada lugar para hacer una comparación verosímil. Por ello en la presente investigación no se presentan aseveraciones respecto a la riqueza total del cerro, y por ende no se realizaron curvas de acumulación de especies, sin embargo, con base en las observaciones de campo, el número total de especies probablemente es mayor, sobre todo en el estrato herbáceo.

Estado de conservación de la vegetación del cerro

Los resultados basados en los bajos valores estructurales, a la presencia de especies de plantas ruderales, arvenses e introducidas, y a las señales de impacto antrópico en los bosques de coníferas y de encino del Cerro Zapotecas, indican que la vegetación es secundaria y presenta diversos grados de perturbación.

El número total de especies indicadoras de perturbación halladas en el Cerro Zapotecas (31 spp.) contrasta con la información de Aragón-Piña *et al.* (2010) pues sólo encontraron dos de estas especies en bosques de pino-encino, encino-pino y pastizal en Durango, y a pesar de que los calificaron como bosques bajos abiertos, y a que encontraron sólo 74 especies en total, los describieron en buen estado de conservación debido a la alta densidad arbórea y a la poca cantidad de especies indicadoras de disturbio. Un dato a tomar en cuenta es que el sitio de estudio de Aragón-Piña *et al.* (2010) pertenece a una región árida, y de acuerdo con Rzedowski (1978), los pinares en estas regiones suelen ser francamente abiertos. Por lo que esta es una condición característica de los pinares de clima árido presente en el norte del país. Por ello se debe tener cautela si se estudia un bosque abierto o con baja densidad, ya que puede ser así por condiciones propias de ese ecosistema o por la perturbación causada por la deforestación o incendios.

Algunas especies ruderales y arvenses reconocidas en este estudio también se encuentran reportadas en otros bosques templados como *Aristida schiedeana* en Aragón-Piña *et al.* (2010), y *Arenaria lanuginosa* e *Iresine diffusa* en Santibañez-Andrade *et al.* (2015). Encina *et al.* (2009) detectaron malezas de los géneros *Solidago*, *Bidens*, *Taraxacum*, *Asphodelus*, *Oenothera* y *Physalis*, sin embargo, los únicos géneros encontrados en este estudio que coinciden son *Bidens odorata* y *Oenothera anomala*, pero esta última no es considerada maleza y no se incluyó como tal en este estudio.

Cabe resaltar que se registraron 22 especies endémicas de México en el cerro, y aunque algunas son indicadoras de perturbación como *Brongniartia intermedia*, *Gentiana spathacea* y *Penstemon roseus*, se requiere que sean conservadas.

El elevado porcentaje de especies indicadoras de perturbación y los bajos valores estructurales coinciden con la clasificación de la vegetación del cerro en el mapa de uso de suelo y vegetación del INEGI (2011) donde muestra que una porción de la ladera norte contiene vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino. Por otro lado, en este estudio se comprueba que la cobertura forestal del cerro es un poco más amplia, y no sólo se concentra en la ladera norte; además se muestra que contiene otras

comunidades vegetales donde el INEGI (2011) indica que es superficie de agricultura de temporal anual.

Comunidades vegetales

La identificación de las comunidades y asociaciones vegetales por medio del reconocimiento de las especies dominantes fue un método viable, tal como lo realizaron González-Elizondo *et al.* (1993) Castellanos-Bolaños *et al.* (2010), y Zacarias-Eslava *et al.* (2011), y además las asociaciones se pudieron comprobar por medio del dendograma.

A pesar de que la extensión de los bosques en el cerro es escasa, como se visualiza en el mapa de la figura 15, se hallaron cuatro comunidades vegetales: bosque de *Juniperus*, bosque de *Pinus*, bosque de *Quercus* y una plantación forestal con fines de reforestación de *Eucalyptus camaldulensis*. Esta última es la que más extensión ocupa.

Es muy probable que los bosques de coníferas y el bosque de *Quercus* que aún permanecen en la ladera norte, noroeste y oeste del cerro, se deba a que son zonas de difícil acceso para los humanos por las pendientes abruptas, y por ello no han sido impactados significativamente por el pastoreo o la agricultura como sucede en la mayor parte de la superficie del Cerro Zapotecas.

Estructura de las comunidades vegetales

El bosque de *Juniperus* del Cerro Zapotecas no pudo ser directamente comparado con las investigaciones de referencia debido a la carencia de información respecto a este bosque, sin embargo, Rzedowski (1978) expone que los bosques de *Juniperus*, en el centro de México, posiblemente representan fases de sucesión secundaria, cuyo climax corresponde al pinar o encinar. Sin embargo, como tal las especies de *Juniperus* es común encontrarlas en los bosques de pino y encino. Asimismo, Rzedowski (1978) comenta que las alturas más frecuentes de este bosque oscilan entre 2 y 6 m y son comunidades abiertas. Esta información concuerda con la densidad hallada pues varió de 159 a 382 ind/ha, lo que indica que es un bosque abierto, por otro lado, las alturas registradas en algunos muestreos encajan en la referencia de Rzedowski (1978), y se puede visualizar en el perfil de vegetación del bosque de *Juniperus* (Figura 18), por otro

lado, si se observa la tabla de datos estructurales de esta comunidad (tabla 14) el valor máximo de altura fue de 26.2 m, pero este valor se registró de un eucalipto hallado en este bosque.

El bosque de *Pinus* del Cerro Zapotecas tiene intervalos de área basal de 15.5-37.5 m² ha⁻¹, el valor máximo registrado es más alto al de Domínguez *et al.* (2018) en el Ejido Banderas del Águila, Durango (24.75 m² ha⁻¹), y al BPQ de Graciano-Ávila *et al.* (2017) (23.54 m²ha⁻¹), no obstante, son valores bajos si se comparan con el BPQ de referencia sin aprovechamiento de Ramírez-Santiago *et al.* (2019) (81.26 m² ha⁻¹), al bosque templado evaluado por López-Hernández *et al.* (2017) (148.65 m² ha⁻¹), y a los BPQ de los Ejido Adolfo Ruíz Cortines, Durango (46.38 m² ha⁻¹) y Ejido El Brillante (45.17 m² ha⁻¹) (Domínguez *et al.*, 2018).

La altura máxima registrada en este bosque (26.5 m), es muy cercana a la registrada por Méndez *et al.* (2018) (28 m) en el BPQ del Ejido Atoyaquillo, Guerrero. Aunado a esta información, Rzedowski (1978) explica que la altura del bosque de pino oscila entre 8 y 25 m pero puede alcanzar hasta 40 m. Asimismo menciona que el fuste común varía entre 20 y 60 cm. En este bosque se encontró un intervalo de altura de 3 a 26.5 m y se registró un diámetro de hasta 71.3 cm. Lo que indica que están presentes árboles muy longevos con alturas significativas, sobre todo los del género *Pinus*.

Comparando los valores de cobertura en área (m²ha⁻¹) se observa que el bosque de *Pinus* (7,035-18,773.75 m² ha⁻¹), tomando en cuenta sólo el valor máximo, registra mayor cobertura que el registrado por López-Hernández *et al.* (2017) (8,463 m² ha⁻¹), Domínguez *et al.* (2018) (15,864 m² ha⁻¹), Méndez *et al.* (2018) en BPQ (15,349 m² ha⁻¹) y a los valores promedios de López Martínez *et al.* (2017) en BPQ incendiados y no incendiados (4,542.1 y 7,409.9 m² ha⁻¹), pero es un valor bajo si se compara con el BPQ de Domínguez *et al.* (2018) (20,537 y 27,498 m² ha⁻¹).

Los valores de densidad del bosque de *Pinus* (64-382 ind/ha), son bajos si se comparan con los valores de López-Hernández *et al.* (2017), Aragón-Piña *et al.* (2010), Domínguez *et al.* (2018), Graciano-Ávila *et al.* (2017) y Ramírez-Santiago *et al.* (2019) (Tabla 20), por el contrario, si se considera sólo el valor máximo, es posible inferir que el bosque es más denso que los reportados por Méndez *et al.* (2018) (254 ind/ha⁻¹), y a los

BPQ incendiados y no incendiados de López Martínez *et al.* (2017) (186 y 206 ind/ha⁻¹). Estos valores son considerados bajos de acuerdo con Méndez *et al.* (2018). Así que en general, se puede inferir que la densidad de este bosque no conforma comunidades cerradas como los de Domínguez *et al.* (2018), donde registraron 1,020 individuos arbóreos, en el presente estudio sólo se reportaron 376 en todo el estrato arbóreo (contando a los 145 individuos de eucalipto) por lo tanto 231 individuos sólo pertenecieron a especies características de bosque templado. Estos resultados sustentan los valores bajos de densidad.

Retomando a Rzedowski (1978), es común que los bosques de pino sean moderadamente abiertos y que penetre bastante luz, aunque los que se desarrollan en un clima árido es característico que sean bosques abiertos. Sin embargo, debido a que el Cerro Zapotecas se encuentra en una zona de clima templado subhúmedo, se esperaría que los bosques fueran moderadamente abiertos y no muy abiertos como se registró en algunas zonas. Como indican los valores de intervalo, hay zonas del cerro donde la densidad es muy baja (64 ind/ha⁻¹), mientras que en otras zonas (con densidad de hasta 382 ind/ha⁻¹) son comunidades moderadamente abiertas, esta misma relación es correspondiente con los valores de área basal y cobertura para esta y las demás comunidades. En el mapa de la figura 21 se muestran las zonas con los valores estructurales más bajos y moderadamente bajos para cada comunidad, con base en los valores estructurales de los muestreos.

El bosque de *Quercus* del Cerro Zapotecas, tiene valores de intervalo de área basal de 4.54-28.25 m² ha⁻¹. Considerando el valor máximo, se observa que es un valor muy cercano e incluso superior a los reportados en el Bosque de *Q. deserticola* (25.97 m² ha⁻¹) y en el Bosque de *Q. castanea*-*Q. obtusata* (24.15 m² ha⁻¹) por Zacarias-Eslava *et al.* (2011) en el Cerro El Águila, Michoacán; sin embargo, en el mismo sitio se reportan valores más altos en el Bosque de *Q. rugosa* (40.39 m² ha⁻¹) y en el BQP (60.17 m² ha⁻¹). Asimismo, comparándolos con los valores, confirmados como bajos de Encina *et al.* (2009), (28.83 m² ha⁻¹, 17.35 m² ha⁻¹) son menores. Por otro lado, en los encinares del Parque Nacional El Tepozteco, Morelos, estudiados por Block y Meave (2015), donde se muestran seis intervalos diferentes entre sí, se observa que el valor mínimo y el máximo

entre todos los datos, se tiene un intervalo de 0.2-145.9 m² ha⁻¹ entre todos los sitios estudiados. Por consiguiente, el área basal del bosque de *Quercus* del cerro se encuentra en valores intermedios de los reportados, pero son considerados bajos, si se comparan con los de Encina *et al.* (2009) y con los valores promedio de Block y Meave (2015) que van de 32.7 a 46.4 m² ha⁻¹.

La altura máxima que se registró fue de 20.8 m, cuyo valor es cercano a los encinares medidos por Block y Meave (2015). Rzedowski (1978) afirma que la mayor parte de los bosques de *Quercus* de este país está formada por arboles bajos y con troncos delgados. Estas características se pudieron notar en varias zonas, además de que este bosque registró un diámetro máximo de 45.5 cm, el menos grueso entre los valores máximos de las demás comunidades (Tabla 15).

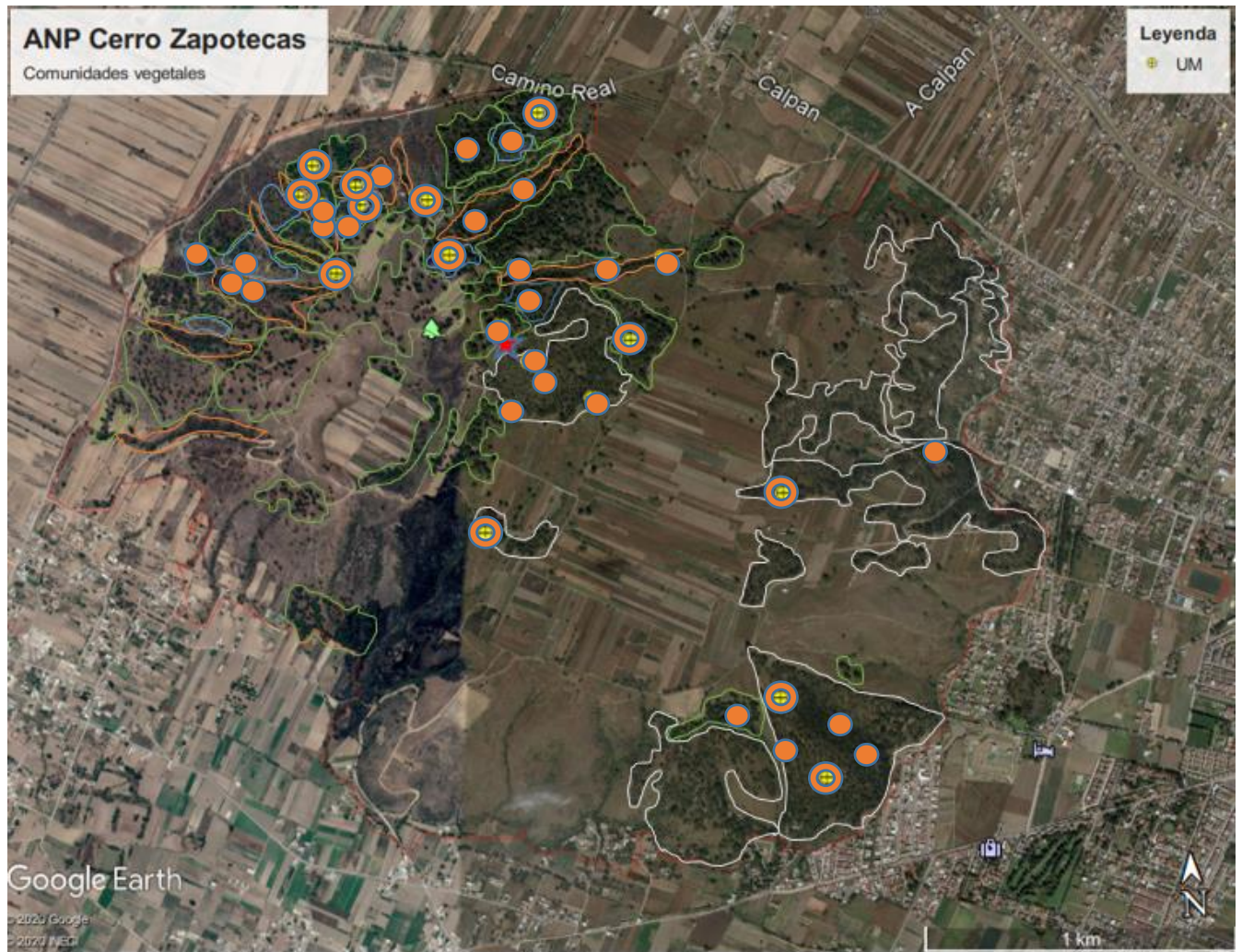
El intervalo de cobertura del bosque de *Quercus* fue de 2,304.75-12,870 m² ha⁻¹, estos valores sólo pueden ser comparados con los de Block y Meave (2015), ya que fueron los únicos que los reportan. Los intervalos son peculiares para cada sitio del Parque Nacional El Tepozteco, sin embargo, el valor máximo y mínimo registrados en general fueron 577 y 65,475 m² ha⁻¹, si se observan los valores promedio se muestra que la mayoría son más altos que el valor máximo que se registra en el Cerro Zapotecas, por lo que la cobertura del bosque de *Quercus* del Zapotecas representa valores bajos a los reportados.

Los valores de densidad del encinar del Cerro Zapotecas (159-637 ind/ha⁻¹) son bajos a comparación de los reportados por Encina *et al.* (2009) (2,277 ind/ha⁻¹, 2,346 ind/ha) y Zacarias-Eslava *et al.* (2011) (738-1,106 ind/ha⁻¹) y a los valores promedio de Block y Meave (2015), en cambio, se observa que son valores intermedios bajos si se les compara con los intervalos de Block y Meave (2015), pues ellos reportan un mínimo de 100 ind/ha⁻¹ y un máximo de 2,200 ind/ha entre todos los sitios de su estudio.

Por otro lado, Rzedowski (1978), expone que los encinares suelen ser bosques cerrados, abiertos o muy abiertos. En el mapa se observa que los encinos están bien establecidos en las cañadas, y debido a que se trata de cañadas con condiciones de humedad elevada, se esperaría que fuera una comunidad densa, sin embargo, se ha observado que han sido afectadas por constantes incendios, y se han identificado rebrotes de individuos que posiblemente perecieron por el fuego o por ser talados,

además se ha observado que han sido afectados por enfermedades fúngicas que han disminuido su follaje y por ende su cobertura (obs. pers). Posiblemente estas afectaciones han influido en su estructura, y esto se vea reflejado en la baja densidad de este bosque.

Debido a que no se encontró ningún estudio que abordara la estructura de *Eucalyptus camaldulensis*, sólo fue posible comparar los valores estructurales registrados en el presente estudio con la información disponible sobre cultivos de *Eucalyptus globulus*, ya que esta especie tiene un valor económico importante por ser aprovechada para la fabricación de papel, además de que también se ha empleado como un árbol de ornato en la ciudad de Puebla (obs. pers.) La densidad registrada en el cerro fue un intervalo de 64-669 ind/ha, sin embargo, Galetti, (s/f) reportaron una densidad de 582 a 2,083 ind/ha⁻¹ en cultivos en Balarce, Argentina, y concluyeron que la densidad de 1,111 ind/ha, que equivale a un distanciamiento de 3 x3 m, es la más adecuada para cultivar eucaliptos con fines de aprovechamiento maderable. Por lo tanto, los valores de la plantación de *E. camaldulensis* son relativamente más bajos a los reportados. En los bosques de Australia, esta especie suele tener una altura de 20 m (Western Australian Herbarium, 1998–) a 50 m FAO (1981), sin embargo, en este estudio se registraron alturas de hasta 28.9 m.



- Simbología**
- Bosque de *Juniperus*
 - Bosque de *Pinus*
 - Bosque de *Quercus*
 - Plantación de *E. camaldulensis*
 - ★ Cima
 - Bosque moderadamente abierto
 - ⊕ Bosque muy abierto

Figura 21. Mapa que muestra la distribución de las zonas con los valores estructurales más bajos y moderadamente bajos para cada comunidad, con base en los valores estructurales de los muestreos.

Las comunidades vegetales con mayor número de plántulas fueron el bosque de *Quercus* y el bosque de *Juniperus* con 15 y 14 individuos respectivamente. Por otro lado,

las especies de plántulas más abundantes fueron *Pinus leiophylla* y *Quercus glabrescens* con 10 y 13 individuos respectivamente. Estos valores bajos y la nula presencia de plántulas en la mayoría de los muestreos pueden deberse principalmente a los constantes incendios que las destruyen y por el impacto de los senderistas y ciclistas que suelen abrir veredas en el bosque (obs. pers), además de que también puede ser por la competencia con otras plantas, o no se dan las condiciones ambientales necesarias, o por la baja producción de bellotas por parte de los encinos ante las condiciones de estrés que puedan presentar.

Histogramas de frecuencia

A comparación de los histogramas de distribución de frecuencias de todas las referencias analizadas, donde muestran que los bosques están en proceso de regeneración ya que las categorías diamétricas inferiores fueron las mejor representadas, en el Cerro Zapotecas el escenario es distinto.

Aunque en el histograma de frecuencias de diámetros de todo el bosque se muestra que la clase menor tiene la mayor concentración de individuos, no se recomienda afirmar que la vegetación del cerro se está regenerando, ya que está compuesta por diferentes comunidades que deben ser analizadas individualmente. Cabe mencionar que debido a que se presentaron individuos arbóreos con troncos de grosor diverso, se indica que el bosque es incoetáneo, es decir árboles de diferentes edades, como los estudiados por Encina *et al.* (2009), pero debe ponerse especial atención en las categorías diamétricas con mayor abundancia de individuos, pues de su interpretación se obtiene información valiosa, como a continuación se presenta.

El bosque de *Juniperus* fue el único que muestra regeneración en su comunidad con un elevado porcentaje de individuos jóvenes con diámetro angosto. El bosque de *Quercus* y la plantación de eucalipto no muestran alto reclutamiento de individuos como el bosque de *Juniperus* ya que en la segunda y tercera categoría diamétrica muestran la mayor abundancia de individuos. respectivamente. Es necesario observar que en la gráfica de bosque de *Pinus* los individuos se encuentran repartidos casi igualmente en casi todas las clases diamétricas, por lo tanto, no muestra un elevado reclutamiento de especies.

Pinus leiophylla fue la especie con más altos VIR en el bosque de *Pinus* y la mayoría de los individuos tiene un diámetro de 29 a 39 cm. Estas características demuestran que el bosque de *Pinus* se encuentra vulnerable pues si aconteciera un fenómeno, como una plaga que arrasara con los individuos grandes, habría muy pocos individuos que continuasen con la sucesión de la comunidad. Una situación parecida fue encontrada en Castellanos-Bolaños *et al.* (2010), ya que la mayoría de los individuos de *P. leiophylla* eran de tallas grandes, de distribución restringida y con alta competencia. Llegaron a la conclusión de que es un taxón que pudiese estar en proceso de ser desplazado.

Lamentablemente, este fenómeno ya está ocurriendo en el cerro pues el año pasado, 2019, se reportó que una plaga de escarabajo descortezador estaba afectando a los pinares (Rodríguez Linares, 2019), y aunado al impacto de los constantes incendios, muchos individuos que en el comienzo de esta tesis estaban verdes, ahora están muertos (obs. pers.).

Un dato interesante respecto a *Pinus leiophylla*, es que, en el valle de México, parece invadir con frecuencia los encinares incendiados o perturbados, además de que resiste los incendios frecuentes y largos periodos de sequía, sobre suelos someros y rocosos (tal como en algunas zonas del Cerro Zapotecas), pero pueden perecer ante la competencia de otras especies mejor adaptadas (Rzedowsky, 1978). Con base en esta información se puede argumentar que la dominancia de *P. leiophylla* en la comunidad de *Pinus*, se deba a que resiste mejor los incendios y por ello sea la especie que se extiende en más zonas del Cerro Zapotecas a comparación de *Pinus devoniana*.

Por otro lado, la distribución diamétrica de las especies más importantes en todo el cerro, mostró que ninguna tiene alto reclutamiento de especies, sin embargo, *Juniperus deppeana*, *Quercus glabrescens* y *Eucalyptus camaldulensis* mostraron mayor abundancia de individuos en la segunda categoría diametral.

A pesar de que *Arbutus xalapensis* fue la especie más abundante después de *E. camaldulensis*, mostró una distribución bimodal con bajos porcentajes de individuos en la clase diamétrica más pequeña, esto implica que es una especie que no se está reclutando activamente.

Composición de especies, comunidades vegetales y diversidad

Las familias con mayor número de especies, contemplando los tres estratos, fueron Asteraceae, Fabaceae y Poaceae, resultados idénticos a los de Encina *et al.* (2009) y Block y Meave (2015), y similares a los de Aragón-Piña *et al.* (2010) (Asteraceae, Fagaceae, Pinaceae y Poaceae), asimismo, se coincide con Rzedowski (1978) quien afirma que en los bosques de pino y encino las familias más importantes son Asteraceae y Poaceae.

En el estrato arbóreo, las especies que se encontraron con mayor frecuencia entre los muestreos fueron: *Arbutus xalapensis* (46%), *Eucalyptus camaldulensis* (38%), *Pinus leiophylla* (31%), *Juniperus deppeana* (28%) y *Quercus glabrescens* (26%). Estas especies también fueron las que obtuvieron los VIR más altos de todo el estrato arbóreo, donde *E. camaldulensis* y *A. xalapensis* fueron las que obtuvieron los valores más altos. Se ha reportado que *A. xalapensis* es indicadora de sitios abiertos expuestos a insolación (Aragón-Piña *et al.*, 2010) lo que da un indicio de que la vegetación del Cerro Zapotecas tiene claros en el bosque que proporciona soporte concluyente de la alta frecuencia de esta especie y de los bajos valores estructurales. Aunque en los encinares estudiados por Block y Meave (2015) y cuyos valores estructurales fueron altos, *A. xalapensis* fue una de las especies más dominantes con altos VIR en los sitios, aunque no fue superior a los VIR de los encinos. Por otra parte, Encina *et al.* (2009) menciona que esta especie se establece preferiblemente en los bosques de clima templado subhúmedo donde cohabita con encinos y pinos. Por lo que haría falta analizar por comunidad vegetal la dominancia de esta especie en el Cerro Zapotecas, especialmente en los sitios de bosque de *Quercus*.

Comprobando lo antes mencionado, *Arbutus xalapensis* estuvo entre las especies más dominantes de los bosques de *Juniperus*, *Pinus* y *Quercus*, pero no en el primer lugar. Cabe aclarar que no se halló ningún individuo de esta especie en la plantación de eucalipto.

Ya que la especie *Eucalyptus camaldulensis* fue la especie que obtuvo el VIR más alto, se infiere que tiene una presencia fuerte en la superficie del cerro, además, esto es un indicio de la escasa área ocupada por especies nativas. En la figura 7 se puede

visualizar que la cobertura de los bosques de coníferas y de *Quercus* ocupan muy poca superficie a comparación del área total del cerro.

Las comunidades vegetales que componen al Cerro Zapotecas contienen especies características de otros bosques templados del país (Rzedowski, 1978). En el bosque de *Pinus* se reportaron sólo tres especies de este género en los muestreos, número cercano al reportado por Méndez *et al.* (2018) donde registraron sólo dos especies de *Pinus* en BPQ. Argumentaron que esta baja riqueza de especies puede deberse al impacto de factores antrópicos como la agricultura, la tala clandestina y constantes incendios accidentales. En contraste, Rzedowski (1978) menciona que los pinares pueden estar constituidos por una sólo especie, por tanto, es necesario que se evalúe la estructura de la comunidad y la presencia de factores antrópicos para inferir las posibles razones de la riqueza de determinado lugar.

En las laderas con comunidades de coníferas, *Pinus leiophylla* y *Pinus devoniana* se encontraron frecuentemente y parecen conformar la comunidad nativa de pinos del lugar, pues en el caso de *P. leiophylla* en el Parque Nacional La Malinche, esta especie es común encontrarla por debajo de los 2,500 m.s.n.m. (Fernández Fernández y López-Domínguez, 2005), sin embargo, en la ladera sur, junto a la zona de plantación de eucaliptos en la ladera sureste, se hallaron varios individuos de *Pinus pseudostrobus*, junto con algunos de *Pinus montezumae* y *Pinus greggi*. Es muy probable que estas tres últimas especies sean introducidas como parte de reforestaciones, pues en el caso de *Pinus pseudostrobus*, se registró un DAP máximo de 43 cm, en cambio *Pinus leiophylla* alcanzó hasta 71 cm de y *Pinus devoniana* 57 cm. Se ha reportado que la distribución de *Pinus pseudostrobus* se encuentra en sitios donde la precipitación media anual es superior a 1,000 mm a lo largo de la Sierra Madre Oriental, es decir de Tamaulipas a Oaxaca, junto con *Pinus patula* (Rzedowski, 1978).

De acuerdo con Rzedowski (1978) los pastos suelen ser dominantes en el sotobosque de los pinares, aunque su presencia pueda deberse tanto por condiciones naturales o por disturbios donde son favorecidos por los incendios. Sin embargo, algunos indicadores de que son bosques protegidos, húmedos y sombreados es la presencia de musgos, líquenes y hongos en el estrato rasante. Durante los meses de muestreos, en

época de secas, no se observaron hongos, pero sí musgos en las zonas con pendientes marcadas o de difícil acceso donde no suelen entrar las personas.

El sotobosque de los pinares es principalmente herbáceo, ya que la presencia de los arbustos puede verse limitada por los incendios (Rzedowski, 1978). En el caso del Zapotecas, en algunas zonas se observó un sotobosque denso dominado principalmente por el arbusto *Verbesina virgata* y por el pasto *Muhlenbergia capillaris*. Aunque también es común encontrar especies arbustivas de los géneros de *Eupatorium*, *Senecio*, *Baccharis*, *Salvia*, *Stevia*, *Cestrum*, *Desmodium*, *Mimosa*; y en el estrato herbáceo de especies de Asteraceae, Poaceae, Lamiaceae, Rosaceae, Pteridaceae, Commelinaceae, Liliaceae, Scrophulariaceae, Geraniaceae, Cyperaceae y Rubiaceae (Rzedowski, 1978), tal como se encontró en el bosque de *Pinus* del cerro.

Muchas especies del estrato arbóreo y del sotobosque suelen ser compartidas en los bosques de pino y encino como las especies arbóreas de *Pinus*, *Quercus*, *Crataegus*, *Juniperus*, *Arbutus*, *Prunus*, y *Garrya*, aunque esta última es característica de fondos de cañadas (Rzedowski, 1978). Este aspecto se puede comprobar con el porcentaje de similitud de especies entre estas dos comunidades con un 38%. Aunque las comunidades con mayor porcentaje de similitud fue el bosque de *Juniperus* con el bosque de *Pinus* con un 67%, este resultado puede deberse a su estrecha cercanía.

La plantación de eucalipto ha reemplazado casi en su totalidad a la vegetación nativa en porciones grandes de terreno en el cerro, y compromete la composición de especies nativas en las otras comunidades, pues fue registrado en el bosque de *Juniperus* y de *Pinus*. Afortunadamente, la especie *E. camaldulensis* no se halló en el bosque de *Quercus*, como se comprueba con un 0% de similitud en la composición de sus especies arbóreas entre este bosque y la plantación de eucalipto. Este resultado es un buen indicio pues aún no ha sido invadido por esta especie exótica, posiblemente por la ubicación opuesta en la que se encuentran sobre el cerro o porque esta especie no ha encontrado las condiciones para establecerse en las cañadas.

En las laderas del costado oriente del cerro donde se encuentra distribuido predominantemente *E. camaldulensis*, las especies *Acaciella angustissima* e *Ipomoea*

murucoides están presentes. Éstas son características de zonas áridas o semiáridas (Rincón-Rosales y Gutiérrez-Miceli, 2008, y Vibrans Lindemann, 2012).

Es posible que esas laderas, al estar más expuestas a la luz solar, con suelo rocoso, con una pendiente ligera, en intervalos de altitud bajos y un ambiente más cálido que en las laderas opuestas al oeste con elevada pendiente y humedad, haya estado compuesto originalmente por comunidades de especies características de bosque tropical caducifolio, como en Zacarias-Eslava *et al.* (2011) que identificaron este tipo de vegetación en altitudes inferiores del cerro El Águila en Michoacán compuesto por encinares principalmente. Aunque, también es posible que esta comunidad haya sucedido a los pinares que fueron eliminados de esta zona, pues se identificó un remanente de esta vegetación en una cañada donde se encontraron aproximadamente 17 individuos de *Pinus leiophylla* de tallas grandes y varios individuos de *Juniperus deppeana* con los diámetros más gruesos que se observaron en el cerro (de hasta 60 cm) (obs. pers.). Parece posible que desde la época de las culturas prehispánicas durante el Preclásico (650-350 a.C.), el Epiclásico (600/650-800 d.C.) y el Posclásico (800-1500 d.C.) el Cerro Zapotecas haya sido deforestado por los habitantes de esas épocas en la planicie de la terraza principal y en las laderas de Zapapexpan y Tepontla (Figura 2), pues han sido encontrados en ese lugar restos arqueológicos (Salomón, 2008).

Comparando la diversidad en números equivalentes entre las comunidades vegetales, se observa que la más diversa fue el bosque de Pinus, y la menos diversa fue el bosque de eucalipto. Por otro lado, si se analiza el número de especies por comunidad se puede obtener información interesante que se muestra a continuación.

Encina *et al.* (2009) encontraron que la riqueza herbácea fue más alta en las elevaciones bajas donde ocurren más incendios. Por el contrario, en los bosques situados en altitudes superiores encontraron más riqueza de especies arbóreas y el bosque es más denso y perenne probablemente porque el ambiente es más húmedo y menos árido. Relacionado a esto, Block y Meave (2015) explican que los valores de riqueza pueden verse influidos no sólo por el disturbio antrópico, sino también por los regímenes de luz, ya que en lugares donde las copas de los árboles impiden el paso de la luz solar, limita el crecimiento de plantas herbáceas, además de que la hojarasca (especialmente las

hojas de los pinos) también puede obstaculizar el crecimiento de las plantas. Esto puede indicarnos que una comunidad con alta densidad y cobertura arbórea en altitudes altas tenga altos valores de riqueza arbórea pero bajos valores de riqueza de herbáceas, y que una comunidad en altitudes bajas vulnerable a incendios tenga mayor número de especies herbáceas y menor cantidad de especies arbóreas.

Con base en esta información, se comprende mejor que el bosque de *Quercus* que contiene mayor número de especies arbóreas (13 spp.), muestre una densidad más alta que los bosques de coníferas, y por distribuirse en lugares sombreados en las cañadas, tenga menor número de especies herbáceas (34 spp.) aunque no se encuentre en las altitudes más altas del cerro; además, una especie indicadora de condiciones de humedad elevada en este lugar es la insectívora *Pinguicola moranensis*.

Por lo contrario, en el bosque de *Pinus*, donde se esperaría hallar menos especies herbáceas, se registró el mayor número (52 spp.), como también menor número de especies arbóreas a comparación del bosque de *Quercus*. Esto puede indicarnos que las cañadas proveen de más sombra y humedad que en las laderas con bosque de *Pinus*, además de que probablemente en ellas ocurren con menor frecuencia los incendios que en las laderas, y es por ello que el bosque de coníferas tenga mayor número de especies herbáceas.

De toda la flora registrada, la única especie que se encontró en la lista de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2018 b) con la categoría “sujeta a protección especial” (Pr) fue *Gentiana spathacea*. Sin embargo, algo contradictorio es que esta es una especie indicadora de vegetación secundaria de los bosques de las montañas del centro y norte de México (Vibrans Lindemann, 2012). Esta afirmación confirma que la vegetación en el bosque de *Pinus* es secundaria, y se corrobora la información de la autora ya que efectivamente, varios de estos individuos se observaron en claros en bosque de *Pinus*.

Otro hallazgo interesante fue encontrar fuera de los muestreos un individuo de *Pinus teocote*, en la cima del cerro junto a la comunidad de eucaliptos, su talla es grande (obs. pers), aunque no se descarta la posibilidad de que sea una especie introducida como reforestación junto con los eucaliptos, es posible que sea un relictos de la comunidad

nativa del cerro. Asimismo, la presencia de *Pinus devoniana* en las laderas bajas del lado norte y noroeste (en las zonas menos perturbadas del cerro), puede confirmar que esta especie es nativa del cerro y del estado de Puebla, pues en Ramos-Dorantes (2015), esta especie no está reportada como parte de la flora de nuestro estado.

Factores de disturbio en el Cerro Zapotecas

Hobbs y Huenneke (1992) mencionaron que el disturbio puede modificar la estructura de las comunidades vegetales, recalcando que cuando varios factores de disturbio afectan a la misma comunidad aumenta el potencial de invasión de especies de plantas no nativas. Por ello es probable que en el Cerro Zapotecas se encuentre un elevado porcentaje de especies de plantas ruderales, arvenses e introducidas debido a los constantes disturbios antrópicos que acontecen sobre él, como: pastoreo, ecoturismo no regulado que incluye senderismo y deporte de alto impacto que abren, excavan y desmontan vegetación para hacer veredas como ciclismo y motocross, la presencia de campos de cultivo, los incendios constantes, los residuos que los visitantes, el establecimiento de infraestructura que fragmenta el bosque (caminos con cemento, antenas de telecomunicaciones, postes de luz, casas habitación, polvorines), y la extracción de arcilla para la fabricación de ladrillo. Una situación muy parecida expone Santibañez-Andrade *et al.* (2015) en un bosque de *Quercus rugosa-laurina*, donde registraron cuatro especies introducidas y 18 malezas en promedio, y explican que esto es posiblemente ocasionado porque el bosque se encuentra accesible a las personas y está expuesto a disturbio antrópico como apertura de caminos y veredas.

Por otro lado, es entendible que hayan utilizado a *E. camaldulensis* como especie de reforestación debido a su rápido crecimiento y resistencia ante condiciones climáticas no favorables, sin embargo, esta especie ha modificado considerablemente el paisaje natural del cerro, y no permite que otras especies arbóreas se establezcan, pues se halló que un individuo de *Ipomoea murucoides* que fue medido en un muestreo dentro de la plantación, un año después fue hallado muerto (obs. pers).

De acuerdo con Encina *et al.* (2009), los encinares expuestos a mayor aridez o incendios son más afines a tener mayor presencia de arbustos, que son resistentes a incendios y pueden adaptarse. La dominancia de arbustos sobre individuos jóvenes

arbóreos puede resultar en un reemplazo a mediano plazo del encinar por matorrales secundarios, herbáceas anuales y zacates secundarios (Ramirez, González y Williams, 2001).

Al incrementar la disponibilidad de forraje provisto por los zacates, llega el ganado a ramonear y ocasiona que se vean comprometidas plántulas arbóreas y con ello la dificultad de que se regenere el bosque. (Encina *et al.* 2009) además de que se compacta el suelo y el disturbio permite el establecimiento de especies invasoras ruderales dispersadas por el ganado (Pettit *et al.* 1995). Analizando el número de malezas y riqueza de herbáceas, este fenómeno parece estar ocurriendo en los bosques de *Pinus* cercanos al cráter y a la plantación de eucalipto.

La compactación del suelo ocasionado por los visitantes y el ganado puede provoca que se filtre menos agua de lluvia y a que se comience a erosionar el suelo. Además, si en el cerro se expanden más los campos de cultivo de temporal, pueden ocasionar una erosión grave si son abandonados (Rzedowsky, 1978). Por ello es muy importante que se atiendan estos factores en el cerro para no comprometer más su biodiversidad.

Hay dos posturas respecto al impacto de los incendios en los bosques, por un lado, se consideran perjudiciales porque impiden su regeneración y permanencia reduciéndolos a comunidades más sencillas, por otro lado, se consideran beneficiosos pues reducen la competencia de los pinos contra las especies que no toleran los incendios, permitiendo que los pinares permanezcan, además de que es necesario analizar su periodicidad e intensidad. En el caso del Cerro Zapotecas, las especies de pino que se registraron en las laderas con mayor cobertura forestal, no presentan conos serótinicos, como *Pinus oocarpa* y *Pinus greggi*, en los que sus conos se abren en altas temperaturas por el fuego y permiten la liberación de sus semillas (Rzedowsky 1978), aunque *Pinus leiophylla*, parece invadir los encinares perturbados y resistir el fuego (Rzedowsky 1978), el escenario general indica que la alta frecuencia de los incendios está perjudicando la estructura y composición de la vegetación del cerro (Rzedowsky, 1978).

El contexto actual indica que los bosques templados en el Eje Volcánico Transversal se han visto reducidos por el impacto de la presión demográfica (Rzedowski, 1978). Los pocos lugares con vegetación nativa que restan se encuentran vulnerables, tal como en el Cerro Zapotecas y en el Cerro El Águila en Michoacán (Zacarias-Eslava *et al.* 2011).

A pesar de que el Cerro Zapotecas se encuentra entre dos importantes parques nacionales (La Malinche y el Iztaccíhuatl Popocatepetl) contiene especies que no están registradas en estos lugares, como *Pinus devoniana*. Es muy importante cuidar el Cerro Zapotecas y su vegetación, por su valor intrínseco, por toda la diversidad biológica que posee y por todos los servicios ecosistémicos que brinda, como los de aprovisionamiento (oxígeno, agua dulce); de regulación (captura de carbono, regulación del clima, filtrado de aire, estabilidad y formación del suelo, control de deslizamiento de tierra), y culturales (cohesión social, recreación, educación) (Galicia y Zarco-Arista, 2014).

7. CONCLUSIONES

Aporte científico:

- Se contribuye al conocimiento científico botánico y ecológico del ANP Cerro Zapotecas por medio del reconocimiento de cuatro comunidades vegetales: bosque de *Juniperus*, bosque de *Pinus*, bosque de *Quercus* y plantación de *Eucalyptus camaldulensis*.
- Los valores de la estructura cuantitativa de los bosques templados van de muy bajos a moderadamente bajos.
- Las comunidades de bosques templados (a excepción del bosque de *Juniperus*), no presentan una regeneración natural.
- Se registraron 128 especies de plantas vasculares, de ellas, 81 son nativas, 4 introducidas (*Eucalyptus camaldulensis*, *Melinis repens*, *Ricinus communis*, *Sonchus oleraceus*) y 22 endémicas. Del total de especies, 31 (24%) son indicadoras de perturbación.
- Se registró *Gentiana spathacea*, especie en riesgo enlistada en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 como “sujeta a protección especial” (Pr).
- Los valores estructurales bajos, el gran número de especies introducidas, arvenses y ruderales, la incidencia de incendios y diversos factores de impacto antrópico determinan que la vegetación del cerro se considere como secundaria.
- Se corrobora la clasificación de la vegetación del cerro que muestra INEGI (2011) en el mapa de uso de suelo y vegetación (vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino). Además, se amplía el conocimiento respecto a la composición y distribución real de la vegetación del cerro a una escala mayor.
- Los resultados obtenidos en la presente investigación pueden ser la base para realizar estudios que aborden aspectos de flora, fauna, usos y aprovechamiento, el estado de conservación (mediante índices), entre otros, para tener un mayor conocimiento ecológico, florístico y etnobiológico que sustenten la importancia de la biodiversidad del Cerro Zapotecas.

Aporte social:

- Se proponen las siguientes estrategias de conservación y manejo sostenible:
 - a) Creación de un vivero de especies nativas para reforestación y restauración ecológica, b) Zonificación y definición de las actividades permitidas para cada área (zona[s] núcleo y de amortiguamiento), c) Regulación de actividades agropecuarias, deportivas, ecoturísticas y culturales.
- Se proporciona a los servidores públicos encargados del ANP de jurisdicción estatal Cerro Zapotecas, un documento con estas propuestas de conservación y manejo sostenible de la vegetación del ANP Cerro Zapotecas con base a la información generada.
- Se sustenta que la vegetación del Cerro Zapotecas contiene especies de flora nativas y endémicas del país que proveen de múltiples servicios ecosistémicos que requieren ser conservados mediante la protección y restauración adecuada de esta ANP.

8. REFERENCIAS

- APG IV. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society* (181) 1–20.
- ArcGis. 10.3. Software para escritorio. ArcMap ESRI (Environmental Systems Research Institute).EU.
- Badano, E. I., García-Guzmán J., Vergara-Briceño, C.H., Martínez-Romero, L.E., Barranco-León, M.N., Luna-Castellanos, F., Acuña-Cors, A.M., García-Valenzuela, M.A., y Ramos-Palacios, C.R. (2012). Conservation value of a natural protected area in the state of Puebla, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 83(3):834-846
- Block, S., y Meave, J. A. (2015). Structure and diversity of oak forest in the El Tepozteco National Park (Morelos, Mexico). *Botanical Sciences* 93(3): 429-460
- Caballero, A., Martínez, L., Bernardez, J. (1957). *Matemáticas. Tercer curso*. D.F., México: Esfinge S. A.
- Castellanos-Bolaños, J. F., Treviño-Garza, E. J., Aguirre-Calderón, O. A., Jiménez-Pérez, J., y Velázquez-Martínez, A. (2010). Diversidad arbórea y estructura espacial de bosques de pino-encino en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 1, (2), 39-52. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322010000200004&lng=es&tlng=es.
- CBD (Convenio sobre la Diversidad Biológica). (2010). *Decisión adoptada por la Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica en su décima reunión. X/2. El Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020 y las Metas de Aichi para la Diversidad Biológica*. Conferencia realizada en Convenio sobre la Diversidad Biológica. Japón. Recuperado de <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-10/cop-10-dec-02-es.pdf>

- CBD (Convenio sobre la Diversidad Biológica). (2012). *Una Guía para la GSPC. Metas, Objetivos y Datos*. Recuperado de http://www.plants2020.net/files/Plants2020/popular_guide/spanishguide.pdf
- Challenger, A. (1988). *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México, pasado, presente y futuro*. México: Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad.
- Challenger, A., y Dirzo, R. (2009). Factores de cambio y estado de la biodiversidad, en *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. Conabio, México, pp. 37-73.
- Challenger, A. y Soberón, J. (2008). Los ecosistemas terrestres, en *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. pp. 87-108. México: CONABIO.
- Chang-Silva, M. (2009). *Propuesta de desarrollo turístico sustentable en área privada del cerro zapotecas*. Tesis de pregrado. Universidad de las Américas Puebla, México.
- Christenhusz, M.J.M., Reveal J.L., Farjon A., Gardner, M.F., Mill, R.R. y Chase, M.W. (2011). A new classification and linear sequence of extant gymnosperms. *Phytotaxa*. (19), 55-70.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2011). *La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado*. México: CONABIO, Gobierno del Estado de Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2012). *Estrategia Mexicana para la Conservación Vegetal, 2012-2030*. Recuperado de https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/emcv/pdf/EMCV_Completa_Baja.pdf
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2016 a). *México, hacia el cumplimiento de la meta 11 de Aichi del Convenio de Diversidad Biológica*. Recuperado de <https://www.gob.mx/conanp/prensa/mexico-hacia-el-cumplimiento-de-la-meta-11-de-aichi-del-convenio-de-diversidad-biologica>

- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2016 b). *Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México y Plan de Acción 2016-2030*. Recuperado de www.biodiversidad.gob.mx/pais/enbiomex/pdf/ENBIOMEX_baja.pdf
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2019). *Plataforma Enciclovida*. México. Recuperado de <http://enciclovida.mx/>
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2018a). *100 años de conservación en México: Áreas Naturales Protegidas de México*. Recuperado de <https://www.conanp.gob.mx/pdf/100A%C3%B1osConservaci%C3%B3n.pdf>
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2018b). *Gobierno de México*. Recuperado de <https://www.gob.mx/conanp/documentos/areas-naturales-protegidas-region-centro-y-eje-neovolcanico?state=published>
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2019). *Gobierno de México*. México. http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/datos_anp.htm
- Coordinación de Transparencia y Gobierno Abierto del Gobierno del Estado de Puebla. (2018). *Datos abiertos Puebla*. [http://datos.puebla.gob.mx/datos/areas-naturales-protegidas-jurisdiccion-estatal-20181230-csv#view-graph:{graphOptions:{hooks:{processOffset:{},bindEvents:{}}},graphOptions:{hooks:{processOffset:{},bindEvents:{}}},view-grid:{columnsWidth:\[{column:!Nombre,width:447},{column:!Categoria,width:205},{column:!Fecha++Decreto,width:157}\]}>](http://datos.puebla.gob.mx/datos/areas-naturales-protegidas-jurisdiccion-estatal-20181230-csv#view-graph:{graphOptions:{hooks:{processOffset:{},bindEvents:{}}},graphOptions:{hooks:{processOffset:{},bindEvents:{}}},view-grid:{columnsWidth:[{column:!Nombre,width:447},{column:!Categoria,width:205},{column:!Fecha++Decreto,width:157}]})
- Dansereau, P. (1957). *Biogeography an ecological perspective*. New York: The Ronald Press.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (2007). *ACUERDO por el que se establecen nueve direcciones regionales de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas*. Recuperado de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4994153&fecha=20/07/2007

- DOF (Diario Oficial de la Federación). (2012). *Reglamento interior de la secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Segunda Sección*. Recuperado de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla/n25.pdf>
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (2018 a). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente: Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988*. Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_050618.pdf
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (2018 b). *PROYECTO de Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, publicada el 30 de diciembre de 2010*. Recuperado de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5534594&fecha=13/08/2018
- Domínguez Hernández, F., Acocal López, J. A., Esteban Medina, J., Aguilar Luna, J. M. E., y Torres Valencia, V. (2016). Diagnóstico del arbolado de la reserva ecológica “Cerro de Amalucan”, ciudad de Puebla, México. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 4(2).
- Domínguez Gómez, T. G., Hernández González, B. N., González Rodríguez, H., Cantú Silva, I., Alanís Rodríguez, E., y Alvarado, M. del S. (2018). Estructura y composición de la vegetación en cuatro sitios de la Sierra Madre Occidental. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(50), 9-34. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.227>
- Dudley, N. (Ed.). (2008). *Guidelines for Applying Protected Area Management Categories*. Gland, Switzerland: IUCN. Recuperado de https://cmsdata.iucn.org/downloads/guidelines_for_applying_protected_area_management_categories.pdf
- Encina Domínguez, J. A., Zárate Lupercio, A., Estrada Castellón, E., Valdés Reyna, J., y Villarreal Quintanilla, J. Á. (2009). Composición y aspectos estructurales de los bosques de encino de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Acta*

botánica mexicana, (86), 71-108. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-71512009000100004&lng=es&tlng=es

Escutia, J. A. (2004). *Análisis estructural del bosque Mesófilo de montaña de monte grande de Lolotla, Hidalgo, México*. Tesis de licenciatura. Facultad de ciencias biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Espinosa-García, F. J. y Sarukhán, J. (1997). *Manual de malezas del Valle de México*. México, D.F.: Ediciones Científicas Universitarias UNAM-Fondo de Cultura Económica.

Espitia-Moreno, I.C., Arriola-Padilla, V.J. y Ortega-Rubio, A. (Editores). (2017). *Gestión, Manejo y Conservación en Áreas Naturales Protegidas*. Morelia, México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Recuperado de http://areas-naturales-protegidas.org/renanp/pdfs/libros/GESTION_MANEJO_CONSERVACION_ANPs.pdf

FAO (1981) El eucalipto en la repoblación forestal. Montes: Colección FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-ac459s.pdf>

Fernández Fernández, J. A., y López-Domínguez, J. C. (compiladores) (2005). *Biodiversidad del Parque Nacional Malinche Tlaxcala, México*. México: Coordinación General de Ecología del Gobierno del Estado de Tlaxcala.

Fonseca, R. M. (2006). *Juniperus*, la ginebra, el incienso, los lápices y los repelentes. *Ciencias* (81), 44-47.

Galetti, M. A. (s/f). Densidad de plantación en macizos de *Eucalyptus globulus*. Grupo RRNN y GA – Equipo Forestal EEA INTA Balcarce. Argentina. Recuperado de <https://inta.gob.ar/documentos/densidad-de-plantacion-en-macizos-de-eucalyptus-globulus>

Galicia, L., y Zarco-Arista, E. (2014). Multiple ecosystem services, possible trade-offs and synergies in a temperate forest ecosystem in Mexico: a review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 10:4, 275-288, doi: 10.1080/21513732.2014.973907

- Galicia, L., Chávez-Vergara, B. M., Kolb, M., Jasso-Flores, R. I., Rodríguez-Bustos, L. A., Solís, L. E., Guerra de la Cruz, V., Pérez-Campuzano, E., y Villanueva, A. (2018). Perspectivas del enfoque socioecológico en la conservación, el aprovechamiento y pago de servicios ambientales de los bosques templados de México. *Madera y bosques*, 24(2). Recuperado de <https://dx.doi.org/10.21829/myb.2018.2421443>
- Galindo, C. (2016). *Proteger la naturaleza: la evolución de un concepto*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Versión extensa del artículo publicado en National Geographic en español. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/292606444_Proteger_la_naturaleza_la_evolucion_de_un_concepto
- Gernandt, D.S. y Pérez de la Rosa, J. A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: S126-S133. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.7550/rmb.32195>
- Gobierno de la República. (2014). *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2014-2018*. Recuperado de <https://www.conanp.gob.mx/documentos/PNANP20142018.pdf>
- González Elizondo, S., González Elizondo, M., y Cortés-Ortiz, A. (1993). Vegetación de la Reserva de la Biosfera La Michilia, Durango, Mex. *Acta Bot. Mex.* 22: 1-104. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/26471326_Vegetacion_de_la_reserva_de_la_biosfera_La_Michilia_Durango_Mexico
- González Elizondo, M.S., González Elizondo, M., y Márquez Linares, M.A. (2006). *Vegetación y Ecorregiones de Durango*. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Instituto Politécnico Nacional. México. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/322244135_Vegetacion_y_Ecorregiones_de_Durango
- Google Earth Pro (2019). Versión 7.3.2.

- González-Medrano, F. (1998). La vegetación de México y su historia. *Ciencias* 52, 58-65. <https://www.revistacienciasunam.com/en/107-revistas/revista-ciencias-52/936-la-vegetacion-de-mexico-y-su-historia.html>
- González-Medrano, F. (2004). *Las comunidades vegetales de México*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología.
- Graciano-Ávila, G., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., Lujan-Soto J. E. (2017). Composición, estructura y diversidad de especies arbóreas en un bosque templado del Noroeste de México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 4(12): 535-542. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282017000300535&lng=es.
- Halffter, G. (2011). Reservas de la biósfera: Problemas y oportunidades en México. *Acta Zoológica Mexicana*, 27(1):177-189. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/azm/v27n1/v27n1a14.pdf>
- Halffter, G., Tinoco-Ojanguren, L., Iñiguez-Dávalos, I., y Ortega-Rubio, A. (2015). La investigación científica y las Áreas Naturales Protegidas en México: una relación exitosa. En: Ortega-Rubio, A., Pinkus-Rendón M. J., y Espitia-Moreno I. C. (Editores). (2015). *Las Áreas Naturales Protegidas y la Investigación Científica en México*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C., La Paz B. C. S., Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.
- Hammer, O., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. (2001). PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontología Electronica* 4(1): 9 pp. Past versión 3.26.
- HCV (Herbario virtual de CONABIO). (2020). *Biodiversidad mexicana*. <http://www.conabio.gob.mx/otros/cgi-bin/herbario.cgi?fam=Seleccione%20una%20familia>

- Hobbs, R. J., y Huenneke, L. F. (1992). Disturbance, diversity and invasion: implications for conservation. *Conserv. Biol.* 6: 324-337.
- Hooper D.U., Solan, M., Symstad, A., Díaz, S., y Gessner, M.O. (2002). Species diversity, functional diversity, and ecosystem functioning. En Loreau, M., Naeem, S., y Inchausti, P. (Editores). *Biodiversity and ecosystem functioning - Synthesis and perspectives*. New York, USA: Oxford University Press.
- Hutchinson, J. (1959). *Programa del reino vegetal. Clave universal de las familias de las Angiospermas.* de Osmán Montero. Recuperado de https://oemc9auburn.wixsite.com/reino-vegetal?fbclid=IwAR3URQxDdfsEZQdcV78ioOSsxqy45Qcmq1sS_KG8WE-eoMACRTruSJ1YuQ
- IBUNAM (Departamento de Botánica, Instituto de Biología). (2020). Herbario Nacional de México (MEXU), Plantas Vasculares. En Portal de Datos Abiertos UNAM (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <https://datosabiertos.unam.mx/biodiversidad/>
- INECOL (Instituto de Ecología, A.C.). (1978-2017). *Flora de Veracruz.* México. Recuperado de <http://www1.inecol.edu.mx/floraver/>
- INECOL (Instituto de Ecología, A.C.). (1975-2018). *Flora del Bajío y de regiones adyacentes.* México. Recuperado de <http://inecolbajio.inecol.mx/floradelbajio/>
- Instituto de Biología, UNAM (1993-2012). *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.* México. Recuperado de http://www.ibiologia.unam.mx/barra/publicaciones/floras_tehuacan/florastehucan.htm
- IFRI (International Forestry Resources and Institutions) (2013). *IFRI. network: research methods.* Recuperado de www.ifriresearch.net. <http://ifri.forgov.org/resources/methods/>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2000). *Síntesis geográfica del estado de Puebla.* México.

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2004). *Guía para la interpretación de cartografía. Edafología*. México. Recuperado de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825231736/702825231736_4.pdf
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2015). Cartas Topográficas Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50 000 serie III E14B43 (Puebla)- 2015 clave: E14B43, Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/default.aspx>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2015). Cartas Topográficas Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50 000 serie III. E14B42 (Huejotzingo)- 2015 clave: E14B42. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/default.aspx>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2017). Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación serie VI. Conjunto Nacional. Escala: 1:250 000. Formato electrónico. Estados Unidos Mexicanos.
- IPNI (International Plant Names Index). (2020). The Royal Botanic Gardens, Kew, The Harvard University Herbaria, and The Australian National Herbarium, hosted by the Royal Botanic Gardens, Kew Disponible en <https://www.ipni.org/>
- IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). (2020). The IUCN Red List of Threatened Species. Disponible en <https://www.iucnredlist.org>.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113: 363-375.
- Jost, L., y González-Oreja, J. A. (2012). Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta zoológica lilloana*, 56(1-2): 3-14.
- Krebs, C. J (1985). *Ecología. Estudio de la distribución y la abundancia*. México: Harla.
- Leopold, A.S. (1950). Vegetation zones of México. *Ecology* 31(4): 507-518.

- Leung, Y., Spenceley, A., Hvenegaard, G., y Buckley, R. (Editores) (2018). *Tourism and visitor management in protected areas: Guidelines for sustainability*. Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 27, Gland, Switzerland: IUCN.
- List, R., Rodríguez, P., Pelz-Serrano, K., Benítez-Malvido, J., y Lobato, J. M. (2017). La conservación en México: exploración de logros, retos y perspectivas desde la ecología terrestre. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88(Supl. dic), 65-75.
- López-Hernández, J. A., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., Monarrez-Gonzalez, J. C., González-Tagle, M. A., y Jiménez-Pérez, J. (2017). Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México. *Madera y bosques*, 23(1), 39-51. Recuperado de <https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/1518/1617>
- López Martínez, J. I., Treviño Garza, E. J., Aguirre Calderón, O. A., Buendía Rodríguez, E., y Ramos Reyes, J. C. (2017). Recuperación del estrato arbóreo de un ecosistema de alta montaña impactado por el fuego. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 8(41), 164-182. Recuperado en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322017000300164&lng=es&tlng=es.
- Lot, A., y Chiang, F. (Comp.). (1986). *Manual de herbario. Administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos*. D.F. México: Consejo Nacional de la Flora de México, A.C.
- Mateucci, S. D. y Colma, A. (1982). *Metodología para el Estudio De La Vegetación*. Monografía No. 22. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, Washington D.C. Recuperado de https://aprobioma.files.wordpress.com/2011/03/metod_para_el_estudio_de_la_vegetacion_archivo1.pdf
- Melo, C. (2002). *Áreas Naturales Protegidas de México en el siglo XX*. México: Colec. Temas Selectos de Geografía de México Instituto de Geografía, UNAM.

- Méndez Osorio, C., Mora Donjuán, C., Rodríguez, E., Jiménez Pérez, J., Aguirre Calderón, O., Treviño Garza, E., y Pequeño Ledezma, M. (2018). Fitodiversidad y estructura de un bosque de pino-encino en la Sierra Madre del Sur, México. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 9(50). Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322018000600035&lang=pt
- Mérida Melo, P. J. (2006). *El marco jurídico de las áreas protegidas en México, incentivos legales para la conservación*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Derecho. (Tesis de licenciatura). México. Recuperado de <http://132.248.9.195/pd2007/0612190/0612190.pdf>
- Microsoft (2013). EXCEL ®. Software de escritorio.
- Miranda, F., y Hernández, X. E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 28:29-179.
- Milton, J.S. (2001). *Estadística para Biología y Ciencias de la Salud*. España: McGraw-Hill/Interamericana de España.
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol.1. Zaragoza. Recuperado de <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E. y Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82: 1249-1201.
- Morrone, J. J. (2005). Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 76(2), 207-252.
- Mostacedo, B., y Fredericksen, T. S. (2000). Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Recuperado de <http://www.bionica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf>
- Mountjoy, J. (1987 a). The Collapse of the Classic at Cholula as Seen from Cerro Zapotecas. *Notas Mesoamericanas*. 10: 119-151.

- Mountjoy, J. (1987 b). La Caída del Clásico en Cholula visto desde el Cerro Zapotecas. En Mountjoy J. y Brockington D. (Editores). *Auge y Caída del Clásico en el México Central*, Serie Antropológica No. 89. pp. 237-258. UNAM, México.
- Mountjoy, J., y Peterson, D. (1973). Man and Land at Prehispanic Cholula. *Vanderbilt University Publications in Anthropology* No. 4; Nashville, Tennessee.
- Mueller-Dombois, D., y Ellenberg. H. (1974). *Aims and methods of vegetation ecology*. Nueva York: John Wiley & Sons. Inc.
- Murguía-Romero, M. Villaseñor-Ríos, J.L., y Serrano-Estrada, B. (2015). FAMEX. http://www.abatax.abaco2.org/clavesTax_lista_ver.php?crypt=JURDJUzJTkzZGQuJUZEcyUxRiVFMCU4Qm4=&key=ZTI2YWE5ZDZiODcwMWU3OTY1O TVIZGIZGRhMmEyZDE=&iv=JUUYJTI4YiU0MCU5MSUxNCUwMWEIMDNaJUMwSCVDNSVGRSU2MHclMTMIMTIJTGxJUY5JTdFJUE4JTg2JURBJTk0JTICJTdEJTA5JUJGJTg2JUEy
- Naciones Unidas (Asamblea General). (2015). *Proyecto de resolución remitido a la cumbre de las Naciones Unidas para la aprobación de la agenda para el desarrollo después de 2015 por la Asamblea General en su sexagésimo noveno período de sesiones. Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Recuperado de <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>
- Natale, E., Martínez, G., Arana, M., y Oggero, A. (2020). Caracterización y estado de conservación de la vegetación del extremo sur de las Sierras de Comechingones (Córdoba, Argentina). *Bol. Soc. Argent. Bot.* 55: 253-271.
- Návar-Cháidez, J. de J. (2010). Los bosques templados del estado de Nuevo León: el manejo sustentable para bienes y servicios ambientales. *Madera y bosques*, 16(1), 51-69. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712010000100004&lng=es&tlng=es.
- Navarro, G., De la Barra, N., Rumiz, D., y Ferreira, W. (2008). Criterios para evaluar el estado actual de conservación y degradación de los bosques de Bolivia. *Revista boliviana de ecología y conservación ambiental*. 22:01-18.

- Ortega-Rubio, A., Pinkus-Rendón M. J., y Espitia-Moreno, I. C. (Editores). (2015). *Las Áreas Naturales Protegidas y la Investigación Científica en México*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C., La Paz B. C. S., Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.
- Ostrom, E. (2008). *Field Manual*. International Forestry Resources and Institutions (IFRI). Michigan, USA. Recuperado de http://ifri.forgov.org/wp-content/uploads/2012/09/IFRI_Manual.pdf
- Ostrom, E. y Wertime, M. B. (1995). *IFRI Research Strategy*. Michigan, USA. Recuperado de https://dlc.dlib.indiana.edu/dlc/bitstream/handle/10535/4011/International_Forestry_Resources_and_Institutions_Research_Program.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pettit, N. E., Froend, R. H. y Ladd, P. G. (1995). Grazing in remnant woodland vegetation: changes in species composition and life form groups. *J. Veg. Sci.* 6: 121-130.
- PNUMA-CMAP (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente- Comisión mundial de Áreas Protegidas). (2018). *Protected Planet 2014-2018*. Protected Area Profile for Cerro Zapotecas in Mexico from the World Database of Protected Areas. Disponible en <https://www.protectedplanet.net/555621929>
- POEP (Periódico Oficial del Estado de Puebla). (1994). *Declaratoria de reservas, destinos y usos de predios y áreas territoriales del programa regional de ordenamiento territorial de la zona centro-poniente del estado de Puebla*. Gobierno Constitucional del Estado de Puebla. Recuperado de <https://www.anpsestatales.mx/anps.php?tema=3&estado=23>
- POEP (Periódico Oficial del Estado de Puebla). (2008). *Declaratoria del Ejecutivo del Estado, por el que declara Área Natural Protegida, con el carácter de Jurisdicción Estatal, la zona denominada "Cerro Zapotecas"*. Gobierno Constitucional del Estado de Puebla. Recuperado de

https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/sistema_nacional/documentos/ANPL/Pue/Declaratoria-Decreto-Cerro-Zapotecas.pdf

POEP (Periódico Oficial del Estado de Puebla). (2016). *Programa municipal de desarrollo urbano sustentable de san Pedro Cholula, Puebla*. Gobierno municipal. H. Ayuntamiento del municipio de San Pedro Cholula. Recuperado de septiembre de 2017 de http://cholula.gob.mx/images/otras-disposiciones/PMDUS-_REGISTRADO-16M.pdf

POWO (2019). *Plants of the World Online*. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Disponible en <http://www.plantsoftheworldonline.org/>

PPG I. (2016). A community-derived classification for extant lycophytes and ferns. *Journal of Systematics and Evolution* 54(6): 563-603. DOI: <https://doi.org/10.1111/jse.12229>

QuantumGIS 1.8.0 'Lisboa'. Software de escritorio.

Ramírez, N., González, M., y Williams, G. (2001). Anthropogenic disturbance and tree diversity in montane rain forest in Chiapas, México. *For. Ecol. Manage*, 154: 311-326.

Ramírez Santiago, R., Ángeles Pérez, G., Hernández de La Rosa, P., Cetina Alcalá, V., Plascencia Escalante, O., y Clark-Tapia, R. (2019). Efectos del aprovechamiento forestal en la estructura, diversidad y dinámica de rodales mixtos en la Sierra Juárez de Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 25(3). doi:<https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531818>

Ramos-Dorantes, D. B. (2015). *Revisión taxonómica de la familia Pinaceae en el estado de Puebla*. (Tesis de licenciatura). Escuela de Biología. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México.

Ramos Dorantes, D., Villaseñor, J. L., Ortiz, E. y Gernandt, D.S. (2017). Biodiversity, distribution, and conservation status of Pinaceae in Puebla, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88: 215-223. Doi: [dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.028](https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.028)

- RANP (Red nacional de sistemas estatales de áreas naturales protegidas). (2013). *Red nacional de sistemas estatales de áreas naturales protegidas*. Disponible en <https://www.anpsestatales.mx/index.php>
- RANP (Red nacional de sistemas estatales de áreas naturales protegidas). (2013 a). Áreas Naturales Protegidas. Sistemas estatales de ANPs. Recuperado en <https://www.anpsestatales.mx/anps.php>
- RANP (Red nacional de sistemas estatales de áreas naturales protegidas). (2013 b). *Programa de manejo del parque estatal Cerro Zapotecas*. Recuperado en <https://www.anpsestatales.mx/anps.php?tema=7&estado=23>
- RANP (Red nacional de sistemas estatales de áreas naturales protegidas). (2013 c). *Áreas Naturales Protegidas del estado de Puebla*, (archivo de Power Point). Recuperado en <https://www.anpsestatales.mx/anps.php?tema=1&estado=23>
- Rincón-Rosales, R., y Gutiérrez-Miceli, F. A. (2008). Características biológicas de *Acaciella angustissima* (Mill.) Britton & Rose en su hábitat natural y evaluación de su potencial cortical en Chiapas, México. *Agrociencia*, 42(1), 129-137. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952008000100013&lng=es&tlng=es.
- Rodríguez Linares, E. (2019). Los incendios forestales y el desgaste del suelo generaron la plaga del gorgojo en el Zapotecas: académico de la IBERO. *Central*. Recuperado de <https://www.periodicocentral.mx/2019/academia/item/18579-los-incendios-forestales-y-el-desgaste-del-suelo-generaron-la-plaga-del-gorgojo-en-el-zapotecas-academico-de-la-ibero>
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. México: Limusa.
- Rzedowski, J. (1991). Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana*, (14),3-21. Recuperado en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=574/57401402>
- Rzedowski, J., y Calderón de Rzedowski, G. (Editores) (2005). *Flora fanerogámica del Valle de México*. Pátzcuaro, Michoacán: Instituto de Ecología, A.C. y

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
Recuperado de
https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Indice_Flora_d_el_Valle_de_Mx.pdf
- Saavedra-Millán, F. D. (2009). *Estudio de la Vegetación del Parque Estatal Francisco Torres Moreno, Cerro Del Huixteco, Taxco, Guerrero, México*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Salomón Salazar, M. T. (2008). *Del valle al cerro: el sitio del Cerro Zapotecas durante el Epiclásico*. (Tesis Maestría). Departamento de Antropología, Escuela de Ciencias Sociales, Artes y Humanidades, Universidad de las Américas Puebla. México.
- Salomón Salazar, M. T. (2008a). *Proyecto "el Cerro Zapotecas y los cambios del Epiclásico"*. Departamento de Antropología. Universidad de las Américas, Puebla. Recuperado de
http://www.faculty.luther.edu/~cridde01/Cerro%20Zapotecas/Salomon%202008_Cap%C3%ADtulo%20de%20cer%C3%A1mica.pdf
- Santibañez-Andrade, G., Castillo-Argüero, S., y Martínez-Orea, Y. (2015). Evaluación del estado de conservación de la vegetación de los bosques de una cuenca heterogénea del Valle de México. *Bosque*, 36(2), 299-313.
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., Halffter, G., González, R., March, I., Mohar, A., Anta, S., de la Maza, J., Pisanty, I., Urquiza Haas, T., Ruiz González, S. P., y García Méndez, G. (2017). *Capital natural de México*. Síntesis: evaluación del conocimiento y tendencias de cambio, perspectivas de sustentabilidad, capacidades humanas e institucionales. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. Recuperado de
https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/emcv/pdf/EMCV_Completa_Baja.pdf
- SDRSOT (Secretaría de Desarrollo Rural, Sustentabilidad y Ordenamiento Territorial). (2013). *Programa de manejo de la reserva estatal Cerro Zapotecas*. México: Gobierno del Estado de Puebla.

- SMADSOT (Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial). (2020). Recursos Naturales y Biodiversidad. <http://smadsot.puebla.gob.mx/recursos-naturales-y-biodiversidad>
- Sørensen, T. (1948). A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab* 5(4): 1-34.
- Stenhouse, R. N. (2004). Fragmentation and internal disturbance of native vegetation reserves in the Perth metropolitan area, Western Australia. *Landscape and Urban Planning* 68: 389-401
- Sturges, H. A. (1926). The choice of a class interval. *Journal of the American Statistical Association*, 21(153), 65-66.
- Terradas J. (2001). *Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes*. Barcelona. España: Omega.
- The Plant List. (2013). *The Plant List*. Versión 1.1. Disponible en <http://www.theplantlist.org/>
- Tlapa, M. (2005). Conservación y restauración del cerro Zapotecas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. *Elementos: Ciencia y cultura*, 12(57). México.
- Tlapa, M. (2011). *Áreas naturales protegidas periurbanas del área metropolitana del estado de Puebla*. (Tesis doctoral). Colegio de Postgraduados. México.
- Tlapa, M., Bustamante, A., Vargas-López, S., Ramírez-Valverde, B., Cervantes, V., y Cruz, G. (2019). Factores del deterioro de las áreas naturales protegidas periurbanas del Valle de Puebla, México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 35(1, 103), 51-82. Recuperado en <https://estudiosdemograficosyurbanos.colmex.mx/index.php/edu/article/view/1828>
- Tropicos. (2020). Missouri Botanical Garden. Disponible en <http://www.tropicos.org>
- Valdés Reyna, J. (2015). *Gramíneas de Coahuila*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

- Valencia A. S. (2004). Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Bol. Soc. Bot.* 75:33 – 53.
- Vásquez-Cortez, V., Clark-Tapia, R., Manzano-Méndez, F., González-Adame, G., y Aguirre-Hidalgo, V. (2018). Estructura, composición y diversidad arbórea y arbustiva en tres condiciones de manejo forestal de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Madera y Bosques*, 24(3). doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431649>
- Vibrans Lindemann, H. (2012). Malezas de México. Fecha de acceso junio 2020. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm>
- Villaseñor, J. L., & J. Espinosa-García, F. (2004). The alien flowering plants of Mexico. *Diversity and Distributions*, 10(2), 113–123.
- Villaseñor, J. L. y Ortiz, E. (2014). Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: S134-S142.
- Villaseñor, J. L. (2016). Catálogo de las plantas vasculares nativas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 87, 559-902.
- Western Australian Herbarium (1998–). *FloraBase*. The Western Australian Flora. Department of Biodiversity, Conservation and Attractions. Disponible en <https://florabase.dpaw.wa.gov.au/>
- Zacarias-Eslava, L. E., Cornejo-Tenorio, G., Cortés-Flores, J., González-Castañeda, N., y Ibarra-Manríquez, G. (2011). Composición, estructura y diversidad del cerro El Águila, Michoacán, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(3), 854-869. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532011000300012&lng=es&tlng=es.

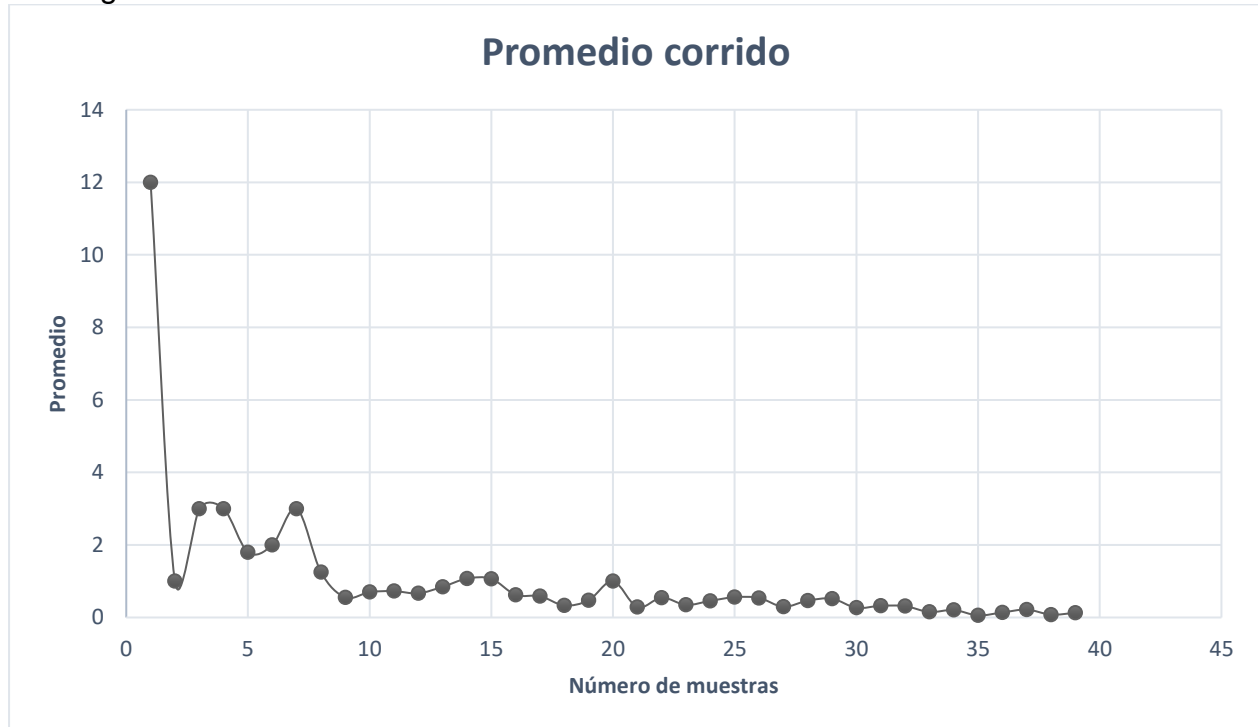
ANEXO 1. Listado florístico registrado en el Plan de Manejo Reserva Estatal Cerro Zapotecas. Fuente: (SDRSOT, 2013)

Listado florístico del Plan de Manejo Cerro Zapotecas		
No.	Nombre común	Nombre científico
1	helecho	<i>Asplenium monanthes</i> L.
2	helecho	<i>Cystopteris fragilis</i> (L.) Benth
3	cabello de ángel	<i>Calliandra grandiflora</i>
4	garbancillo	<i>Brongniartia intermedia</i>
5	nopal	<i>Opuntia tomentosa</i>
6	tronadora	<i>Tecoma stans</i>
7	cazahuate	<i>Ipomea murucoides</i>
8	sabino	<i>Juniperus deppeana</i>
9	encino	<i>Quercus</i> sp.
10	pino	<i>Pinus leiophylla</i>
11	pino	<i>Pinus montezumae</i>
12	madroño	<i>Arbutus xalapensis</i>
13	eucalipto	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>
14	crusea	<i>Crusea diversifolia</i>
15		<i>Pinus hartwegii</i>
16	chicalote	<i>Argemone platyceras</i>
17	nabos	<i>Brassica campestris</i>
18		<i>Eruca sativa</i>
19	diente de león	<i>Taraxacum officinalis</i>
20	jarilla verde	<i>Senecio salignus</i>
21	árbol del capulín	<i>Prunus serotina</i>
22		<i>Asplenium castaneum</i>
23		<i>Cosmos bipinnatus</i>
24		<i>Phytolaca icosandra</i>
25		<i>Poa annua</i>
26		<i>Trisetum spicatum</i>
27		<i>Eupatorium glabratum</i>
28		<i>Geranium latum</i>
29		<i>Buddleia parviflora</i>
30		<i>Oxalis corniculata</i>
31		<i>Salix oxylepis</i>
32		<i>Solanum demissum</i>
33		<i>Alnus jorullensis</i>

ANEXO 2. Fórmulas empleadas.

Promedio corrido o “Performance curve”

Es una gráfica que muestra la media de árboles por parcela en función del número de muestras. A medida que se toman más muestras, la población real se acerca a la media y la curva se aplanan. Cuando el cambio en la media se vuelve muy pequeño con la adición de otra muestra, asumimos que nuestra muestra casi se ha acercado a la media real de la población. A continuación, se muestra la gráfica obtenida con los datos de la presente investigación.



Two-step sampling

Se calcula con una muestra inicial de x número de parcelas (por ejemplo 10). Con base en la variabilidad de esta muestra inicial, se puede calcular cuántas parcelas más serán necesitadas. Este método está basado en el concepto de intervalos de confianza, las fórmulas son:

$$\bar{X} \pm t \cdot \frac{S}{\sqrt{N}} \quad L = t \cdot \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right) \quad N = \left(\frac{(S)^2 \cdot (t)^2}{(L)^2} \right)$$

Donde

X= promedio de la muestra

t=valor obtenido de la tabla-t para un cierto numero de grados de libertad y un nivel de probabilidad (0.05 corresponde a nivel de probabilidad de 1.96)

S=desviación estándar del promedio de la muestra

N=tamaño de la muestra

L= la mitad del intervalo de confianza deseado (2.0)

Área basal (AB)

Es la superficie de una sección transversal del tronco del individuo a determinada altura del suelo. En los árboles la medición se hace a la altura del pecho y en los arbustos a nivel del suelo (Mateucci y Colma,1982).

Por especie, el área basal se calculó sumando los valores del área del tronco de cada individuo, tal como un círculo, en m².

$$AB= (\pi \cdot r^2) /10000$$

Donde

$$\pi= 3.1416$$

$$r= P/2 \cdot \pi$$

P= perímetro del tronco en cm

Área basal por hectárea

Se obtuvo mediante la sumatoria de las AB de cada especie de la parcela, por una hectárea, entre el área del círculo de la parcela.

$$AB= (ABs \cdot Ha) /AC$$

Donde

ABs= sumatoria de las áreas basales de todas las especies de la parcela

Ha= una hectárea que equivale a 10, 000m²

AC= Área del círculo de la parcela

Cobertura (C)

Es la proporción de terreno ocupado por la proyección perpendicular de las partes aéreas de los individuos de la especie y se expresa como el porcentaje de la superficie total (Mateucci y Colma,1982).

$$C=(x \cdot y/4) \cdot \pi$$

Donde

X=diámetro mayor

Y=diámetro menor

Densidad

Es el número de individuos (N) en un área (A) determinada (Mateucci y Colma,1982). En el presente estudio se obtuvo la densidad por hectárea (10000m²).

$$D = (N \cdot 10000)/A$$

Donde

A= 314.159265 m² para estrato arbóreo, 28.27433388 m² para el estrato arbustivo, y 3.141592654 m² para el estrato herbáceo.

Frecuencia (F)

Es el porcentaje del número de unidades muestrales en las que el tributo aparece en relación con el número total de unidades muestrales (Mateucci y Colma,1982).

Se calculó la frecuencia para cada especie por muestreo:

$$F=(m/M) \cdot 100$$

Donde

m= número de apariciones de la especie en la parcela por cuadrante

M= número de cuadrantes

Se calculó la frecuencia por muestreo

$$F = Sf$$

Donde Sf= sumatoria de las frecuencias por especie en la parcela

Se calculó el porcentaje de frecuencia de las especies en cada estrato. Se expresa el porcentaje del número de unidades de muestreo en las que aparece la especie, en relación con el número total de unidades de muestreo (Mateucci y Colma, 1982).

$$F = (m/M) * 100$$

Donde

m= número de apariciones de la especie en el estrato por unidad de muestreo

M= número de unidades de muestreo

Valores relativos de AB, C, D, y F

Es el cociente entre el valor absoluto de la especie entre la sumatoria de los valores absolutos de todas las especies en la parcela multiplicado por 100.

$$Vr = (Va/Vt) * 100$$

Donde

Vr= Valor relativo de la variable

Va= Valor absoluto de la especie

Vt= Sumatoria de los valores absolutos de las especies.

Valor de Importancia Relativo (VIR)

VIR= área basal relativa + cobertura relativa + densidad relativa + frecuencia relativa (Saavedra-Millán, 2009).

Altura (A)

Altura de los individuos arbóreos y arbustivos tomada con base en la razón trigonométrica de $\tan A = a/b$ (Caballero, Martínez, y Bernardez, 1957).

Donde

$$A = (L * \text{TAN}(\alpha)) + h$$

L= longitud desde la base del tronco a la posición del observador

TAN= tangente

α = ángulo de elevación del límite superior de la copa

h= altura de los ojos del observador

Diámetro a la altura del pecho (Dm)

Diámetro de los troncos tomado a la altura de 1.30m a nivel del suelo.

$$Dm = P/Pi$$

Donde

P= perímetro

Pi= 3.1416

Regla de Sturges

Sirve para determinar el número de intervalos de clases para elaborar un histograma de distribución de frecuencias de un conjunto de datos que representan una muestra o población (Sturges, 1926).

$$k = 1 + 3.322 (\log_{10} n)$$

Donde

k = número de clases

n = número de datos

Índice de similitud de Sørensen (IS)

Es un índice que sirve para calcular el porcentaje del contenido de las especies similares entre pares de sitios (Sørensen, 1948).

$$IS = \frac{2C}{A+B}$$

Donde

C = Número de especies compartidas por el sitio A y B

A = Número total de especies en el sitio A

B = Número total de especies en el sitio B

Diversidad en números equivalentes de especies (D)

La mayoría de los índices relacionados con la diversidad de especies son funciones de la siguiente ecuación (Jost, 2006 y Moreno *et al.* 2011):

$${}^qD = \left(\sum_{i=1}^S p_i^q \right)^{1/(1-q)}$$

P_i es la abundancia relativa de la especie i (la abundancia de la especie i dividida entre la suma total de las abundancias de las S especies que integran la comunidad y el exponente q es el orden de la diversidad. El valor D es el número equivalente de especies igualmente comunes de una comunidad y es una medida correcta de su diversidad (también es llamado número efectivo de especies).

“Para el índice de Shannon calculado con logaritmos naturales, podemos calcular el número de especies igualmente comunes que integran una comunidad cualquiera como:” (Jost y González-Oreja, 2012)

Exponencial del índice de Shannon:

$${}^1D = \exp(H_{\text{Shannon}}) = e^{H_{\text{Shannon}}}$$

Donde $H_{\text{Shannon}} = [- \sum p_i \ln(p_i)]$

ANEXO 3. Lista de especies de plantas vasculares del Área Natural Protegida Cerro Zapotecas. Se indica el código del voucher para cada especie. Los vouchers de referencia fueron depositados en el Herbario de la BUAP (HUAP) y en el Herbario Nacional de México (MEXU), sin embargo, los indicados con un asterisco (*) son de poco valor y se encuentran resguardados en la colección de plantas del Laboratorio de Ecología y Restauración de Sistemas Acuáticos y Terrestres de la Facultad de Ciencias Biológicas, BUAP. Los códigos con doble asterisco (**) no fueron hallados en los muestreos, pero sí en el Cerro Zapotecas. Se muestra con una “x” el estrato en el que cada especie se registró. Las abreviaturas de los estratos son: H = herbáceo, AR = arbustivo, A = arbóreo. Colectores (Cols.): DSA (Diana Salas Alvarado). Estatus migratorio en México (EM): n (nativa, en asterisco las que son endémicas), in (introducido). Hábitat: r (ruderal), ar (arvense). Categoría de conservación IUCN: LC (Least Concern), NT (Near Threatened), VU (Vulnerable). Categoría de riesgo NOM-059-SEMARNAT-2010 (NOM-059): E (probablemente extinta en el medio silvestre), P (en peligro de extinción), A (amenazada), Pr (sujeta a protección especial). Para las especies con determinación hasta el nivel de género no fue posible especificar su estatus migratorio ni de conservación.

	Cols.- N° de colecta	H	AR	A	EM	H	IUCN	NOM 059
MUSGOS								
Bryaceae Rchb.								
<i>Bryum sp.</i>	DSA-153*	x						
LICOFITAS								
Selaginellaceae Willk.								
<i>Selaginella sp.</i>	DSA-239*	x						
HELECHOS								
Aspleniaceae Newman								
<i>Asplenium palmeri</i> Maxon	DSA-189	x			n			
Pteridaceae E.D.M. Kirchn.								
<i>Adiantum poiretii</i> Wikstr.	DSA-171	x			n			
<i>Gaga hirsuta</i> (Link) F.W. Li & Windham	DSA-165	x			n			
<i>Mildella fallax</i> (M. Martens & Galeotti) G.L. Nesom	DSA-187	x			n			

<i>Myriopteris aurea</i> (Poir.) Grusz & Windham	DSA-060	x			n	
<i>Pellaea cordifolia</i> (Sessé & Moc.) A.R.Sm.	DSA-230	x			n	

GIMNOSPERMAE

Cupressaceae Bartl.

<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	DSA-065	x	x	x	n	LC
----------------------------------	---------	---	---	---	---	----

Pinaceae Spreng. ex Rudolphi

<i>Pinus devoniana</i> Lindl.	DSA-150	x		x	n	LC
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltld. & Cham.	DSA-148	x		x	n	LC
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	DSA-214			x	n	LC
<i>Pinus greggii</i> Engelm. ex Parl.	DSA-166**				n*	VU
<i>Pinus teocote</i> Schltld. & Cham.	DSA-202**				n*	LC
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	DSA-224**				n*	LC

ANGIOSPERMAE: MAGNOLIOPSIDA

Acanthaceae Juss.

<i>Pseuderanthemum praecox</i> (Benth.) Leonard	DSA-190	x			n	
---	---------	---	--	--	---	--

Amaranthaceae Juss.

<i>Iresine cassiniiformis</i> S.Schauer	DSA-200	x	x		n*	
<i>Iresine diffusa</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	DSA-251	x			n	ar, r

Apiaceae Lindl.

<i>Eryngium columnare</i> Hemsl.	DSA-088		x		n*	
----------------------------------	---------	--	---	--	----	--

Asteraceae Bercht. & J.Presl

<i>Acourtia cordata</i> (Cerv.) B.L.Turner	DSA-149	x	x		n*	
<i>Baccharis</i> sp.	DSA-250*	x				
<i>Bidens odorata</i> Cav.	DSA-066*	x	x		n	ar, r
<i>Brickellia veronicifolia</i> (Kunth) A. Gray	DSA-140	x			n	
<i>Chromolaena pulchella</i> (Kunth) R.M.King & H.Rob.	DSA-075		x		n*	
<i>Critonia quadrangularis</i> (DC.) R.M.King & H.Rob.	DSA-271	x			n	
<i>Dahlia coccinea</i> Cav.	DSA-034		x		n	ar, r
<i>Erigeron</i> sp.	DSA-114*	x				
<i>Hieracium</i> sp.	DSA-095*	x				
<i>Lagascea rigida</i> (Cav.) Stuessy	DSA-087		x		n*	
<i>Montanoa leucantha</i> subsp. <i>arborescens</i> (DC.) V.A.Funk	DSA-268			x	n	
<i>Pinaropappus roseus</i> (Less.) Less.	DSA-162	x			n	r
<i>Simsia amplexicaulis</i> (Cav.) Pers.	DSA-146	x			n	ar, r

<i>Sonchus oleraceus</i> L.	DSA-099	x	x	in	ar, r	
<i>Stevia elatior</i> Kunth	DSA-242	x		n		
<i>Stevia aff. organoides</i> Kunth	DSA-067	x	x	n*		
<i>Stevia serrata</i> Cav.	DSA-045	x	x	n		
<i>Stevia viscida</i> Kunth	DSA-133	x		n		
<i>Symphytotrichum moranense</i> (Kunth) G.L. Nesom	DSA-113	x		n		
<i>Tithonia tubiformis</i> (Jacq.) Cass.	DSA-054	x	x	n	ar, r	
<i>Verbesina virgata</i> Cav.	DSA-086	x	x	n*		
Campanulaceae Juss.						
<i>Lobelia laxiflora</i> Kunth	DSA-172	x		n	ar, r	
Caryophyllaceae Juss.						
<i>Arenaria lanuginosa</i> (Michx.) Rohrb. var. <i>lanuginosa</i>	DSA-107	x		n	ar	
<i>Drymaria glandulosa</i> Bartl.	DSA-258	x		n		
<i>Triplateia moehringiodes</i> (Moc. & Sessé ex Ser.) Kuntze	DSA-090	x		n		
Cistaceae Juss.						
<i>Crocanthemum glomeratum</i> (Lag.) Janch.	DSA-152	x		n		
Commelinaceae Mirb.						
<i>Commelina diffusa</i> Burm.f.	DSA-036	x		n		LC
<i>Commelina tuberosa</i> L.	DSA-011	x		n	ar	
<i>Thyrsanthemum macrophyllum</i> (Greenm.) Rohweder	DSA-033	x		n*		
Convolvulaceae Juss.						
<i>Ipomoea murucoides</i> Roem. & Schult.	DSA-032		x	x	n	LC
Cyperaceae Juss.						
<i>Cyperus manimae</i> Kunth	DSA-020	x		n	r	
<i>Bulbostylis sp.</i>	DSA-016*	x				
Ericaceae Juss.						
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	DSA-122		x	x	n	
Euphorbiaceae Juss.						
<i>Acalypha phleoides</i> Cav.	DSA-003	x		n		
<i>Acalypha sp.</i>	DSA-256*	x				
<i>Euphorbia adiantoides</i> Lam.	DSA-070	x		n		
<i>Euphorbia sp.</i>	DSA-069*	x				

<i>Ricinus communis</i> L.	DSA-118*		x			in	
Fabaceae Lindl.							
<i>Acacia</i> sp.	DSA-254*		x				
<i>Acaciella angustissima</i> (Mill.) Britton & Rose	DSA-130		x		n		LC
<i>Brongniartia intermedia</i> Moric. ex Ser.	DSA-017	x	x		n*	r	
<i>Calliandra houstoniana</i> var. <i>anomala</i> (Kunth) Barneby	DSA-024	x	x		n		
<i>Cologania broussonetii</i> (Balb.) DC.	DSA-037	x			n		
<i>Coursetia caribaea</i> (Jacq.) Lavin	DSA-220	x			n		LC
<i>Coursetia</i> sp.	DSA-247*		x	x			
<i>Crotalaria</i> aff. <i>rotundifolia</i> J.F.Gmel.	DSA-097	x			n		LC
<i>Dalea foliolosa</i> (Aiton) Barneby	DSA-031	x			n	ar, r	
<i>Dalea humilis</i> G.Don	DSA-231	x			n		
<i>Desmodium</i> aff. <i>molliculum</i> (Kunth) DC.	DSA-240	x			n		
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ortega) Sarg.	DSA-255		x	x	n		LC
<i>Lysiloma</i> sp. 1	DSA-223*	x					
<i>Lysiloma</i> sp. 2	DSA-257*	x	x				
<i>Lysiloma</i> sp. 3	DSA-266*	x	x				
<i>Mimosa</i> sp. 1	DSA-237*	x					
<i>Mimosa</i> sp. 2	DSA-238*	x					
<i>Mimosa</i> sp. 3	DSA-232*		x				
Fagaceae Dumort.							
<i>Quercus deserticola</i> Trel.	DSA-053*		x	x	n*		LC
<i>Quercus glabrescens</i> Benth.	DSA-071*	x	x	x	n		LC
<i>Quercus glaucooides</i> M.Martens & Galeotti	DSA-074*		x	x	n		LC
<i>Quercus laeta</i> Liebm.	DSA-076*	x	x	x	n*		LC
<i>Quercus obtusata</i> Bonpl.	DSA-110*		x	x	n*		LC
Garryaceae Lindl							
<i>Garrya longifolia</i> Rose	DSA-201	x	x	x	n*		
Gentianaceae Juss.							
<i>Gentiana spathacea</i> Kunth	DSA-091**				n*	r	Pr
Geraniaceae Juss							
<i>Geranium</i> sp.	DSA-226*	x					
Iridaceae Juss							
<i>Nemastylis tenuis</i> (Herb.) Benth. & Hook.f. ex S.Watson	DSA-022	x			n		

Lamiaceae Martinov.

<i>Salvia lavanduloides</i> Kunth	DSA-103	x	x	n	
<i>Salvia polystachia</i> Cav.	DSA-048	x	x	n	r

Lentibulariaceae Rich.

<i>Pinguicula moranensis</i> Kunth	DSA-151**			n	
------------------------------------	-----------	--	--	---	--

Malvaceae Juss.

<i>Anoda cristata</i> (L.) Schldtl.	DSA-084	x		n	ar, r
<i>Sida rhombifolia</i> L.	DSA-047*	x	x	n	r

Myrtaceae Juss

<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	DSA-068*		x	x	in	NT
--	----------	--	---	---	----	----

Onagraceae Juss.

<i>Lopezia racemosa</i> Cav.	DSA-062	x		n	ar, r
<i>Oenothera anomala</i> Curtis	DSA-116	x	x	n*	

Orchidaceae Juss.

<i>Deiregyne tenorioi</i> Soto Arenas & Salazar	DSA-196**			n*	
<i>Dichromanthus michuacanus</i> (Lex.) Salazar & Soto Arenas	DSA-102**			n*	

Phytolaccaceae R.Br.

<i>Phytolacca icosandra</i> L.	DSA-083	x	x	n	r
--------------------------------	---------	---	---	---	---

Plantaginaceae Juss.

<i>Penstemon roseus</i> (Cerv. ex Sweet) G.Don	DSA-117	x		n*	r
--	---------	---	--	----	---

Poaceae Barnhart

<i>Aristida adscensionis</i> L.	DSA-132	x		n	ar, r
<i>Aristida schiedeana</i> Trin. & Rupr.	DSA-167	x		n	ar, r
<i>Bouteloua hirsuta</i> Lag.	DSA-215	x		n	
<i>Bouteloua scorpioides</i> Lag.	DSA-144	x		n*	
<i>Briza subaristata</i> Lam.	DSA-159	x		n	r
<i>Elionurus barbiculmis</i> Hack.	DSA-073	x		n	
<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka	DSA-006	x		in	ar, r
<i>Muhlenbergia capillaris</i> (Lam.) Trin.	DSA-093	x		n	
<i>Muhlenbergia phalaroides</i> (Kunth) P.M.Peterson	DSA-209	x		n	
<i>Muhlenbergia</i> sp. 1	DSA-213*	x			
<i>Muhlenbergia</i> sp. 2	DSA-064*	x			

<i>Stipa clandestina</i> Hack.	DSA-145	x			n	ar, r	
<i>Piptochaetium fimbriatum</i> (Kunth) Hitchc.	DSA-121	x			n		
<i>Setaria parviflora</i> (Poir.) Kerguélen	DSA-072	x			n	ar, r	LC
<i>Sporobolus indicus</i> (L.) R.Br.	DSA-105	x			n	r	
<i>Trachypogon spicatus</i> (L.f.) Kuntze	DSA-044	x			n		
Polemoniaceae Juss.							
<i>Loeselia glandulosa</i> (Cav.) G.Don	DSA-119	x			n	r	
<i>Loeselia mexicana</i> (Lam.) Brand	DSA-085	x	x		n	ar	
Ranunculaceae Juss.							
<i>Thalictrum pubigerum</i> Benth.	DSA-170	x			n*		
Rosaceae Juss.							
<i>Crataegus mexicana</i> Moc. & Sessé ex DC.	DSA-265	x	x	x	n		LC
<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	DSA-197	x	x		n		LC
Rubiaceae Juss.							
<i>Bouvardia ternifolia</i> (Cav.) Schltld.	DSA-008	x	x		n	r	
<i>Crusea diversifolia</i> (Kunth) W.R.Anderson	DSA-134	x			n		
<i>Mitracarpus breviflorus</i> A.Gray	DSA-092	x			n		
<i>Spermacoce suaveolens</i> (G.Mey.) Kuntze	DSA-078	x			n		
Solanaceae Juss.							
<i>Cestrum aurantiacum</i> Lindl.	DSA-109	x	x		n		LC
<i>Cestrum tomentosum</i> L.f.	DSA-104	x	x	x	n	r	LC
<i>Solanum bulbocastanum</i> Dunal	DSA-035*	x			n		LC
<i>Solanum</i> sp.	DSA-002*	x					
<i>Solanum pubigerum</i> Dunal	DSA-173		x		n		
Verbenaceae J.St.Hil.							
<i>Priva mexicana</i> (L.) Pers.	DSA-051	x	x		n		
Violaceae Batsch							
<i>Hybanthus</i> sp.	DSA-228*	x					

ANEXO 4. Composición florística de cada comunidad vegetal que engloba a los tres estratos. *arvense y/o ruderal, __introducida, < endémica.

Bosque de <i>Juniperus</i>	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	Plantación de <i>Eucalyptus camaldulensis</i>
Especie	Especie	Especie	Especie
<i>Acalypha phleoides</i>	<i>Acalypha phleoides</i>	<i>Acacia sp.</i>	<i>Acaciella angustissima</i>
<i>Adiantum poiretii</i>	<i>Acourtia cordata</i>	<i>Acourtia cordata</i>	<i>Acalypha sp.</i>
<i>Arbutus xalapensis</i>	<i>Arbutus xalapensis</i>	<i>Adiantum poiretii</i>	* <i>Anoda cristata</i>
* <i>Arenaria lanuginosa</i>	* <i>Arenaria lanuginosa</i>	<i>Arbutus xalapensis</i>	* <i>Aristida adscensionis</i>
<i>Baccharis sp.</i>	* <i>Aristida schiedeana</i>	<i>Asplenium palmeri</i>	* <i>Aristida schiedeana</i>
<i>Bouteloua hirsuta</i>	<i>Baccharis sp.</i>	* <i>Bouvardia ternifolia</i>	* <i>Bidens odorata</i>
* <i>Bouvardia ternifolia</i>	* <i>Bidens odorata</i>	* <i>Briza subaristata Lam.</i>	<i>Bouteloua hirsuta</i>
* <i>Briza subaristata Lam.</i>	* <i>Bouvardia ternifolia</i>	<* <i>Brongniartia intermedia</i>	< <i>Bouteloua scorpioides</i>
<* <i>Brongniartia intermedia</i>	* <i>Briza subaristata Lam.</i>	<i>Bryum sp.</i>	<i>Brickellia veronicifolia</i>
<i>Bryum sp.</i>	<* <i>Brongniartia intermedia</i>	<i>Calliandra houstoniana var. anomala</i>	* <i>Briza subaristata Lam.</i>
<i>Calliandra houstoniana var. anomala</i>	<i>Bryum sp.</i>	<i>Cestrum aurantiacum</i>	<* <i>Brongniartia intermedia</i>
<i>Cestrum aurantiacum</i>	<i>Bulbostylis sp.</i>	* <i>Cestrum tomentosum</i>	<i>Bulbostylis sp.</i>
* <i>Cestrum tomentosum</i>	<i>Calliandra houstoniana var. anomala</i>	<i>Coursetia sp.</i>	<i>Calliandra houstoniana var. anómala</i>
<i>Cologania broussonetti</i>	<i>Cestrum aurantiacum</i>	<i>Crataegus mexicana</i>	* <i>Cestrum tomentosum</i>
<i>Crataegus mexicana</i>	* <i>Cestrum tomentosum</i>	<i>Critonia quadrangularis</i>	< <i>Chromolaena pulchella</i>
<i>Crusea diversiflora</i>	< <i>Chromolaena pulchella</i>	* <i>Dahlia coccinea</i>	<i>Cologania broussonetti</i>
* <i>Cyperus manimae</i>	<i>Cologania broussonetti</i>	<i>Drymaria glandulosa</i>	<i>Commelina diffusa</i>
<i>Desmodium aff. molliculum</i>	<i>Commelina diffusa</i>	<i>Elionurus barbiculmis</i>	* <i>Commelina tuberosa</i>
<i>Elionurus barbiculmis</i>	* <i>Commelina tuberosa</i>	<i>Erigeron sp.</i>	<i>Coursetia caribea</i>
<u><i>Eucalyptus camaldulensis</i></u>	<i>Coursetia sp.</i>	<i>Euphorbia adiantoides</i>	<i>Crotalaria aff. rotundifolia</i>
<i>Euphorbia adiantoides</i>	<i>Crocyanthemum glomeratum</i>	<i>Eysenhardtia polystachia</i>	<i>Crusea diversiflora</i>
<i>Gaga hirsuta</i>	<i>Crusea diversiflora</i>	< <i>Garrya longifolia</i>	* <i>Cyperus manimae</i>
< <i>Garrya longifolia</i>	* <i>Cyperus manimae</i>	<i>Geranium sp.</i>	* <i>Dalea foliolosa</i>

Geranium sp.
Hybanthus sp.
Ipomoea murucoides
 <*Iresine cassiniiformis*
Juniperus deppeana
 **Lobelia laxiflora*
 **Loeselia mexicana*
Lysiloma sp. 1
Lysiloma sp. 3
 **Melinis repens*
Muhlenbergia capillaris
Muhlenbergia sp1.
Myriopteris aurea
 <*Oenothera anomala*
 **Phytolacca icosandra*
Pinus leiophylla
Piptochaetium fimbriatum
Prunus serotina
Pseuderanthemum praecox
Quercus glabrescens
Salvia lavanduloides
 **Salvia polystachia*
Selaginella sp.
Setaria parviflora
 **Sida rhombifolia*
 **Simsia amplexicoulis*
 **Sonchus oleraceus*
 <*Stevia aff. Origanoides*
Stevia elatior
Stevia serrata
 **Stipa clandestina*

**Dahlia coccinea*
Desmodium aff. molliculum
Elionurus barbiculmis
Erigeron L.
Eryngium columnare
Eucalyptus camaldulensis
Euphorbia adiantoides
Euphorbia sp.
Gaga hirsuta
 <*Garrya longifolia*
Hybanthus sp.
Juniperus deppeana
 **Lobelia laxiflora*
 **Loeselia glandulosa*
 **Loeselia mexicana*
Mimosa sp. 3
Muhlenbergia capillaris
Muhlenbergia sp2.
Nemastylis tenuis
 <**Penstemon roseus*
 **Phytolacca icosandra*
 **Pinaruppus roseus*
Pinus devoniana
Pinus leiophylla
Pinus pseudostrobus
Piptochaetium fimbriatum
Prunus serotina
Quercus glabrescens
 **Ricinus communis*
Salvia lavanduloides
 **Setaria parviflora*

+*Iresine cassiniiformis*
 **Iresine diffusa*
Juniperus deppeana
Lagascea rigida
 **Lobelia laxiflora*
 **Loeselia mexicana*
 **Lopezia racemosa*
Lysiloma sp. 2
Lysiloma sp. 3
Mildella fallax
Montanoa leucantha var. arborescens
Muhlenbergia capillaris
Muhlenbergia sp1.
Muhlenbergia sp2.
Pellaea cordifolia
 <**Penstemon roseus*
Pinus leiophylla
Piptochaetium fimbriatum
Pseuderanthemum praecox
 <*Quercus deserticola*
Quercus glabrescens
Quercus glaucooides
 <*Quercus laeta*
 <*Quercus obtusata*
Salvia lavanduloides
 **Salvia polystachia*
Selaginella sp.
 **Tithonia tubiformis*
 <*Verbesina virgata*

Dalea humilis
Elionurus barbiculmis
Eucalyptus camaldulensis
Euphorbia adiantoides
Euphorbia sp.
Hieracium sp.
Ipomoea murucoides
 **Loeselia mexicana*
 **Melinis repens*
Mimosa sp. 1
Mimosa sp. 2
Mitracarpus breviflorus
Muhlenbergia capillaris
Muhlenbergia phalaroides
Muhlenbergia sp1.
Nemastylis tenuis
Piptochaetium fimbriatum
Priva mexicana
Prunus serotina
 **Salvia polystachia*
Setaria parviflora
 **Sida rhombifolia*
Solanum bulbocastanum
Solanum sp.
Spermacoce suaveolens
 <*Stevia aff. origanoides*
Stevia serrata
Stevia viscida
 **Stipa clandestina*
 **Tithonia tubiformis*
Trachypogon spicatus

<*Thalictrum pubigerum*
<*Thyrsanthemum macrophyllum*
Triplateia moehringiodes
<*Verbesina virgata*

Solanum pubigerum
**Sonchus oleraceus*
**Sporobolus indicus*
Stevia serrata
Stevia viscida
**Stipa clandestina*
Symphotrichum moranense
Trachypogon spicatus
Triplateia moehringiodes
<*Verbesina virgata*

ANEXO 5. Propuestas de conservación y manejo sostenible de la vegetación del ANP Cerro Zapotecas.

a) Creación de un vivero de especies nativas para reforestación y restauración ecológica

La creación de un vivero requiere tener conocimiento de las especies nativas del lugar, la ubicación idónea y viable de la infraestructura, recursos materiales, disponibilidad de agua y personas que puedan hacerse cargo del vivero. Por otro lado, planear la restauración de la vegetación por medio de reforestaciones y de otras actividades es indispensable para que se logre su regeneración y conservación a largo plazo.

A continuación, se muestra una lista de las especies nativas del Cerro Zapotecas para incluirlas en el vivero y en posteriores reforestaciones en cada comunidad vegetal:

Bosque de <i>Juniperus</i>	Bosque de <i>Pinus</i>	Bosque de <i>Quercus</i>	Plantación de <i>Eucalyptus can</i>
<i>Arbutus xalapensis</i>	<i>Arbutus xalapensis</i>	<i>Arbutus xalapensis</i>	<i>Arbutus xalapensis</i>
<i>Cestrum tomentosum</i>	<i>Cestrum tomentosum</i>	<i>Crataegus mexicana</i>	<i>Acaciella angustissima</i>
<i>Crataegus mexicana</i>	<i>Juniperus deppeana</i>	<i>Eysenhardtia polystachia</i>	<i>Lupinus</i>
<i>Ipomoea murucoides</i>	<i>Pinus devoniana</i>	<i>Garrya longifolia</i>	<i>Cestrum tomentosum</i>
<i>Juniperus deppeana</i>	<i>Pinus leiophylla</i>	<i>Juniperus deppeana</i>	<i>Crataegus mexicana</i>
<i>Pinus leiophylla</i>	<i>Pinus pseudostrobus</i>	<i>Montanoa leucantha var. arborescens</i>	<i>Eysenhardtia polystachia</i>
	<i>Pinus teocote</i>	<i>Pinus leiophylla</i>	<i>Garrya longifolia</i>
	<i>Quercus glabrescens</i>	<i>Quercus deserticola</i>	<i>Ipomoea murucoides</i>
	<i>Lupinus sp.</i>	<i>Quercus glabrescens</i>	<i>Juniperus deppeana</i>
		<i>Quercus glaucoides</i>	<i>Pinus devoniana</i>
		<i>Quercus laeta</i>	<i>Pinus leiophylla</i>
		<i>Quercus obtusata</i>	<i>Pinus pseudostrobus</i>
			<i>Quercus deserticola</i>
			<i>Quercus glabrescens</i>
			<i>Quercus glaucoides</i>
			<i>Quercus laeta</i>
			<i>Quercus obtusata</i>

Es indispensable que las especies nativas se coloquen en la comunidad vegetal que les corresponde, para ello se sugiere consultar el mapa de distribución de comunidades de esta tesis.

Es necesario crear un banco de semillas de los individuos nativos del cerro. Sería ideal que la ubicación del vivero fuera en un lugar muy cercano al Cerro Zapotecas o en una porción de su territorio para ahorrar tiempo en la recolección de semillas en campo y su posterior depósito y procesamiento; además, es importante que las plantas se desarrollen en condiciones climáticas características del cerro ya que esto les permitirá adaptarse rápido y asegurar su supervivencia cuando se planten en el terreno.

Se sugiere reforestar en las zonas borde de los manchones de bosque, y no adentro de éstos donde hay mayor densidad arbórea porque se corre el riesgo de pisar plántulas ya establecidas. No se recomienda plantar en lugares muy aislados y áridos.

Se sugiere abordar la restauración de la vegetación ya que implica una solución integral para cuidar y aprovechar el cerro adecuadamente. Las actividades que son necesarias para llevarla a cabo son:

- Considerar a las especies más resistentes a condiciones de sequía y que son consideradas pioneras en la sucesión ecológica para reforestar en la primera jornada e ir incluyendo a las demás cuando el suelo se encuentre en mejores condiciones y haya un microclima más húmedo (*Arbutus xalapensis*, arbustos de *Lupinus sp.*, *Acaciella angustissima*, *Eysenhardtia polystachia*)
- Cuidar el suelo de la erosión, compactación y desmoronamiento delimitando senderos exclusivos para los visitantes, y para el pastoreo.
- Control de incendios.
- Control de plagas.
- Reducir el impacto antrópico regulando el ecoturismo planteando un reglamento en el que se respete las comunidades (evitar practicar ciclismo y motocross dentro de los bosques de coníferas y encino principalmente)
- Se priorizan las zonas de reforestación que se encuentran aledañas a las comunidades de bosques de coníferas ya establecidas para asegurar su supervivencia.

b) Hacer efectiva la zonificación y definición de las actividades permitidas para cada área (zona[s] núcleo y de amortiguamiento)

Para hacer efectiva la zonificación establecida en el plan de manejo y proteger las comunidades vegetales que se encuentran perturbadas, es necesario:

- Que los turistas respeten las zonas de “uso restringido” (RANP, 2013 c), y hacer uso de la zona de “uso público”.
- Es necesario establecer veredas para el ecoturismo, colocando anuncios de información respecto a las veredas permitidas.
- En la medida de lo posible, cercar las zonas que contienen especies en peligro, principalmente, las zonas con pendiente elevada en la ladera norte, noroeste y oeste, donde se encuentran los bosques de *Pinus*, *Quercus* y *Juniperus*.

c) Regulación de actividades agropecuarias, deportivas, ecoturísticas y culturales.

- A través de medios de comunicación, informar a la población local de la importancia de cuidar los bosques nativos del Cerro Zapotecas y las actividades permitidas dentro de éstos.
- Llevar a cabo jornadas de talleres de divulgación abordando temas de la importancia de los bosques y su cuidado, en los centros culturales del municipio y si es posible en el Cerro Zapotecas.
- Establecer una zona de recreación donde haya anuncios de información ecoturística respecto a las actividades permitidas y las no permitidas.
- Establecer una zona de ramoneo exclusivo para las actividades pecuarias.
- Establecer una zona de ciclismo de montaña y motocross, y especificar las veredas permitidas. Se sugiere evitar utilizar las veredas que atraviesan los boques de *Pinus*, *Juniperus* y las cañadas con encino.

Anexo 6. Fotografías de las comunidades vegetales y de diversos sitios en el Cerro Zapotecas tomadas durante el trabajo de campo de la presente investigación.



Figura 22. Vegetación quemada por incendio en la ladera baja al oeste del cerro.



Figura 23. Vegetación quemada por incendio en la ladera media al norte del cerro.



Figura 24. Pastizal quemado por incendio en el cráter del cerro.



Figura 25. Campo de cultivo de nopaleras y maíz en la terraza principal.



Figura 26. Camino en la terraza superior y postes de electricidad.



Figura 27. Cañada con bosque de *Quercus*



Figura 28. Bosque de *Pinus devoniana* en la ladera baja al noroeste del cerro.

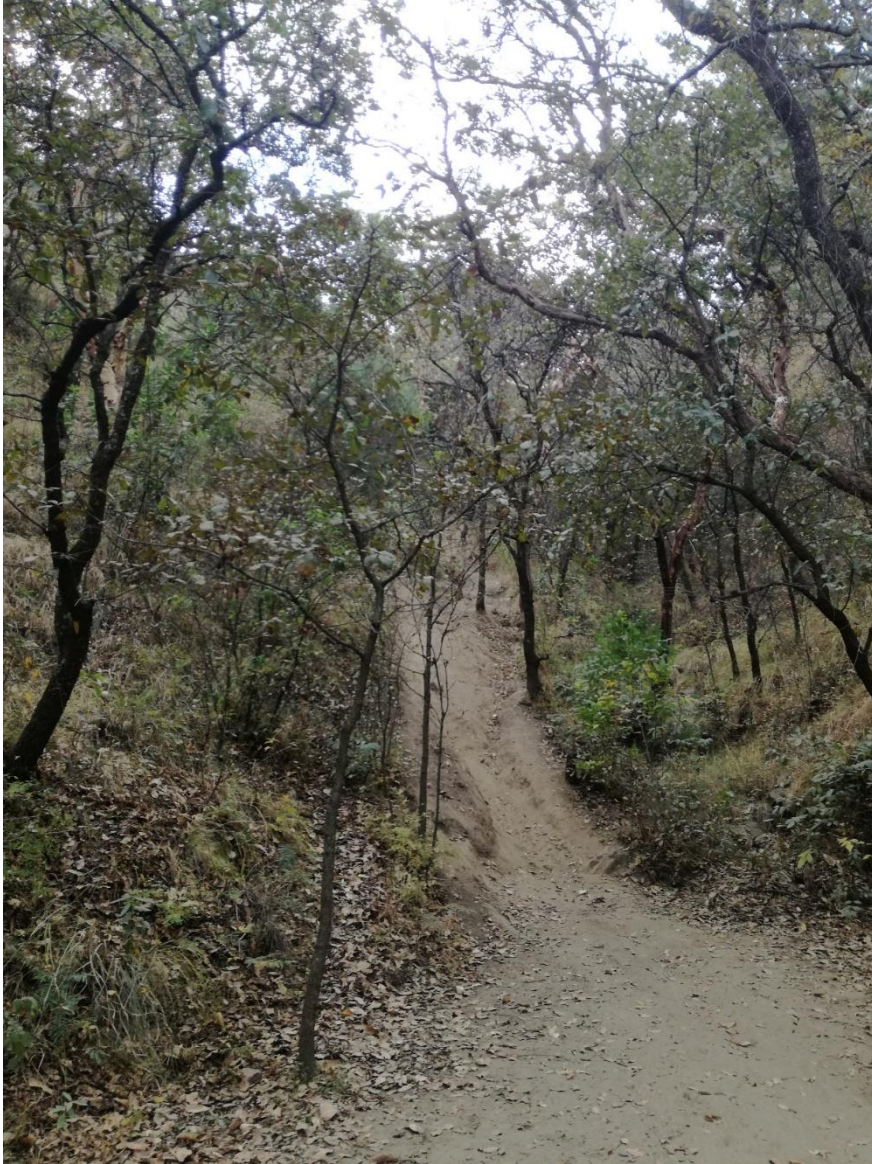


Figura 29. Cañada con bosque de *Quercus* impactada por vereda transitada por ciclistas.



Figura 30. Platación de eucaliptos.