



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
PROGRAMA DE POSGRADO

**“Efectos del manejo forestal y de estrategias de conservación
en bosques de pino-encino de la comunidad de Analco, Oaxaca, México”**

Tesis sometida a consideración de la División de Educación y el Programa de Posgrado como
requisito para optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

En Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad

Por

Liborio Martinez Cruz

Turrialba, Costa Rica
Julio, 2019

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y CONSERVACIÓN
DE BOSQUES TROPICALES Y BIODIVERSIDAD**

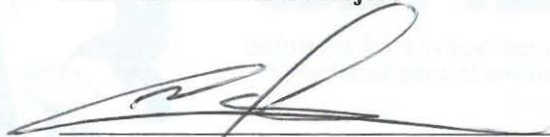
FIRMANTES:



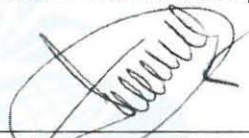
Diego Delgado, M.Sc.
Director de tesis



Fernando Casanoves, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Fernando Carrera, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Filemón Manzano, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Isabel A. Gutiérrez-Montes, Ph.D.
Decana Escuela de Posgrado



Liborio Martínez Cruz
Candidato

DEDICATORIA

A mis padres Abraham Martínez Martínez y Carmela Cruz Miguel, como una muestra de mi profundo amor, admiración, agradecimiento, gratitud y respeto, porque con sus sacrificios, consejos, bendiciones y apoyo incondicionales me alientan a seguir superándome día a día.

A mis hermanos María Teresa, Isaac y Luis Abraham, por creer y apoyar a mi persona para llegar a concluir una etapa más en mi formación profesional.

A Dios, por acompañarme y darme la oportunidad de vivir y concluir esta etapa.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), por permitirme realizar mi formación profesional en esta institución.

Al Programa de Becas de Posgrado para Indígenas (PROBEPI), apoyada por el CONACYT y conducida por el CIESAS por financiar mis estudios de maestría.

Al equipo PROBEPI por asistirme y acompañarme durante todo el proceso de la maestría.

Al MSc Diego Delgado, por aceptar dirigir el presente proyecto, y por su valiosa enseñanza y apoyo en todo el proceso.

Al PhD Fernando Casanoves, por todo su apoyo y en especial por sus enseñanzas en los análisis estadísticos y por ser un excelente profesor.

Al Dr Filemón Manzano, por crear las condiciones necesarias para desarrollar en forma el trabajo de campo.

Al MSc Fernando Carrera, por sus valiosos comentarios al trabajo de tesis.

A Eduardo Corrales, por el tiempo invertido y su apoyo en los análisis estadísticos.

A las autoridades comunales 2018-2019 de San Juan Evangelista Analco, por permitirme el acceso a su predio comunal y por demás facilidades otorgadas. En especial a Eugenia Santiago Reyes, comisariada de bienes comunales, y a Andrés Hernández Bautista, consejo de vigilancia.

A Margarita Santiago Ayala, por su calidez y apoyo durante el proceso de campo.

A todos mis profesores y compañeros de generación por formar parte del proceso.

A mi compañera por permitirme vivir la experiencia CATIE a su lado y por el apoyo en el ámbito personal y académico.

A la familia PROBEPI del CATIE.

A todos aquellos que de alguna u otra forma me apoyaron en el proceso.

A la vida por la experiencia.

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	2
3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	5
4. OBJETIVOS	8
4.1. Objetivo general	8
4.2. Objetivos específicos	8
5. HIPÓTESIS	8
5.1. Hipótesis general	8
5.2. Hipótesis específicas.....	8
6. MARCO DE REFERENCIA	9
6.1. Ecología de bosques de pino-encino y su potencial productivo	9
6.2. Estructura, composición, diversidad y dinámica de bosques de pino-encino.	10
6.2. Manejo forestal sostenible en bosques de pino-encino.	13
6.3. Impactos del aprovechamiento forestal en la estructura, composición, diversidad y dinámica de bosques subtropicales de pino-encino	15
7. METODOLOGÍA	17
7.1. Área de estudio.....	17
7.2. Manejo forestal implementado.....	19
7.3. Áreas de producción y de conservación	20
7.4. Sistema de monitoreo	20
7.5. Establecimiento de las parcelas permanentes de medición	22
7.6. Primera medición de parcelas permanentes de medición.....	25
7.7. Variables estimadas en la segunda medición.....	26
7.7.1. Riqueza y diversidad de la vegetación	26
7.7.2. Composición de la vegetación	27
7.7.3. Estructura de la vegetación.....	27
7.7.4. Dinámica de la vegetación	27
7.8. Análisis de datos	28
8. RESULTADOS	31
8.1. Riqueza y diversidad de vegetación.....	31
8.2. Composición de la vegetación.....	34
8.3. Estructura de la vegetación	39
8.4. Dinámica de la vegetación	45
9. DISCUSIÓN	51
9.1. Riqueza y diversidad de la vegetación de un bosque de pino-encino bajo efectos de producción y de conservación forestal en la comunidad de Analco, Oaxaca, México	51
9.2. Composición de la vegetación.....	53

9.3. Estructura de la vegetación	54
9.4. Dinámica de la vegetación	55
10. CONCLUSIONES	58
11. RECOMENDACIONES	59
12. LITERATURA CITADA	60

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Sistema de muestreo para la instalación de los sitios permanentes de muestreo	22
Cuadro 2. Riqueza observada (S.Obs) y estimadores de riqueza máxima esperada Chao1 y ACE y sus desviaciones estándar (se. Chao1, se.ACE)	32
Cuadro 3. Índices de diversidad de un bosque de pino-encino bajo conservación y producción forestal en Analco, Oaxaca, México.....	32
Cuadro 4. Valores de Rarefy para un bosque de pino-encino bajo conservación y producción forestal en Analco, Oaxaca, México.....	33
Cuadro 5. Listado de especies arbóreas identificadas en el bosque de pino-encino de Analco, Oaxaca, México	35
Cuadro 6. Valores del coeficiente de semejanza de Sorensen de un bosque de pino-encino bajo conservación y producción en Analco, Oaxaca, México.....	36
Cuadro 7. Valores de mortalidad y reclutamiento por tratamiento.....	46
Cuadro 8. Incrementos anuales por tratamiento	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Existencias maderables en bosques de México, 2004-2009.....	10
Figura 2. Distribución de la malla de puntos y de las unidades de muestreo del INFyS.	11
Figura 3. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio.....	17
Figura 4. Metodología utilizada: a) Corral-Rivas <i>et al.</i> (2013), b) Modificada y adaptada...	21
Figura 5. Etiquetado de los árboles dentro de las parcelas permanentes.	22
Figura 6. Plano de Parcelas Permanentes de Medición en San Juan Evangelista Analco, Oaxaca.	23
Figura 7. Curvas de rarefacción (a) e interpolación (b) basada en individuos.	31
Figura 8. Curva de series de Hill por tratamientos totales (a) y por tratamientos dentro del área de producción (b).	34
Figura 9. Porcentaje de especies por familias registradas en el bosque de pino-encino de Analco, Oaxaca, México.....	36
Figura 10. Dendrogramas de distancias de Bray-Curtis para las combinaciones de tratamiento-tiempo (a) y por Tratamiento-repeticiones (b).	37
Figura 11. Índice de valor de importancia (IVI) para los tratamientos del área de conservación forestal en Analco, Oaxaca, México.....	37
Figura 12. Índice de valor de importancia (IVI) para los tratamientos del área de producción forestal en Analco, Oaxaca, México.....	38

Figura 13. Abundancia por categoría diamétrica en un bosque de pino-encino de Analco, Oaxaca, México.	39
Figura 14. Distribución del número de individuos por clases diamétricas en el área de conservación forestal.....	40
Figura 15. Distribución del número de individuos por clases diamétricas en el área de producción forestal.	40
Figura 16. Área basal por tratamiento y tiempo en un bosque de pino-encino de Analco, Oaxaca, México.	41
Figura 17. Área basal por categoría diamétrica de un bosque de pino-encino bajo producción forestal.	41
Figura 18. Área basal por categoría diamétrica de un bosque de pino-encino bajo conservación forestal.....	42
Figura 19. Volumen por tratamiento en un bosque de pino-encino de Analco, Oaxaca, México.	43
Figura 20. Porcentaje de producción en las categorías diamétricas del 10 al 30, en el bosque de pino-encino de Analco, Oaxaca, México.	43
Figura 21. Porcentaje de producción en las categorías diamétricas del 40 al 50, en el bosque de pino-encino de Analco, Oaxaca, México.	44
Figura 22. Distribución de alturas por tratamiento en un bosque de pino-encino de Analco, Oaxaca, México.	44
Figura 23. Estratos del bosque de pino-encino de Analco, Oaxaca, México.	45
Figura 24. Individuos muertos por categoría diamétrica (a) y por género (b) en cada tratamiento.	46
Figura 25. Número de individuos por categoría diamétrica (a) y por géneros (b y c) en cada tratamiento.	47
Figura 26. Incremento en DN por especie y categoría diamétrica en los tratamientos del área de producción.	48
Figura 27. Incremento en altura por especie y categoría diamétrica en los tratamientos del área de producción.	49
Figura 28. Incremento en volumen por especie y categoría diamétrica en los tratamientos del área de producción.	49
Figura 29. Tiempo de paso por especie y categoría diamétrica en los tratamientos del área de producción.....	50
Figura 30. Incremento volumétrico por categoría diamétrica del género <i>Pinus</i> para los tratamientos del área de conservación forestal.	50

LISTA DE ACRÓNIMOS, ABREVIATURAS Y UNIDADES

Siglas	Significado
AICA	Áreas de Importancia para la Conservación de Aves
ANOVA	Análisis de varianzas
APA	Área de producción con aclareo
APR	Área de producción con regeneración
APSIF	Área de producción sin intervención forestal
ATP	Auditorías Técnicas Preventivas
Pa-Lg	Bosque de <i>Pinus ayacahuite-Litsea glaucescens</i>
Pp-Ql	Bosque de <i>Pinus patula-Quercus laurina</i>
Lg-Ql	Bosque de <i>Litsea glaucescens-Quercus laurina</i>
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
DN	Diámetro normal
EO	Este-Oeste
FSC	Forest Stewardship Council
Ha	hectárea(s)
IEFySO	Inventario Estatal Forestal y de Suelos del Estado de Oaxaca
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INFyS	Inventario Nacional Forestal y de Suelos
IUFRO	International Union Of Forest Research Organizations
IVF	Índice de valor forestal
IVI	Índice de valor de importancia
m ²	Metros cuadrados
m ³	Metros cúbicos
MC	Métodos combinados
MDS	Método de Desarrollo Silvícola
MEXU	Herbario Nacional de México
MMOBI	Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares
NS	Norte-Sur
OTC	Plan de Ordenamiento Territorial Comunitario
PMFM	Programa de Manejo Forestal Maderable
PMFS	Programa de Manejo Forestal Simplificado
PPM	Parcelas Permanentes de Medición
RAN	Registro Agrario Nacional
RTP	Región Terrestre Prioritaria
SEGOB	Secretaría de Gobernación
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SM	Subunidades de muestreo
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNSIJ	Universidad de la Sierra Juárez
UTM	Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator

RESUMEN

En México el bosque de pino-encino es la segunda formación vegetal en cuanto a superficie. Representa el recurso forestal más importante en cuanto a extracción de madera, y, en consecuencia, es el ecosistema con más programas de manejo forestal. El manejo forestal es una de las actividades con mayor éxito en cuanto a conservación de los bosques; no obstante, requiere de monitoreo y evaluación, por lo que el objetivo general del presente estudio fue establecer el estado y la dinámica del bosque en áreas bajo manejo forestal en la comunidad de San Juan Evangelista Analco, quien incursionó en la materia en 2013. Para ello, se realizó la segunda medición de 21 parcelas permanentes de 25 m x 25 m (625 m²) establecidas en 2014 y 2015. Las parcelas se establecieron en áreas bajo manejo silvícola y en áreas de conservación. El estudio cuenta con seis tratamientos: área de producción con regeneración (APR), área de producción con aclareo (APA), área de producción sin intervención forestal (APSIF), área de conservación con bosque de *Pinus ayacahuite-Litsea glaucescens* (Pa-Lg), con bosque de *Pinus patula-Quercus laurina* (Pp-Ql) y con bosque de *Litsea glaucescens-Quercus laurina* (Lg-Ql). Con los datos obtenidos se analizó la riqueza y diversidad de especies, la composición, estructura y la dinámica de la vegetación del periodo de monitoreo 2014-2018. Como resultado se encontraron diferencias significativas en la mayoría de los indicadores evaluados. En áreas bajo producción la diversidad de especies disminuyó y la composición de la vegetación cambió, aumentando la dominancia de especies comerciales. No se registraron cambios en la distribución diamétrica y alturas de los árboles, así como en mortalidad e incrementos en área basal. Se hallaron aumentos en la densidad de árboles por hectárea, así como en los incrementos del diámetro normal y altura y una reducción del tiempo de paso. Se identificó una recuperación de área basal y volumen. Por lo tanto, se concluye que en general el manejo forestal aumenta los valores de producción en las áreas bajo tratamientos silvícolas, no así con los valores de biodiversidad; mientras que para las áreas de conservación los valores se mantienen. Esta información responde a los objetivos del programa de manejo forestal, donde se da preferencia a las especies de interés comercial en las áreas de producción y se conservan la mayoría de las especies presentes en las áreas de conservación. El estudio evidencia que los objetivos del programa de manejo forestal maderable en la comunidad de San Juan Evangelista Analco se están cumpliendo.

Palabras clave: Manejo forestal, bosque de pino-encino, monitoreo y evaluación, estructura, composición, riqueza y diversidad, dinámica.

ABSTRACT

In Mexico, the pine-oak forest is the second largest plant formation in terms of surface area. It represents the most important forest resource in terms of wood extraction, and, consequently, it is the ecosystem with the most forest management programs. Forest management is one of the most successful activities in terms of forest conservation, however, requires monitoring and evaluation, so the overall objective of this study was to establish the status and dynamics of the forest in areas under forest management in the community of San Juan Evangelista Analco, who ventured into the matter in 2013. For this purpose, the second measurement of 21 permanent plots of 25 m x 25 m (625 m²) established in 2014 and 2015 was carried out. The plots were established in areas under silvicultural management and in conservation areas. The study has six treatments: production area with regeneration (APR), production area with thinning (APA), production area without forest intervention (APSIF), conservation area with *Pinus ayacahuite-Litsea glaucescens* forest (Pa-Lg), with *Pinus patula-Quercus laurina* forest (Pp-Ql) and with *Litsea glaucescens-Quercus laurina* forest (Lg-Ql). The data obtained were used to analyze the richness and diversity of species, the composition, structure and dynamics of vegetation during the 2014-2018 monitoring period. As a result, significant differences were found in most of the indicators evaluated. In areas under production the diversity of species decreased, and the composition of vegetation changed, increasing the dominance of commercial species. No changes were registered in the diameter distribution and heights of the trees, as well as in mortality and increases in basal area. Increases in tree density per hectare were found, as well as increases in normal diameter and height and a reduction in passage time. A recovery of basal area and volume was identified. Therefore, it is concluded that in general, forest management increases production values in areas under silvicultural treatments but not with biodiversity values, while for conservation areas the values are maintained. This information responds to the objectives of the forest management program, where preference is given to species of commercial interest in the production areas and most of the species present in the conservation areas are conserved. The study shows that the objectives of the timber management program in the community of San Juan Evangelista Analco are being met.

Key words: Forest management, pine-oak forest, monitoring and evaluation, structure, composition, richness and diversity, dynamics.

1. INTRODUCCIÓN

En México el bosque de pino-encino se encuentra en todos los estados del país con excepción de la península de Yucatán. Alberga una gran riqueza de pinos (55 especies) y encinos (138 especies) de los cuales el 85 y 70% respectivamente, son endémicos de México (Rzedowski 1978). Estos bosques funcionan como un importante corredor biológico tanto de especies boreales como para elementos tropicales de montaña (Mittermeier y Goettsch 1992; Plascencia *et al.* 2011). Representa además un recurso forestal muy importante para la extracción de madera, así como para la producción de servicios ecosistémicos y es el ecosistema con más programas de manejo forestal autorizados (Rzedowski 1978; González-Elizondo *et al.* 2012; Guzmán-Mendoza *et al.* 2014). A pesar de su importancia para la conservación, el bosque de pino-encino en México es uno de los ecosistemas con mayores alteraciones por la fuerte presión demográfica dadas debido a las condiciones favorables de clima para asentamientos humanos y el desarrollo de agricultura y ganadería (Rzedowski 1978; Guzmán-Mendoza *et al.* 2014).

De acuerdo con el último Inventario Estatal Forestal y de Suelos del Estado de Oaxaca (IEFYSO), realizado en el año 2013, los bosques de pino-encino representan el 16.2% de la superficie estatal. Es la segunda formación vegetal más importante en cuanto a superficie, tan solo superada por las selvas altas y medianas. En cuanto a zonificación forestal, un 90% del área de estos bosques está considerada como áreas potenciales para producción, un 5% está destinado a áreas bajo algún régimen de conservación y el 5% restante corresponde a áreas en restauración. De las áreas de producción tan solo el 20% se encuentra bajo algún régimen de manejo, principalmente bajo programas de manejo forestal maderable (CONAFOR 2013).

En el ámbito del manejo forestal sostenible existen principios, criterios e indicadores que permiten medir el buen manejo de los recursos. De acuerdo con las estadísticas de certificación de la FSC, a junio del 2018, 1,164,436 hectáreas están certificadas en México. La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), de acuerdo con el último estudio en el año 2016, menciona que se tienen 369,419 ha certificadas bajo Auditorías Técnicas Preventivas (ATP), y 902,802 ha bajo la norma mexicana NMX-AA-143-SCFI-2008.

El manejo forestal requiere de información para la toma de decisiones, y es el monitoreo el que provee esta información. El monitoreo permite la evaluación del alcance de los objetivos planteados en los diferentes regímenes de manejo. En este sentido, la producción maderable sostenible constituye uno de los objetivos principales de manejo y para alcanzarlos se requiere conocer la dinámica de los ecosistemas a fin de garantizar la cosecha sustentable. En general, para bosques de pino-encino existe una escasa disponibilidad de datos sobre temas de dinámica forestal por lo que estos estudios siguen siendo necesarios y vigentes, sobre todo aquellos enfocados a largo plazo. El avance de estos estudios posibilitará la integración de programas de apoyo a la toma de decisiones diseñadas por equipos interdisciplinarios y transdisciplinarios, aunado a ello no solo se requiere el

fortalecimiento de capacidades técnicas; sino también del capital social (Aguirre-Calderón 2015; Rubio-Camacho *et al.* 2017).

El monitoreo de la dinámica de los bosques en periodos de tiempos prolongados supone el establecimiento de Parcelas Permanentes de Medición (PPM). El monitoreo a largo plazo es una de las herramientas más útiles para determinar los cambios del bosque, entre ellos la dinámica en términos de la estructura, composición y diversidad de especies. Los datos recabados de estas parcelas representan una de las fuentes de información más importantes para la toma de decisiones en áreas de aprovechamiento (Olvera *et al.* 1996; Gadow *et al.* 1999; Corral-Rivas *et al.* 2008).

Un programa de monitoreo forestal a largo plazo permite a los manejadores e investigadores forestales coleccionar y analizar diversas variables ecológicas, sociales, económicas y culturales relevantes. Esta información es sumamente importante para guiar las acciones de manejo y para conocer e informar el grado de cumplimiento de los objetivos planteados respecto de la conservación y uso adecuado de la biodiversidad, al mantenimiento y mejoramiento de los procesos ecológicos esenciales y de los valores relevantes del bosque propuestos en los programas de manejo (Olvera *et al.* 1996).

El presente trabajo tiene como propósito evaluar el estado y dinámica de bosques de pino-encino en áreas de producción y conservación forestal de San Juan Evangelista Analco, Oaxaca, México, utilizando indicadores ecológicos y productivos, y con ello generar información valiosa para la toma de decisiones en el ámbito del manejo forestal.

2. ANTECEDENTES

Situación forestal en México

México cuenta con 138.0 millones de hectáreas con cubierta forestal equivalentes al 70% del territorio nacional donde se distribuye una gran diversidad de vegetación. La vegetación en estado relativamente bien conservado (vegetación primaria) es de 95.8 millones de hectáreas, mientras que aquellas que se encuentran en diversos grados de vegetación secundaria suman 42.1 millones de hectáreas. Los bosques templados de coníferas y latifoliados representan el 16.4% del territorio nacional, unas 32.3 millones de hectáreas (INEGI 2005a; Challenger y Soberón 2008). Se estima que de toda la superficie forestal, tan solo el 15.1% (8.6 millones de hectáreas) se encuentra bajo algún régimen de manejo técnico (CONAFOR-SEMARNAT 2001).

Estas formaciones vegetales constituyen ecosistemas sumamente importantes desde el punto de vista de su biodiversidad, entre otros aspectos relevantes. México se ubica en el cuarto lugar entre los 17 países denominados megadiversos, que conjuntamente albergan cerca del 70% de las especies conocidas de la tierra (Gobierno de la república 2016; CONABIO 2019); además es considerado como el mayor centro de diversidad mundial del género *Pinus* con alrededor de 50% de las especies conocidas y el centro de diversidad

hemisférica para los encinos con alrededor de 33% de las especies conocidas en el mundo (Challenger y Soberón 2008).

Los dueños y poseedores de estas formaciones vegetales entre el 60 a 80% son de carácter social, es decir, en su mayoría están en manos de comunidades indígenas bajo la figura de propiedad comunal y propiedad ejidal, lo que lo convierte en el segundo país con mayor área de bosques comunitarios (Bray y Merino 2004; CCMSS 2018).

Con la ley forestal de 1986, se faculta a las comunidades a realizar el manejo de sus bosques llegando así a lo que actualmente se conoce como *manejo forestal comunitario* (Valdés Rodríguez y Negreros-castillo 2010). Este manejo comprendió en sus inicios áreas destinadas a la producción (maderable, principalmente) y en las últimas décadas se ha dado importancia a las áreas en restauración y de conservación. Frecuentemente las áreas de conservación son destinadas de manera voluntaria por parte de los poseedores, sin embargo, estas han recibido poca importancia en México por lo que no se tiene un registro sobre la superficie de dichas áreas. No obstante, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en coordinación con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) desde el año 2008 han creado e impulsado la categoría denominada Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ANP), esto con la finalidad de reconocer por una parte el trabajo y la visión de conservación de las comunidades, y por otro lado, unir fuerzas para lograr una mayor conservación de dichas áreas (CONANP 2019).

Historia del manejo forestal de San Juan Evangelista Analco

San Juan Evangelista Analco es una comunidad con una superficie forestal maderable muy pequeña, en comparación con las diversas comunidades de la región de la Sierra Norte, por lo que anteriormente no se habían interesado en realizar el aprovechamiento forestal maderable. Hasta antes del manejo forestal, la comunidad basaba su economía en la agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal (autoconsumo), comercio y ecoturismo, las cuales son descritas en el plan de desarrollo municipal (CMDRS 2009 y 2011) y en el Plan de Ordenamiento Territorial Comunitario (OTC) (CBC-CCMSS-ERA 2005); no obstante, con la incorporación del manejo forestal no se tienen estudios sobre su efecto en la economía local.

Durante la realización del OTC se identificó que el bosque de pino-encino presentaba presencia de plagas y la selva baja caducifolia áreas degradadas (cárcavas y erosión de suelo). Como resultado se recomendó atender dichas áreas y es así como surgen las primeras ideas de generar el programa de manejo forestal maderable; sin embargo, la comunidad se negaba a realizar el aprovechamiento de sus bosques debido a que se autonombaban como “conservadores de sus recursos naturales”.

Históricamente la comunidad presenta un fuerte arraigo a sus bosques principalmente por ser una comunidad indígena y que además durante la Revolución Mexicana fueron desplazados por comunidades vecinas (Jaltianguis y Atepec) y el recuperar parte de su territorio significó muchos sacrificios, tanto que mantuvieron un conflicto agrario hasta el año

2010, el que se solucionó gracias a que cedieron los derechos del territorio en conflicto (Martinez-Cruz 2016).

A partir del año 2006 el bosque de pino-encino estuvo bajo monitoreo y se dio atención al saneamiento forestal en áreas afectadas por el descortezador (*Dendroctonus adjunctus* Bland). A pesar de ello la plaga siguió propagándose, razón por la que el combate y saneamiento se realizó durante cinco años (2006-2011) y en el año 2009 se operó un Programa de Manejo Forestal Simplificado (PMFS) para el aprovechamiento de madera muerta (PMFM 2013), comprendiendo así el primer acercamiento de la comunidad con el manejo forestal.

Entre otras iniciativas, en el año 2010 se concluyó con la elaboración del estatuto comunal en la que se estableció como prioritaria la elaboración del Programa de Manejo Forestal Maderable (PMFM) con la finalidad de atender y reducir el riesgo a plagas y además generar recursos económicos para el desarrollo de la comunidad (PMFM 2013). A partir de ello, se elabora el primer PMFM que fue aprobado en el año 2013, enmarcando el inicio de un proceso de ordenación y manejo de sus bosques. Con el PMFM se inicia una diversificación de actividades productivas en las que se incorpora el aprovechamiento forestal con fines comerciales y la creación formal de empresas comunitarias dentro del cual destaca el ecoturismo "Latzii-Duu" y recientemente una empresa productora de carbón vegetal administrada por un grupo de mujeres comuneras "Niula" (Martinez-Cruz 2016; Manzano 2018).

Durante la elaboración del PMFM se definieron: a) áreas destinadas a la producción (1095.9 ha, 66.0%); b) áreas de conservación y aprovechamiento restringido (117.1 ha, 7.1%) dentro de las cuales se incluyen 57.2 ha (3.4%) para conservar y proteger especies de flora y fauna silvestre en riesgo, 48.3 ha (2.9%) de franjas protectoras de vegetación ribereña y 11.6 ha (0.7%) de bosque mesófilo de montaña. La importancia primordial de las áreas de conservación se debe a que en este bosque se encuentran las principales áreas de captación y recarga de manantiales de los cuales la comunidad se abastece, así como bosques de gran importancia como es el bosque mesófilo de montaña y los bosques más conservados de la comunidad, correspondientes a áreas que nunca han sido intervenidos. Dichas áreas ya estaban identificadas y reconocidas dentro del Plan de Ordenamiento Territorial Comunitario y representan un alto valor para la conservación. Las áreas de producción por su parte son áreas donde el principal objetivo es la producción de madera; sin embargo, se realizan diversas estrategias de conservación estipuladas en el PMFM como protección de especies en riesgo, reubicación de epifitas, formación de microhábitats, entre otros (Martinez-Cruz 2016; Manzano 2018).

Durante la primera anualidad del PMFM, la asamblea general de comuneros demandaba garantizar la permanencia de sus recursos, si bien estaban de acuerdo con el aprovechamiento maderable existía una resistencia, sobre todo por ser una comunidad autoconsiderada como conservadora quien, al ver la corta de árboles en sus bosques y los carros de madera, les provocaban dudas. Ante esta situación el prestador de servicios técnicos y

apoyado por la Universidad de La Sierra Juárez proponen diseñar un sistema de monitoreo a largo plazo de la biodiversidad basada en la instalación de Parcelas Permanentes de Medición. Este sistema busca recabar información y evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos del PMFM (Manzano 2018).

El establecimiento de las PPM fue aprobado por las autoridades comunales, sin embargo, se presentaron diversas dificultades sobre todo de recursos económicos, lo cual limitaba la ejecución del proyecto, por lo que se decidió llevarla en dos fases. En un inicio se pretendía establecer de manera inmediata en las áreas de producción, no obstante, al llevar tan solo un año de manejo se contaba con poca superficie con tratamientos silvicultural para tener una muestra representativa; por lo tanto, se decidió instalar parcelas (primera fase) en un área de conservación y en la segunda fase en las áreas de producción (CBC 2018). Por lo consiguiente, se instalaron y midieron las parcelas en el año 2014 y 2015, con ayuda de la Universidad de la Sierra Juárez y el Colegio de Posgraduados Campus Montecillo.

En el año 2016 la comunidad recibe el premio al mérito nacional forestal en la categoría de "silvicultura comunitaria" donde se reconocen los grandes esfuerzos realizados para el buen manejo de sus recursos. Finalmente, en el año 2017 la comunidad logra la certificación internacional bajo principios y estándares de la *Forest Stewardship Council* (FSC), dicha certificación garantiza que la comunidad realiza un buen manejo de sus recursos forestales (Martinez-Cruz 2016; Vásquez 2016; Manzano 2018). Actualmente la comunidad se encuentra en su sexto año del primer Programa de Manejo Forestal autorizado con vigencia 2013-2022, donde se están realizando cortas de regeneración de árboles padre, además de otros tratamientos silviculturales que se estipulan en el programa de manejo forestal (PMFM 2013).

3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

En México los bosques de pino, pino-encino (vegetación del área de estudio) y encino-pino aportan el 82.4% de la producción nacional de madera (SEMARNAT 2016). En el estado de Oaxaca, particularmente en la Sierra Norte, el manejo forestal se ha realizado desde hace más de seis décadas. Durante este periodo se han aplicado diversos métodos de manejo, los cuales de acuerdo con autores como Zacarías-Eslava y Del Castillo (2010) y Pavón *et al.* (2012), han afectado las condiciones microclimáticas y ciertas poblaciones de especies, han beneficiado a un número reducido de especies arbóreas y como resultado, modificado la estructura y composición de estos bosques. Por lo tanto, es necesario desarrollar investigación sobre los efectos de las prácticas silvícolas y con ello diseñar estrategias de manejo bajo criterios de sustentabilidad que permitan conservar la biodiversidad y servicios ecosistemas claves, a la vez que se aprovechan los recursos.

El monitoreo de los cambios en los bosques a través del tiempo representa una de las actividades indispensables del manejo adaptativo. En México se tienen pocas experiencias sobre monitoreo forestal a largo plazo en bosques de pino-encino, lo que ha ocasionado

vacíos de conocimiento sobre el estado y la dinámica de estos ecosistemas forestales y su relación con las actividades de manejo (Aguirre-Calderón 2015; Rubio-Camacho *et al.* 2017).

La gran mayoría de las preguntas sobre la dinámica y la función de los ecosistemas, así como los efectos de las actividades de manejo forestal y la función que cumplen las especies que los integran, requieren de tiempos prolongados para ser respondidas; por esta razón es necesaria la conformación de programas de monitoreo que tengan como objetivo comprender los procesos a largo plazo y que además garanticen la permanencia de los proyectos de investigación (Olvera *et al.* 1996; Gadow *et al.* 1999; Corral-Rivas *et al.* 2008).

El monitoreo es una herramienta que permite alcanzar y demostrar un buen manejo de los recursos forestales, como es el caso de la comunidad de San Juan Evangelista Analco, Oaxaca, México, la cual desde el año 2017 se encuentra certificada bajo principios y estándares del *Forest Stewardship Council* (FSC). Dentro de los compromisos adquiridos, la comunidad debe garantizar el principio ocho del FSC (monitoreo forestal) y para ello es necesario evaluar las áreas certificadas (Manzano 2018).

De acuerdo con lo estipulado en el PMFM, en el año 2013 se realizaron las primeras actividades de aprovechamiento en una superficie de 41.1 ha, donde se aplicaron diversos tratamientos silviculturales (aclareos, cortas de regeneración y corta de liberación). En el año 2014, apoyados por la Universidad de la Sierra Juárez, se diseñó un sistema de monitoreo para la evaluación de la estructura, composición y diversidad del bosque basado en parcelas permanentes de medición, implementando una primera medición de las áreas de conservación. En el año 2015, apoyados por el Colegio de Postgraduados campus Montecillo, se realizó la instalación de parcelas permanentes de medición y la primera medición en áreas de producción. De manera que, la comunidad de Analco cuenta con un sistema de monitoreo a través del cual se puede realizar investigación de utilidad local (PMFM 2013, Martínez-Cruz 2016).

El área bajo estudio es de gran importancia debido a que se encuentra inmersa en la Sierra Norte de Oaxaca, región catalogada como de alta importancia para la conservación por albergar gran biodiversidad de flora y fauna, además de ser una de las regiones más conservadas del país. Aunado a ello, el predio comunal se encuentra dentro de las Áreas de Importancia para la Conservación de Aves (AICA), específicamente dentro del AICA No.11: Sierra Norte, en la cual se registran 484 aves de importancia para la conservación. Así mismo pertenece a la Región Terrestre Prioritaria RTP-130: Sierra del Norte de Oaxaca-Mixe, en la cual se distribuyen muchas especies endémicas. Como resultado del sistema de monitoreo de la biodiversidad, se conoce que en estas áreas se distribuyen 14 especies de flora endémicas de México, siete especies en alguna categoría de riesgo (flora) y un nuevo registro para Oaxaca, por lo que continuar con el monitoreo contrae beneficios en escala regional y estatal (Arriaga *et al.* 2000; Manzano *et al.* 2015; Martínez-Cruz 2016; CONABIO 2018).

En términos de producción forestal, el predio comunal de San Juan Evangelista Analco es de gran importancia debido a que en ella se tienen áreas designadas a la producción de

madera comercial, del cual se obtienen ingresos que permiten a las autoridades comunales realizar la gestión de sus recursos, y con las utilidades obtenidas se generan diversos beneficios sociales destinados a sectores como educación, cultura y salud. De sus bosques obtienen diversos servicios como agua potable, productos forestales maderables y no maderables para autoconsumo (Manzano 2018).

El presente proyecto de investigación se enfocó en el estudio del estado actual y la dinámica de áreas de bosque natural bajo aprovechamiento y bajo conservación en la comunidad indígena forestal de la Sierra Norte de Oaxaca, México. Se generó y comparó la información de la primera medición de las parcelas permanentes realizadas en los años 2014 y 2015 con la segunda medición realizada en el 2018. Esto permitió establecer en qué medida el manejo implementado conserva los valores de producción y biodiversidad de los bosques durante al menos los primeros 5 años después de implementado el PMFM, y a partir de ello tomar decisiones oportunas basadas en evidencia para mejorar el manejo. Conocer esta información permitirá direccionar las acciones de manejo en términos de incrementos diamétricos y volumétricos, y el estado de regeneración, entre otros, permitiendo a la comunidad de Analco avanzar hacia los principios de sostenibilidad de los recursos forestales sin poner en riesgo el patrimonio natural de sus futuras generaciones, y aunado a esto se pretende fortalecer las estrategias de manejo y monitoreo ya iniciadas.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

- Establecer el estado y la dinámica de bosques de pino-encino bajo producción y conservación, pertenecientes a la comunidad de San Juan Evangelista Analco, Oaxaca, México, como base para la toma de decisiones que apoyen el manejo sostenible.

4.2. Objetivos específicos

- Determinar y comparar la estructura, composición y diversidad florística en las áreas de producción y de conservación forestal y sus cambios en el tiempo.
- Determinar la dinámica de los bosques en las áreas de producción y de conservación en términos de mortalidad, reclutamiento y crecimiento de la masa forestal.
- Con base en los resultados del monitoreo, formular propuestas para el mejoramiento del manejo forestal implementado en las áreas de producción y conservación.

5. HIPÓTESIS

5.1. Hipótesis general

- Los valores de biodiversidad y de producción de los bosques de la comunidad de San Juan Evangelista Analco difieren según el tipo de manejo.
- Como resultado del manejo forestal, la biodiversidad y los valores de producción cambian en el tiempo.

5.2. Hipótesis específicas

- Como resultado de las actividades de manejo forestal, la composición florística, la estructura y la diversidad de especies difiere entre las áreas de producción y las áreas sujetas a conservación.
- La dinámica en términos de mortalidad natural, reclutamiento y crecimiento, es mayor en las áreas de producción que en las áreas de conservación.
- El manejo forestal aumenta los valores de producción y de conservación de los bosques en las áreas de producción.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. Ecología de bosques de pino-encino y su potencial productivo

En México, los bosques de pino-encino se distribuyen en una superficie de 8,853,453 ha en la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental, Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur. En climas templados, semifríos, semicálidos y cálidos húmedos y subhúmedos con lluvias en verano, con temperaturas que oscilan entre los 10 y 28° C y una precipitación que va de los 600 a los 2 500 mm anuales (INEGI 2015). Su mayor distribución se localiza entre los 1 200 a 3 200 m, aunque se les puede encontrar a menor altitud. La exposición puede presentarse desde plana hasta aquellas que están orientadas hacia el norte, sur, este y oeste. Se establecen en sustrato ígneo y menor proporción sedimentaria y metamórfica, sobre suelos someros, profundos y rocosos como cambisoles, leptosoles, luvisoles, regosoles, entre otros (SEMARNAT 2016).

Estos ecosistemas alcanzan alturas de 8 hasta los 35 m (en el estado de Oaxaca se han reportado hasta 50 m), donde las comunidades están conformadas por diferentes especies del género *Pinus* (pino) y *Quercus* (encino), y las primeras son las más dominantes. La transición del bosque de encino al de pino está determinada (en condiciones naturales) por el gradiente altitudinal (INEGI 2015).

Especies de pino y encino

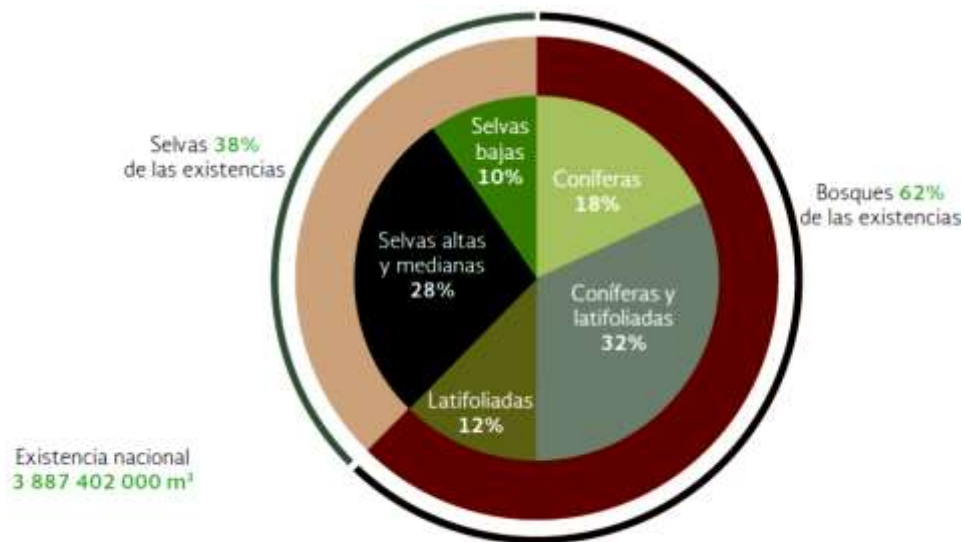
La vegetación de estos ecosistemas se caracteriza por tener una mezcla de árboles perennifolios y caducifolios, donde su floración y fructificación es variable durante todo el año. Los bosques de pino-encino son muy variables ya que en ellos se distribuyen aproximadamente 52 especies de pino, con diferentes dominancias en cada región, cada una de las cuales tienen características biológicas, ecológicas y físicas propias (Márquez *et al.* 1999), sin embargo, no existe un estudio que clasifique este tipo de vegetación en asociaciones vegetales (tipos de bosque). Rzedowski (2006) en su estudio de tipos de vegetación de México la identifica como bosque de coníferas, en donde realiza una descripción de las diferentes asociaciones más características del país, aunque no define una tipificación.

Por consiguiente, entre las especies más comunes de los bosques de pino-encino se encuentran: *Pinus leiophylla*, *P. hartwegii*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. rudis*, *P. devoniana*, *P. teocote*, *P. oocarpa*, *P. ayacahuite*, *P. pringlei*, *P. duranguensis*, *P. chihuahuana*, *P. engelmannii*, *P. lawsoni*, *P. oaxacana*; *Quercus laurina*, *Q. magnoliifolia*, *Q. candicans*, *Q. crassifolia*, *Q. rugosa*, *Q. crassipes*, *Q. urbanii*, *Q. microphylla*, *Q. castanea*, *Q. laeta*, *Q. mexicana*, *Q. glaucoides* y *Q. scytophylla* (INEGI 2015). Aunado a estas se distribuye una diversidad de especies ajenas a los géneros dominantes. Los géneros más comunes son los siguientes: *Abies*, *Alnus*, *Arbutus*, *Buddleia*, *Crataegus*, *Cupressus*, *Junglans*, *Juniperus*, *Pseudotsuga*, *Prunus Fraxinus*, *Oreopanax*, *Litsea*, *Persea*, *Clethra* y *Symplocos* (Rzedowski 1978; Challenger 1998; Hernández 2007; Vásquez 2013).

Potencial productivo

En términos de producción de madera, en México los depósitos más importantes se encuentran en los bosques de coníferas y latifoliadas (asociaciones de pino-encino o encino-pino), con alrededor del 32% del volumen total nacional (1242 millones de metros cúbicos) donde se presentan incrementos de $1.88 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}$. Las áreas boscosas con mayores existencias de volumen de madera se ubican en la Sierra Madre Occidental del estado de Durango, con valores superiores a los $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Los bosques de Oaxaca, Chiapas y Guerrero también cuentan con grandes existencias (SEMARNAT 2016).

La producción maderable nacional en el año 2015 correspondió a 7.2 millones de metros cúbicos en rollo y está apoyada en la madera existente de los bosques de coníferas y en los bosques latifoliados. Las principales especies aprovechadas en este periodo correspondieron a las del género *Pinus* con 138 millones de metros cúbicos en rollo (80% de la producción del periodo) y del género *Quercus* con 15 millones de metros cúbicos (8.8%) (SEMARNAT 2016). En la última década se ha impulsado para incrementar la producción de madera, por lo que entender los procesos ecológicos del bosque de pino-encino toman gran relevancia. Además, estos bosques generan una gran diversidad de bienes y servicios a la sociedad, sin embargo, están siendo degradados (Rodríguez-Trejo y Myers 2010).



Fuente:
Conafor. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Informe 2004-2009. Conafor, México, 2011.

Figura 1. Existencias maderables en bosques de México, 2004-2009.

6.2. Estructura, composición, diversidad y dinámica de bosques de pino-encino

Los bosques de pino-encino son ecosistemas muy variables por lo que determinar su estructura, composición, diversidad y dinámica es complejo. Aunado a ello Ruiz-Aquino *et al.* (2015) refiere que la estructura del bosque está en función de las especies más importantes de cada localidad.

Dentro de los estudios más importantes sobre los ecosistemas de México, se encuentra el último Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) 2004-2009, por lo que se presenta su metodología. El INFyS empleó un sistema de muestreo por conglomerados con distanciamientos específicos (5×5 km para bosques) distribuidos mediante una malla de puntos, en los cuales se ubicaron los conglomerados que consistían en cuatro sitios circulares dispuestos geográficamente en forma de "Y" invertida respecto del norte. Cada sitio, muestrea una superficie de 400 m^2 (radio de 11.28 m) donde se midieron los individuos con DN (diámetro a 1.30 m) igual o mayor a 7.5 cm. Dispuestos en el centro de cada sitio se instalaron dos subunidades de muestreo (SM). La primer SM fue circular con una superficie de 12.56 m^2 (radio de 2 m) donde se registró la regeneración entendida como individuos con $\text{DN} < 7.5 \text{ cm}$ y altura $\geq 25 \text{ cm}$. La segunda SM fue de forma cuadrada de 1 m^2 (1 m por lado) donde se registraron herbáceas, helechos, musgos y líquenes (Figura 2) (CONAFOR 2012).

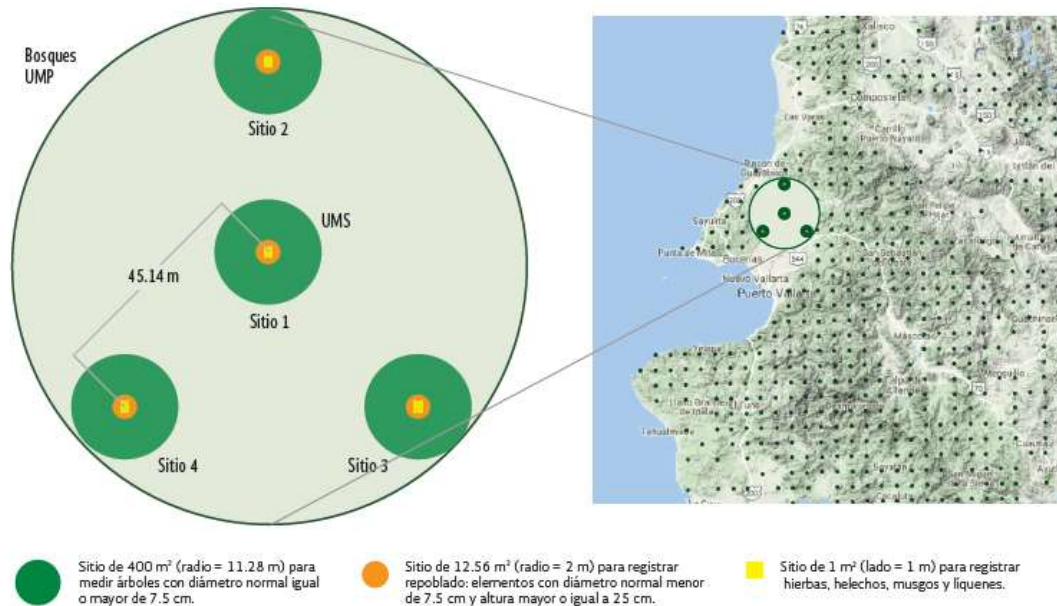


Figura 2. Distribución de la malla de puntos y de las unidades de muestreo del INFyS.

En el siguiente apartado se describen las características de los bosques de pino-encino de México.

Composición

De acuerdo con el INFyS los bosques de pino-encino registran entre 729 a 1 552 taxones, en los cuales se incluyen árboles, arbustos, herbáceas, helechos, musgos y líquenes, y que esta diversidad está en función del gradiente altitudinal (a > altitud menor diversidad). En estos ecosistemas los pinos suelen conformar el estrato superior mientras que los encinos se localizan en el estrato medio o sotobosque, y que son más tolerantes a la sombra (Rubio-Camacho *et al.* 2017).

En estudios más específicos como los realizados por Márquez *et al.* (1999), Solís (2011) y Taylor (2016) en ciertas regiones de los estados de Chiapas y Durango, donde muestrearon en sitios circulares de 1 000 m² todos los individuos con DN igual o mayor a 5 cm, mencionan la presencia de entre 8 a 95 especies con un promedio de 25 especies (arbóreas y arbustivas). López-Hernández *et al.* (2017) por su parte en un estudio realizado en el estado de Puebla donde se muestreó en sitios de 25 m x 25 m individuos con diámetro igual o mayor a 7.5 cm, menciona la presencia de 11 especies (arbóreas), mientras que Ezquerro (2011) en el estado de Chiapas bajo este mismo modelo reporta entre 20 a 49 especies (arbóreas y arbustivas).

Por otra parte, en estudios realizados en el estado de Oaxaca donde se emplearon sitios de muestreo de 1 000 m² con evaluaciones de individuos con un DN mayor o igual a 7.5 cm, el número de especies reportados va de entre 15 a 22, y las más abundantes son los correspondientes a la familia Pinaceae y Fagaceae (Ramírez 2005; Hernández 2007; Wehenkel *et al.* 2011; Ruiz-Aquino *et al.* 2015). El índice de valor de importancia (abundancia, dominancia y frecuencia) de los géneros dominantes (*Pinus* y *Quercus*) generalmente es superior al 50% y se han reportado hasta un 90% (Zacarías-Eslava *et al.* 2011; Ruiz-Aquino *et al.* 2015; Vásquez 2016).

Delgado-Zamora *et al.* (2016), en un estudio realizado en el estado de Durango donde evaluaron individuos (arbóreos) mayores a una altura de 1.5 m en cuadrantes centrados a lo largo de un transecto, menciona la presencia de 13 taxones, donde las especies dominantes son *Pinus cooperi*, *Pinus duranguensis*, *Quercus sideroxyla*, *Quercus crassifolia* y *Quercus rugosa*. En especies arbustivas, definidas como individuos menores a 2.5 cm de DN y mayores a 25 cm de altura con bifurcaciones antes de alcanzar el DN y sin un claro tallo principal, las especies más dominantes corresponden a la familia Asteraceae y Solanaceae (Vásquez 2013; Martínez-Cruz 2016).

Estructura

El INFyS menciona que los bosques de pino-encino tienen una altura promedio de 7.46 m para árboles y 5.3 para arbustos. Con altura máxima de 46.5 m para el primero y 21.2 para el segundo. En el caso del diámetro promedio para árboles se reporta con 16.48 cm con una máxima de 133.1 m. Para arbustos se reporta un diámetro promedio de 11.5 cm con un máximo de 67 cm. Para árboles con DN \geq a 7.5 cm se describe una densidad de 428 individuos por hectárea. El área basal promedio registrado es de 12.06 m² ha⁻¹.

Márquez *et al.* (1999), Solís (2011) y Taylor (2016), mencionan la existencia de una media de 49 m² ha⁻¹ de área basal, con una densidad de entre 303 a 525 individuos por hectárea. Mientras que López-Hernández *et al.* (2017) mencionan una densidad de 394 individuos por hectárea y un área basal de 65.97 m² ha⁻¹. Ruiz-Aquino *et al.* (2015) por su parte, en evaluaciones realizadas en el estado de Oaxaca con sitios de 1 000 m² donde midió individuos superiores a 7.5 cm de DN, presenta entre 800 hasta los 1 500 individuos ha⁻¹, con un área basal desde 15 hasta 50 m² ha⁻¹.

Algunos autores como Ruiz-Aquino *et al.* (2015) mencionan que los bosques presentan una estructura vertical de dos estratos, aquellos inferiores e iguales a 10 m y los superiores a 10 m. Sin embargo, Martínez-Cruz (2016) menciona la presencia de tres estratos donde el inferior se presenta a menos de 15 m, en estrato medio entre 15 a 30 m, y el estrato superior en aquellos mayores a 30 m.

En general los bosques de pino-encino presentan una distribución diamétrica correspondiente a una "J" invertida donde conforme el diámetro aumenta el número de individuos disminuye, lo cual significa que hay un aporte de semilla y establecimiento e incorporación natural de la masa. En estos bosques las distribuciones en diámetro para especies individuales por lo general no son equilibrados, sin embargo, cuando se analizan en conjunto mantienen la estructura de "J" invertida (Wehenkel *et al.* 2011; Ruiz-Aquino *et al.* 2015; López-Hernández *et al.* 2017).

Diversidad

López-Hernández *et al.* (2017) y Ezquerro (2011) presentan valores de 1.35 a 2.59 para el índice de Margalef, lo cual indica que los bosques de pino-encino son poco biodiversos, y valores de 0.5 a 1.37 para el índice de Shannon-Wiener lo cual indica la dominancia de ciertas especies correspondientes al género *Pinus* y *Quercus*. Delgado-Zamora *et al.* (2016) por su parte mencionan valores de entre 0.77 a 1.58 para el índice de Shannon-Wiener. En general en cuanto a diversidad alfa, se menciona que estos ecosistemas son poco diversos y que se presenta una dominancia por pocas especies, mientras que la diversidad beta evaluada por el Coeficiente de Semejanza de Sorensen indica que se comparten más del 50% de las especies (Ruiz-Aquino *et al.* 2015; Vásquez 2013; Martínez-Cruz 2016).

Dinámica

En la búsqueda de información se encontraron pocos estudios relacionados con la dinámica de los bosques de pino-encino, por lo que solo se hace referencia a los datos de INFyS, así como del estudio de Trigueros *et al.* (2014) donde en sitios permanentes de 500 m² evaluaron todos los individuos con un DN > a 7 cm.

En relación con la regeneración natural, el INFyS reporta que en los bosques de pino-encino se tiene una densidad de 1 968 individuos por hectárea, donde el 78% de estas tiene alturas entre 0.25 a 1.50 m. Trigueros *et al.* (2014) por su parte mencionan que un bosque de pino-encino de la Sierra de Quila, Jalisco, México, la tasa de mortalidad correspondió a 1.75% ha⁻¹ año, mientras que a tasa de reclutamiento concernió a 1.08% ha⁻¹ año.

6.2. Manejo forestal sostenible en bosques de pino-encino

En el contexto actual de los bosques de pino-encino se aplican los siguientes métodos de manejo forestal:

Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI): Este método está enfocado a bosques incoetáneos (bosques con individuos de diferentes edades), a bosques con estructura irregular o con tendencia a la irregularidad (bosques de diferente tamaño vertical y horizontal). Los volúmenes de cosecha se calculan bajo la premisa de que la tasa de aprovechamiento no debe ser superior a la tasa de crecimiento de los bosques. Dichas tasas de crecimiento se estiman con base en muestras de crecimiento provenientes de inventarios forestales calculados con la fórmula del interés compuesto (Torres-Rojo *et al.* 2016). El método establece una estructura meta por rodal mediante el uso de la curva de Liuquort donde se busca obtener el máximo potencial productivo y un rendimiento sostenible de volumen (López-Hernández *et al.* 2017). No se especifica el uso de un sistema silvicultural en particular, sin embargo, la extracción se realiza mediante la selección de árboles que alcanzan un diámetro mínimo de corta, por lo que este tratamiento se asocia a la silvicultura del método. El método considera la densidad residual; es decir, el número de árboles óptimos que resultan después de la cosecha, así como la estructura de estas (Torres-Rojo *et al.* 2016). Este método consiste en remover todos los árboles maduros y malformados ya sea de forma aislada o en pequeños grupos en periodos relativamente cortos (López-Hernández *et al.* 2017; CONAFOR 2017).

En términos de tratamientos al MMOBI se le ha criticado que da lugar a limitación del crecimiento de los árboles interviniendo en la edad de estos, donde en algunos casos se presentan problemas de regeneración de las especies, además se da paso a la dominancia de un menor número de especies de árboles (Torres-Rojo *et al.* 2016).

Método de Desarrollo Silvícola (MDS): Este método de gestión fue concebido para bosques coetáneos. El sistema de silvicultura de árboles semilleros es comúnmente el prescrito para la cosecha final bajo turnos entre 50 a 80 años, en algunos casos hasta 40, con tres o cuatro entresacas intermedias (aclareos) distribuidos de manera uniforme durante un ciclo de corta. A nivel de bosque el método adopta un control de área-volumen para guiar las cosechas donde la prioridad de las cortas está encaminada a reducir el periodo para la conversión a un bosque regular y mantener una distribución espacial uniforme. Los tratamientos tienen el objetivo de crear masas forestales con composiciones de edad y densidad de la producción media máxima con la finalidad de regularizar las masas en un solo turno. Las entresacas o aclareos son los principales tratamientos silvícolas que se aplican en bosques disetáneos ya que pueden formar una nueva masa forestal con composiciones homogéneas en espacio, estructura y edad. Este método permite la definición de áreas de exclusión para el hábitat de la vida silvestre, la conservación de la biodiversidad, las disposiciones espaciales de soportes específicos y el establecimiento de corredores de conservación (Torres-Rojo *et al.* 2016; CONAFOR 2017).

El MDS por su parte es un enfoque de regulación que asegura la sostenibilidad siempre y cuando sea aplicado correctamente; sin embargo, en algunas regiones con alta densidad de población dominada por un grupo reducido de especies, la apertura resultante facilita el cambio de uso de suelo generalmente a uso agrícola. Por el contrario, en bosques bien

manejados se ha observado un incremento en la productividad de los bosques en términos de producción de madera (Torres-Rojo *et al.* 2016).

Métodos combinados (MC): Realmente este no es un método; sino más bien una combinación de las dos anteriores, surge para acomodar mejor las condiciones ecológicas en las diferentes superficies y optimizar la producción de madera. El uso de MC se caracteriza por tres elementos: 1) usos de la tierra definidas por el propietario para distinguir claramente las áreas de producción y conservación; 2) A cada área del bosque se le asigna un sistema silvicultural; y 3) las tasas de cosecha se estiman de acuerdo con el rendimiento de madera para cada ciclo de corta (Torres-Rojo *et al.* 2016; CONAFOR 2017).

6.3. Impactos del aprovechamiento forestal en la estructura, composición, diversidad y dinámica de bosques subtropicales de pino-encino

En México existen pocos estudios enfocados a determinar y a definir los impactos por el aprovechamiento forestal en bosques de pino-encino, prueba de ello, durante la revisión bibliográfica sobre el tema se encontraron escasos artículos científicos y en su mayoría la información existente pertenece a proyectos de tesis. En el siguiente apartado se abarcan algunos de los impactos del manejo forestal sobre los diferentes elementos ecológicos de los bosques de pino-encino.

En primera instancia es importante mencionar que los efectos del manejo forestal sobre el funcionamiento de los ecosistemas varían dependiendo de la intensidad de gestión (Levers *et al.* 2014). En el siguiente apartado se analizará que pueden obtenerse impactos negativos como positivos.

En la composición: Se ha observado una tendencia a la modificación de los valores relativos de abundancia, dominancia y frecuencia, donde los tratamientos favorecen a las especies comerciales aumentando sus valores, y las no comerciales tienden a disminuir, mientras que aquellas con bajos precios en el mercado tienden a no cambiar. En algunos casos existe un desplazamiento (extinción) de cierto grupo de especies (Hernández-Salas 2012; Huanca 2015).

En la estructura: En términos de área basal se tiende a favorecer a un grupo reducido de géneros (*Pinus*), además se tiende a disminuir la densidad de todos los géneros. En muchos casos se tiende a generar bosques secundarios no deseables (Hernández-Salas 2012; Huanca 2015). En la diversidad: El manejo modifica la riqueza de especies generalmente pretende a disminuirla para favorecer el establecimiento de las especies de interés comercial (pinos en este caso) (Hernández-Salas 2012).

En la dinámica: En bosques productivos, la mortalidad por manejo forestal tiende a aumentar, y se han reportado tasas en un rango de 0.72 a 5.02% ha⁻¹ año, esto también ocurre con el reclutamiento donde se reportan desde 0.01 a 3.45% ha⁻¹ año, mientras que en aquellos bosques sin manejo se han registrado valores de 0.25 a 2.62% ha⁻¹ año para la tasa

de mortalidad y 0.62 a 1.98% ha⁻¹ año para reclutamiento (Aguilar *et al.* 2006). En relación con el incremento de la masa forestal, el manejo forestal tiende a incrementar significativamente esta variable, sobre todo para aquellas especies de interés comercial, se refleja en crecimiento tanto en diámetro como en altura de los individuos. El manejo puede provocar falta de regeneración, la invasión de especies consideradas como malezas (Hernández-Salas 2012; Huanca 2015).

7. METODOLOGÍA

7.1. Área de estudio

La comunidad de San Juan Evangelista Analco se localiza en la región Sierra Norte del estado de Oaxaca, México, pertenece al Distrito de Ixtlán de Juárez. Colinda al sur y sureste con Santa María Jaltianguis, al norte y noreste con San Juan Atepec y al oeste con Santa Ana Yareni (INEGI 2018). Es una de las comunidades indígenas zapotecas más antiguas de la Sierra Norte.

El certificado de propiedad del Registro Agrario Nacional de México, así como la resolución presidencial, reconoce que el núcleo agrario de San Juan Evangelista Analco tiene una posesión de 1660.2 ha de territorio bajo el régimen de propiedad comunal, cuyos dueños son 170 comuneros legalmente reconocidos, 147 hombres y 23 mujeres (RAN 2018). La administración se realiza mediante el nombramiento de autoridades comunales conformados por el comisariado de bienes comunales (presidente, secretario y tesorero) así como por un consejo de vigilancia (presidente, secretario y segundo secretario), sin embargo, quien toma las decisiones es el máximo órgano representado por la asamblea general de comuneros (Estatuto comunal 2010). En este sentido, el bosque es comunitario y pertenece a todos los comuneros; es por ello, que todas las actividades por realizarse son autorizadas por la asamblea general de comuneros que son quienes adquieren los compromisos y beneficios directos.

La comunidad cuenta con un programa de manejo forestal maderable con vigencia 2013-2022, el cual fue autorizado por la SEMARNAT, en esta se clasifican las superficies del predio en áreas de producción (1095.9 ha), áreas de conservación y aprovechamiento restringido (117.1 ha), áreas de restauración (61.6) y áreas de otros usos (385.4 ha) (PMFM 2013).



Figura 3. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio.

El estudio se realizó en un área de producción y de conservación forestal de la comunidad, y estas se ubican al este del centro de la población, entre las coordenadas 17° 23' 58" y 17° 24' 13" latitud norte, 96° 31' 02" y 96° 29' 57" longitud oeste (Figura 3). El área de estudio se encuentra delimitada por la mojonera denominada "Punto trino", en el cual se colinda al noreste con la comunidad de San Juan Atepec y al sureste con Santa María Jaltianguis.

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (2004), San Juan Evangelista Analco presenta dos tipos de clima: 1) Semicálido subhúmedo con lluvias en verano (A)C(w2) y 2) Templado subhúmedo con lluvias en verano C(w2), esta última presente en el área bajo estudio. La temperatura del mes más frío oscila en un rango de -3 °C a 18 °C, y la temperatura del mes más caliente está por debajo de los 22 °C, con una temperatura media anual entre 12 a 22 °C (INEGI, 2018). La precipitación media anual es de 2000 mm con elevada humedad ambiental, esta es diez veces mayor que la del mes más seco (40 mm) (INEGI 2018).

Los tipos de suelos presentes en el predio comunal son Acrisol húmico (Ah), Cambisol crómico (CMx) y Luvisol vértico (Lv). El tipo de suelo presente en el área de estudio es Acrisol húmico (Ah) y Luvisol vértico (Lv). El primero se encuentra en el 5.81% del predio comunal y este se halla en toda el área de conservación forestal; este tipo de suelo se caracteriza por presentar en la superficie una capa muy rica en materia orgánica de color oscuro o negro sobre el suelo rojizo o amarillento; presenta una textura media limosa, es muy ácida y pobre en nutrientes, además presenta acumulación de arcilla en el subsuelo y es moderadamente susceptible a la erosión. Luvisol vértico se encuentra en la mayor parte de la superficie forestal; por lo tanto, en el área de producción forestal se caracteriza por ser una de las variedades representadas con arcillas expansibles, formación de grietas de retracción y estructura prismática con condiciones de drenaje deficiente (INEGI 2018).

San Juan Evangelista Analco posee un sistema orográfico con fuertes pendientes que van desde los 20 a más de 100%, presenta un sistema de topofomas de sierra de cumbres tendidas en un 92.8% y de valle ramificado con lomerío en un 7.2% del territorio comunal. Tiene un gradiente altitudinal que va de los 1200 msnm hasta los 2961 msnm (Programa de Manejo Forestal Maderable, 2013). El área de estudio se encuentra dentro del sistema de topofomas sierra de cumbres tendidas, donde se presentan pendientes del 20 al 40%, y son las exposiciones más dominantes suroeste (43% del área) y oeste (38%), aunque también se pueden encontrar exposiciones norte (1%), sur (8%) y noroeste (10%), en una variación altitudinal de 2600 a 2961 msnm (CEM 2013).

El predio comunal cuenta con diversos arroyos que abastecen a dos ríos permanentes denominados en zapoteco "Yoo lachi" y "Yoo lapi inda" (CBC-CCMSS-ERA, 2005), que más adelante contiguos con otros arroyos corren hacia el Río Grande, correspondiente a la subcuenca RH28Af, dentro de la Región Hidrológica RH28 Cuenca "A" del Río Papaloapan (INEGI, 2018). El área bajo estudio corresponde al área de captación para abastecer al río "Yoo lachi" el cual desemboca en el Río Grande (PMFM 2013).

Dadas las características topográficas y el rango altitudinal del predio (1200-2961 msnm) se desarrollan diferentes tipos de vegetación, que, ordenados de manera ascendente de acuerdo con su superficie, estos son bosque de pino-encino, selva baja caducifolia, bosque de encino, bosque de encino-pino y bosque mesófilo de montaña. En el área de estudio se encuentran dos tipos de vegetación: el bosque de pino-encino y el bosque de encino-pino (INEGI 2015).

7.2. Manejo forestal implementado

El PMFM tiene como objetivo impulsar un sistema de manejo forestal basado en la aplicación de actividades de aprovechamiento ordenado, la protección, conservación y rehabilitación de áreas degradadas, con la finalidad de garantizar la permanencia, estabilidad y funcionalidad de las áreas bajo manejo. Dentro de los objetivos específicos están la producción y aprovechamiento de madera, la conservación y la restauración de ecosistemas y hábitats. Para el manejo fue necesario clasificar las superficies en cuatro tipos de áreas: 1) áreas de conservación, 2) áreas de protección, 3) áreas de restauración y 4) áreas de otros usos (urbano y agrícola, principalmente).

Para la clasificación de superficies se empleó como base el plan de ordenamiento territorial del 2010, en el que se evaluó el potencial del suelo y se asignaron usos de acuerdo con su aptitud, considerando las necesidades de la comunidad. Durante la elaboración del PMFM, la comunidad, con ayuda de los asesores técnicos, definieron aquellas áreas que se destinarían de manera voluntaria a la conservación bajo los criterios de importancia cultural, de servicios ecosistémicos y por la diversidad de especies. Las áreas de producción fueron delimitadas a partir de la altitud máxima donde el bosque fue atacado por la plaga *Dendroctonus adjunctus* dejando fuera aquellas áreas no atacadas, mientras que las áreas en restauración corresponden a áreas erosionadas y con presencia de cárcavas (Manzano 2018).

El manejo forestal implementado en las áreas de producción utiliza dos sistemas silviculturales para dos características biológicas diferentes. A continuación, se describe cada uno de ellos:

- En el bosque de pino-encino, donde el interés principal es la producción comercial de madera, se emplea el sistema silvícola de bosque regular (conocido como bosque bajo manejo regular) de acuerdo con las especificaciones del método de desarrollo silvícola (MDS) basado en la prescripción de cinco tratamientos (tres aclareos, una corta de regeneración y una corta de liberación) con un ciclo de corta de 10 años y un turno de 50 años.
- En los bosques de encino-pino y de encino, donde el interés principal es la producción de leña de encino con fines comerciales y de autoconsumo, se emplea un sistema silvícola de bosque irregular (bosque bajo manejo irregular) según las especificaciones del Método Mexicano de Ordenación de Bosques Regulares (MMOBI). Este método se basa en la determinación del diámetro

mínimo de corta correspondiente a 10 cm de diámetro normal, en la cual se aplica un tratamiento (cortas de selección) (PMFM 2013).

En las áreas de conservación se realizan distintas actividades enfocadas a la protección de los ecosistemas, especies y de servicios que estos bosques proporcionan (PMFM 2013; Manzano *et al.* 2015), dentro de las actividades que se realizan están las que se detallan seguidamente:

- La reintroducción de especies.
- El monitoreo de especies en riesgo.
- La delimitación y protección de especies de riesgo.
- La colecta de germoplasma.
- La protección de manantiales.
- Otras.

Por último, en las áreas de restauración se realizan obras de conservación de suelo las cuales consisten en obras mecánicas y vegetativas (Manzano 2018).

7.3. Áreas de producción y de conservación

Durante la elaboración del PMFM se clasificaron y cuantificaron las superficies del predio comunal de San Juan Evangelista Analco con base en la NOM-152-SEMARNAT-2006. Para ello se consideraron la aptitud y la complejidad biológica-ecológica, así como el uso del suelo (PMFM 2013).

En el presente estudio, las áreas de interés son las de producción y conservación. Las áreas de producción corresponden a un total de 1095.9 ha, subclasificadas en: a) bosques bajo manejo regular (87.7 ha), b) bosques bajo manejo irregular (342.6 ha) y c) 665.6 ha de bosques de producción en reserva. Las primeras dos subcategorías se definieron con base en recorridos en campo, además del análisis de estructura de la vegetación según la información recabada de 84 sitios de muestreo, cuyos espacios correspondieron a áreas fijas de forma circular de 1000 m² con radios de 17.8 m; es decir, una intensidad de muestro de 2.0%. Las áreas de conservación corresponden a un total de 117.1 ha, y estas fueron definidas de acuerdo con los atributos de estos bosques y por criterio de los comuneros y los técnicos que desarrollaron el PMF (PMFM 2013).

7.4. Sistema de monitoreo

El sistema de monitoreo implementado se basa en información proveniente de 21 PPM, nueve en el área de conservación forestal y 12 en el área de producción (Martínez-Cruz 2016; Vásquez 2016).

Para la instalación de las PPM se empleó la metodología de Corral-Rivas *et al.* (2013), utilizada para diseñar el sistema de monitoreo nacional en paisajes productivos forestales de

México. La metodología consiste en parcelas de forma cuadrada de 50 m × 50 m, divididas en cuatro cuadrantes de 25 m de lado. Esta metodología fue modificada y adaptada a las condiciones del área de estudio, ya que el área no cumple con uno de los requisitos indispensables para la instalación de estos dispositivos de muestreo, que es la homogeneidad. El área de conservación y de producción forestal de San Juan Evangelista Analco es una superficie muy pequeña en la cual en distancias muy cortas pueden observarse cambios significativos, principalmente en la forma del relieve, pendiente y exposición, por lo cual se decidió hacer la modificación y disminuir el área de las PPM, decisión que fue apoyada y sugerida por el autor de dicha metodología (Martínez-Cruz 2016).

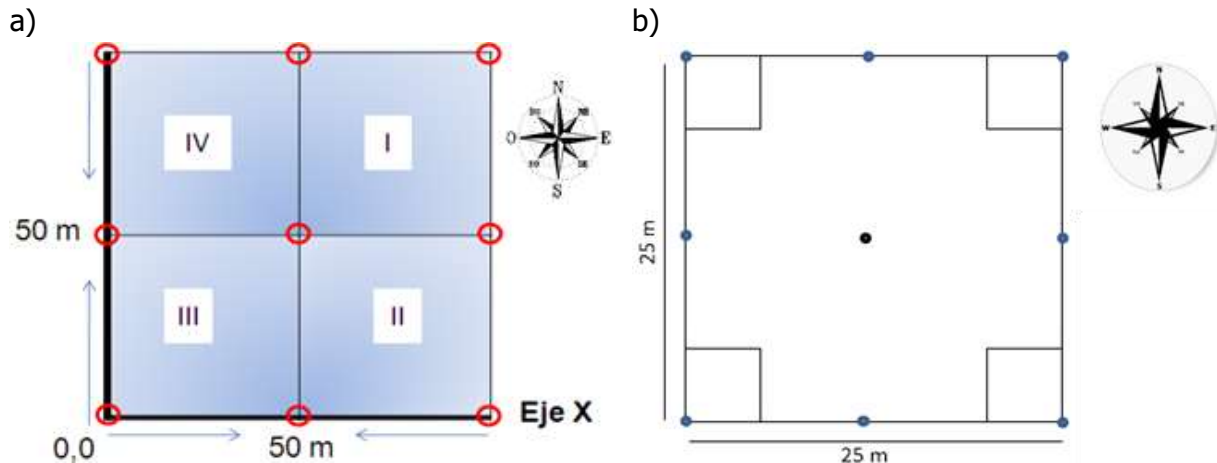


Figura 4. Metodología utilizada: a) Corral-Rivas *et al.* (2013), b) Modificada y adaptada.

Las PPM instaladas en San Juan Evangelista Analco son de forma cuadrada de 25 m x 25 m (625 m²) en las que se miden individuos arbóreos en estado fustal (\geq a 7.5 cm de diámetro normal (DN)); cada parcela tiene cuatro subunidades de muestreo (SUM) de 5 m x 5 m, una en cada esquina, en las que se mide la regeneración natural ($<$ 7.5 cm de DN y $>$ a 25 cm de altura) (Figura 4).

En cada parcela se ubicaron todos los árboles (sin considerar otras formas de vida) mayores a 7.5 cm de DN y se les trazó con pintura roja una línea de referencia a lo largo de la circunferencia donde el DN fue medido, esto con la finalidad de facilitar la visibilidad y remediación de los árboles. Cada árbol fue etiquetado en la parte superior de la línea de referencia, donde se colocó una placa metálica con un código único, y dichas placas son visibles desde el centro del sitio y contienen los siguientes datos: número de sitio, número de árbol y especie (Martínez-Cruz 2016; Vásquez 2016) (Figuras 5 y 6).

Para la enumeración de los árboles, fue necesario obtener la distancia y el azimut (ángulo de una dirección contado en el sentido de las manecillas del reloj a partir del norte geográfico) de cada árbol respecto del centro de la parcela y siguiendo el sentido de las manecillas del reloj iniciando a partir del norte, se consideró como primer árbol el más cercano al centro del sitio. En el caso de los árboles con el mismo azimut se consideró el de

menor distancia como prioritario en la numeración (Corral-Rivas *et al.* 2013, Martínez-Cruz 2016; Vásquez 2016).



Figura 5. Etiquetado de los árboles dentro de las parcelas permanentes.

7.5. Establecimiento de las parcelas permanentes de medición

Para la instalación de las PPM se realizaron tres recorridos de reconocimiento, tanto en las áreas de producción como en las de conservación (Martínez-Cruz 2016; Vásquez 2016). El sistema de muestreo consistió en un *diseño anidado con tratamientos silviculturales dentro del área de producción y tipos de bosque dentro del área de conservación*. En el área de producción se definieron tres tratamientos con cuatro repeticiones, donde los tratamientos corresponden a condiciones de manejo forestal prevalecientes: 1) producción con regeneración, 2) producción con aclareo y 3) producción sin intervención forestal (Vásquez 2016). En el área de conservación se definieron tres tratamientos con tres repeticiones dados por las asociaciones vegetales prevalecientes: 1) Bosque de *Pinus ayacahuite-Litsea glaucescens*, 2) Bosque de *Pinus patula-Quercus laurina* y 3) Bosque de *Litsea glaucescens-Quercus laurina* (Martínez-Cruz 2016) (Cuadro 1; Figura 6).

Cuadro 1. Sistema de muestreo para la instalación de los sitios permanentes de muestreo

Áreas	Tratamientos	Número de parcelas
A) Producción	Producción con regeneración.	4
	Producción con aclareo.	4
	Producción sin intervención forestal.	4
B) Conservación	Bosque de <i>Pinus ayacahuite-Litsea glaucescens</i> .	3
	Bosque de <i>Pinus patula-Quercus laurina</i> .	3
	Bosque de <i>Litsea glaucescens-Quercus laurina</i> .	3
Total		21

El tipo de muestreo empleado fue el dirigido; es decir, las PPM se localizaron de manera predeterminada de acuerdo con criterios de los siguientes expertos: José Javier Corral Rivas, especialista en monitoreo forestal y autor de la guía de sitios permanentes en paisajes

productivos de México, y Filemón Manzano Méndez, especialista en silvicultura y biodiversidad (Corral-Rivas 2013; Martínez-Cruz 2016; Vásquez 2016) (Figura 5).

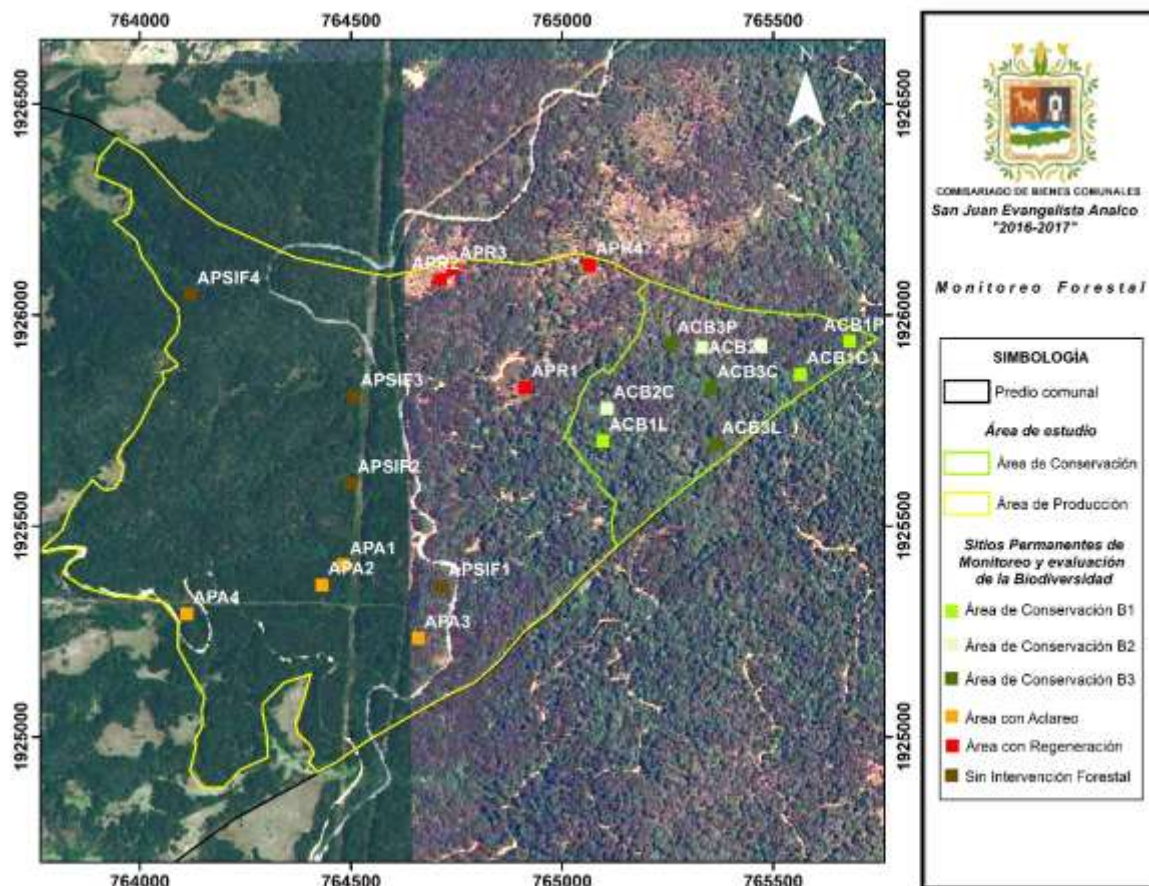


Figura 6. Plano de Parcelas Permanentes de Medición en San Juan Evangelista Analco, Oaxaca.

Área de producción con regeneración (APR): Las áreas consideradas para esta condición correspondieron a sitios donde se realizó saneamiento forestal para controlar el insecto descortezador *Dendroctonus adjunctus*. No se tiene registro verificable sobre la severidad del ataque del descortezador; sin embargo, por conocimiento local se menciona que dichas zonas fueron devastadas por el insecto. En estas áreas se aplicó un tratamiento conocido como *matarrasa*, el cual consistió en la eliminación total de todos los individuos independientemente de la especie, esto con la finalidad de controlar la plaga y favorecer la regeneración. En la mayoría de los casos se dejaron árboles dispersos correspondientes al género *Quercus*, y esto fue por decisión comunal, donde por motivos de falta de conocimiento en materia forestal y no estar familiarizado con la "corta de árboles", no aplicaron el método correctamente debido a que es una técnica muy intensiva, y a la cual no estaban acostumbrados. Estos sitios fueron reforestados de manera natural e inducida (reforestación). En la reforestación se plantaron individuos de la especie *Pinus patula* y *Pinus pseudostrobus*, por ser las especies dominantes. Estos individuos provinieron del vivero de la comunidad de Ixtlán de Juárez, comunidad vecina y con amplio recorrido en manejo forestal.

Los árboles plantados tenían aproximadamente 6 meses de edad. La plantación se realizó bajo un diseño de marco real de 3 × 3 m, es decir, una densidad de 1,111 individuos por hectárea, esto en los años 2005, 2008 y 2009 (dos parcelas) (Vásquez 2016).

Área de producción con aclareo (APA): Las áreas consideradas para esta condición correspondieron a los sitios donde se realizó la primera intervención silvícola (aclareo) en los años 2013 y 2014 (dos parcelas en cada una) (Vásquez 2016), cuyo objetivo de esta práctica fue liberar espacio para mejorar el crecimiento y calidad de los árboles residuales, eliminando aquellos con características no deseables con una intensidad del 30% de la vegetación existente (PMFM 2013).

Área de producción sin intervención forestal (APSIF): Las áreas consideradas en esta condición corresponden a sitios que están incluidos dentro del área de producción pero que no han sido intervenidas en al menos los últimos 50 años. Estos sitios en algún momento correspondieron a terrenos de cultivo; sin embargo, fueron repoblados de manera natural y por su cobertura fueron considerados como bosques (Vásquez 2016).

Asociaciones vegetales: Las áreas consideradas bajo esta condición corresponden a sitios que en primera instancia están dentro de las áreas de conservación y fueron determinadas mediante recorridos de campo, posteriormente fueron nombrados de acuerdo con el índice de valor forestal, un índice que jerarquiza las especies de acuerdo con su peso ecológico (Corella *et al.* 2001). En este sentido se identificaron tres asociaciones: 1) Bosque de *Pinus ayacahuite-Litsea glaucescens*, 2) Bosque de *Pinus patula-Quercus laurina* y 3) Bosque de *Litsea glaucescens-Quercus laurina*. Cada asociación corresponde a un tratamiento. Para la instalación de los sitios se consideraron criterios geomorfológicos (parteaguas, cañada y ladera), por lo que se instaló un sitio por cada condición geomorfológica en cada asociación vegetal (Martínez-Cruz 2016).

Bosque de Pinus ayacahuite-Litsea glaucescens (Pa-Lg): Sitios en los que las especies dominantes son *Pinus ayacahuite* y *Litsea glaucescens*, seguidas por las especies *Quercus laurina* y *Q. glabrescens*. Está constituida por 28 especies, 15 arbóreas y 13 arbustivas (Martínez-Cruz 2016).

Bosque de Pinus patula-Quercus laurina (Pp-Ql): Sitios en los que las especies dominantes son *Pinus patula* y *Quercus laurina*, seguidas por *Pinus ayacahuite*, *Litsea glaucescens*, *Beilschmiedia sp.*, y *Clethra mexicana*. Está constituida por 34 especies, 18 arbóreas y 16 arbustivas (Martínez-Cruz 2016).

Bosque de Litsea glaucescens-Quercus laurina (Lg-Ql): Sitios en los que las especies dominantes son *Litsea glaucescens* y *Quercus laurina*, seguidas por *Q. glabrescens*. Está constituida por 29 especies, 14 arbóreas y 15 arbustivas (Martínez-Cruz 2016).

7.6. Primera medición de parcelas permanentes de medición

Las mediciones fueron realizadas entre diciembre y enero del 2014 (áreas de conservación) y 2015 (áreas de producción). Esto por corresponder con la estación de invierno (diciembre a marzo), donde la mayoría de las especies de interés se encuentran en reposo (Martínez-Cruz 2016; Vásquez 2016).

Se registró la siguiente información:

Información ecológica y de control del sitio: fecha, predio, paraje (nombre local del lugar), número de sitio, responsable de brigada, tamaño del sitio, coordenadas UTM, altura sobre el nivel del mar, exposición, tipo de vegetación (condición ecológica), posición fisiológica, plagas y enfermedades, disturbios y pendiente.

Información dasométrica de los individuos del sitio: especie, diámetro normal (Diámetro medido a una altura de 1.30 m), altura total, azimut, distancia respecto del centro de la parcela, diámetros de copa (orientación NS y EO), edad, posición de copa y daño físico para árboles en estado fustal; en el caso de los arbustos y de árboles en estado brinzal se registraron: especie, diámetro basal, altura total y diámetro de copa (orientación NS y EO).

La distancia respecto del centro se realizó con la finalidad de ubicar espacialmente cada individuo dentro de la parcela, esto ayudará a ubicar individuos que por alguna razón no presentasen las etiquetas correspondientes a la hora de realizar las futuras remediciones. El diámetro normal se midió con la ayuda de una cinta diamétrica, la altura total con la ayuda de un clinómetro, la distancia respecto del centro, así como el azimut, se determinaron con la ayuda de una brújula y cinta métrica (50 m). El diámetro de copa se midió con la ayuda de una cinta métrica. La edad se determinó midiendo los anillos de crecimiento de una viruta extraída con el apoyo de un taladro de pressler, esta acción se realizó en un individuo por categoría diamétrica por parcela y esto solo para coníferas. La posición de copa y el daño físico de definieron de acuerdo con los criterios de la guía de sitios permanentes (Martínez-Cruz 2016). Para las mediciones se atendió lo estipulado en la guía de sitios permanentes propuesta por Corral-Rivas *et al.* (2013).

Las especies fueron identificadas en el herbario de la Universidad de la Sierra Juárez (UNSIJ) por los tesisistas Liborio Martínez Cruz y Vicente Florencio Vásquez Cortez, apoyados por el biólogo Gabriel González Adame, especialista en botánica. Para esta acción se realizaron colectas (por triplicado) de manera directa en las parcelas, donde se recorrieron cada una de ellas periódicamente (cada dos meses) durante un año (16 de abril del 2014 al 15 de marzo del 2015). Los ejemplares colectados fueron aquellos que presentaban estructuras sexuales (flor y/o fruto) a excepción de las especies del género *Quercus* (encinos) ya que en ellas solo se colectaron ramas sin estructuras sexuales debido a que para su identificación las claves dicotómicas se basan en caracteres vegetativos (hojas). Los ejemplares fueron herborizados de manera tradicional; es decir, se colocaron en prensas botánicas y se depositaron en una secadora durante 48 horas aproximadamente, en los casos

en los que los ejemplares no estuviesen secos completamente se volvieron a ingresar y se extrajeron hasta alcanzar el punto óptimo de secado. La identificación se realizó mediante claves dicotómicas, para lo cual se apoyó de un estereoscopio marca ZEISS CL 1500 ECO para una mejor visualización de las estructuras. Ya identificados los ejemplares se procedió al montaje de un ejemplar por cada especie con la finalidad de dejar registro en el herbario de la UNSIJ, para aquellos casos en los que se consiguieron tres ejemplares por especie, se envió un ejemplar al herbario nacional MEXU de la UNAM (Martinez-Cruz 2016).

Se calcularon la diversidad de especies, composición y estructura (vertical y horizontal) realizando comparaciones estadísticas entre tratamientos por área (Conservación, Producción) las cuales consistieron en análisis de varianzas (ANOVA) y pruebas de comparación de medias (Tukey, 0.05%). La evaluación de la diversidad se enfocó en determinar la riqueza de especies, así como al cálculo de índices de diversidad alfa que determinaron la diversidad de los sitios específicos empleando el índice de Simpson, la inversa de Simpson, el índice de Shannon-Wiener, Alpha de Fisher y el índice de Margalef (Margalef 1972, Magurran 1998, Newton 2007). Aunado a ello se determinaron similitudes o disimilitudes entre los tratamientos mediante la diversidad beta por medio del cálculo del coeficiente de semejanza de Sorensen (Magurran 1988). En relación con la composición de la vegetación, el análisis de los resultados se enfocó en determinar las especies presentes y su importancia, esto a través de la densidad de especies y el índice de valor de importancia (IVI) y el índice de valor forestal (Curtis y McIntosh 1951, Corella *et al.* 2001). La estructura de la vegetación se determinó en el plano horizontal y vertical en la que se determinó la distribución diamétrica y de alturas, así como estratos del bosque. La metodología y el análisis de datos detallado de la primera medición se describe en las tesis de Martinez-Cruz (2016) y Vásquez (2016).

7.7. Variables estimadas en la segunda medición

La segunda medición de las parcelas permanentes de medición se realizó durante los meses de noviembre a diciembre del 2018 siguiendo los protocolos de la primera medición; no obstante, se realizaron algunas modificaciones:

1. La altura total, así como la distancia respecto del centro, se midieron con la ayuda de un Hipsómetro Haglöf Vertex IV.
2. El muestreo de la regeneración se realizó en la mitad de las parcelas permanentes (312.5 m²) la cual fue seleccionada al azar.

En los subsecuentes apartados se describen las variables estimadas, así como la metodología para el análisis de datos.

7.7.1. Riqueza y diversidad de la vegetación

La diversidad alfa se determinó mediante la riqueza de especies, curvas de rarefacción, curvas de interpolación y extrapolación (Magurran 1998) y la estimación de los números de

diversidad de Hill (Hill 1973). Aunado a ello, se calculó el índice de Simpson, así como su inversa (Magurran 1998), el índice de Shannon-Wiener (Margalef 1972), Evenness, Rarefy y el índice alfa de Fisher (Fisher *et al.* 1943; Bravo-Nuñez 1991; Newton 2007). La diversidad beta se analizó empleando el coeficiente de semejanza de Sorensen, así como dendrogramas de distancia de Bray-Curtis (Magurran 1988; Moreno 2001).

Los índices de diversidad alfa fueron determinados mediante el programa QEco (Di rienzo *et al.* 2010), mientras que los de diversidad beta con del paquete estadístico InfoStat (Di rienzo *et al.* 2017).

7.7.2. Composición de la vegetación

Se realizó a partir de la estimación de las especies más abundantes y dominantes, mediante el cálculo del índice de valor de importancia (Curtis y McIntosh 1951). En la regeneración se compararon las abundancias de las especies del género *Pinus* y *Quercus*, contratadas con el resto de las especies, esto con la finalidad de observar la dinámica de la sucesión natural.

7.7.3. Estructura de la vegetación

Se determinó mediante la estimación de la abundancia, área basal (Curtis y McIntosh 1951), volumen total árbol calculadas a partir de las fórmulas por especies descritas por Vargas-Larreta *et al.* (2017) y la distribución diamétrica de estas variables. Además, se analizó la distribución de alturas (Husch 1993) y estratos del bosque, las cuales fueron definidos mediante el análisis de las alturas por género, donde cada estrato fue definido de acuerdo con las alturas máximas correlacionadas a la abundancia (Elaboración propia).

7.7.4. Dinámica de la vegetación

La dinámica se evaluó mediante el reclutamiento, la mortalidad y el crecimiento del bosque.

Las tasas de reclutamiento y mortalidad se estimaron mediante los modelos matemáticos descritos por Quinto *et al.* (2009) y Trigueros Bañuelos *et al.* (2014).

Tasa anual de mortalidad: Calcula la mortandad de los árboles por sitio de muestreo:

$$m = \left(1 - \left[\frac{(N_0 - N_m)}{N_0} \right]^{\frac{1}{t}} \right) \times 100$$

donde:

m = Tasa anual de mortalidad expresada en porcentaje.

N_0 = Número de individuos al inicio del periodo de medición.

N_m = Número de individuos muertos durante el intervalo t de tiempo.
 t = Intervalo de tiempo en años transcurrido entre las dos mediciones.

Tasa anual de reclutamiento: Estima la incorporación de árboles por sitio de muestreo:

$$r = \left(\left[\frac{(N_0 - N_r)}{N_0} \right]^{\frac{1}{t}} - 1 \right) \times 100$$

donde:

r = Tasa anual de reclutamiento expresada en porcentaje.
 N_0 = Número de individuos al inicio del periodo de medición.
 N_r = Número de individuos reclutados en el intervalo t de tiempo.
 t = Intervalo de tiempo en años transcurrido entre las dos mediciones.

Estas fórmulas fueron elegidas por ser las más comunes para el análisis de dinámica y por ser empleadas para el análisis de estos indicadores en bosques templados. Se emplearon los individuos presentes en la medición inicial (2014 y 2015), los individuos incorporados (reclutas) en la segunda medición (2018) sin considerar los individuos muertos, y los individuos iniciales muertos durante el periodo de análisis. Para el cálculo de estas tasas, los valores de los sitios fueron extrapolados a la hectárea. Tanto la mortalidad como el reclutamiento evaluado correspondieron a la natural.

El crecimiento de la masa forestal se analizó en términos de los incrementos diamétricos, basimétricos y volumétricos por hectárea, así como los incrementos en altura y el tiempo de paso, los cuales se determinaron de acuerdo con la diferencia de los valores entre ambos periodos de medición (Medición₂₀₁₈-Medición_{2014y2015}) considerando solo los individuos vivos. El tiempo de paso se calculó considerando la amplitud de la categoría diamétrica entre su crecimiento medio (López-Torres y Tamarit-Urias 2005, Araujo-Murakami *et al.* 2006). Los individuos miltifustales se estimaron con base en un único diámetro, transformando el área basal a DN (Easdale *et al.* 2007). Los incrementos individuales fueron analizados con la intención de no considerar valores extremos; sin embargo no se detectó ningún caso.

7.8. Análisis de datos

Las comparaciones estadísticas de diversidad, composición y estructura se realizaron usando modelos lineales generales y mixtos (Di Rienzo *et al.* 2010). Los factores considerados correspondieron al tipo de área (producción y conservación), tres tipos de manejo dentro de las zonas de producción y tres tipos de bosques dentro de las zonas de conservación (los tipos de bosque y de manejo están encajados o anidados dentro de las áreas). Esta estructura jerárquica determinó seis tratamientos, y cada uno de ellos fue medido en dos periodos (2014-2015 y año 2018). El modelo contempló la correlación temporal entre estas dos épocas de medición. Se probaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, para lo cual se probaron modelos con los mejores ajustes. Para

los índices de Shannon, Evennes, Simpson y número de árboles por hectárea fue necesario emplear funciones de varianzas para contemplar la heteroscedasticidad.

Todos los indicadores empleados para composición y estructura fueron extrapolados a la hectárea.

El modelo matemático empleado corresponde a:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + M_j + TM_{ij} + PP_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

donde:

Y_{ij} = diversidad del i-ésimo tratamiento, j-ésimo tiempo.

μ = Media general

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento.

M_j = efecto del i-ésimo tiempo.

TM_{ij} = interacción entre el i-ésimo tratamiento, j-ésimo tiempo.

PP_{ik} = Error de la parcela principal del i-ésimo tratamiento, k-ésimo repetición.

ε_{ijk} = Error aleatorio donde $N_i(0, \sigma^2)$

Las comparaciones estadísticas de dinámica se realizaron usando modelos lineales generales y mixtos (Di Rienzo *et al.* 2010), donde se trabajaron con las diferencias entre los dos periodos de medición, por lo que la estructura jerárquica contempla seis tratamientos. Se probaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, para lo cual se probaron modelos con los mejores ajustes.

Para el análisis estadístico del incremento en diámetro, altura, área basal y volumen por ha se requirió emplear una función de identidad (VarIdent) con una agrupación de APR y APA por ser más similares entre sí, mientras que para el tiempo de paso se empleó una función de identidad por tratamiento. Para el análisis de tasa de mortalidad se empleó una función exponencial (VarExp).

El modelo matemático empleado corresponde a:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ijk}$$

donde:

Y_{ij} = Incremento del i-ésimo tratamiento, j-esima repetición.

μ = Media general

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento.

ε_{ij} = Error aleatorio donde $N_i(0, \sigma^2)$

Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico InfoStat (Di rienzo *et al.* 2017), donde se efectuaron análisis de varianza (ANOVA) y en aquellos casos en que los valores resultaron significativos para algún factor, se ejecutaron pruebas de comparación de medias (LSD, $p < 0.05$).

Los análisis estadísticos en la mayoría de las pruebas no presentaron efectos por tiempo; por lo tanto, los resultados presentados y discutidos en este trabajo solo se circunscriben a los productos obtenidos en la segunda medición. Para aquellos casos donde sí se encontraron diferencias significativas se discutieron los efectos dados por el tiempo.

8. RESULTADOS

8.1. Riqueza y diversidad de vegetación

En las 1.31 ha muestreadas se registró un total de 33 especies ≥ 7.5 cm de DN. Dentro de los tratamientos, Pp-QI en el área de conservación y APSIF en producción fueron los de mayor riqueza con 21 y 16 especies, mientras que APR y Lg-QI los de menor, con 10 y 11 especies. El tratamiento APR fue el que mostró un incremento en la riqueza por efecto de tiempo, al pasar de 7 a 10 individuos (Cuadro 2).

Curvas de rarefacción e interpolación

La curva de rarefacción muestra que las parcelas con tratamientos silvícolas (aclareo y corta de regeneración con árboles padre) alcanzaron la asíntota a los 100 y 200 individuos con una riqueza de 10 especies respectivamente, mientras que las áreas bajo conservación forestal y sin intervención no alcanzaron la asíntota a pesar de presentar una mayor riqueza. APR en la primera medición realizada en el 2015 no alcanzó la asíntota; sin embargo, en la segunda medición (2018) presentó un aumento de individuos y de especies, situación contraria en el tratamiento Lg-QI que mostró una disminución (Figura 7a).

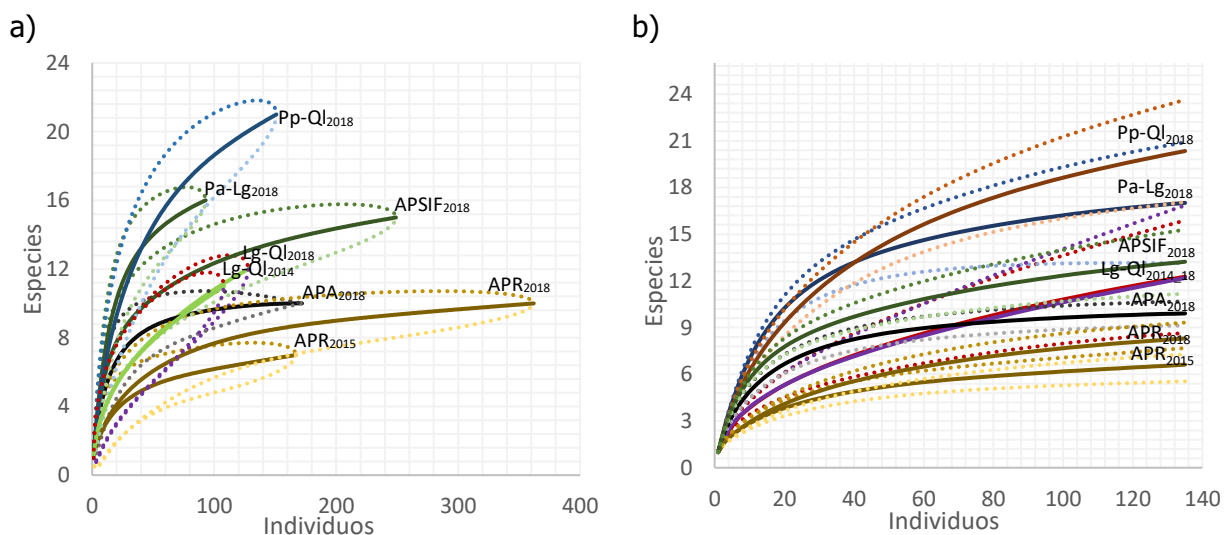


Figura 7. Curvas de rarefacción (a) e interpolación (b) basada en individuos. Las líneas sólidas corresponden a los valores promedios y las líneas punteadas a los límites de confianza inferior y superior al 95%.

De la curva de rarefacción pueden desprenderse tres situaciones (Figura 7b):

1. Bosques con alta riqueza definidas por el Pp-QI y Pa-Lg con 21 y 16 especies respectivamente.

2. Bosques con riqueza intermedia definidas por el APSIF y Lg-QI, donde los límites de confianza traslapan con los bosques de alta riqueza y con los bosques de baja riqueza.
3. Bosques con baja riqueza, representadas por las parcelas con tratamientos silviculturales (APA y APR). Además, se observa un efecto del tiempo en APR dado por un aumento de la riqueza eliminando las diferencias significativas con APA. En estos sitios la probabilidad de encontrar especies nuevas al muestrear más individuos es muy baja en comparación de los dos grupos anteriores.

Máxima riqueza esperada

Los estimadores de máxima riqueza mostraron que en el tratamiento Pp-QI se espera encontrar 26 especies (ACE y Chao1) y en el APSIF 17 especies (Chao y ACE), y son los tratamientos con mayor riqueza en cada área (Cuadro 2). El tratamiento con la riqueza esperada más baja correspondió a APR con 11 especies. APA fue el único tratamiento que alcanzó la máxima riqueza esperada (10 especies).

Cuadro 2. Riqueza observada (S.Obs) y estimadores de riqueza máxima esperada Chao1 y ACE y sus desviaciones estándar (se. Chao1, se.ACE)

Tratamiento	S.obs	Chao1	se.chao1	ACE	se.ACE
APR ₂₀₁₅	7	8	2.24	8.57	1.43
Pa-Lg ₂₀₁₈	16	17	1.81	17.58	1.68
Pp-QI ₂₀₁₈	21	26	5.52	25.67	2.36
Lg-QI ₂₀₁₈	11	16	5.97	19.42	2.23
APA ₂₀₁₈	10	10	0	10	1.58
APR ₂₀₁₈	10	11	2.27	10.96	1.52
APSIF ₂₀₁₈	15	16.5	2.57	17.11	1.89

Diversidad según cálculo de índices

Cuadro 3. Índices de diversidad de un bosque de pino-encino bajo conservación y producción forestal en Analco, Oaxaca, México

Tratamiento	Evenness	Shannon**	Simpson	InvSimp	Alpha*
APA	0.77 ab	1.24 b	0.64 b	2.89 cd	1.78 bc
APR	0.55 c	0.67 c	0.42 c	1.65 d	1.01 c
APSIF	0.81 ab	1.70 a	0.77 a	4.53 bc	2.63 b
Pa-Lg	0.89 a	2.06 a	0.83 a	6.76 a	5.51 a
Pp-QI	0.81 ab	1.9 a	0.80 a	5.34 ab	4.45 a
Lg-QI	0.67 bc	1.17 b	0.59 bc	2.46 cd	2.3 bc
p-value	0.0051	0.0001	0.0006	0.0016	0.0002

Medias con una letra común no son significativamente diferentes, LSD Fisher, ($p > 0.05$), gl 15.

*Efecto de Tiempo.**Efecto de tiempo con $p > 0.10$.

En general los índices mostraron diferencias significativas por efecto de los tratamientos (ver p-valor en Cuadro 3), donde Pa-Lg, Pp-QI y APSIF son áreas más diversas y con mayor

equitatividad, comparado con APR que es el tratamiento con la menor diversidad, y una dominancia alta por dos especies (de interés comercial-pinos-) presentando áreas menos equitativas. APA y Lg-QI son tratamientos con valores intermedios y no son diferentes de los dos grupos antes mencionados.

Cabe resaltar que el índice de diversidad Alpha de Fisher resultó significativo ($p=0.0065$) por efecto de tiempo, donde en la segunda medición (2018) los tratamientos aumentaron los valores para el 2018; es decir, el número de especies por encontrarse con el mismo número de individuos es mayor que en el 2014 para las áreas de conservación y 2015 para las de producción. El índice de Shannon mostró un efecto de tiempo en la diversidad con un alfa de 10% observándose un aumento en los valores; sin embargo la tendencia se mantuvo ($p=0.0752$).

El ANOVA para Rarefy indicó interacción de tiempo y tratamiento ($p = 0.0439$), donde APR presentó un incremento (2015 a 2018) de los valores provocando que no existan diferencias significativas con APA y Lg-QI. Estos valores indicaron que si todas las parcelas presentaran la misma cantidad de individuos estos tratamientos presentarían estadísticamente la misma riqueza (Cuadro 4) y serían diferentes de Pa-Lg, Pp-QI y APSIF las cuales son las áreas con mayor riqueza.

Cuadro 4. Valores de Rarefy para un bosque de pino-encino bajo conservación y producción forestal en Analco, Oaxaca, México

Tiempo	Tratamiento	Riqueza estimada	
T1	Pp-QI	10.67	a
T1	Pa-Lg	10.67	a
T0	Pp-QI	10.67	a
T0	Pa-Lg	10.33	a
T1	APSIF	8.5	ab
T0	APSIF	8	abc
T0	Lg-QI	6.33	bcd
T1	Lg-QI	6.00	bcde
T1	APA	5.75	bcde
T1	APR	5.25	cde
T0	APA	4.75	de
T0	APR	3	e

Medias con una letra común no son significativamente diferentes LSD Fisher, ($p > 0.05$), gl 15.

Estimación de los números de diversidad de Hill

El perfil de diversidad de Hill permitió determinar que las áreas bajo tratamientos silviculturales (APA y APR) son diferentes que las áreas sin intervención (Pa-Lg, Pp-QI y APSIF) tanto para las especies más abundantes como para las especies raras, a excepción de Lg-QI que es un bosque "puro" de laurel por lo cual resulta ser menos diverso y equitativo (Figura 8a). Las áreas sin intervención forestal resultaron ser las de mayor diversidad.

Los tratamientos del área de producción mostraron diferencias entre sí, además de presentar efectos dados por el tiempo, donde APA y APR registraron un incremento en las especies más abundantes, y este último tratamiento es el que mostró mayor cambio al no presentar diferencias con APA en cuanto a diversidad de especies más abundantes, no así para las especies raras. En estos tratamientos APSIF correspondió al de mayor riqueza mientras que APR fue el menor (8b).

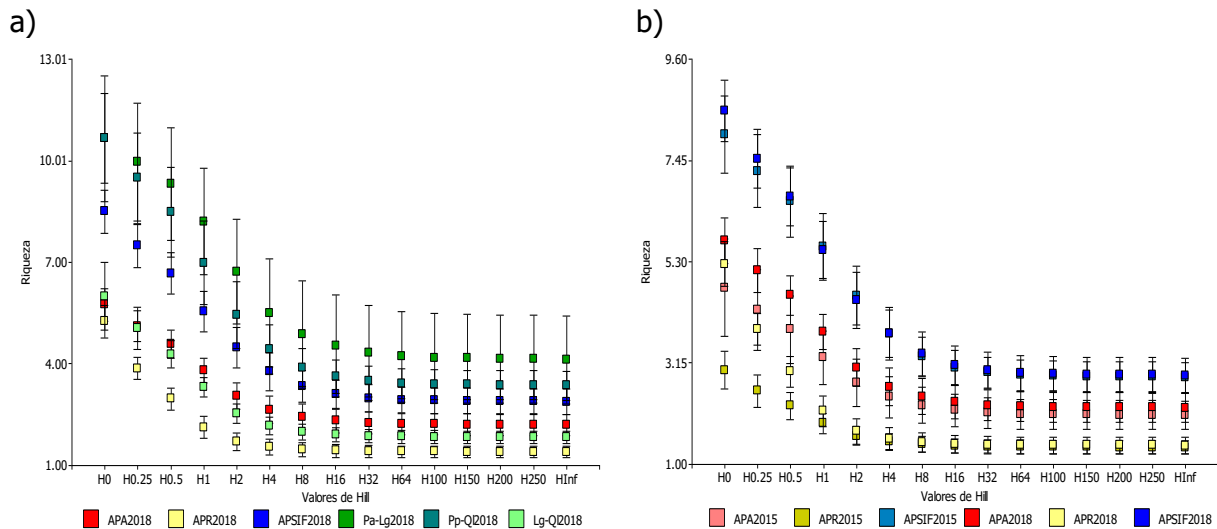


Figura 8. Curva de series de Hill por tratamientos totales (a) y por tratamientos dentro del área de producción (b).

8.2. Composición de la vegetación

Familias y géneros más importantes

Las especies registradas en los muestreos se encuentran distribuidas en 14 familias y 15 géneros. La familia Fagaceae mostró la mayor cantidad de especies con 15 y representa el 46% del total de individuos, seguido por la familia Pinaceae con 4 especies, mientras que Lauraceae y Rosácea presentaron 2 especies respectivamente. Las 10 familias restantes están conformadas por una especie y representan tan solo el 30% de los árboles del bosque de pino-encino de San Juan Evangelista Analco (Cuadro 5, Figura 9).

El área muestreada presentó siete especies endémicas de México, así como tres en alguna categoría de riesgo por la IUCN y una en peligro de extinción de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Cuadro 5).

El área de conservación forestal mostró el desplazo de *Arbutus xalapensis*, esto como efecto del tiempo, lo que implicó la disminución de una familia y un género; mientras que el área de producción mostró un aumento de una familia (Scrophulariaceae) y dos géneros (*Beilschmiedia* y *Buddleia*) ocurridos en los tratamientos APR y APSIF.

Cuadro 5. Listado de especies arbóreas identificadas en el bosque de pino-encino de Analco, Oaxaca, México

Familia	Especie	Nombre común	Estatus
Araliaceae	<i>Oreopanax xalapensis</i> (Kunt) Decne. & Planch.	Macuilillo	
Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Palo de águila, Aile	
Caprifoliaceae	<i>Lonicera mexicana</i> (Kunt) Rehder		*
Clethraceae	<i>Clethra mexicana</i> A. DC.	Aguacatillo blanco	*
Cornaceae	<i>Cornus disciflora</i> Moc. & Sessé ex DC.		VU
Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunt	Madroño	
	<i>Quercus candicans</i> Neé	Encino	*
	<i>Quercus conzatii</i> Trel.	Encino	
	<i>Quercus crassifolia</i>	Encino cucharilla	
	<i>Quercus dysophylla</i> Benth.	Encino	
	<i>Quercus glabrescens</i> Benth.	Roble	
	<i>Quercus glaucescens</i> Humb. & Bonpl.	Roble	
	<i>Quercus greggii</i> (A. DC.) Trel.	Encino	*
Fagaceae	<i>Quercus aff. Laurina</i> Humb. & Bonpl.	Palo de agua, encino delgado	
	<i>Quercus laurina</i> Humb. & Bonpl.	Palo de agua, encino delgado	*
	<i>Quercus obtusata</i>	Encino blanco	
	<i>Quercus rugosa</i>	Roble	*
	<i>Quercus salicifolia</i>	Encino amarillo	
	<i>Quercus aff. Splendens</i> Née	Encino	
	<i>Quercus spp.</i>	Encino	
	<i>Quercus uxoris</i> McVaugh	Encino	VU
Lauraceae	<i>Litsea glaucescens</i> Kunt	Laurel	P, VU
	<i>Beilschmiedia spp.</i>	Aguacate	
Oleaceae	<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	Fresno	
	<i>Pinus ayacahuite</i> Schlecht. var. <i>ayacahuite</i>	Pino	
	<i>Pinus patula</i> Schlecht. & Cham.	Pino rojo	*
	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	Pino	
Pinaceae	<i>Pinus oaxacana</i>	pino	
Primulaceae	<i>Rapanea jurgensenii</i> Mez in Engl.	Palo de pajarito	
	<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	Cerezo de monte	
Rosaceae	<i>Prunus rhamnoides</i> Koehne	Cerezo amargo	
Scrophulariaceae	<i>Buddleia cordata</i> Kunt	lengua de vaca	
Viburnaceae	<i>Sambucus nigra</i> L.	Sauco	

*Endémicas de México, VU = Vulnerable (IUCN), P = En peligro de extinción (NOM-059-SEMARNAT-2010).

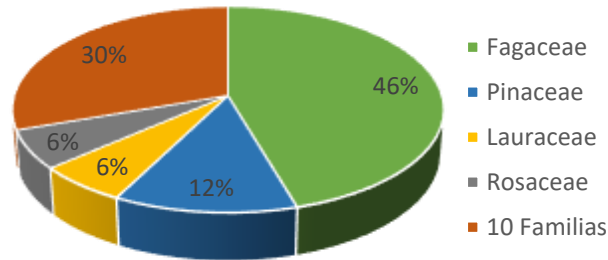


Figura 9. Porcentaje de especies por familias registradas en el bosque de pino-encino de Analco, Oaxaca, México.

Las especies de *Quercus laurina*, *Litsea glaucescens*, *Pinus patula* y *Pinus pseudostrobus* se presentaron en los seis tratamientos, aunado a estos *Clethra mexicana*, *Pinus ayacahuite* y *Prunus serotina* fueron registrados en cinco tratamientos.

Diversidad beta

El índice de diversidad beta mostró que los tratamientos Pa-Lg y Pp-Ql son los de mayor similitud con un 70% de las especies compartidas. APA y APSIF además de APR y APSIF presentaron una similitud del 72%. Lg-Ql y APA son los tratamientos más disímiles en composición al compartir apenas un 38% de las especies (Cuadro 6).

Cuadro 6. Valores del coeficiente de semejanza de Sorensen de un bosque de pino-encino bajo conservación y producción en Analco, Oaxaca, México.

Tratamientos comparados		Especies en el tratamiento A	Especies en el tratamiento B	Especies compartidas	Coeficiente de semejanza de Sorensen
Tratamiento A	Tratamiento B				
Pa-Lg	Pp-Ql	16	21	13	0.70
Pa-Lg	Lg-Ql	16	11	8	0.59
Pa-Lg	APA	16	10	6	0.46
Pa-Lg	APR	16	10	8	0.62
Pa-Lg	APSIF	16	15	7	0.45
Pp-Ql	Lg-Ql	21	11	8	0.50
Pp-Ql	APA	21	10	6	0.39
Pp-Ql	APR	21	10	9	0.58
Pp-Ql	APSIF	21	15	8	0.44
Lg-Ql	APA	11	10	4	0.38
Lg-Ql	APR	11	10	6	0.57
Lg-Ql	APSIF	11	15	6	0.46
APA	APR	10	10	7	0.70
APA	APSIF	10	15	9	0.72
APR	APSIF	10	15	9	0.72

Los dendrogramas construidos a partir de la similitud de las especies compartidas en cada tratamiento permitieron determinar dos grupos: 1) Área de conservación (Pa-Lg, Pp-Ql, Lg-Ql) y 2) Área de producción (APR, APA, APSIF). Además, se observa que el tratamiento APR es el que presenta mayor diferencia por efecto del tiempo (Figura 10a y 10b).

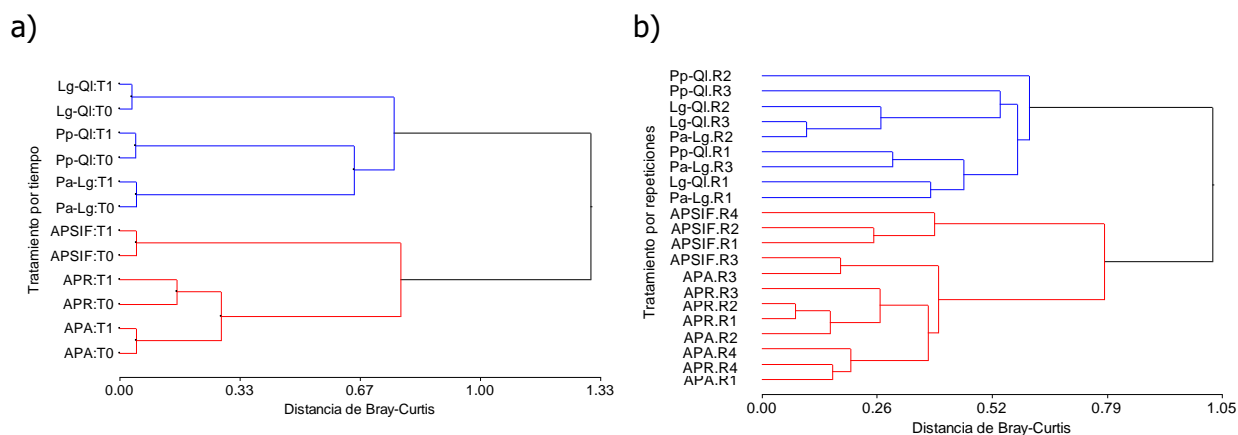


Figura 10. Dendrogramas de distancias de Bray-Curtis para las combinaciones de tratamiento-tiempo (a) y por Tratamiento-repeticiones (b).

Especies ecológicamente importantes

La jerarquización de especies de acuerdo con el IVI mostró que en general las especies que definen los tratamientos del área de conservación mantienen una uniformidad en las cinco especies más importantes de acuerdo con el peso ecológico en un promedio del 15% a excepción de *Litsea glaucescens* en Lg-Ql; mientras que el resto de las especies presentan en promedio un 5% de importancia (Figura 11).

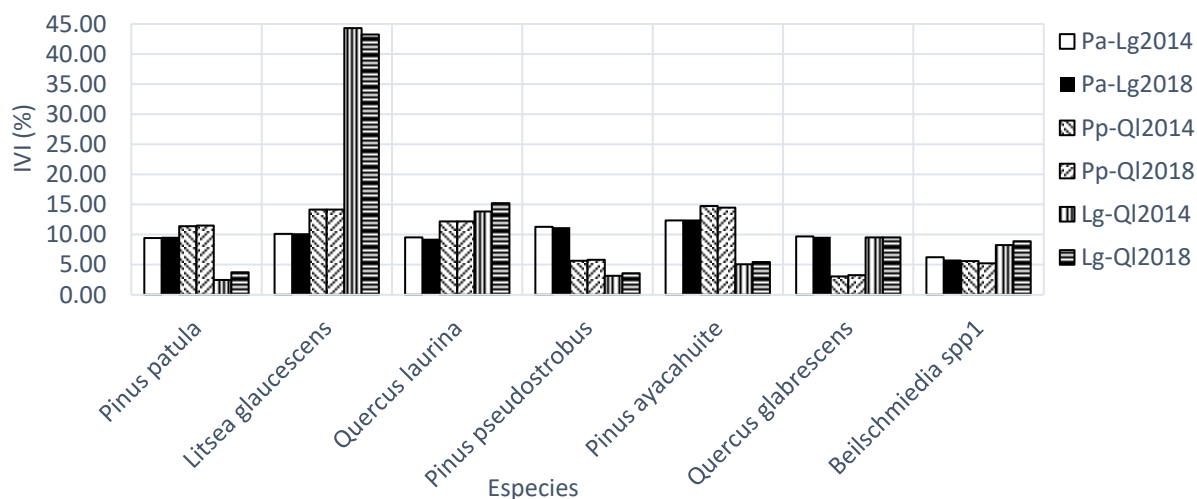


Figura 11. Índice de valor de importancia (IVI) para los tratamientos del área de conservación forestal en Analco, Oaxaca, México.

En los tratamientos Pa-Lg y Pp-Ql las especies más importantes en términos de IVI, y que representan más del 50% de peso ecológico son *Pinus patula*, *Pinus pseudostrubus*, *Pinus ayacahuite*, *Litsea glaucescens*, *Quercus laurina* y *Quercus glabrescens*; mientras que Lg-Ql solo dos especies son las que dominan (*Litsea glaucescens* y *Quercus laurina*).

En los bosques de producción las especies con el 50% del IVI van desde una en APR, hasta tres en APSIF, y es en esta última donde las cuatro especies subsecuentes tienen valores promedio de 10% del IVI; mientras que para APA y APR el resto de las especies no comerciales presentan valores inferiores al 5% del IVI (Figura 12).

En el APSIF las especies con mayor peso ecológico correspondieron a *Pinus patula*, *Quercus laurina*, *Quercus obtusata* (primera medición) y *Pinus pseudostrubus* (Segunda medición). Como efecto del tiempo *Pinus pseudostrubus* aumentó su importancia ecológica superando a *Quercus obtusata*. En APA, *Pinus patula* y *Pinus pseudostrubus* son las especies con el mayor IVI, mientras que en APR solo correspondió a *Pinus patula* (Figura 12).

Para APA y APR los tratamientos silviculturales favorecieron a las especies comerciales cumpliendo así con uno de los objetivos del programa de manejo forestal maderable. Estas especies comerciales corresponden al género *Pinus* y en especial a *Pinus patula*, pues dicho resultado se hace evidente al observar el peso ecológico en APR que corresponde a más del 55%, seguido de APA con más del 40%; mientras que en APSIF presenta menos del 25%. Las especies favorecidas por los tratamientos silviculturales correspondieron a *Pinus patula*, *Pinus pseudostrubus* y *Quercus crassifolia*; mientras que *Quercus laurina*, *Clethra mexicana*, *Prunus serótina* y *Quercus obtusata* (desplazada) se ven desfavorecidas (Figura 12).

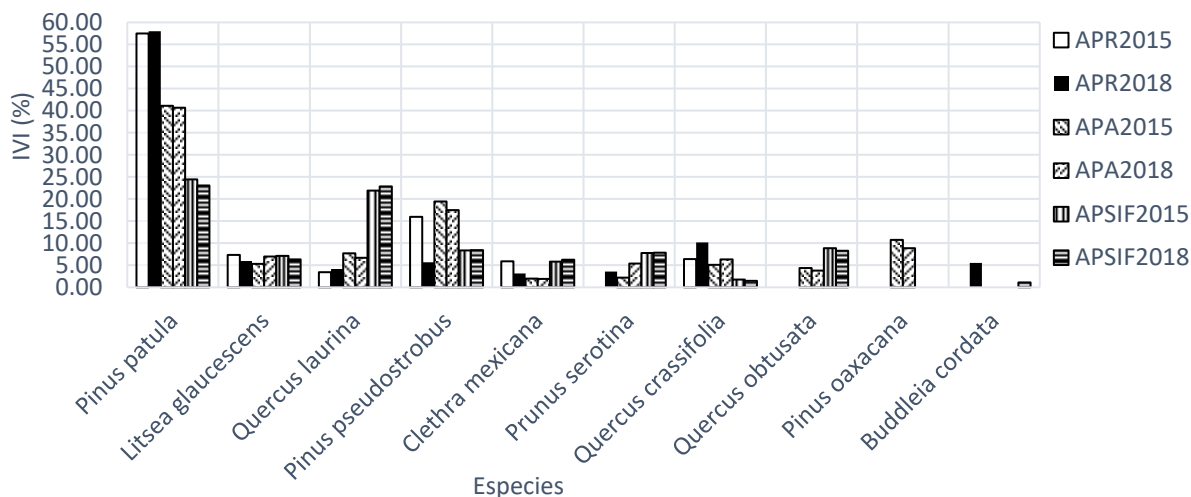


Figura 12. Índice de valor de importancia (IVI) para los tratamientos del área de producción forestal en Analco, Oaxaca, México.

8.3. Estructura de la vegetación

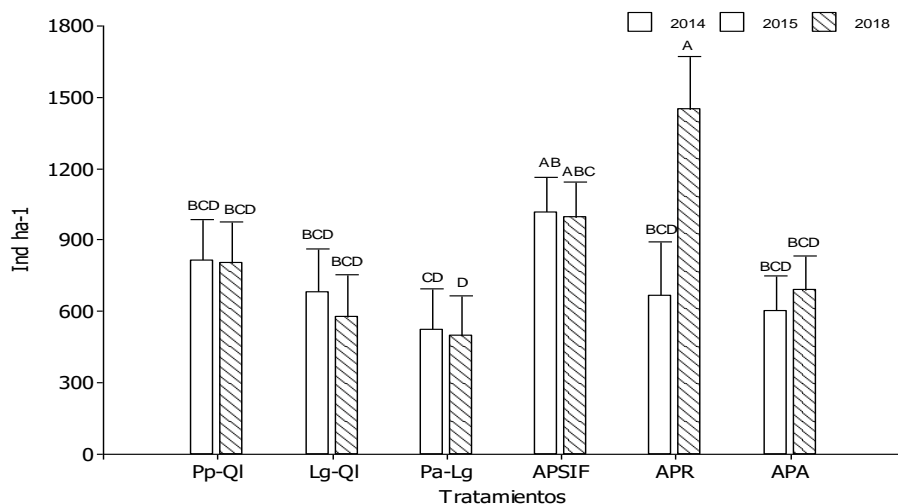
Estructura horizontal

La estructura horizontal fue analizada por la abundancia de individuos, el área basal y el volumen total por distribución diamétrica.

Abundancia por categoría diamétrica

La abundancia mostró diferencias significativas ($p=0.0336$) para la combinación tratamiento-tiempo, donde APR₂₀₁₈ presentó el mayor número de individuos con 1484 ± 224 árboles, y resulta estadísticamente diferente a los datos obtenidos en el año 2015 (668 ± 202) dados por un incremento de más del doble de individuos; además este tratamiento determinó ser diferente al resto de tratamientos a excepción del APSIF. El tratamiento, Pa-Lg registró el menor número de individuos con un promedio de 523 ± 170 Ind. ha⁻¹ en el 2018 y resultó ser distinto del APSIF₂₀₁₈. Los demás tratamientos no presentaron diferencias significativas entre sí (Figura 13).

Los tratamientos del área de conservación forestal, así como el APSIF, mostraron una disminución en el número de árboles; mientras que los tratamientos APA y APR que están bajo tratamientos silviculturales aumentaron la abundancia.



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Figura 13. Abundancia por categoría diamétrica en un bosque de pino-encino de Analco, Oaxaca, México.

Las curvas de distribución por categoría diamétrica presentaron comportamientos similares, en donde su distribución se asemeja a una "J" invertida dados por un alto número de individuos en las categorías de 10 al 40, para posteriormente mantenerse hasta la categoría de 90 y finalmente presentar muy pocos individuos de grandes dimensiones (Figura 14 y 15).

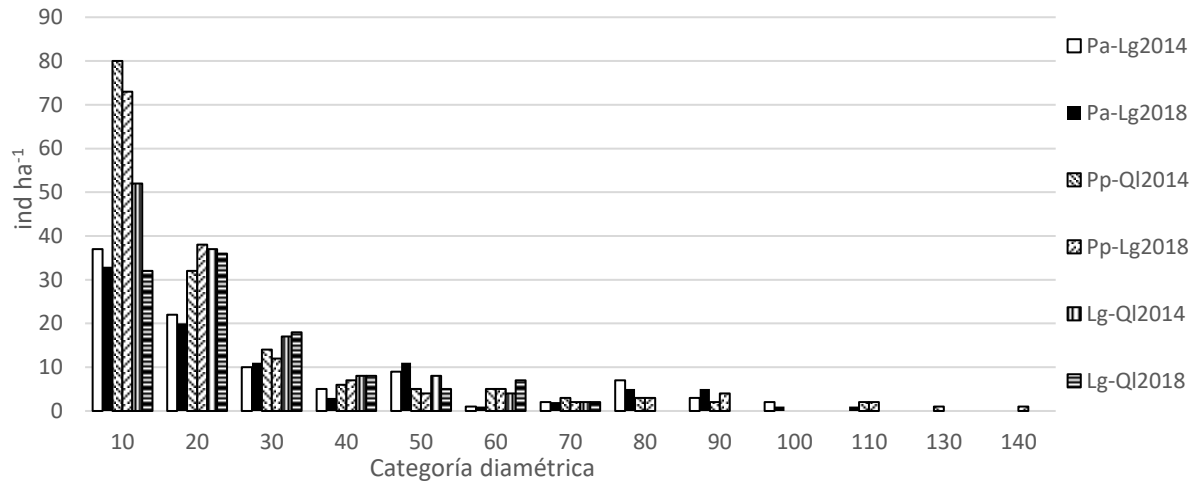


Figura 14. Distribución del número de individuos por clases diamétricas en el área de conservación forestal.

Este comportamiento fue diferente en APR el cual incrementó significativamente su abundancia en la categoría más baja (10 cm y 20 cm) dado por efecto del tratamiento y tiempo (Figura 16).

APA y Pa-Lg₂₀₁₈ presentaron un alto número de individuos en la categoría de 40 y 50 mostrando una distribución unimodal sesgada a la derecha. Lg-Ql₂₀₁₈ fue la excepción por registrar pocos individuos en la categoría de 10 situación que no era presente en la primera medición (2014) (Figura 15).

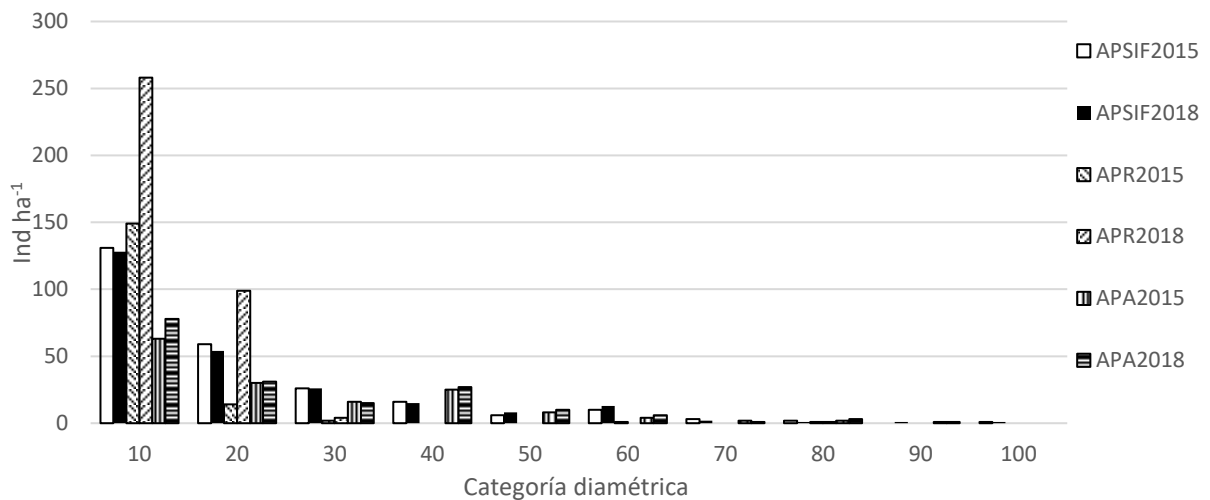
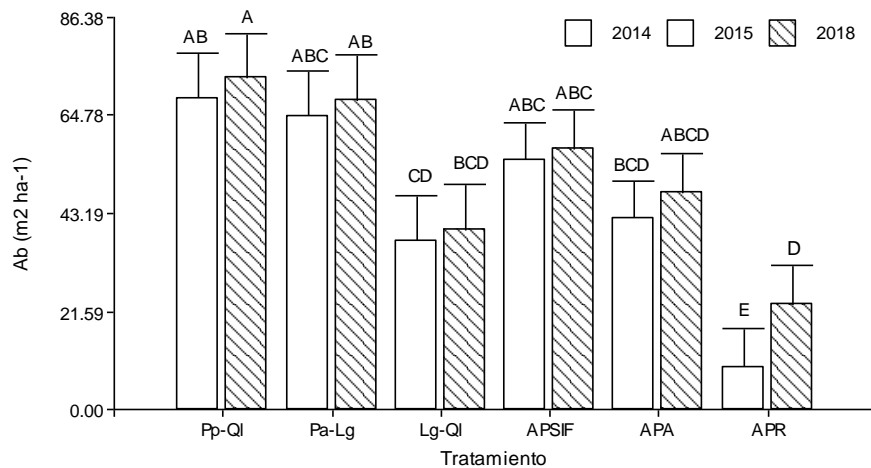


Figura 15. Distribución del número de individuos por clases diamétricas en el área de producción forestal.

Área basal por categoría diamétrica

Los análisis estadísticos probaron la existencia de diferencias significativas ($p=0.0158$) por efecto de Tratamiento-Tiempo. Pp-Ql fue el tratamiento con mayor área basal ($73 \pm 9.81 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$); mientras que APR el menor para ambas mediciones con 9 y $23 \pm 8.5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ respectivamente; sin embargo, APR presentó el mayor incremento en más del doble del valor inicial, por lo que estos tratamientos resultaron ser estadísticamente diferentes. En general Pp-Ql no presentó diferencias significativas con el resto de los tratamientos, incluso con APA el cual no presentó diferencias con APR₂₀₁₈, no así en la medición del 2014, y esto muestra una recuperación del área basal para APR (Figura 16).



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Figura 16. Área basal por tratamiento y tiempo en un bosque de pino-encino de Analco, Oaxaca, México.

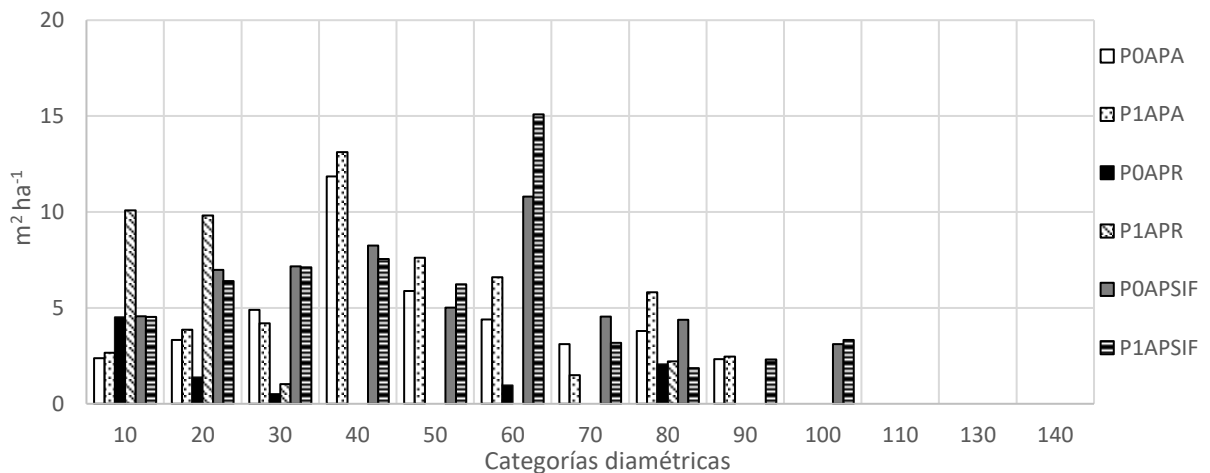


Figura 17. Área basal por categoría diamétrica de un bosque de pino-encino bajo producción forestal.

El tratamiento APSIF presenta áreas basales distribuidas de manera homogénea a excepción de la categoría de 60 donde se presenta un mayor valor (Figura 17); por el contrario, APA presenta una distribución normal donde la mayoría del área basal se concentra en la categoría de 40. APR solo registra tres categorías diamétricas (10 al 30) con áreas basales similares para las dos primeras categorías y un valor mínimo en la categoría de 30, aunado a estas presenta individuos en la categoría de 80 los cuales son correspondientes a los árboles padre (Figura 17).

El área basal para Pp-QI y Lg-QI resultó ser relativamente homogénea en todas las categorías diamétricas a excepción de que Pp-QI presentó categorías hasta 140; mientras que Lg-QI hasta 70. Pa-Lg presentó una distribución bimodal con valores máximos en las categorías diamétricas de 50 y 80-90 (Figura 18).

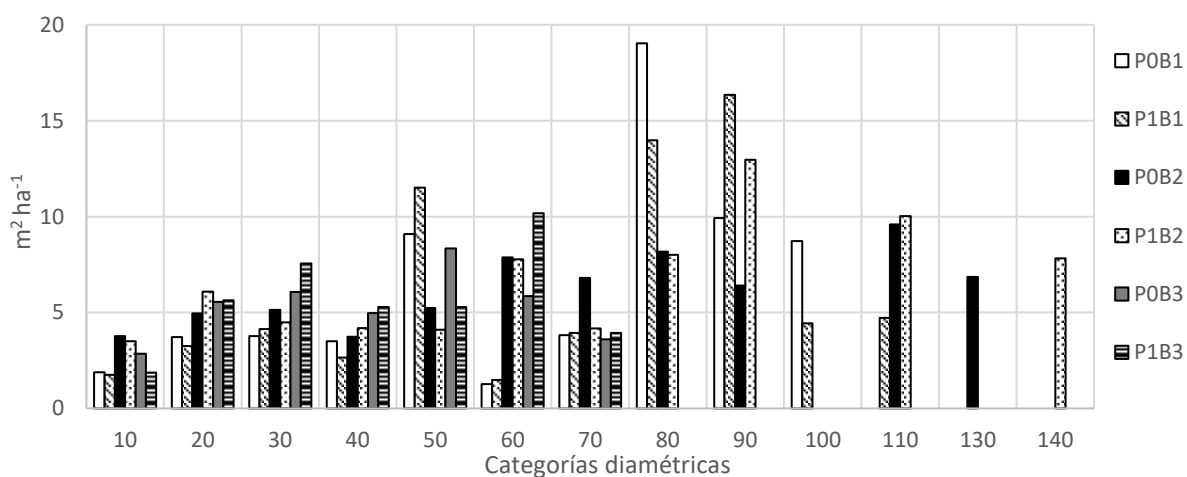
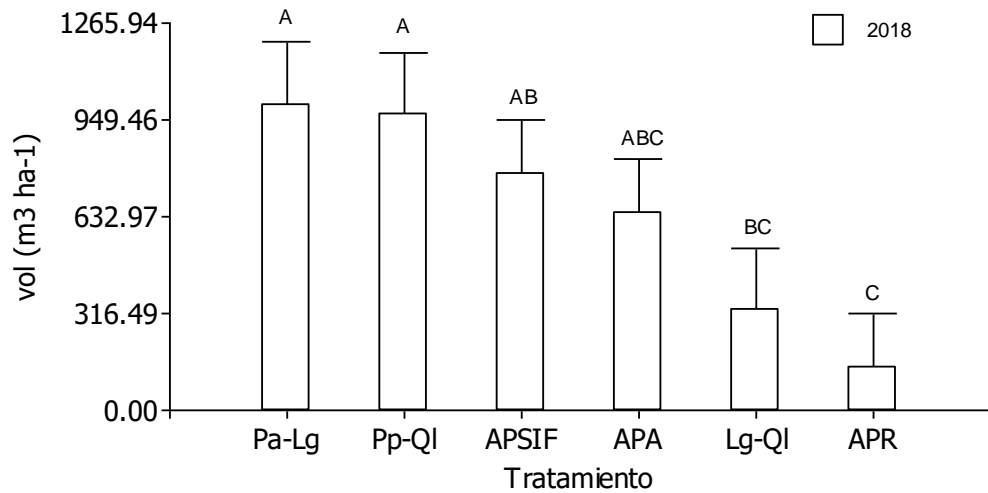


Figura 18. Área basal por categoría diamétrica de un bosque de pino-encino bajo conservación forestal.

Volumen por categoría diamétrica

Los diversos tratamientos mostraron diferencias significativas por efecto del tiempo ($p < 0.0001$) donde se evidenció un incremento significativo del volumen. El efecto de los tratamientos también dejó ver diferencias significativas ($p = 0.0321$), donde Pa-Lg presentó el mayor volumen con $1000.3 \pm 203.6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y resultó diferente de APR, tratamiento con el menor volumen ($139.7 \pm 176.35 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). APR no presentó diferencias significativas con APA; mientras que este no fue diferente del resto de los tratamientos (Figura 19).



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Figura 19. Volumen por tratamiento en un bosque de pino-encino de Analco, Oaxaca, México.

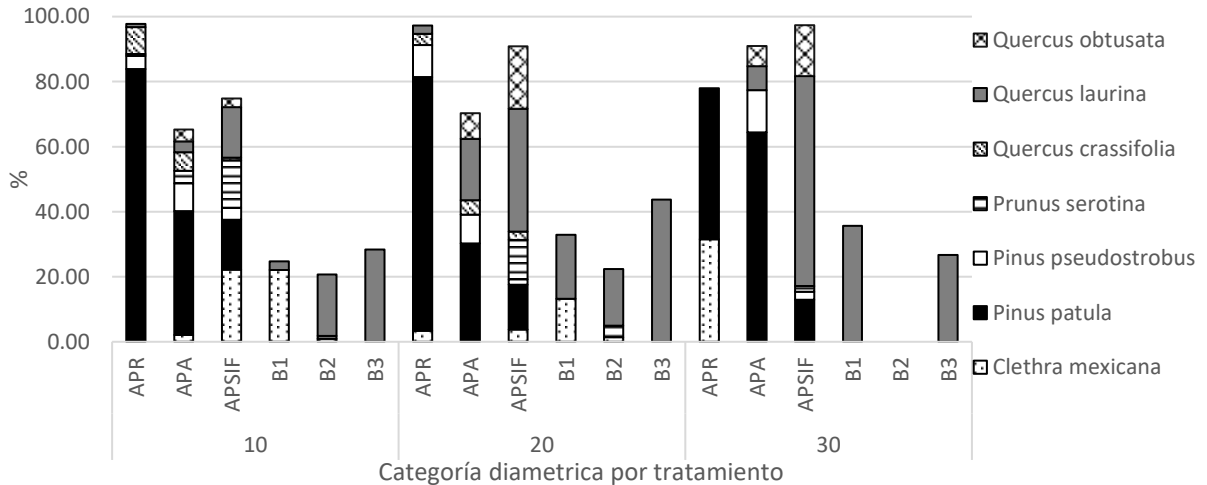


Figura 20. Porcentaje de producción en las categorías diamétricas del 10 al 30, en el bosque de pino-encino de Analco, Oaxaca, México.

En cuanto al comportamiento del volumen por categoría diamétrica se halló el mismo comportamiento observado en el área basal.

Los tratamientos silviculturales aplicados aumentan el volumen de las especies *Pinus patula*, *Pinus pseudostrobus*, así como *Quercus crassifolia* las cuales corresponden a las especies de interés comercial; mientras que para las especies sin interés comercial el volumen disminuye, como por ejemplo en *Quercus laurina*, *Clethra mexicana*, *Prunus serótina* y *Quercus obtusata*. Esta situación es más notoria en APR que en APA la cual mantiene a la mayoría de las especies; sin embargo el volumen es mínimo (Figura 20 y 21).

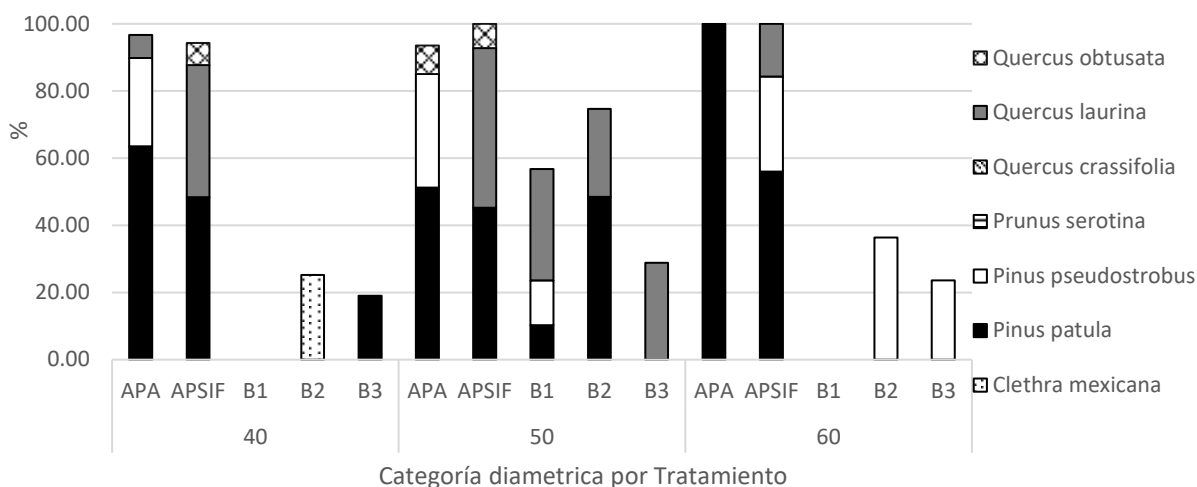


Figura 21. Porcentaje de producción en las categorías diamétricas del 40 al 50, en el bosque de pino-encino de Analco, Oaxaca, México.

Estructura vertical

La estructura vertical fue analizada por la distribución de alturas, así como por los estratos dados por las familias taxonómicas.

Distribución de alturas

Los tratamientos de Pa-Lg y Pp-QI registraron un individuo con una altura superior a los 55 m; sin embargo, estos árboles no son frecuentes, por lo que las categorías más comunes llegan hasta la categoría de 50 m, esto ocurre también para el APSIF y APA; mientras que en APR las alturas máximas son de la categoría de 20 m y para Lg-QI 40 m (Figura 22).

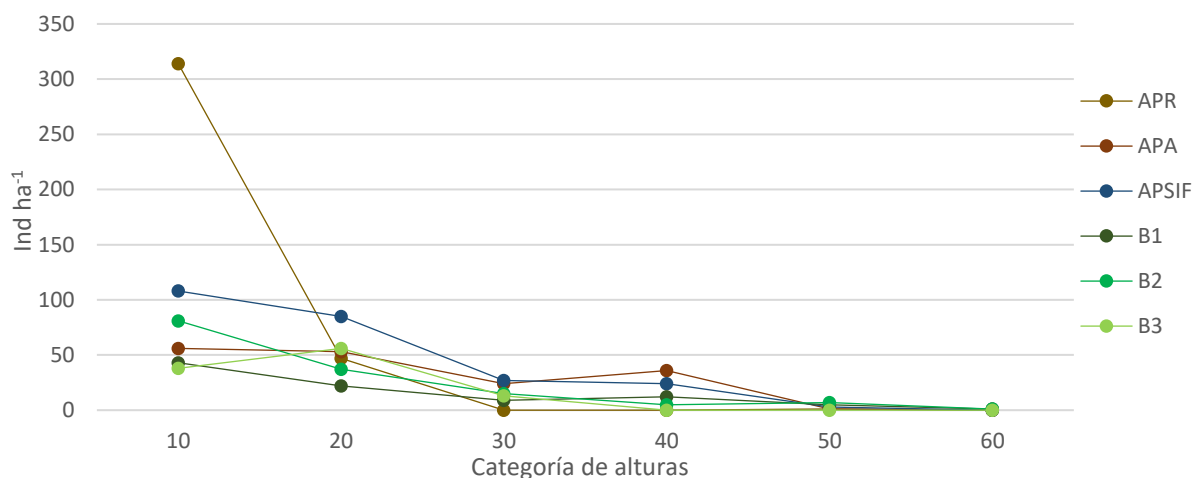


Figura 22. Distribución de alturas por tratamiento en un bosque de pino-encino de Analco, Oaxaca, México.

Estratos

En el bosque de pino-encino se determinaron cuatro estratos los cuales se describen a continuación (Figura 23):

1. Estrato inferior (< 5 m): Caracterizado por presentar pocos individuos con $DN \geq 7.5$ cm, en estos se encuentran distribuidos la gran mayoría de géneros y resultan más abundantes los del género *Quercus*, *Pinus*, *Clethra*, *Litsea* y *Arbutus*.
2. Estrato intermedio (5 a 20 m): En estas se encuentran distribuidos más del 50% de los individuos del bosque y se distinguen por presentar a todos los géneros. Los géneros del dosel intermedio son *Arbutus*, *Buddleia*, *Lonicera*, *Orepanax*, *Sambucus* y *Clethra* que nunca alcanzaran el estrato superior.
3. Estrato superior (20 a 40 m): Estrato definido por especies del género *Quercus* y *Pinus*, raras veces se pueden apreciar individuos del género *Alnus*, *Prunus* y *Litsea*.
4. Dosel > 40 m: Estrato en el que solamente se encuentran especies del género *Pinus*.

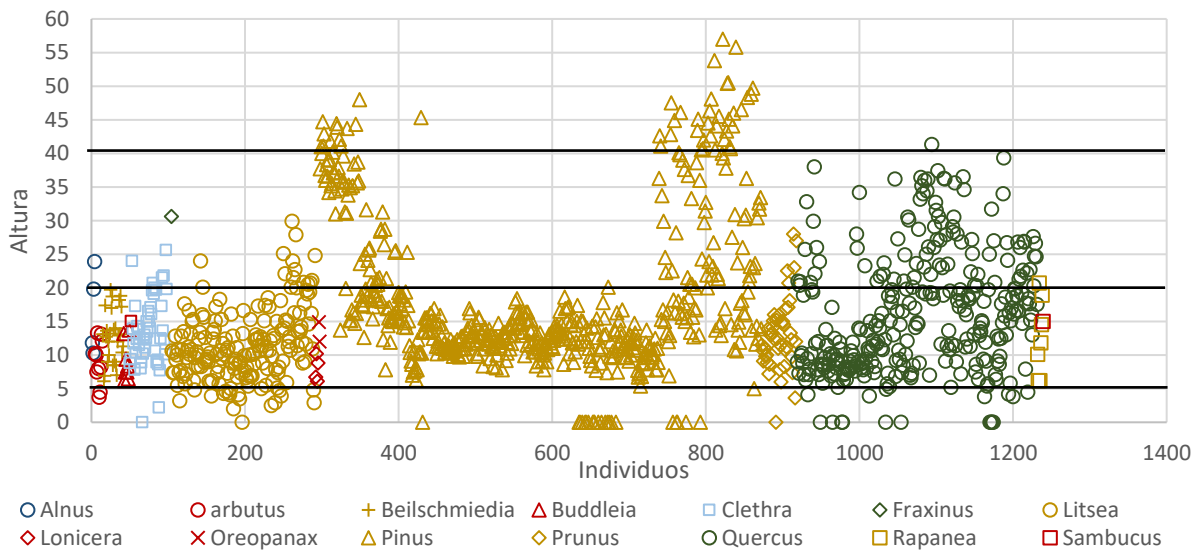


Figura 23. Estratos del bosque de pino-encino de Analco, Oaxaca, México.

8.4. Dinámica de la vegetación

Mortalidad

Las tasas de mortalidad (natural en área de conservación y natural más inducida por los tratamientos en el área de producción) no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Cuadro 7. Valores de mortalidad y reclutamiento por tratamiento

Tratamientos	N _{2014y2015} ha ⁻¹	m ha ⁻¹	r ha ⁻¹	N ₂₀₁₈ ha ⁻¹	t	TM	TR	TM %	TR %
APR	668	40	816	1444	3	0.01	0.22	a	1.44
APA	604	28	112	688	3	0.01	0.04	b	0.80
APSIF	1016	100	80	996	3	0.03	0.02	bc	2.56
Pa-Lg	523	32	11	501	4	0.03	0.01	c	2.79
Pp-Ql	816	59	53	811	4	0.02	0.02	bc	2.16
Lg-Ql	683	117	5	571	4	0.05	3.5 e-3	c	5.15

N= Número de individuos, m=muertos, r=reclutas, t= tiempo, TM= tasa de mortalidad y TR = tasa de reclutamiento. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Las categorías diamétricas donde se presenta alta mortalidad corresponden al intervalo de 10 a 30 cm, y es la categoría de 10 la de mayor ocurrencia y la que presenta mayor número de géneros involucrados (Figura 24a). Las categorías de 50 en adelante son muy escasas y solo se presentaron en sitios bajo conservación y sin intervención.

En los sitios de producción la mortalidad solo ocurre en los géneros comerciales (*Pinus* y *Quercus*) más evidente en las especies comerciales; mientras que en los no intervenidos y bajo conservación el número de géneros muertos es mayor. La mayor mortalidad ocurre para el género *Litsea* en el tratamiento Lg-Ql (Figura 24b).

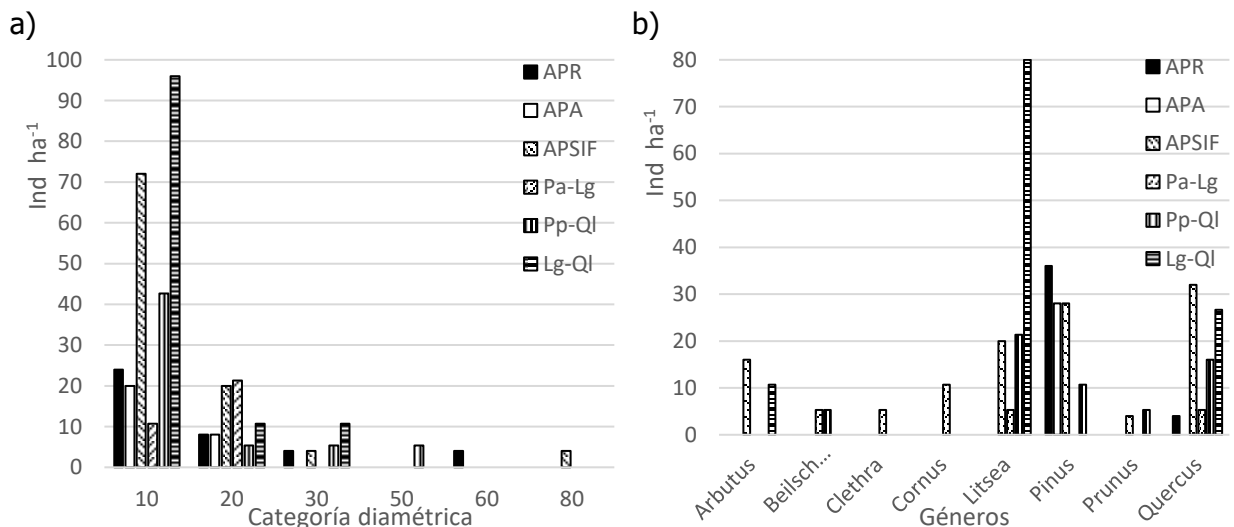


Figura 24. Individuos muertos por categoría diamétrica (a) y por género (b) en cada tratamiento.

Reclutamiento

La tasa de reclutamiento mostró diferencias significativas ($p=0.0115$) entre los tratamientos. En general el análisis permitió determinar los siguientes puntos:

1. Tasas de reclutamiento alto: Corresponden a APR que es estadísticamente diferente del resto de tratamientos con un $22.5\% \pm 6\%$ de reclutas.

2. Tasas de reclutamiento medio: Corresponden a APA, APSIF y Pp-QI con valores entre 1.9 a 3.6% \pm 1%. APA difiere estadísticamente con los del grupo 3.
3. Tasas de reclutamiento bajo: en esta se encuentran los tratamientos Pa-Lg y Lg-QI, con valores de 0.35 y 0.55% \pm 1%.

Los individuos reclutados corresponden a las categorías diamétricas de 10 y 20 cm, y que es en el primero donde existe un mayor reclutamiento (Figura 25a). Los individuos reclutados en APR están muy sesgados para los géneros *Pinus* y *Quercus* (géneros comerciales) (Figura 25b); en APA se logra observar dicho comportamiento, aunque existe una mayor equidad. APSIF mostró una mayor homogeneidad en el reclutamiento (Figura 25c).

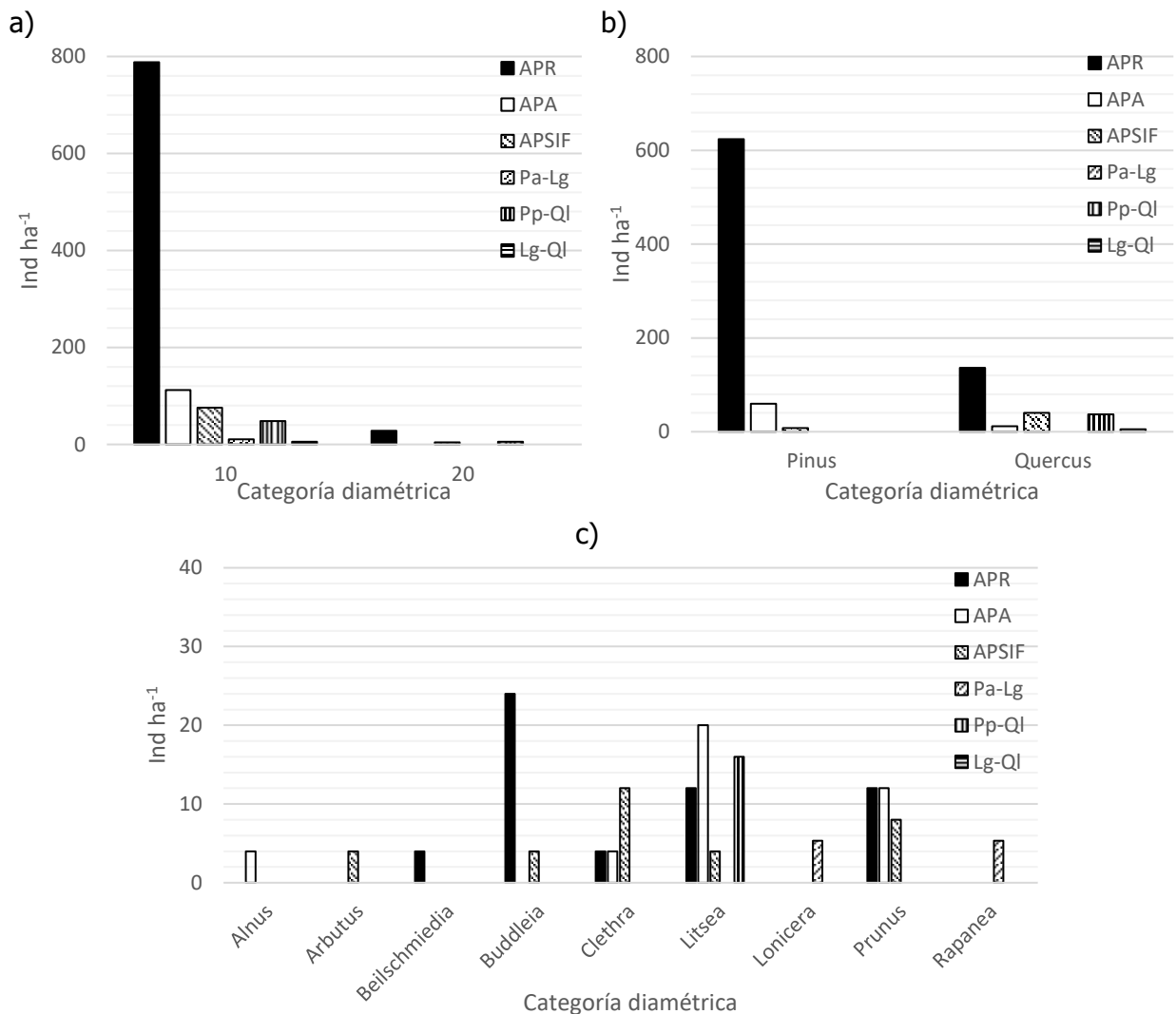


Figura 25. Número de individuos por categoría diamétrica (a) y por géneros (b y c) en cada tratamiento.

Incrementos anuales

Los incrementos anuales mostraron diferencias significativas como efecto de los tratamientos. APR presentó el mayor incremento en diámetro normal, altura y tiempo de paso. En volumen y área basal, los valores más altos estuvieron representados en las áreas de conservación forestal y sin intervención forestal (Cuadro 8).

Cuadro 8. Incrementos anuales por tratamiento

Tratamiento	DN cm	ALT m	VOL m ³ ha ⁻¹	AB m ² ha ⁻¹	TP años
APR	1.85 a ±0.16	2.01 a ±0.27	25.23 c ±8.25	2.58 a ±0.59	0.92 b ±0.08
APA	0.58 b ±0.16	1.71 a ±0.27	59.53 a ±8.25	1.85 ab ±0.59	3.65 a ±1.01
APSIF	0.39 b ±0.03	0.78 b ±0.14	57.15 a ±7.86	1.94 a ±0.19	4.33 a ±0.21
Pp-Ql	0.33 b ±0.03	0.93 b ±0.16	51.62 ab ±9.08	1.59 ab ±0.22	3.84 a ±0.31
Lg-Ql	0.3 b ±0.03	0.66 b ±0.16	20.03 c ±8.25	1.1 b ±0.22	4.35 a ±0.76
Pa-Lg	0.3 b ±0.03	0.49 b ±0.16	26.56 bc ±9.08	1.21 b ±0.22	4.22 a ±0.30
p valor	<0.0001	0.0014	0.0112	0.0504	<0.0001

DN = Diámetro normal, ALT= altura, Vol= volumen, AB = área basal, TP= tiempo de paso. ±E.E.

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

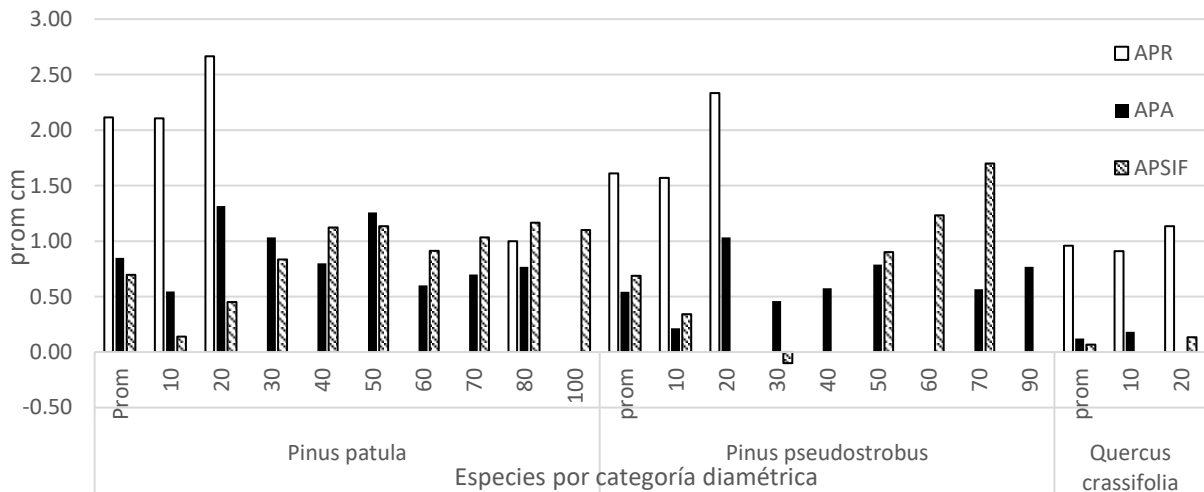


Figura 26. Incremento en DN por especie y categoría diamétrica en los tratamientos del área de producción.

Las diferencias en incremento del DN están definidas principalmente por las especies de interés comercial (Figura 26) que corresponden a *Pinus patula*, *Pinus pseudostrobus* y *Quercus laurina*. APR registró incrementos equivalentes al doble de los valores presentados en APA y APSIF para el promedio y las clases diamétricas ≤ 20 cm de DN.

Los incrementos en altura son dados principalmente por el crecimiento de las especies de interés comercial (Figura 27), donde en los sitios bajo tratamiento silvicultural dichas especies son favorecidas dando como resultado crecimientos mayores.

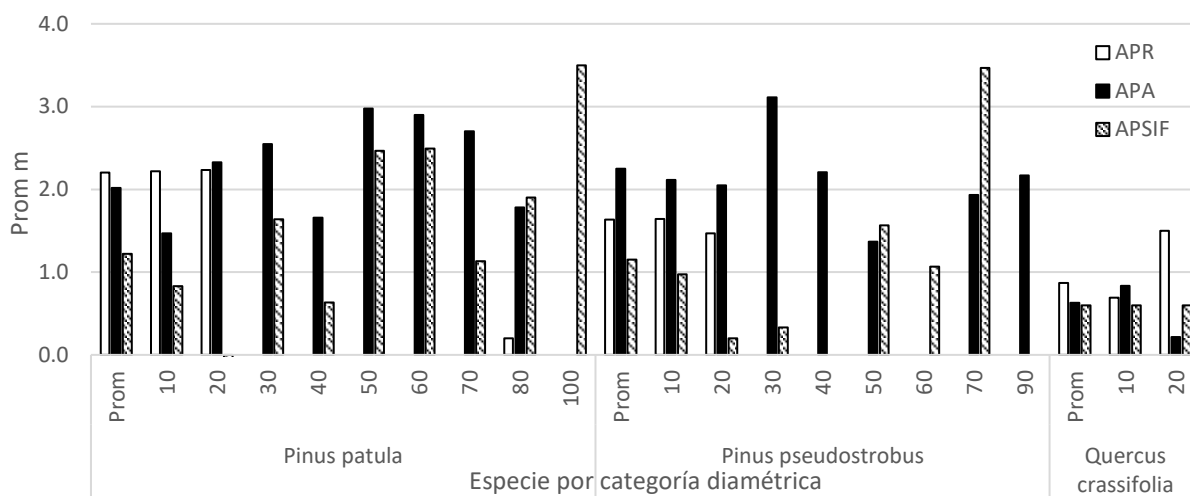


Figura 27. Incremento en altura por especie y categoría diamétrica en los tratamientos del área de producción.

Las diferencias significativas de APR reflejadas en un menor volumen es dada por el efecto del tratamiento silvicultural, pues por ser áreas de regeneración los volúmenes solo se presentan en las categorías diamétricas de 10 y 20; mientras que en APA y APSIF cubren la totalidad de categorías que sumados dan como resultado un mayor volumen (Figura 28).

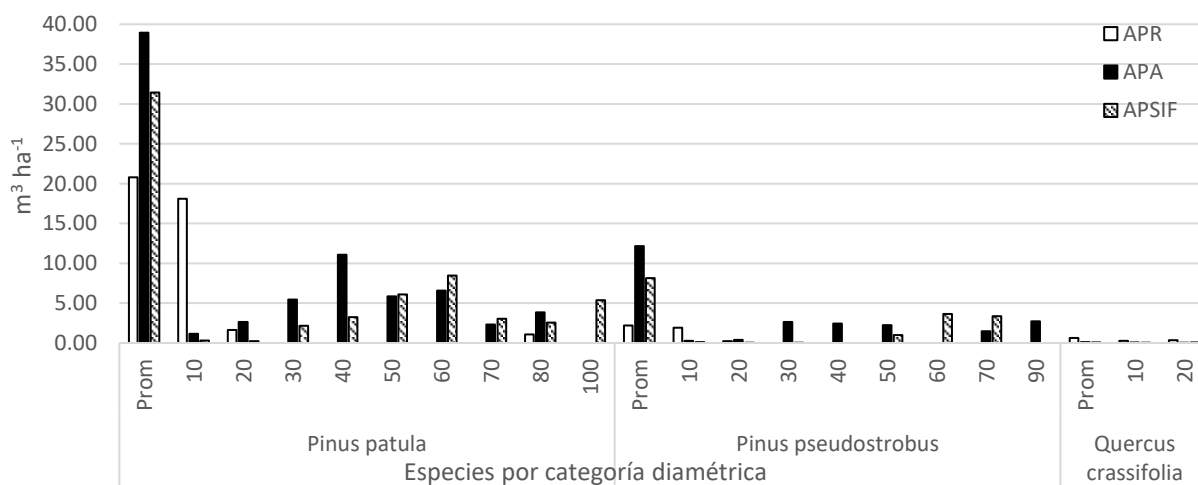


Figura 28. Incremento en volumen por especie y categoría diamétrica en los tratamientos del área de producción.

El tiempo de paso también se ve reflejado por las especies de interés comercial que se ven favorecidas durante el manejo forestal, y por ser especies de rápido crecimiento, el tiempo de paso es de casi el doble en APR comparado con APA y APSIF (Figura 29).

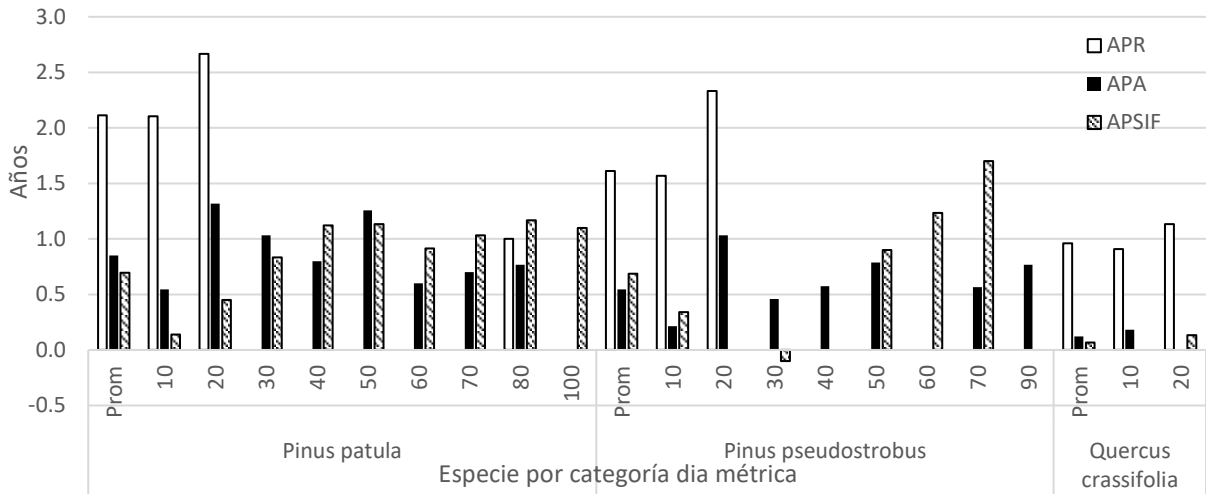


Figura 29. Tiempo de paso por especie y categoría diamétrica en los tratamientos del área de producción.

Los tratamientos correspondientes al área de conservación no mostraron diferencias significativas entre sí en todos los indicadores evaluados, a excepción del volumen donde Pp-Ql evidenció un incremento muy superior ($51.62 \pm 9.08 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) (Cuadro 8). Esta diferencia es dada principalmente por las especies del género *Pinus*, las cuales tienen un mayor incremento en Pp-Ql (Figura 30). En general estos tratamientos presentaron diferencias significativas con APA y APR.

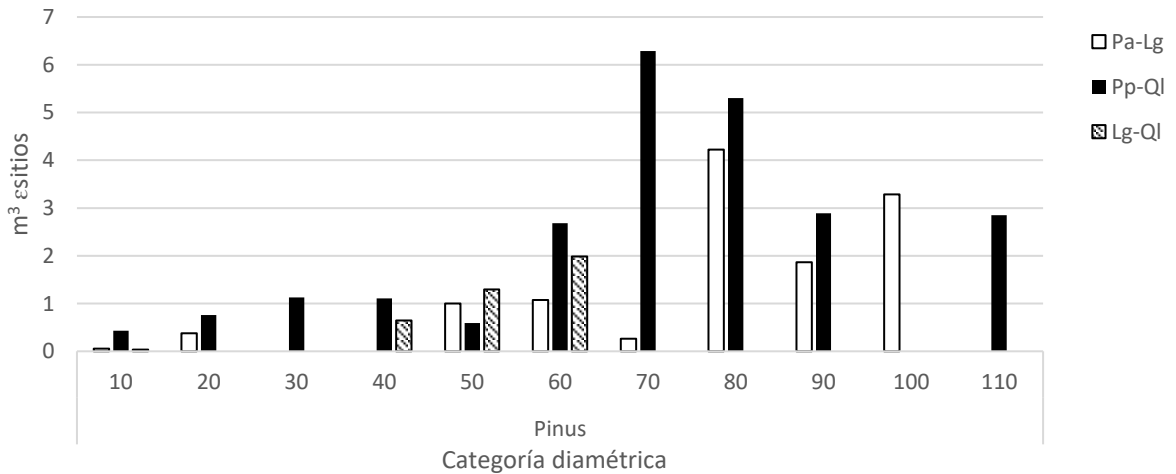


Figura 30. Incremento volumétrico por categoría diamétrica del género *Pinus* para los tratamientos del área de conservación forestal.

9. DISCUSIÓN

9.1. Riqueza y diversidad de la vegetación de un bosque de pino-encino bajo efectos de producción y de conservación forestal en la comunidad de Analco, Oaxaca, México

De acuerdo con las especies registradas en el muestreo se determinó la presencia de dos áreas dadas por la riqueza y disimilitud de especies: 1) conservación, y 2) producción, donde a 4 y 3 años de realizada la primera medición no se observan grandes efectos por el tiempo, estos resultados concuerdan con lo expuesto por Corral-Rivas *et al.* (2013) quienes mencionan que en bosques templados los cambios empiezan a notarse a los cinco años a partir de la última medición.

En el estudio realizado por Vázquez-Cortez (2016) se encontró que en el área de producción los tratamientos APR y APSIF presentaron mayor semejanza florística; aunque esperaba encontrar esa situación entre APA y APR, resultado que se obtuvo en este análisis y esto se debe principalmente a la homogeneidad de especies producto de las intervenciones silvícolas.

Los tratamientos silvícolas resultaron ser los más diversos y equitativos con una dominancia de entre 5 a 7 especies; mientras que las parcelas con tratamientos silvícolas (aclareo (APA) y corta de regeneración (APR)) registraron menor diversidad y resultaron dominados por una o dos especies que correspondieron a las especies comerciales (pinos) las cuales son de interés. En general en este estudio el manejo forestal mostró un efecto negativo sobre la biodiversidad.

Dichos efectos se deben en gran medida por el objetivo de producción de madera definidos en el PMFM la cual se está cumpliendo, debido a que se están favoreciendo a las especies de interés comercial; no obstante, el PMFM también estipula un objetivo de conservación de la biodiversidad la cual no se está cumpliendo; sin embargo, debe recordarse que las áreas evaluadas fueron intervenidas en el 2005, 2008 y 2009 para APR y hasta antes del PMFM no se realizaron tratamientos complementarios; sino hasta la autorización del PMFM en el 2013. A la par, para APA las intervenciones ocurrieron en 2013 y 2014 (APA); es decir, a 5 años de las intervenciones y los objetivos están plateados a 10 años los cuales corresponden al ciclo de corta y a 50 años para el turno. Es de relevancia mencionar que se observó una recuperación en los indicadores de diversidad, sobre todo en la incorporación de especies, por ejemplo, APR pasó de tener 7 a 10 especies.

Dentro de los resultados encontrados se obtuvo que APA registró la máxima riqueza esperada, y ello se debe a que estos sitios se están preparando para la cosecha final donde la densidad residual está enfocada a las especies de interés comercial, además de los individuos con las mejores condiciones morfológicas (>altura, >diámetro, fuste limpio, etc.). Cabe resaltar que las áreas sujetas al primer PMFM presentaron un bosque maduro al cual teóricamente le correspondería en general una corta final; sin embargo, para la

regularización y ordenación del bosque los tratamientos silviculturales fueron asignados de forma equitativa (PMFM 2013).

Derivado de un análisis de 20 estudios sobre el efecto que causa el manejo forestal a la diversidad en diferentes componentes (arbóreo, herbáceo, genética, entre otros), de los bosques templados de México, Monárrez-González *et al.* (2018) mencionan que los resultados son muy variables, pues en algunos se presentan efectos negativos (12); mientras que en otros un efecto positivo o nulo (ocho).

En cuanto a estudios de diversidad del componente arbóreo realizados en bosques de pino-encino del estado de Oaxaca se encontraron seis: Ramírez-Santiago (2006), Hernández-López (2007), Castaños-Bolaños *et al.* (2008), Leyva-López *et al.* (2010), Luna Bautista *et al.* (2015) y Vásquez-Cortez *et al.* (2018).

Estos estudios basan sus conclusiones en colecta de datos de áreas intervenidas de 15 años en promedio a excepción de Vásquez-Cortez *et al.* (2018) con evaluación de áreas intervenidas de 4 años. Tres estudios muestran que el manejo forestal no presenta efectos sobre la diversidad, tres más, incluyendo el presente estudio, muestran efectos negativos y solo un artículo presentó efectos positivos; sin embargo este último hace referencia a un incremento de diversidad cuanto mayor tiempo haya pasado de la intervención puesto que no comparó los datos con un testigo (Leyva-López *et al.* 2010).

No obstante, para los estudios con efectos nulos, a pesar de no haber diferencias significativas, las áreas aprovechadas presentaron valores menores de diversidad, así como una dominancia alta por un grupo reducido de especies correspondientes al género *Pinus*.

Analizando el tipo de muestreo realizado, cinco de los siete estudios analizan datos provenientes de parcelas temporales; mientras que dos, incluyendo este estudio, contemplan parcelas permanentes y para ambos los efectos resultantes son negativos para la diversidad.

Las diferencias en el efecto del manejo forestal están asociados a diferentes factores como los siguientes:

- a. Diferencias en los regímenes de intervención de los bosques (intensidad de corta, tratamiento silvicultural). Por ejemplo, los tratamientos de alta intensidad (matarraza, árboles padres, selección en grupos) tienden a tener un mayor impacto que aquellos de baja intensidad (corta de selección, aclareos, entresacas) (Corral-Rivas *et al.* 2005).
- b. La escala del manejo (espacial y temporal) donde a mayor extensión del área intervenida mayor impacto; mientras que para una misma parcela el efecto puede cambiar en el tiempo como el estudio de Leyva-López *et al.* (2010) y en este punto podría incluirse el presente estudio donde el efecto del tiempo con un alfa de 0.10%

los índices de Alpha de Fisher y InvSimp resultan significativos y se observa una recuperación en diversidad y equitatividad de los tratamientos.

- c. El sistema socio-ecológico del área; es decir, los diversos procesos naturales de los bosques y su comportamiento resultante por la intervención de la sociedad (manejadores y propietarios, en este caso) (Monárrez-González *et al.* 2018, Rodríguez *et al.* 2006).

Llegados a este punto es importante analizar ¿por qué emular la biodiversidad de los bosques sujetos a manejo forestal? o incluso ¿por qué aumentar esa biodiversidad?, estas preguntas para áreas bajo producción forestal como en este caso, carecen de importancia debido a que estos bosques son destinados a un objetivo (ej. Producción de madera).

Dentro de las respuestas a la pregunta se encuentran las funciones que esta biodiversidad realiza dentro de un ecosistema que en su mayoría no ha sido posible entender. Autores como Monárrez-González *et al.* (2018) describen que la conservación de esa diversidad es fundamental para la funcionalidad de los ecosistemas forestales por el simple hecho de contribuir a un servicio ecosistémico de apoyo o soporte.

Brzeziecki *et al.* (2018) han abordado estas preguntas analizando un área de conservación estricta desde 1921 y bajo un sistema de monitoreo permanente desde 1936, y concluyen que los bosques bajo conservación en una escala tanto espacial como temporal presentan tendencias en que aparezca un declive característico de un gran número de árboles mediante composiciones simples (homogeneización) debido a diversos factores como plagas y enfermedades, incendios etc., por lo que mencionan que el principal reto forestal es crear bosques más estables capaces de adaptarse a los cambios en curso de las condiciones climáticas y que sea capaz de satisfacer las necesidades de la sociedad, sus expectativas y requerimientos.

9.2. Composición de la vegetación

El manejo forestal de San Juan Evangelista Analco, Oaxaca, México, está cumpliendo el objetivo referente a la conservación de la biodiversidad, no solo con tener actualizado el inventario de las especies arbóreas; sino con el monitoreo de las mismas y prestar especial atención a las especies en alguna categoría de riesgo así como endémicas.

En cuanto a composición, los tratamientos del área de producción están compartiendo un 72% de las especies, donde se observa que para APR se obtuvo la mayor recuperación por la incorporación de especies (abundantes). A pesar de ello, en el análisis del IVI se observa que el peso ecológico de las especies está cambiando, esto por efectos del tratamiento silvicultural donde se busca dar preferencia a las especies de interés comercial (Gadow *et al.* 2004, Torres-Rojo *et al.* 2016), en este caso a *Pinus patula*, principalmente. Esta acción necesariamente recurre a una reducción del peso ecológico de otras especies y en algunos casos el desplazamiento de especies como *Quercus obtusata* para este estudio.

9.3. Estructura de la vegetación

Los valores de densidad de árboles mayores a 7.5 cm de DN se encuentran dentro del rango de 428 Ind. ha⁻¹, así como un área basal mayor a 12.0 m² ha⁻¹ reportado por el INFyS (2009).

La densidad de árboles dependerá del tiempo transcurrido de la intervención y en algunos casos logrará superar dichos valores por efectos del manejo forestal (Ramírez-Santiago 2006, Luna-Bautista 2014).

Las curvas de distribución diamétrica concordaron con otros estudios realizados en la región al presentar una distribución de "J" invertida, así como una distribución unimodal sesgada a la derecha con tratamientos silvícolas (Ramírez-Santiago 2006, Hernández-López 2007, Castaños-Bolaños et al 2008, Leyva-López *et al.* 2010, Luna Bautista et al 2015 y Vásquez-Cortez *et al.* 2018).

Los efectos sobre el área basal fueron negativos en la primera medición (2014-2015); no obstante, se observó una recuperación en un periodo de tres y cuatro años, esto por el favorecimiento de las especies sobre comerciales (Gadow *et al.* 2004, Torres-Rojo *et al.* 2016).

No se encontraron estudios referentes al volumen en la región. En el presente análisis se estimó que el mayor volumen se halla distribuido en el área de conservación, donde a pesar de tener características de un bosque de viejo crecimiento, sigue en crecimiento, pues existieron diferencias significativas por efectos del tiempo.

Los efectos por los tratamientos silvícolas fueron significativos, sobre todo en APR, donde estas áreas fueron sujetas a una corta de regeneración de árboles padre la cual implicó la remoción total de individuos existentes a excepción de los árboles padres (Monárrez-González *et al.* 2018). El tratamiento silvicultural de aclareos no mostró diferencias significativas por lo que existe un efecto nulo de la misma.

La distribución de alturas del bosque de pino-encino fue similar al de otros bosques similares de la región donde se presenta una distribución de "j" invertida (Luna Bautista *et al.* 2015 y Vásquez-Cortez *et al.* 2018).

Con relación con estratos, el presente estudio es el primero en analizarlos por género, en los que se definieron cuatro estratos.

9.4. Dinámica de la vegetación

La dinámica ha sido poco estudiada en la Sierra Juárez de Oaxaca, e incluso en un nivel nacional (México), pues se tiene todavía un desconocimiento sobre este tema (Trigueros Bañuelos *et al.* 2014), es así como el presente estudio representa los primeros datos basados en evidencias a largo plazo para la región de la Sierra Juárez de Oaxaca.

La mortalidad no varió entre los tratamientos como se esperaba (mayor mortalidad en los sitios de producción), y esto se debe principalmente a que los tratamientos silviculturales (aclareo y corta de regeneración) fueron aplicados antes de la primera medición de los sitios; por lo tanto, la mortalidad observada hace referencia a la "natural", provocando que no existe una variabilidad entre los tratamientos.

Con la mortalidad natural se esperaba encontrar un mayor valor en las áreas sin tratamiento silvícola debido a la existencia de mayor competencia; no obstante, esto no se vio reflejado en el presente estudio. Las razones pueden deberse principalmente a que la segunda medición se realizó a tres años por lo que el efecto del tiempo aún no se ve reflejado.

Para el tratamiento APR, que ha sido sujeto a chaponeos y a un preaclareo, los efectos no son notorios debido a que los individuos evaluados son mayores a 7.5 cm y el tratamiento está enfocado en liberar y favorecer los mejores individuos dando prioridad a los ya instalados; es decir, la mortalidad está ocurriendo en individuos con diámetro inferior a los medidos.

Para ambos tratamientos las prescripciones de manejo serán aplicadas en 10 años (PMFM 2013) por lo que el efecto de los tratamientos silvícolas podrá ser percibido hasta entonces, concordando por lo expuesto por Trigueros Bañuelos *et al.* (2014) quienes mencionan que en bosques productivos, la mortalidad por manejo silvícola es mayor comparado con sitios sin manejo. Smith *et al.* (2005) también menciona que en bosques mixtos de coníferas la densidad del rodal es una causa de mortalidad. En este sentido los tratamientos silvícolas funcionarían como procesos estocásticos.

De acuerdo con Carey *et al.* (1994), explicar las causas de la mortalidad es complejo, debido a que interviene una extensa combinación de elementos que en su mayoría son difíciles de identificar. No obstante, algunos autores como Bigler y Bugmann (2003) mencionan que los comportamientos de mortalidad probablemente se deban a procesos determinísticos como la competencia (Návar-Cháidez y Domínguez-Calleros 2013) expresada en términos de recursos (Bigler y Bugmann 2003) o al espacio y disponibilidad para crecer y reproducirse (Connell *et al.* 1984); además de las características de estos sitios, que para el área de estudio corresponden a bosques de viejo crecimiento como lo menciona Manzano *et al.* (2015), y esto hace que exista una mayor muerte de especies pioneras (Kennard 2002, Van Mantgem *et al.* 2009). Lugo y Scatena (1996) señalan que la mortalidad es generada

comúnmente por procesos como la senescencia o por factores exógenos, situación que puede ser aplicado para el caso de estudio.

En el área de estudio los procesos estocásticos como los incendios, las plagas, enfermedades y/o sequías (Lugo y Scatena 1996; Návar-Cháidez y Domínguez-Calleros 2013) no se presentaron.

Las tasas de mortalidad determinadas en los diferentes tratamientos, a excepción de Lg-QI, corresponden a lo que Lugo y Scatena (1996) llaman "Transfondo" o "natural o intrínseca" (Trigueros Bañuelos *et al.* 2014), definido por una mortalidad menor al 5% donde los eventos de mortalidad se dan a pequeña escala con árboles muertos en pie, rompimiento de tallos y volcamiento de la raíz a escala espacial pequeña, lo que ocasiona cambios graduales.

Bajo esta clasificación Lg-QI presenta una mortalidad "catastrófica" debido a que registra un valor de 5.15% ($> 5\%$) la cual se encuentra muy cercana al valor mencionado por Lugo y Scatena (1996); por consiguiente en estos sitios se presentan cambios significativos (Melo y Vargas 2003). Este efecto puede explicarse debido a que estos sitios son considerados como una masa "pura" de *Litsea glaucescens* y de acuerdo con el estudio de Vázquez-Cortez (2016) se tienen niveles de sombra muy altos, lo que está ocasionando problemas en la transición de individuos juveniles hacia adultos y la muerte de ciertos individuos. Esta información se constató en la remediación realizada debido a que muchos individuos reportados como "puntisecos" en la primera medición fueron hallados muertos.

En relación con las tasas de reclutamiento calculadas, los valores de APSIF y Pp-QI fueron similares a las tasas de mortalidad, lo que demuestra que estos sitios se encuentran en equilibrio; mientras que para Pa-Lg y Lg-QI los valores son inferiores indicando una inestabilidad de estos sitios los cuales se deben principalmente a problemas de regeneración, niveles de sombra (Lg-QI) y probablemente a que son los ecosistemas más maduros.

La tasa de reclutamiento fue mayor a la tasa de mortalidad para los tratamientos APR y APA, lo que muestra que el bosque tiene una alta capacidad para recuperarse de las intervenciones silvícolas en un periodo relativamente corto y mantener una estabilidad ecológica del ecosistema como lo mencionan Trigueros Bañuelos *et al.* (2014), donde describen que el manejo silvícola aumenta el reclutamiento contrario a lo que describen autores como Quinto *et al.* (2009). La mayor diferencia se presentó en APR y esto se debe principalmente a que como lo estipula el PMFM (2013), inmediatamente de la corta de regeneración se realizó la reforestación de los sitios intervenidos con una densidad de 1111 ind ha⁻¹; por lo tanto en estos sitios se tiene regeneración natural e inducida, lo que incrementa los valores de reclutamiento.

Una de los aspectos observados se debe a que las especies reclutadas corresponden a las especies más dominantes del sitio concordando con lo expuesto por González (1986).

El crecimiento es analizado a través del DN, altura, área basal, volumen y tiempo de paso, bajo el supuesto de que todo crecimiento implica un estado inicial mensurable y los cambios en ese estado se dan con el paso del tiempo (incrementos) (Louman *et al.* 2001).

Las diferencias significativas en los incrementos del diámetro normal, altura y tiempo de paso son atribuidos a la aplicación de los tratamientos silvícolas los cuales han influenciado al enriquecimiento de los árboles como resultado del manejo forestal. Estos efectos son considerados como positivos (Trigueros Bañuelos *et al.* 2014; Ortiz 2017).

En volumen, en las áreas con aplicación de los tratamientos silvícolas (APA y APR) es donde menos volumen se obtuvo y esto está directamente relacionado con la extracción de madera, y es APR donde se realizó la remoción total de los individuos; por lo tanto, fue el menor valor. En este aspecto el impacto del manejo forestal resulta ser negativo; no obstante, se encontró una recuperación de los valores.

Los incrementos están asociados a otros factores como genéticos y fisiológicos de la especie, a la influencia de factores climáticos (disponibilidad de luz, temperatura, precipitación, etcétera), y por las características físico-químicas y biológicas de los suelos; la topografía del sitio, así como a enfermedades y competencia de árboles (Vanclay 1994,1995; Ortiz 2017). Sin embargo, las parcelas fueron instaladas en áreas homogéneas para buscar la normalidad; por lo tanto, no se le atribuyen estos factores.

La topografía del sitio fue considerada durante el establecimiento de las PPM por lo que no representan un factor. Por otro lado, la presencia de plagas y enfermedades actuales no es apreciable; sin embargo, se tiene conocimiento de que en el pasado las áreas de producción estuvieron sujetas a plagas por el *Dendroctonus*; mientras que el área de conservación no. No obstante, los individuos evaluados no presentaban este tipo de daños.

Por último, es de importancia mencionar que con el presente estudio se obtienen las primeras respuestas sobre si los objetivos del PMFM se están cumpliendo, y en este caso los referentes a conservación y producción maderable se han logrado. Esto haciendo un análisis del PMFM donde el volumen anual autorizado corresponde a 2412 m³; no obstante, con este estudio se demuestra que el bosque tiene un crecimiento anual promedio de 40.02 m³ ha; por lo consiguiente, con las 88 ha bajo producción intensiva tendrían una posibilidad anual de 3512.76 m³ ha sin poner en riesgo su capital natural.

Para todos los análisis sobre dinámica un efecto importante es la interacción de las personas sobre el bosque y en especial los dueños y poseedores, así como los manejadores forestales, quienes al aplicar de manera adecuada los tratamientos, hacen posible obtener buenos resultados.

10. CONCLUSIONES

Los valores de biodiversidad y de producción del bosque de pino-encino de la comunidad de San Juan Evangelista Analco difieren de acuerdo con el objetivo principal designado para cada área.

A cinco años de manejo forestal, los objetivos de conservación de la biodiversidad se están cumpliendo en las áreas de conservación al mantener los valores en este intervalo de tiempo; mientras que en las áreas de producción el manejo ha cambiado la composición aumentando la dominancia de especies comerciales. Como resultado la diversidad de especies ha disminuido.

Los tratamientos silvícolas favorecen el establecimiento y crecimiento de las especies de interés comercial enfocados hacia la producción de madera.

A cinco años de intervención forestal los objetivos de producción referentes a la reposición de los valores del número de individuos por hectárea, área basal y volumen, se están cumpliendo con el manejo actual, representados por un aumento y una recuperación de los valores.

Con tres años de evaluación los tratamientos silvícolas están aumentando los valores de reclutamiento, así como los incrementos en DN, altura y reducción en los tiempos de paso. Como resultado han aumentado los valores de producción enfocados en la producción de madera.

Con los incrementos obtenidos en tres años de monitoreo, el volumen total anual potencial es mayor que el volumen total anual promedio autorizado en el PMFM. De acuerdo con esto, la comunidad de San Juan Evangelista Analco puede optar por la posibilidad de incrementar el volumen de aprovechamiento.

11. RECOMENDACIONES

- Continuar con las remediciones de las parcelas permanentes de medición.
- Continuar con las remediciones del área de conservación y tomar acciones de manejo cuando se cuenten con cambios significativos.
- Con la finalidad de hacer ajustes a los volúmenes autorizados que se calculan mediante incrementos, así como realizar modelaciones y predicciones, se recomienda realizar la tercera remediación en el 2021.
- En la metodología, es importante incorporar la remediación de individuos de la categoría diamétrica de 5 cm (DN de 2.5 a 7.4 cm) y así monitorear de mejor manera los cambios, sobre todo en reclutamiento y mortalidad debido al manejo forestal.
- Durante la aplicación de aclareos favorecer a especies raras y sin interés comercial, además de incorporar el criterio de estratos del presente estudio, para contribuir al logro del objetivo de conservación en las áreas de producción.
- Prestar especial atención al bosque de Lg-QI debido dado que presenta problemas de regeneración y los valores de conservación indican una tendencia a disminuir.
- La especie *Litsea glaucescens*, a pesar de ser una especie catalogada como en peligro de extinción, tiene valores muy altos en cuanto al IVI en los tratamientos de APR y APA, por lo que podría evaluarse la posibilidad de realizar un aprovechamiento más intensivo de la especie en estos sitios.
- Continuar con la generación del conocimiento a partir de la conciencia ciudadana, donde se incorporen a jóvenes de la comunidad en los proyectos de investigación y en la toma de decisiones para fomentar aún más el manejo forestal comunitario.

12. LITERATURA CITADA

- Aguilar, S; Mazá, M; Hernández, A; Cifuentes, G. 2006. Desarrollo de un sistema de parcelas forestales permanentes de muestreo en Guatemala. Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA). Guatemala, Guatemala. 146 p.
- Aguirre-Calderón, OA. 2015. Manejo Forestal en el Siglo XXI. *Revista Madera y bosques* 21: 17-28.
- Araujo-Murakami, A; Arroyo-Padilla, L; Killeen, TJ; Saldias-Paz, M. 2006. Dinámica del bosque, incorporación y almacenamiento de biomasa y carbono en el Parque Nacional Noel Kempff Mercado. *Ecología en Bolivia* 41(1):24-45.
- Arriaga, L; Espinoza, JM; Aguilar, C; Martínez, E; Gómez, L; Loa, E. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.
- Bigler, C y Bugmann, H. 2003. Growth-dependent tree mortality models based on tree rings. *Canadian Journal of Forest Research* 33:210-221.
- Bravo-Nuñez, E. 1991. Sobre la cuantificación de la diversidad ecológica. *Hidrobiológica* 1: 87-93.
- Bray DB y Merino PL. 2004. La experiencia de las Comunidades Forestales en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología-Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A.C. México. 20 p.
- Brzeziecki, B; Bielak, K; Bolibok, L; Drozdowski, S; Zajaczkowski, J; Żybura, H. 2018. Structural and compositional dynamics of strictly protected woodland communities with silvicultural implications, using Białowieża Forest as an example. *Annals of Forest Science* 75(3):89(1-15).
- Carey, Y.V; Brown, S; Gillespie, A.J.R; Lugo A. 1994. Tree mortality in mature lowland tropical moist and tropical lower montane moist forests of Venezuela. *Biotropica* 26:255-265.
- Castellanos-Bolaños, JF; Treviño-Garza, EJ; Aguirre-Calderón, ÓA; Jiménez-Pérez, J; Musalem-Santiago, M; López-Aguillón, R. 2008. Estructura de bosques de *Pinus pátula* bajo manejo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera Bosques* 14(2):51-63.
- CBC (Comisariado de Bienes Comunales). 12 mar. 2018. Manejo forestal en San Juan Evangelista Analco: Historia, Retos y Oportunidades (Skype), Oaxaca, México.
- CBC-CCMSS-ERA. 2005. Plan de ordenamiento territorial comunitario de San Juan Evangelista Analco "Lachia-Duni". Comisariado de bienes comunales, Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A. C. y Estudios Rurales y asesoría, A. C. Oaxaca, México. 99 p.
- CCMSS (Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A.C). 2018. Propiedad social en México (En línea). Consultado 10 sep. 2018. Disponible en: <http://www.ccmss.org.mx/10-datos-fundamentales-de-la-propiedad-social-en-mexico/>.
- CEM (Continuo de Elevaciones Mexicano). 2013. Base de datos del Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (En línea). Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática. México. Consultado 2 mar. 2018. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continuoelevaciones.aspx>.

- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. Instituto de Biología de la UNAM y Agrupación Sierra Madre S.C. México. 847 p.
- Challenger, A., y J. Soberón. 2008. Los ecosistemas terrestres, en Capital natural de México, vol. 1: Conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. México. 108 p.
- CMDRS. 2009. Plan Municipal de desarrollo 2008-2010 de San Juan Evangelista Analco, Ixtlán, Oaxaca. Concejo Municipal de Desarrollo Rural Sustentable. Oaxaca, México. 100 p.
- CMDRS. 2011. Plan Municipal de desarrollo 2011-2013 de San Juan Evangelista Analco, Ixtlán, Oaxaca. Concejo Municipal de Desarrollo Rural Sustentable. Oaxaca, México. 104 p.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2018. Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (En línea). Consultado 10 sep. 2018. Disponible en: http://avesmx.conabio.gob.mx/FichaRegion.html#AICA_11.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2019. ¿Qué es un país megadiverso? (En línea). Consultado 11 jun. 2019. Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/quees.html>.
- CONAFOR. 2012. Inventario Nacional Forestal y de Suelos, México 2004-2009. Comisión Nacional Forestal. México. 212 p.
- CONAFOR. 2013. Inventario Estatal Forestal y de Suelos de Oaxaca 2013. Comisión Nacional Forestal. México. 170 p.
- CONAFOR. 2016. Base de datos: Certificación Forestal en México. Comisión Nacional Forestal. México. 5 p.
- CONAFOR. 2017. Estudio regional forestal de la UMAFOR 2001. Comisión Nacional Forestal, Delegación estatal Oaxaca. Oaxaca, México. 212 p.
- CONAFOR-SEMARNAT. 2001. Programa Estratégico Forestal para México 2025. Informe final. Versión 2.1. México. 191 p.
- CONANP. 2019. Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (En línea). Consultado 11 jun. 2019. Disponible en: <https://www.gob.mx/conanp/articulos/areas-destinadas-voluntariamente-a-la-conservacion-193238>
- Connell, J.H; Tracey, J.G; Webb, L.J. 1984 Compensatory recruitment, growth, and mortality as factors maintaining rain forest tree diversity. *Ecological Monographs* 54:141-164.
- Corella Justavino, F; Valdez Hernández, JI; Cetina Alcalá, VM; González Cossio, FV; S.A. Trinidad Santos, A; Aguirre Rivera, JR. 2001. Estructura forestal de un bosque de mangles en el noreste del estado de Tabasco, México. *Ciencia Forestal en México* 26 (90): 73-102.
- Corral-Rivas, J.J; Aguirre -Calderón, O. A; Jiménez-Pérez, J; CorralRivas, S. 2005. Un análisis del efecto del aprovechamiento forestal sobre la diversidad estructural en el bosque mesófilo de montaña «El Cielo», Tamaulipas, México. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 14(2): 217–228.
- Corral-Rivas, JJ; Vargas-Larreta, B; Wehenkel, C; Aguirre-Calderón, OA. 2008. Guía Metodológica para el Establecimiento de Sitios de Investigación Forestal y de Suelos del

- Estado de Durango. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. México. 8 p.
- Corral-Rivas, JJ; Vargas-Larreta, B; Wehenkel, C; Aguirre-Calderón, OA; Crecente-Campo, F. 2013. Guía para el establecimiento, seguimiento y evaluación de sitios permanentes de monitoreo en paisajes productivos forestales. CONAFOR-CONACYT. México. 93 p.
- Curtis, JT; McIntosh RP. 1951. An Upland forest continuum in the pariré-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32: 476-496.
- Delgado-Zamora, DA; Heynes-Silerio, SA; Mares-Quiñones, MD; Piedra-Leandro, NL; Retana-Rentería, FI; Rodríguez-Corral, K; Villanueva-Hernández, AI; González-Elizondo, MS; Ruacho-González, L. 2016. Diversidad y estructura arbórea de dos rodales en Pueblo Nuevo, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7 (33): 94-107.
- Di Rienzo JA, Macchiavelli RE, Casanoves F (2011) Modelos lineales mixtos: aplicaciones en InfoStat Grupo Infostat, Córdoba 193.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Pla, L; Vilchez, S; Di Rienzo, MJ. 2010. Qeco-Quantitative ecology software: A collaborative approach. Nota Informativa, *Revista Latinoamericana de Conservación* 1: 73-75.
- Easdale TA; Gurvich DE; Sersic AN; John JR. 2007. Tree morphology in seasonally dry montane forest in Argentina: Relationships with shade tolerance and nutrient shortage *Journal of Vegetable Science*, 18: 313-326.
- Estatuto comunal. 2010. Estatuto comunal de San Juan Evangelista Analco. Comisariado de Bienes comunales. Oaxaca, México. 80 p.
- Ezquerro García, M. 2011. Análisis de la respuesta del bosque de pino-encino ante cambios en la selvicultura aplicada: Caso de Ixtlán De Juárez, Oaxaca, México. Tesis de licenciatura. Madrid, España. Universidad Politécnica de Madrid-Universidad de la Sierra Juárez. 295 p.
- Fisher, A; Corbet, S; Williams, B. 1943. The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *Journal of Animal Ecology* 12 (1): 42-58.
- FSC (Forest Stewardship Council). 2018. Certificación: Manejo Forestal (En línea). Consultado 10 sep. 2018. Disponible en: <https://mx.fsc.org/es-mx/certificacion/mf>.
- Gadow, K.V; Sánchez Orois, S; Aguirre Calderón, OA. 2004. Manejo forestal con bases científicas. *Madera y bosques* 10 (2): 3-16.
- Gadow, KV; Hui, G. 1999. Modelling forest development. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, Netherlands. Germany-China. 213 p.
- Gobierno de la República. 2016. Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México y plan de acción 2016 – 2030. CONABIO. México. 388 p.
- González V., L. M. 1986. Contribución al conocimiento del género *Quercus* (Fagaceae) en el estado de Jalisco. Colección Flora de Jalisco. Instituto de Botánica, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal. México. 241 p.

- González-Elizondo, MS; González-Elizondo, M; Tena-Flores, J; Ruacho-González, L; López-Enríquez, L. 2012. Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: Una síntesis. *Acta Botánica Mexicana* 100: 351-403.
- Guzmán-Mendoza, R; Zavala-Hurtado, JA; Castaño-Meneses, G; León-Cortés, JL. 2014. Comparación de la mirmecofauna en un gradiente de reforestación en bosques templados del centro occidente de México. *Madera y Bosques* 20 (1): 71-83.
- Hernández López, I. 2007. Cambios en la estructura y composición del bosque bajo dos tratamientos silviculturales en la Comunidad de Capulálpam de Méndez, Ixtlán, Oaxaca, México. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 103 p.
- Hernández-Salas, J. 2012. Efecto del manejo forestal en la diversidad, composición y estructura de un bosque de *Pinus arizonica* Engelm. en el ejido El Largo, Chihuahua, México. Tesis de Dr. Chihuahua, México. Universidad Autónoma de Nuevo León. 127 p.
- Hill, O. 1973. Diversity and evenness. A unifying notation and its consequences. *Ecology* 54: 427-432.
- Huanca Huarachi, G. 2015. Evaluación silvícola del manejo de pinares en municipios de Yamaranguila y San Marcos de Sierra, departamento de Intibucá, Honduras. Tesis de Msc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 105 p.
- Husch, B. 1993. *Forest Mensuration*. 3rd ed. Krieger Publishing. 1993.
- INEGI. 2005a. Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación: escala 1:250 000 (En línea). Serie III (continuo nacional). Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática. Consultado 10 mar. 2018. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/usosuelo/>
- INEGI. 2015. Guía para la interpretación de cartografía Uso del suelo y vegetación Escala 1:250 000 Serie V. México. 195 p.
- INEGI. 2018. Compendio de información geográfica municipal 2010, San Juan Evangelista Anasco Oaxaca. Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática. México. 9 p.
- Kennard, D.K. 2002. Secondary forest succession in a tropical dry forest: patterns of development across a 50-year chronosequence in lowland Bolivia. *Tropical Ecology* 18:53-66.
- Lamprech, H. 1990. *Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*. Alemania. 335 p.
- Levers, C; Verkerk, PJ; Müller, D; Verburg, PH; Butsic, V; Leitão, PJ; Lindner, M; Kuemmerle, T. 2014. Drivers of forest harvesting intensity patterns in Europe. *Forest Ecology and Management* 315:160-172.
- Leyva-López, JC; Velázquez-Martínez, A; Ángeles-Pérez, G. 2010. Patrones de diversidad de la degeneración natural en rodales mezclados de pinos. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente* XVI(2):227-240.
- López-Hernández, JA; Aguirre-Calderón, ÓA; Alanís-Rodríguez, E; Monárrez-González, JC; González-Tagle, MA; Jiménez-Pérez, J. 2017. Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México. *Madera y Bosques* 23 (1): 39-51.
- López-Torres, J.; Tamarit-Urías, JC. 2005. Crecimiento e incremento en diámetro de *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth. en bosques secundarios en Escárcega, Campeche, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* XI:117-123.

- Louman, B; Valerio, J; Jiménez, W. 2001. Bases ecológicas. In Louman, B; Quirós, D; Nilsson M. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 78 p.
- Lugo, A.E y Scatena F.N. 1996. Background and catastrophic tree mortality in tropical moist, wet and rain forests. *Biotropica* 28:585-599.
- Luna-Bautista, L. 2014. Aprovechamiento forestal y su impacto en la vegetación y propiedades físicas del suelo en Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 110 p.
- Luna-Bautista, L; Hernández-de la Rosa, P; Gómez-Guerrero, A; Velázquez-Martínez, A; Acosta-Mireles, M. 2015. Understory in the composition and diversity of managed forest areas in Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente XXI(1):109-121.*
- Magurran, A. 1988. Ecology diversity and its measurement. New Jersey. Princeton. 179 p.
- Manzano Méndez, F. 12 mar. 2018. Manejo forestal en San Juan Evangelista Analco: Historia, Retos y Oportunidades (Skype), Oaxaca, México.
- Manzano Méndez, F; Sandoval García, R; Martínez-Cruz, L. 2015. Establecimiento y manejo de atributos de alto valor para la conservación en San Juan Evangelista Analco, Ixtlán, Oaxaca. Comisión Nacional Forestal-Comisariado de Bienes Comunes. Oaxaca, México. 50 p.
- Margalef, R. 1972. Homage to Evelyn Hutchinson, or why there is an upper limit to diversity. *Transactions of the Connecticut Academy of Arts Sciences* 44: 211-235.
- Márquez Linares, MA; González Elizondo, S; Álvarez Zagoya, R. 1999. Componentes de la diversidad arbórea en bosques de pino encino de Durango, México. *Madera y Bosques* 5 (2): 67-77.
- Martínez-Cruz L. 2016. Evaluación y monitoreo de la biodiversidad en el área de conservación forestal de Analco, Ixtlán, Oaxaca. Tesis de licenciatura. Oaxaca, México. Universidad de la sierra Juárez. 102 p.
- Melo, O. y Vargas F. 2003. Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos. Universidad del Tolima, CRQ, Carder, Corpocaldas, Cortolima. 235 p.
- Mittermeier, R y Goettsch, C. 1992. Importancia de la diversidad biológica de México. En: J. Sarukhán y R. Dirzo (Eds.), México ante los retos de la biodiversidad. CONABIO, México. pp. 43-55.
- Monárrez-González, JC; Pérez-Verdín, G; López-González, C; Márquez-Linares, MA; González Elizondo, MDS. 2018. Efecto del manejo forestal sobre algunos servicios ecosistémicos en los bosques templados de México. *Madera y Bosques* 24(2):1-16.
- Moreno, CE. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA, vol.1. Zaragoza, España. 84 p.
- Návar-Cháidez, J de J y Domínguez-Calleros, PA. 2013. Modelo de incremento y rendimiento: ejemplos y aplicaciones para bosques templados mexicanos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4(18):8-27.
- Newton, C. 2007. *Forest Ecology and Conservation*. Oxford University Press. New York, USA. 135 p.

- Olvera Vargas, M; Moreno Gómez, S; Figueroa Rangel, B. 1996. Sitios permanentes para la investigación silvícola. Manual para su establecimiento. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México. 61 p.
- Ortiz L.N. 2017. Dinámica forestal en un relicto de bosque secundario tardío, Sector Santa Teresa, Río Negro, Junín. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 59 p.
- Pavón, P; Moreno E; Ramírez-Bautista, A. 2012. Biomasa de raíces en un bosque templado con y sin manejo forestal en Hidalgo, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 18 (3): 304-312.
- Pielou, C. 1966a. The Measurement of Diversity in Different Types of Biological Collections. *Journal of Theoretical Biology* 13: 131-144.
- Pielou, C. 1966b. Species-Diversity and Pattern-Diversity in the Study of Ecological Succession. *Journal of Theoretical Biology* 10: 370-383.
- Plascencia, L; Castañón, A; Raz-Guzmán, A. 2011. La biodiversidad en México su conservación y las colecciones biológicas. *Ciencias* 101: 36-43.
- PMFM (Programa de Manejo Forestal Maderable). 2013. Programa de manejo para el aprovechamiento, conservación y restauración de los recursos forestales de San Juan Evangelista Analco, Ixtlán, Oaxaca. Universidad de la Sierra Juárez. Oaxaca, México. 185 p.
- Quinto Mosquera, H; Rengifo Ibarquén, R; Ramos Palacios, YA. 2009. Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque pluvial tropical de Chocó (Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía – Medellín*. 62 (1): 4855-4868.
- Ramírez, R. 2005. Efectos de la aplicación de dos métodos de regeneración sobre la estructura, diversidad y composición de un bosque de pino-encino en la Sierra Juárez, Oaxaca, México. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 86 p.
- Ramírez-Santiago, R. 2006. Efectos de la aplicación de dos métodos de regeneración sobre la estructura, diversidad y composición de un bosque de pino-encino en la Sierra Juárez de Oaxaca, México. Tesis Magister Scientiae. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1-103 p.
- RAN (Registro Agrario Nacional). 2018. Base de datos de regímenes de propiedad en Oaxaca. Oaxaca, México. 5 p.
- Rodríguez, J.P; Beard, T.D; Bennett, E.M; Cumming, G.S; Cork, S.J; Agard, J; ... Peterson, G.D. (2006). Trade-offs across Space, Time, and Ecosystem Services. *Ecology and Society*, 11(1): 1-28.
- Rodríguez-Trejo, DA y Myers, RL. 2010. Using oak characteristics to guide fire regime restoration in mexican pine-oak and oak forests. *Ecological Restoration*, 28 (3): 304-323.
- Rubio-Camacho, EA; González-Tagle, MA; Himmelsbach, W; Ávila-Flores, DY; Alanís-Rodríguez, E; Jiménez-Pérez, J. 2017. Patrones de distribución espacial del arbolado en un bosque mixto de pino-encino del noreste de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88 (1): 113-121.
- Ruiz-Aquino, F; Valdez-Hernández, JI; Romero-Manzanares, A; Manzano-Méndez, F; Fuentes-López, ME. 2015. Spatial distribution of two oak species and ecological attributes of pine-oak woodlands from Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 21 (1): 67-80.

- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 P.
- Rzedowski, J. 1998. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México, en T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.) Diversidad biológica de México: orígenes y distribución. Instituto de Biología, UNAM. México. 129-145.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ra, Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 p.
- SEMARNAT. 2016. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2016. México. 228 p.
- SEMARNAT. 2016. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2015 (Report on the State of the Environment in México 2015). México. 470 p.
- Smith, T.F; Rizzo D.M.; North M. 2005. Patterns of mortality in an old-growth mixed-conifer forest of the southern Sierra Nevada, California. *Forest Science* 51:266–275.
- Solís Morales, A. 2011. Estructura y composición de los bosques de montaña en la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas, México. Tesis de Licenciatura. Coahuila, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. 92 p.
- Taylor Aquino, N. 2016. Estructura y composición de bosques en paisajes manejados de Los Altos de Chiapas. Tesis de maestría. Chiapas, México. El Colegio de la Frontera Sur. 44 p.
- Torres-Rojo, JM; Moreno-Sánchez, R; Mendoza-Briseño, MA. 2016. Sustainable Forest Management in Mexico. *Current Forestry Reports* 2 (2): 93-105.
- Trigueros Bañuelos, AG; Villavicencio García, R; Santiago Pérez, AL. 2014. Mortalidad y reclutamiento de árboles. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5 (24): 160-183.
- Valdés Rodríguez, OA; Negreros-castillo, P. 2010. El manejo forestal comunitario en México. *Revista electrónica de la Comisión Nacional Forestal - México Forestal* :1-13.
- Van Mantgem, P.J; Stephenson, N.L; Byrne, J.C; Daniels, L.D; Franklin, J.F; Fulé, P.Z; Harmon, M.E; Larson, A.J; Smith, J.M; Taylor, A.H; Veblen, T.T. 2009. Widespread increase of tree mortality rates in the western United States. *Science* 323:521-524.
- Vanclay, J.k. 1994. Modelling forest growth and yield. Applications to mixed tropical forests. International Center for Agriculture and Biosciences, Wallingford, UK. 312 p.
- Vanclay, J.K. 1995. Growth models for tropical forest: a synthesis of models and methods. *Forest Science* 41 (1):7-42.
- Vargas-Larreta, B; Corral-Rivas, JJ; Aguirre-Calderón, OA; López-Martínez, JO; De los Santos-Posadas, HM; Zamudio-Sánchez, FJ; Treviño-Garza, EJ; Martínez-Salvador, M; Aguirre-Calderón, CG. 2017. SiBiFor: Sistema Biométrico Forestal para el manejo de los bosques de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 23(3):437-455.
- Vásquez Cortez, VF. 2013. Estructura, composición y diversidad arbórea, en áreas de manejo forestal de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Oaxaca, México. Universidad de la Sierra Juárez. Ixtlán de Juárez, Oaxaca. 120 p.
- Vásquez Cortez, VF. 2016. Estructura poblacional de *Litsea glaucescens* Kunth en bosques bajo manejo de la Sierra Norte de Oaxaca. Edo. México, México. Colegio de posgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 108 p.
- Vásquez-Cortez, VF; Clark-Tapia, R; Manzano-Méndez, F; González-Adame, G; 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):1-13.

- Vázquez-Cortez, VF. 2016. Estructura poblacional de *Litsea glaucescens* Kunth en bosques bajo manejo de la Sierra Norte de Oaxaca. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Postgrado de Ciencias Forestales. México, DF. 108 p.
- Wehenkel, C; Corral-Rivas, JJ; Hernández-Díaz, JC; Von Gadow, K. 2011. Estimating balanced structure areas in multi-species forests on the Sierra Madre Occidental, Mexico. *Annals of Forest Science* 68 (2): 385-394.
- Zacarías-Eslava, LE; Cornejo-Tenorio, G; Cortés-Flores, J; González-Castañeda, N; Ibarra-Manríquez, G. 2011. Composición, estructura y diversidad del cerro El Águila, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82 (3): 854–869.
- Zacarías-Eslava, Y; y Del Castillo, RF. 2010. Comunidades vegetales templadas de la Sierra Juárez, Oaxaca: Pisos altitudinales y sus posibles implicaciones ante el cambio climático. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 87: 13-28.