



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**INSTITUTO DE GEOLOGÍA**

**MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS**

**EVALUACIÓN DEL DETERIORO AMBIENTAL DEL  
TERRITORIO PUEBLOS MANCOMUNADOS,  
OAXACA. ESTUDIO CON MIRAS DE  
RESTAURACIÓN**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**PRESENTA:**

**ERIBEL BELLO CERVANTES**

**TUTORA PRINCIPAL**

**DRA. ROSA IRMA TREJO VÁZQUEZ, INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM**

**COMITÉ TUTOR**

**DRA. SUSANA VALENCIA ÁVALOS, FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM  
DR. MARIO GONZÁLEZ ESPINOSA, POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS,  
UNAM**

**MÉXICO, D.F. JUNIO, 2015**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.





**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**INSTITUTO DE GEOLOGÍA**

**MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS**

**EVALUACIÓN DEL DETERIORO AMBIENTAL DEL  
TERRITORIO PUEBLOS MANCOMUNADOS,  
OAXACA. ESTUDIO CON MIRAS DE  
RESTAURACIÓN**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**PRESENTA:**

**ERIBEL BELLO CERVANTES**

**TUTORA PRINCIPAL**

**DRA. ROSA IRMA TREJO VÁZQUEZ, INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM**

**COMITÉ TUTOR**

**DRA. SUSANA VALENCIA ÁVALOS, FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM  
DR. MARIO GONZÁLEZ ESPINOSA, POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS,  
UNAM**

**MÉXICO, D.F. JUNIO, 2015**

Dr. Isidro Ávila Martínez  
Director General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Me permito informar a usted que el Subcomité de Biología Evolutiva y Sistemática, del Posgrado en Ciencias Biológicas, en su sesión ordinaria del día 23 de marzo de 2015, aprobó el jurado para la presentación de su examen para obtener el grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** de la alumna **BELLO CERVANTES ERIBEL** con número de cuenta **513023888**, con la tesis titulada **"Evaluación del deterioro ambiental del territorio Pueblos Mancomunados, Oaxaca. Estudio con miras de restauración"**. Realizada bajo la dirección de la **DRA. ROSA IRMA TREJO VÁZQUEZ**:

Presidente: Dr. Roberto Bonifaz Alfonzo  
Vocal: Dr. Yohan Alexander Correa Metro  
Secretario: Dr. Mario González Espinosa  
Suplente: Dr. Diego Rafael Pérez Salicrup  
Suplente: Dra. Susana Valencia Avalos

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
Cd. Universitaria, D.F., a 4 de junio de 2015.

*M. del Coro Arizmendi Arriaga*

**DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA**  
**COORDINADORA DEL PROGRAMA**



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM por todo el apoyo otorgado durante mi periodo de estudios en la maestría.

Igualmente hago extenso mi agradecimiento al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico recibido como becaria (registro de beca: 290010) durante el periodo 2013-2 – 2015-1.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) por la beca de término de estudios otorgada dentro del proyecto IN300515, apoyo económico que fue fundamental para la conclusión de mi proyecto de investigación.

Al programa de Apoyo a los estudios de Posgrado, PAEP por el apoyo otorgado para la asistencia al IV Congreso Iberoamericano y del Caribe de Restauración Ecológica.

A cada uno de los integrantes del Comité tutorial quienes me guiaron en esta travesía les agradezco sinceramente sus comentarios, recomendaciones, aportaciones y apoyo invaluable que permitió desarrollar con éxito mi proyecto de maestría; gracias a:

Dra. Rosa Irma Trejo Vázquez

Dra. Susana Valencia Ávalos

Dr. Mario González Espinosa

## AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A mi pequeño gran Ángel que fue mi inspiración y fortaleza en cada momento, gracias por tu amor y comprensión.

A mis padres por la confianza que siempre han depositado en mí, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas, consejos y amor.

A mis abuelos que a pesar de su inconformidad con mi carrera siempre me apoyaron y bendijeron. **Senka tlasokamati!**

A mi amigo, compañero y consejero Caneck que a pesar de los problemas me respaldaste siempre.

A mis hermanos por su cariño y sus palabras un poco duras a veces pero que me permitieron hacerme aún más fuerte.

A la Dra. Irma por abrirme las puertas para formar parte de su equipo, por sus enseñanzas, su tiempo, paciencia y confianza; porque me ayudo a crecer tanto académicamente como personalmente, siempre tendrá un lugar especial en mi corazón.

Agradezco también al Instituto de Geografía de la UNAM el cual me albergó durante 2 años y en el cual se realizó el trabajo de gabinete, especialmente al departamento de Geografía Física.

A los amigos de Yavesía: Fernando, Laura, Mauro, Sara, Raquel, Alma, Lalo y a Sara Hernández por la calidez con la que siempre nos recibieron, por su confianza y amistad.

A la gente bonita de Lachatao quienes me brindaron su confianza y me abrieron las puertas del pasado para darle un vistazo a su bosque, gracias por compartir un poco de su historia, su conocimiento, de su lucha, su sentir y sus anhelos.

A Juan, Vero, Alexa, Diego y Doña Silvia por su apoyo, cariño y grandes enseñanzas.

A Dulce, al maestro Fernando, Tania, Erick, Nihaib, Mónica, Miguel, May, Carlos y a Free por su amistad y apoyo invaluable en campo, porque a pesar de las largas caminatas permanecieron siempre al pie del cañón.

A la Dra. Rosa María Fonseca, Dr. Ernesto Velázquez Montes, Dra. Susana Valencia y Dra. Silvia Salas por su apoyo en la identificación de los ejemplares.

A los miembros del jurado revisor de la tesis: Dr. Roberto Bonifaz Alfonzo, Dr. Yohan Alexander Correa Metrio, Dr. Mario González Espinosa, Dr. Diego Rafael Pérez Salicrup y a la Dra. Susana Valencia Avalos, por sus enseñanzas y comentarios aportados al presente estudio.

## **DEDICATORIA:**

Para ti Ángel Eduardo que a pesar de tu corta edad me impulsaste a seguir, acompañándome en cada paso; por tu amor y paciencia, por todas las noches que te desvelabas a mi lado para darme “Fuerzas y vitaminas”, por todas tus sonrisas y oraciones en voz alta que me hicieron continuar y por creer siempre en mí.

A mi hermano Eleazar por que durante este tiempo fuiste mi inspiración, por que día a día te admiro más como persona y como profesionalista, porque si conozco a alguien con tantas virtudes juntas ese eres tú: mi chinis loco, por permitirnos invadir tu espacio, abrirnos las puertas de tu alma, por tu apoyo incondicional y calidad humana.



## INDICE

I. RESUMEN.....	7
II. ABSTRAC.....	8
III. INTRODUCCIÓN.....	9
IV. OBJETIVOS.....	11
V. ANTECEDENTES.....	12
V.I. Bosques templados.....	12
V.II. Degradación ambiental.....	13
V.III. Restauración ecológica.....	15
VI. ZONA DE ESTUDIO.....	19
VI.I. Ubicación.....	19
VI.II Clima.....	20
VI.III Hidrología.....	21
VI.IV Edafología.....	21
VI.V Vegetación.....	22
VI.VI Situación política, económica y social.....	23
VII. METODOLOGÍA.....	25
VII.I. Caracterización de factores ambientales.....	25
VII.II. Estructura y composición de la Vegetación.....	25
VII.II.I Muestreo en campo.....	25
VII.II.II Composición florística.....	27
VII.II.III Parámetros estructurales.....	27
VII.II.IV Estructura diamétrica y vertica.....	28
VII.III Diversidad alfa.....	28
VII.IV Identificación del nivel de deterioro.....	29
VII.V Efecto de variables ambientales y de perturbación en composición y estructura de la vegetación.....	31
VII.VI Ámbito social.....	32
VII.VII Identificación de áreas prioritarias para restauración.....	32
VII.VII.II Factores topográficos.....	33
VII.VII.III Factores edáficos.....	34
VII.VII.VI Factores climáticos.....	35
VII.VII.V Factores de vegetación.....	36
VIII. RESULTADOS.....	39

VIII. I Caracterización de factores ambientales.....	39
VIII. II Caracterización de la estructura y composición de la vegetación.....	41
VIII.II.I Composición florística.....	41
VIII.II.I I Parámetros estructurales.....	42
VIII.II.III Densidad .....	43
VIII.II.IV Área basal.....	48
VIII.II.V Valor de importancia relativa .....	49
VIII.II.VI Estructura diamétrica .....	51
VIII. III Diversidad .....	54
VIII. IV Apertura del dosel.....	55
VIII. V Identificación del nivel de deterioro.....	57
VIII.VI Efecto de variables ambientales y de perturbación en composición y estructura de la vegetación.....	58
VIII. VII ASPECTO SOCIAL .....	67
VIII.VII.I Descripción de población entrevistada .....	67
VIII.VII.II Reconocimiento e importancia del bosque y sus productos .....	67
VIII.VII.III Cambio y recuperación del bosque .....	69
VIII.VIII Áreas a restaurar .....	71
IX. DISCUSIÓN .....	75
IX.I Composición y estructura de la vegetación .....	75
IX. II Estructura vertical y diamétrica .....	79
IX.III Diversidad.....	80
IX. IV Nivel de deterioro .....	84
IX.V Efecto de las variables ambientales y de perturbación en composición y estructura de la vegetación.....	85
IX.VI Aspecto social .....	88
IX.VII Áreas a restaurar.....	91
X. CONCLUSIONES .....	97
XI. LITERATURA CITADA.....	99
XII. ANEXOS .....	111
Anexo 1. Entrevista aplicada a pobladores.....	111
Anexo 2. Listado de especies encontradas en los sitios de muestreo. ....	113

## I. RESUMEN

La Sierra de Juárez ubicada al noreste del estado de Oaxaca, es una región de gran importancia debido a su enorme capacidad de captación de agua y gran diversidad. En los últimos años se ha incrementado la actividad forestal, llevando al deterioro de los bosques, lo que hace necesario aplicar estrategias de restauración. Actualmente en Santa Catarina Lachatao comunidad del distrito de Ixtlán surgió la inquietud y decisión de preservar y restaurar sus bosques, por lo que el objetivo del presente estudio fue evaluar el nivel de deterioro de las comunidades vegetales, conocer el significado del bosque para los habitantes de la comunidad, sus intereses y así establecer áreas prioritarias para la restauración. Se caracterizó la estructura y composición vegetal de 26 sitios, se obtuvo un índice cuantitativo de perturbación, apertura del dosel y se caracterizaron las condiciones ambientales de la zona; esta información se analizó mediante análisis multivariados (RDA y DCA) y modelos lineales generalizados para conocer el efecto que tiene el ambiente y la perturbación en la estructura y composición de la vegetación. Los sitios están representados por bosques mixtos (pino-encino), se registraron 7879 individuos de 22 familias, la de mayor abundancia fue Fagaceae y Pinaceae con las especies *Quercus crassifolia*, *Q. rugosa* y *Pinus patula*. El índice de perturbación arrojó valores entre 0.02 a 0.54 siendo las actividades humanas (veredas, leña, cercanía, extracción de madera) aquellas que tuvieron un mayor impacto en la zona. 48% de la variabilidad en la estructura vegetal se explica por variables ambientales y 25% por factores de perturbación (extracción de madera -mayor efecto); en la composición florística las primeras explican un 41% de la varianza, teniendo mayor impacto altitud y evapotranspiración. Se puede concluir que el bosque ha sufrido un deterioro debido a la extracción de madera que se ve reflejado en la gran cantidad de tocones, árboles muertos y abundancia de diámetro menores. Mediante los análisis multivariados se demostró que variables ambientales y de perturbación afectan la composición y estructura de la vegetación, teniendo un mayor impacto las variables ambientales en la composición y las de perturbación en la estructura. La información sobre la vegetación, el modelo de remoción, más la información de pobladores permitieron identificar zonas que deben ser conservadas y áreas en las que se deben aplicar diferentes estrategias de restauración, las cuales pueden ser aplicadas ya que el 99% de la población está interesado en participar activamente en la recuperación del bosque.

## II. ABSTRAC

The Sierra de Juarez located northeast of the state of Oaxaca, is a region of great importance because to its great capacity for water catchment and great diversity. In recent years it has increased forestry, leading to deterioration of forests, making it necessary to implement restoration strategies. Currently in Santa Catarina Lachatao, Ixtlan community concern and determination to preserve and restore their forests, so the objective of this study was to assess the level of damage to plant communities, know the meaning of the forest for the people, community interests and to establish priority areas for restoration. The structure and composition plant were characterized in 26 sites, quantitative disturbance index was calculated, canopy openness was obtained and environmental conditions in the area were characterized; This information was analyzed by multivariate analysis (RDA and DCA) and generalized linear models to determine the effect of the environment and disruption in the structure and composition of vegetation. The sites are represented by mixed forests (pine and oak), 7879 individuals from 22 families were recorded, the most abundant families was Fagaceae and Pinaceae with *Quercus crassifolia*, *Q. rugosa* and *Pinus patula*. Disturbance index values were between 0.02 to 0.54, human activities (logging, firewood, proximity, logging) those that had the greatest impact on the area. 48% of the variability in the plant structure is explained by environmental variables and 25% by stressors (logging-greater effect); 41% of variance of floristic composition was explained by environmental variables, with greater impact altitude and evapotranspiration. It can be concluded that the forest has deteriorated due to logging, that is reflected in the great number of stumps, dead trees and abundance of small diameter. By multivariate analysis showed that environmental and disturbance variables affecting the composition and structure of vegetation, having a greater impact of environmental variables on the composition and disturbance variables on the structure. Vegetation information, removal model and the information of the people helped identify areas to be preserved and areas that should apply different restoration strategies, which can be applied because 99% of the population is interested in participating actively in the recovery of the forest.

### III. INTRODUCCIÓN

Los Bosques de coníferas y encinos de México son el segundo ecosistema en extensión, se caracterizan por una alta biodiversidad, considerados como los que más especies de flora y fauna albergan (Flores y Gerez, 1994). Estos bosques tienen una gran importancia socioambiental (Körner y Ohsawa 2006), ya que además de que mantienen el equilibrio ecológico a través de los servicios ecosistémicos como la captación de agua, conservación de la biodiversidad, fertilidad del suelo y regulación climática (Landell-Millis y Bishop, 2003).

Los pinos y encinos son los árboles más representativos y económicamente importantes de los ecosistemas templados, esto junto con la fertilidad del suelo, su aptitud para la agricultura, el clima benigno, la fuente de diversos recursos combustibles, alimenticios y medicinales, constituyen la base de la mayor parte de la industria forestal en el país (Challenger, 2003) y de la economía campesina tradicional de las comunidades indígenas (Toledo, *et al.*, 1989). Sin embargo están catalogado como los ecosistemas menos conservados de nuestro país, sufriendo diversos tipos de transformaciones lo que ha repercutido en su degradación y eliminación, registrándose para los últimos años una transformación a pastizales inducidos y terrenos de cultivo un 16% de estos bosques (Velázquez *et al.*, 2001), Flores-Villela y Gerez (1994) mencionan que se ha perdido hasta ahora alrededor del 35% al 37% de la superficie original.

Entre los estados con mayor extensión de estos bosques destaca Oaxaca, una de las entidades federativas más diversa (INF, 2001; García-Mendoza, *et al.*, 2004). Dicho estado mantiene aproximadamente el 10% de la superficie forestal del país registrando una tasa de pérdidas del 0.8% anual, menor al cálculo nacional ( $\approx 1.3\%$  anual) (Trejo y Hernández, 2005), sin embargo en el periodo del año de 1980 a 2001 Oaxaca perdió medio millón de hectáreas de zonas boscosas (Velázquez *et al.*, 2003).

Al noreste del estado está ubicada la Sierra de Juárez que es reconocida como uno de los centros de diversidad a nivel mundial (por las organizaciones WWF- Fondo Mundial para la Naturaleza y UICN- Unión Mundial para la Naturaleza), ostenta 7 de los 9 tipos principales de vegetación terrestre del país donde se establecen unas 6,000 especies de plantas. Además, esta es una región de importancia excepcional debido a su enorme capacidad de captación de

agua (Davis, *et al.*, 1997) y es un área prioritaria para la conservación (Arriaga *et al.*, 2000). Las partes altas de ésta constituyen la cabecera de la cuenca del río Papaloapan, tiene un relieve muy accidentado conformado por formaciones montañosas que drenan en una complicada red de arroyos y ríos sobre laderas con pendientes muy pronunciadas, asentadas en diversas condiciones geológicas y edáficas (INEGI, 2013). A pesar de que se tienen registros de que en la Sierra Juárez se han realizado diferentes esquemas de manejo y protección que ejercen y dirigen las propias comunidades y que en algunos casos han favorecido e incluso incrementado el área forestal (García, 2000; Merino, 2008), en algunas comunidades se han explotado inmoderadamente sus bosques por parte de ciertas empresas disfrazando esta actividad con la figura del comunitarismo (Ortiz, 2011), incluso se registran altas tasas de deforestación ( $\approx 2.6$  % anual) en bosque de pino, bosques secos y bosque de encinos (Gómez-Mendoza, *et al.*, 2006).

Debido a la alta diversidad biológica existente en la Sierra Juárez, considerando la diversidad de servicios ambientales, la importancia del río Papaloapan, así como la creciente explotación de los recursos, se hace necesaria aplicar una estrategia de restauración comprometida con la recuperación de la integridad biológica de los ecosistemas, junto con su estructura y funcionamiento originales, para garantizar la sostenibilidad de los mismos y la conservación de la biodiversidad que albergan (Meffe y Carroll, 1994).

Ya que la perturbación en los bosques puede inducir a pérdidas en la biodiversidad biológica, a hacer más susceptibles los hábitats a las invasiones (Galindo-Jaimes *et al.*, 2002, González-Espinosa, 2009), puede influir en los patrones de sucesión (González-Espinosa *et al.*, 1991), a modificar los mecanismos naturales de remplazo de especies, así como la estructura, composición (Ramírez-Marcial *et al.*, 2001), establecimiento y sobrevivencia de plántulas (Ryan *et al.*, 2004); resulta relevante realizar un análisis del deterioro ambiental mediante el estudio de la estructura y composición vegetal que será un indicador del estado actual de la misma así como la distribución de los recursos y nos permitirá actuar con las prácticas de restauración, mitigación, conservación y manejo de los recursos más adecuadas.

## **IV. OBJETIVOS**

### **General**

- ❖ Evaluar el nivel de deterioro de las comunidades vegetales en una zona de la Cuenca Alta del Papaloapan para identificar las posibles áreas para restauración.

### **Particulares**

- ❖ Caracterizar la estructura y composición de las comunidades vegetales.
- ❖ Caracterizar las condiciones ambientales en las que se establecen las comunidades vegetales identificadas.
- ❖ Identificar el nivel de deterioro de la vegetación mediante parámetros estructurales, condiciones ambientales e índice de perturbación.
- ❖ Conocer el significado del bosque para los habitantes de la comunidad y el interés que tienen respecto a su conservación y restauración de los sitios perturbados.
- ❖ Identificar áreas prioritarias para restauración.

## V. ANTECEDENTES

### V.I. Bosques templados

Los bosques templados conforman la vegetación de las principales cordilleras de México (Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental, Sistema Volcánico Transversal y Sierra Madre del Sur). Los principales tipos son: bosque de pino, bosque de oyamel, bosque de encino, bosque de enebro y bosque mesófilo de montaña (Granados-Sánchez *et al.*, 2007), que comprenden comunidades vegetales dominadas por especies de los géneros *Pinus*, *Quercus* y *Abies*, que se desarrollan en climas templados, húmedos y semihúmedos, entre los 1200 y 3000 ms.n.m (Rzedowski, 1978; González-Medrano, 2004), casi todos crecen en zonas cuya precipitación anual promedio varía entre 600 y 1200 mm distribuida a lo largo de seis a siete meses del año (Rzedowski 1978).

Los ecosistemas forestales templados ocupan una posición prominente por superficie entre todos los ecosistemas con 1.8 billones de hectáreas a nivel mundial (Ovington, 1983), en México abarcan una superficie de alrededor de 32 millones de hectáreas (Velázquez *et al.* 2001). Se considera que estas comunidades ocupan el primer lugar en riqueza de plantas vasculares y albergan alrededor del 25% del total de especies de plantas registradas para México (Rzedowski, 1991; CONABIO, 1998).

La transformación de la cubierta vegetal en México y en el mundo ha sido impulsada, en gran parte, por el crecimiento de la población y algunas de sus consecuencias, tales como la demanda de alimentos y la ampliación de la infraestructura. Se calcula que entre 1993 y el año 2002, alrededor de 2.8 millones de hectáreas en el país cambiaron de ser bosques, selvas, matorrales y pastizales para convertirse a otros usos, todo ello a un ritmo de cerca de 306 mil hectáreas por año (SEMARNAT, 2006). A principios del siglo XIX los bosques templados llegaban a cubrir alrededor de 50 millones de hectáreas, pero hoy se cuenta con tan solo 33.5 millones de hectáreas, lo que ha ubicado a México entre los países con mayor índice de deforestación (FAO, 2001; CONAFOR, 2012).



Los bosques brindan importantes servicios ecosistémicos ya que participan en la captura de carbono, en la conservación y formación de suelos y biodiversidad (ITTO, 2002; Velázquez y Bocco, 2003, Cardinale et al., 2011), manteniendo los elementos básicos para la preservación de los hábitats para la fauna silvestre. Además, la vegetación forestal participa en el reciclaje de nutrientes, contribuye al equilibrio del clima porque absorbe el exceso de luminosidad y calor (por baja conductividad); intercepta el aire húmedo y provocan la precipitación pluvial; frena los vientos y crea una fortaleza aerodinámica, que defiende a los suelos de la erosión (Whitmore, 1997; González, 2000; Granados-Sánchez *et al.*, 2007). Por ello contribuyen en el comportamiento de las cuencas; acumulan, limpian, regulan y distribuyen los recursos acuíferos regulando los ciclos hidrológicos y climáticos (González, 2000; Sánchez *et al.*, 2003; Granados-Sánchez *et al.*, 2007; CONAFOR, 2013), la cubierta forestal, a la par de moderar la desecación, y reducir la erosión del suelo disminuye la escorrentía de las aguas, amortiguando ante eventos climáticos extremos como lluvias intensas, mitigando el riesgo de inundaciones o deslaves (Viereck, 1983).

Los bosques son también una importante fuente de ingresos y de materias primas para los pobladores rurales de México al igual que para un número amplio de pequeñas empresas y grandes industrias forestales (Ovington, 1983; González, 2000).

## V.II. Degradación ambiental

El disturbio se ha definido como cualquier evento que modifica la composición y/o estructura del ecosistema, población o comunidad; que cambia los recursos, la disponibilidad del sustrato o medio físico (Pickett y White, 1985), es decir ocasiona una degradación.

El ambiente degradado sería la expresión que resume la vulnerabilidad ambiental frente a los desastres (Lavell, 1996), debido a que su diversidad, productividad y habitabilidad se ha reducido considerablemente (Simula y Mansur, 2011). Los ecosistemas terrestres degradados se caracterizan por la pérdida de vegetación y suelo y en los ecosistemas acuáticos se caracterizan a menudo por sus aguas contaminadas que pocas especies son capaces de tolerar (Gálvez, 2002; CONAFOR, 2013), es decir existe una presión sobre el ecosistema y

cuanto mayor sea la presión ejercida sobre él menor será su capacidad para sustentar a las generaciones futuras (MA, 2005). La degradación de las comunidades naturales es un problema que se ha venido agravando a través de los años como resultado de la explotación y manejo inadecuado de los recursos naturales (Martínez, 1996), originado por una compleja interacción de factores ecológicos y socioculturales (Meli, 2003; Almeida-Leñero *et al.*, 2007). Una de las principales causas de este deterioro en México es la deforestación (ya que México está considerado como una de las naciones con las más altas tasas de deforestación a nivel mundial) (González, 2000). La deforestación genera a nivel regional la pérdida de uso forestal, deterioro físico y químico del suelo, pérdida total o parcial del banco de semillas, disminución de la regeneración, alteración del balance hídrico, y desestabilización de cuencas; a nivel global altera el albedo y el balance de agua atmosférica, pudiendo afectar los patrones climáticos y contribuir al calentamiento global (Whitmore, 1997; Brooks (b) *et al.* 2002; Vega y Peters, 2003; Barrera- Cataño, Valdés-López, 2007; Montreal, 2009). Este deterioro ambiental además se ve reflejado en la reducción de la biodiversidad de los ecosistemas, la eliminación de variabilidad genética de poblaciones y hasta de especies (Bustamente y Grez, 1995; Brooks (b) *et al.*, 2002; Brooks (a) *et al.* 2002; Barrera- Cataño y Valdés-López, 2007), puede modificar patrones de sucesión y hacer más susceptible a los ecosistemas de invasiones (Hobbs y Huenneke, 1992), modificando composición y estructura de la vegetación (González-Espinosa *et al.*, 1991, 1995; Thompson, 2011).

En resumen se podría decir que el deterioro ambiental tiene efectos sociales en tanto que afecta el acceso a los recursos naturales y profundiza problemas como la desigualdad y pobreza. Este deterioro a su vez es reflejo de relaciones desiguales en la sociedad, así como modos de producción, formas y tasas de extracción de los recursos que han demostrado ser insustentables (Lamb, 2005; Santos, 2011).

Del total del territorio nacional, 64% tiene algún tipo de degradación en niveles que van de ligera a extrema; 13% son terrenos desérticos o rocosos, o zonas abandonadas o improductivas, y 23% corresponde a superficie de suelos que mantienen actividades productivas sustentables o sin degradación aparente (CONAFOR, 2009).

### V.III. Restauración ecológica

Debido a la alta diversidad biológica existente en México y considerando la diversidad de servicios ambientales, así como la creciente explotación de los recursos se hace necesaria aplicar una estrategia de restauración comprometida con la recuperación de la integridad biológica de los ecosistemas, junto con su estructura y funcionamiento originales, lo cual garantizaría la sostenibilidad de los mismos y la conservación de la biodiversidad que albergan (SEMARNAT, 2009)

Un ecosistema es considerado como un área de cualquier tamaño, con una estrecha relación o asociación de sus componentes físicos (abióticos) y biológicos (bióticos), organizado de tal manera que si cambia un componente, o subsistema, cambian los otros componentes y en consecuencia el funcionamiento de todo el ecosistema (Vargas, 2007). Sin embargo los ecosistemas tienen algún grado inherente de resistencia (capacidad que éstos tienen para absorber los efectos de una perturbación) y resiliencia (capacidad que tiene el ecosistema para regresar lo más cercano posible a su estado previo a la perturbación) a ciertos cambios originados por perturbaciones, lo que les permite tener un cierto grado de estabilidad (Sánchez *et al.*, 2003; Thompson, 2009; Santos, 2011). Cuando la extensión, la magnitud y la recurrencia de las alteraciones son mayores, rompen la resistencia y ocasionan que las capacidades de resiliencia de un ecosistema sean insuficientes llegando a un punto de inflexión (Thompson, 2011), en estos casos la intervención humana puede ser la única respuesta viable para intentar recuperar la mayor cantidad posible de los componentes originales, de la estructura y de las funciones de un ecosistema dañado lo cual constituye la esencia de la restauración ecológica (Sánchez *et al.*, 2005).

La restauración ecológica es considerada una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (Primer SER 2002), con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad (SER, 2004; CONAFOR, 2009). La restauración tiene como objetivo el restablecimiento de la función y la estructura de las áreas que han sido perturbadas (Young, 2000), lo que implica eliminar o modificar una alteración específica, para permitir que los procesos ecológicos se recuperen, el objetivo de la

restauración es retornar un ecosistema a su trayectoria histórica, por lo tanto las condiciones históricas son el punto de partida ideal para diseñarla (SER, 2004)

Para la restauración se utilizan como referencia los ecosistemas pre-disturbio (National Research Council, 1992; SER, 2004; Barrera-Cataño y Valdés-López, 2007; CONAFOR, 2009) o ecosistemas de referencia que será el modelo para la planificación del proyecto y evaluación, éste puede ser un sitio verdadero, su descripción por escrito o ambos (SER, 2004).

Por otro lado, la restauración se ha basado en el marco conceptual de la sucesión ecológica, ya que los ecosistemas o comunidades que han sido degradados llevan a cabo por sí mismos eventos de recuperación y el conocimiento de los procesos de sucesión de los diversos ecosistemas permite plantear diferentes enfoques para realizar una restauración ecológica con éxito (Palmer et al., 1997). Se califica una restauración ecológica de éxito como aquella que es capaz de acelerar un proceso sucesorio en un tiempo relativamente corto comparado con otro evento en el que no se haya llevado a cabo ninguna manipulación (Falk *et al.*, 2006).

Cabe mencionar que la restauración ecológica es una disciplina multidimensional que abarca tanto a las ciencias naturales como a sociales (Castillo, 2005; Santos, 2011), que fomenta, y depende de la participación a largo plazo de la población local (SER, 2004) ya que la definición de los objetivos de un proyecto de restauración es un proceso vinculado fundamentalmente con las necesidades y los valores del grupo social relacionado con el sistema a restaurar (Castillo, 2005; Zorrilla, 2005; Lamb *et al.*, 2005). La restauración, debe entenderse como los procesos de toma de decisiones que a la vez que permitan la satisfacción de las necesidades de las sociedades humanas, permitan también el mantenimiento de las funciones de los ecosistemas a largo plazo. Las intervenciones de tipo técnico, consecuentemente, deben formularse con base en el más sólido conocimiento ecológico. Por otro lado la necesidad de considerar las perspectivas de los actores interesados o afectados por los proyectos de restauración, se reconoce también como una cuestión sustancial en este tipo de proyectos (Allison S. K. 2004; Castillo A. 2005), pero además es necesario que exista un vínculo con instituciones gubernamentales ya que muchas

veces la aplicación de estrategias de restauración recaen sobre dicho sector (González-Espinosa *et al.*, 2007).

Crear acciones universales para la restauración ecológica es un proceso complicado, sin embargo es indiscutible que debe partir del entendimiento de los procesos ecológicos básicos, para luego diseñar las medidas técnicas pertinentes e incorporar elementos económicos y sociales que guíen un enfoque adaptativo de los programas de acción (González-Espinosa *et al.*, 2007). Es muy difícil formular una serie de pasos que guíen la restauración ecológica tomando en cuenta la gran diversidad de ecosistemas y sus diferentes variaciones en el espacio y el tiempo (Santos, 2011), a pesar de ello diversos autores han realizado propuestas de cómo se debería abordar la restauración.

Sánchez y colaboradores (2005) mencionan que existen condiciones que resultan *sine qua non* para la restauración ecológica, estas son: a) la remoción o reducción al mínimo de las causas que originaron el deterioro y b) la reconsideración efectiva de aquellas actividades humanas que originaron esas causas de daño, buscando la mayor compatibilidad posible de las actividades humanas con el funcionamiento ecosistémico.

Hobbs y Norton (1996) definieron cinco fases claves para los programas de restauración, Sánchez y colaboradores mencionan 15 puntos generales y Barrera-Cataño y Valdés-López (2007) proponen 8 pasos, dichas propuestas están resumidas en los puntos propuestos por Vargas (2007) quien establece 13 pasos para la elaboración de un proyecto de restauración los cuáles se esquematizan en la figura 1.

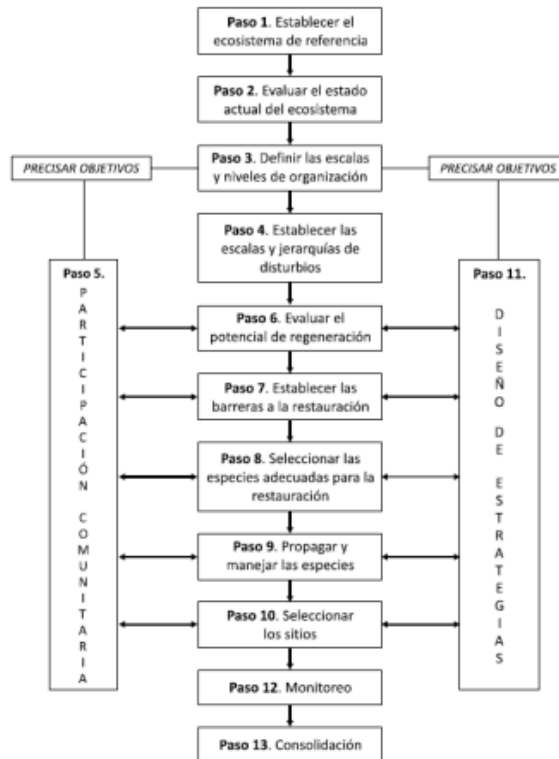


Fig. 1. Secuencia y relaciones de los 13 pasos fundamentales en la restauración ecológica, propuestas por Vargas (2007).

Los pasos a seguir no necesariamente tienen que ser en el orden propuesto, todo depende de la particularidad de los sitios, de las escalas y los objetivos (Vargas, 2007) y a la vez los objetivos y estrategias de la restauración ecológica dependerán tanto del conocimiento ecológico tradicional y de los hábitos culturales de los usuarios, como de sus necesidades (Sánchez *et al.*, 2005; Barrera-Cataño y Valdés-López, 2007; Santos, 2011). Una vez realizada la restauración según la Sociedad de Restauración Ecológica (SER, 2004) se considera que un ecosistema se ha recuperado cuando contiene suficientes recursos bióticos y abióticos como para continuar su desarrollo sin ayuda o subsidio adicional (SER, 2004).

## VI. ZONA DE ESTUDIO

### VI.I. Ubicación

El área de estudio pertenece al territorio agrario de Pueblos mancomunados con 25,000 hectáreas de extensión, ubicado en la Sierra Norte de Oaxaca (Fig. 2). Pueblos Mancomunados es territorio agrario que incluye población indígena de origen zapoteca constituida por tres municipios con sus respectivas agencias municipales: el municipio de Santa Catarina Lachatao y sus agencias: Latuvi, Benito Juárez y la Neveria; el municipio de San Miguel Amatlán y sus agencias San Antonio Cuajimoloyas y Llano Grande; y el municipio de Santa María Yavesía. Es en el territorio reconocido como Lachatao en donde se concentran los sitios de muestreo.

Los pueblos Mancomunados se encuentran entre las coordenadas geográficas extremas: 17° 06' 05" y 17° 17' 32" de Latitud Norte, 96° 20' 41" y 96° 32' 24" de Longitud Oeste. El territorio de Pueblos mancomunados colinda al sureste con comunidades de San Pedro Cajonos, al este Santiago Laxopa, al sur con Terrenos comunales de Teotitlán del Valle y Villa Díaz Ordaz, al suroeste con Terrenos comunales de Tlalixtac de Cabrera, al oeste Ixtepeji del Río, al norte, San Juan Chicomezuchil y Santiago Xiacui. Abarca un intervalo altitudinal que va desde los 1580 hasta los 3,360 m s.n.m. con pendientes desde 0° hasta 57°.

El área se encuentra cubierta por bosques templados principalmente bosques mixtos (Encino-Pino y Pino-encino) y bosques de coníferas (*Abies hickelii* y *Pinus hartwegii*).

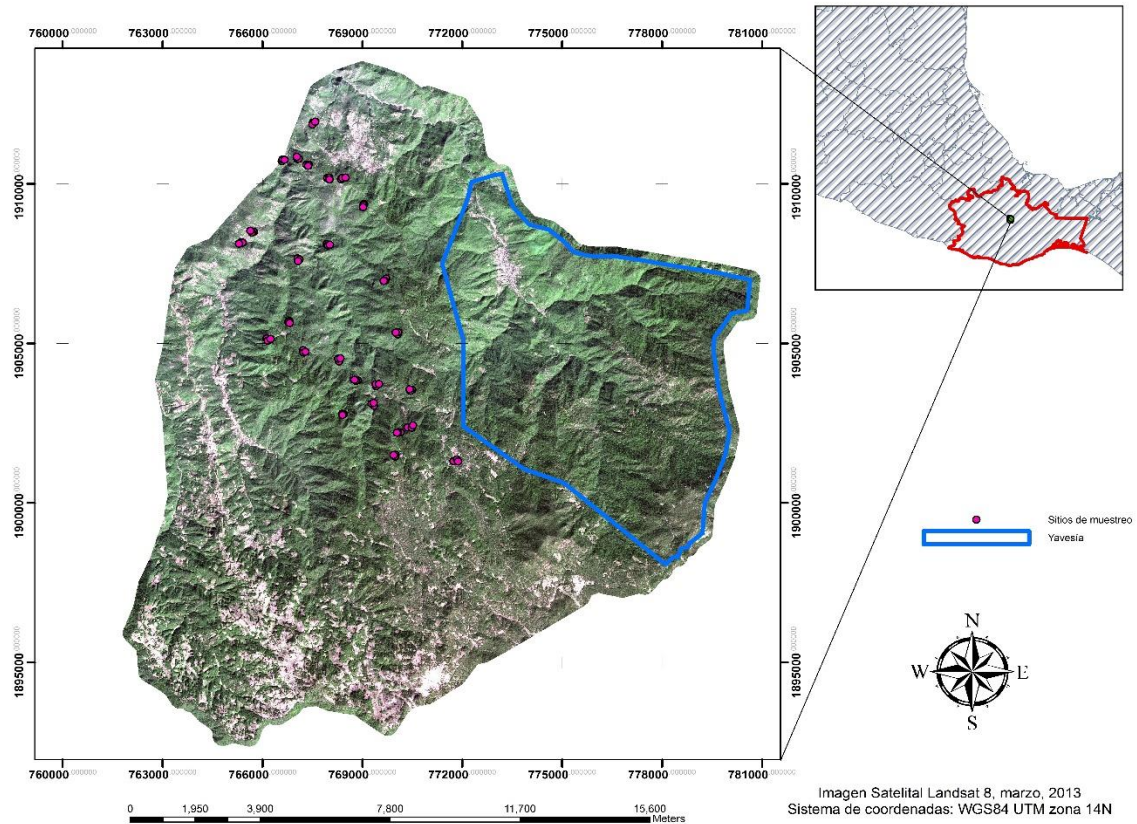


Fig. 2 Ubicación del área de estudio (Territorio de Pueblos mancomunados) en el estado de Oaxaca.

## VI.II Clima

Los tipos de clima registrados en el territorio son templado subhúmedo con lluvias en verano C(w), semifrío subhúmedo con verano fresco largo, con régimen de lluvias en verano Cb'(w<sub>2</sub>)(w)ig, templado con verano fresco largo, subhúmedo con régimen de lluvias en verano C(w<sub>2</sub>)(w)igw y semicálido subhúmedo con lluvias en verano AC(w<sub>2</sub>) (de acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificada por García) (Benítez, 2006; Aguilar, 2007; INEGI, 2010). Presenta temperaturas medias promedio que van desde 10°C en la parte alta a 20°C en menores altitudes y una precipitación total anual de 700mm a 1700 mm (INEGI, 2010; Fernández *et al.* 2013).



### VI.III Hidrología

El área de estudio se encuentra en la región hidrológica RH 28 de CONAGUA y pertenece a la Cuenca del Río Papaloapan, la zona estudiada es de gran importancia ya que ahí se encuentra el nacimiento del brazo más largo del río Papaloapan y se localiza en la zona más alta, en el parte aguas de la Cuenca, cuyos escurrimientos vierten su contenido hacia el Valle de Oaxaca (Río Norato y Cajonos) y hacia el Golfo de México (Río Socorro, Guacamayas y Yavesía), (Ramírez *et al.*, 2001). Un gran número de ríos y arroyos recorren toda la extensión territorial, algunos de forma permanente.

### VI.IV Edafología

De acuerdo a la clasificación de suelos de la FAO-UNESCO modificada por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional la zona posee seis tipos de suelo: Luvisol vértico, Litosol, Acrisol hómico, Cambisol húmico, Feozen hálpico y Regosol eútrico (H. Ayuntamiento de Santa María Yavesía, 2011; INEGI, 2010; H. Ayuntamiento de San Miguel Amatlán, 2011).

**Luvisol:** Son suelos que se encuentran en zonas templadas o tropicales lluviosas, por lo tanto se restringe a la vegetación natural de selvas o bosques; presenta una acumulación de arcilla en el subsuelo, de color rojo o claro, moderadamente ácido (IUSS, 2007). **Luvisol vértico:** Es un suelo rico en arcillas expansibles, su color común es el rojo o color claro, presenta una alta susceptibilidad a la erosión y su característica es que forma grietas de retracción (IUSS, 2007; INEGI, 2004).

**Litosol:** Suelos con clase textural media que se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación. Se caracterizan por tener una profundidad menor a 10 cm, se localiza en todas las sierras de México, la susceptibilidad a la erosión depende de la zona en la que se encuentre y puede ser desde moderada hasta muy alta en los bosques y selvas que se les da un uso forestal (INEGI, 2004).

**Acrisol:** Suelos ácidos de color rojo o amarillo, rico en arcillas, proceden de la desintegración de rocas primarias o paleozoicas metamórficas, son pobres en nutrientes. Predominan en viejas superficies con una topografía ondulada, con un clima tropical húmedo, monzónico,

subtropical o muy cálido. Los bosques y selvas son su principal forma de vegetación natural. La pobreza en nutrientes minerales, la toxicidad por aluminio, la fuerte adsorción de fosfatos y la susceptibilidad a la erosión, son las principales restricciones a su uso (IUSS, 2007; INEGI,2004). El tipo de suelo **acrisol húmico** tiene materia orgánica; con horizonte B argílico. Está formado por liviación de arcilla y usualmente se observan cutanes (revestimiento de arcilla en los poros), tiene 1/10 o más de espesor en todos los horizontes superiores o más de 15 cm cualquiera que sea el espesor (INEGI, 2004).

**Cambisol:** Suelos sometidos a procesos de intemperización, lo que les da mayor o menor oxidación, y por ende, diferentes tonalidades de rojo, café y gris. Proceden de la desintegración de rocas metamórficas de la era paleozoica. Son de moderada a alta susceptibilidad a la erosión (IUSS, 2007; INEGI, 2004). **El cambisol húmico** es una tierra rica en materia orgánica, con horizonte B cámbico es decir tiene menos del 1.2 veces más arcilla que el horizonte superior de más de 25 cm de espesor.

**Feozem:** Suelos oscuros ricos en materia orgánica. Proceden de la desintegración de rocas de las eras mesozoica (cretácico superior), cenozoica (plioceno) y del pleistoceno. Los Feozems poco profundos situados en laderas o pendientes se erosionan con más facilidad (INEGI, 2004)

**Regosol:** Suelos ubicados en muy diversos tipos de clima, vegetación y relieve. Tienen poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí. En general son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen (IUSS, 2007).

**Regosol eútrico:** Se desarrollan sobre materiales no consolidados, son comunes en regiones montañosas, está formado por sedimentos arenosos, toba, limo arenoso y arena fina, es rico o muy rico en nutrientes o bases (Ca, Mg, K, Na), dentro de 50 cm de profundidad, presenta poca capacidad para almacenar agua

## VI.V Vegetación

La vegetación de la zona es característica de las regiones de clima templado, donde predominan los bosques de pino-encino, encino pino, pino, pino-oyamel, con mezcla de otras latifoliadas y bosque de encino (H. Ayuntamiento de Santa Catarina Lachatao, 2008), Para el

municipio de Santa María Yavesía se han realizado diversos estudios (Ramírez *et al.*, 2001; Benítez, 2006; Aguilar, 2007; Camacho, 2008) de la composición de la comunidad vegetal, en los que se señala que los bosques poseen una estructura con estratificación compleja que en términos generales describen comunidades en buen estado de conservación. En dicho municipio se encuentran diferentes formaciones vegetales distribuidas a lo largo de un gradiente altitudinal (de 1900 a 3280 m s.n.m).

En zonas altas cercanas a los 3200 m la vegetación está representada por bosques de *Pinus hartwegii* y *P. ayacahuite*; entre los 2600 y 3000 m se observan bosques dominados por *Abies hickelii*, principalmente en las cañadas y *Q. trinitatis* en zonas más húmedas.

En áreas con altitudes menores a 2600 m se observan bosques de *P. pseudostrobus var. apulcensis*-*Q. laeta*, bosques de *P. pseudostrobus var. apulcensis*-*Q. crassifolia*, bosques de *P. lawsonii*-*P. pseudostrobus var. apulcensis*, bosques mixtos de *P. pseudostrobus var. apulcensis*, *P. lawsonii*, *P. patual*, *Q. crassifolia*, *Q. obtusata* y *Q. acutifolia* y bosques de pino con: *P. pseudostrobus var. apulcensis*, *P. lawsonii*, *P. patual* y *P. maximinoi*.

En las partes bajas cercanas al pueblo se establecen encinares caducifolios de *Q. liebmanii*, en laderas con exposición sur.

## VI.VI Situación política, económica y social

El territorio de Santa María Yavesía, Santa Catarina Lachatao y San Miguel Amatlán, forman parte de una sola comunidad agraria bajo el nombre Pueblos Mancomunados, la historia de dicho proceso es complicada pero existen documentos históricos que comprueban la mancomunidad de 400 años. En los pueblos Mancomunados, el potencial de recursos, los beneficios económicos, los líderes locales y los grupos políticos han jugado un papel muy importante. A fines de los años cuarenta la forma de manejo de los recursos financieros y la parcialidad de las decisiones, generaron una serie de inconformidades entre los municipios sobre todo porque las Autoridades de Lachatao y Amatlán decidieron retirar los fondos a Yavesía, argumentando que los fondos mineros se encontraban en las inmediaciones de estos municipios. Esta actitud causó serios estragos de inconformidad, sobre todo porque se

había roto el principio de comunalidad y por esta razón se empieza a gestar en (1951-1952) el movimiento separatista de Santa María Yavesía. (Diario Oficial de la Federación, 20 de octubre de 1961; H. Ayuntamiento de Santa María Yavesía, 2011). Lachatao y Amatlán son comunidades que han optado por el aprovechamiento de los recursos, mientras que Yavesía es una comunidad comprometida con la conservación.

El territorio de Pueblos mancomunados tiene una población de 2798 habitantes, de las cuales 1344 son hombres y 1454 mujeres, con una tasa de inmigración de casi 100%. En dicho territorio existen 817 viviendas habitadas, aproximadamente 50% tienen letrina por lo que las descargas al río son mínimas (INEGI, 2010). Con respecto a la educación, el 98% sabe leer y escribir, 57% aproximadamente tiene estudios a nivel primaria y pocos cuentan con estudios de nivel superior, aproximadamente 50% de las personas son hablantes de la lengua Zapoteca concentrado en población de la tercera edad y el resto solo hablan castellano (INEGI, 2010).

La mayor parte de la población obtiene sus ingresos de actividades ubicadas en el sector primario como el cultivo de maíz, papa y calabaza así como actividades ganaderas semiintensivas, a través de la venta de productos agrícolas, trabajos temporales y el comercio (INEGI, 2010). La población realiza labores de caza y recolecta dentro de sus bosques. La cacería es practicada de manera regular entre los habitantes, la mayor parte de la población sigue utilizando leña recolectada de lugares cercanos a la comunidad o en terrenos de cultivo, las especies más utilizadas son el encino (de 4 a 5 especies), manzanita (*Arctostaphylos pungens*), madroño (*Arbutus xalapensis*) y algunas especies de pino. Las especies de encino son las preferidas ya que es más durable y hace una mejor brasa (Ramírez *et al.*, 2001).

## **VII. METODOLOGÍA**

### **VII.I. Caracterización de factores ambientales**

Se utilizó el modelo digital de elevación (MDE) con una resolución  $\approx$  de 15m generado por el INEGI. Con este insumo se elaboraron productos derivados para reconocer las características del relieve, como la altitud, pendiente (inclinación del terreno) y aspecto del área (orientación de la ladera). Estos dos últimos se calculan a partir del MDE. Las características geológicas y edáficas se obtuvieron del conjunto de Datos Vectoriales Edafológicos, escala 1:250000 Serie II elaborado por INEGI (2007) y del conjunto de Datos Geológicos, escala 1:250000 Serie I elaborada por INEGI (2003) respectivamente y se calculó el índice de fertilidad del suelo propuesto por González-Espinosa (2004), basado en la interpretación de las propiedades físicas y químicas de los taxones del suelo como se describe en la leyenda del mapa de la FAO-WRB (IUSS, 2007), además de información sobre la textura del suelo y las fases físicas disponibles en el conjunto de datos vectoriales Edafológicos Serie II elaborado por INEGI. Las condiciones climáticas se analizaron a partir de la información de temperatura, precipitación y variables bioclimáticas disponibles en el Atlas climático digital (Fernández *et al.*, 2013), que tiene una resolución espacial de  $\approx$ 1 km. Con los datos de temperatura media y precipitación mensual se obtuvo la media anual de la evapotranspiración real mediante el modelo de Turc (1954).

### **VII.II. Estructura y composición de la Vegetación**

Para tener una representación espacial de la zona se utilizaron las imágenes de satélite Landsat 8 del 13 de marzo del 2013 y la imagen Spot 5 del 2010, mediante las cuales se identificaron los sitios de muestreo que posteriormente fueron localizados en campo junto con habitantes del lugar, que tienen conocimiento amplio del área.

#### **VII.II.I Muestreo en campo**

Para obtener las características estructurales y florísticas de los bosques de la zona, se seleccionaron sitios que abarcaran el gradiente altitudinal. En los sitios seleccionados se realizaron muestreos con un diseño de 3 parcelas circulares de 1000m<sup>2</sup> (17.8m de radio) cada una, para obtener información de parámetros estructurales como la densidad, área basal,

altura y composición florística. Los sitios fueron establecidos en áreas con condiciones similares y con el diseño que se muestra en la figura (Fig. 3).

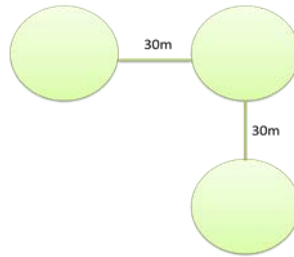
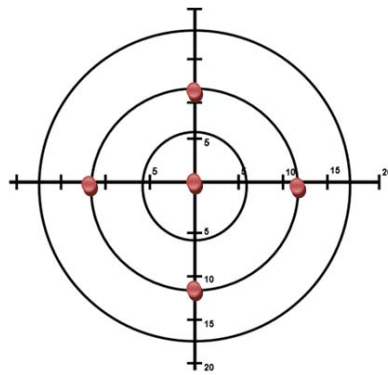


Fig. 3 Diseño de muestreo.

En cada círculo se obtuvieron datos de diámetro a la altura del pecho (DAP, 1.30 m), altura estimada y el registro de la especie siguiendo el método de Ramírez-Marcial *et al.* (2001). Los árboles adultos ( $DAP \geq 10\text{cm}$ ; se midieron en  $1,000\text{ m}^2$ . En una parcela concéntrica de  $500\text{ m}^2$  incluyó a los juveniles ( $5\text{cm} \leq DAP$ ) y en una parcela de  $100\text{ m}^2$  se censaron las plántulas ( $DAP < 5\text{cm}$  y altura de 50 a 130 cm) (Fig. 4).



**Fig. 4. Parcelas de muestreo.** A) parcela concéntrica de  $100\text{ m}^2$  (5.6m de radio) B) parcela de  $500\text{ m}^2$  (12.6m de radio) C) Parcelas de  $1000\text{ m}^2$  (Ramírez-Marcial *et al.* 2001). Los círculos rojos representan los lugares donde se tomaron las fotos hemisféricas.

Para evaluar la apertura del dosel, se tomaron fotos hemisféricas con un lente "ojo de pescado" montado en una cámara digital. Se obtuvieron 5 fotos por sitio, uno en el centro de la circunferencia y 4 a los 12.6m del centro, ubicados en cada punto cardinal (Fig. 4). Las

fotos se analizaron con el software libre Gap Light Analyzer (Frazer *et al.*, 1999) para obtener los parámetros de apertura del dosel.

Se hizo colecta de material botánico para identificar en gabinete las especies presentes en los sitios.

### **VII.II.II Composición florística**

Los ejemplares colectados en campo fueron identificados mediante la consulta y comparación de imágenes en listados anteriores de la zona así como con consulta con taxónomos expertos. Con esta información se elaboró una lista de especies de la zona encontradas en los muestreos

### **VII.II.III Parámetros estructurales**

Mediante los datos obtenidos en campo se obtuvieron los siguientes parámetros:

- a) **Área basal:** El área basal es una medida que sirve para estimar el volumen de especies arbóreas o arbustivas. Por definición, el área basal es la superficie de una sección transversal del tallo o tronco de un árbol a una determinada altura del suelo. En árboles, este parámetro se mide obteniendo el diámetro o el perímetro a la altura del pecho (DAP a una altura de 1.3 m). Para obtener el área basal se utilizó la siguiente fórmula:

$$AB = \pi (D^2/4)$$

Dónde:

AB= Área basal

D= DAP = Diámetro a la altura del pecho.

- b) **Densidad:** Es un parámetro que permite conocer la abundancia de una especie o una clase de plantas. La densidad absoluta (D) es el número de individuos (N) en un área (A) determinada:

$$D = N/A$$

Con base en base a esto se calculó la densidad relativa con la siguiente formula:

$$\text{Densidad relativa} = (D / D \text{ de todas las especies}) \times 100$$

- c) **Frecuencia:** Se calculó la presencia de las especies en cada círculo de muestreo, para cada sitio. La frecuencia relativa se obtuvo mediante la fórmula:

$$FR = \frac{\text{Frecuencia de especie}}{\sum \text{Frecuencia de todas las especies}} \times 100$$

- d) **Valor de importancia relativa:** Se calculó mediante la suma de los parámetros anteriores.

$$VIR = ABR + DR + FR$$

#### VII.II.IV Estructura diamétrica y vertical

En cada sitio se clasificaron a los individuos en 5 clases con diferentes diámetros y alturas y se graficaron.

#### VII.III Diversidad alfa

Para obtener la diversidad de especie en cada sitio, con la riqueza y número de individuos se calculó el índice inverso de Simpson ( $1/D$ ; Magurran, 1988) y el índice de  $\alpha$  de Fisher (Fisher



*et al.*, 1943), dichos índices fueron calculados en el programa estadístico R 3.0.3 con el paquete VEGAN.

#### VII.IV Identificación del nivel de deterioro

En cada uno de los círculos se trazó una línea a lo largo del círculo (de 35.6 m) y se determinó el índice de perturbación propuesto por Martorell y Peters (2005), el cual toma en cuenta 15 parámetros que se dividen en 3 grandes indicadores de actividad antropogénica: cría de ganado, actividades humanas y degradación de la tierra. Los 15 parámetros se describen a continuación:

##### a) Cría de ganado

1.- Frecuencia de excremento de cabra: Sobre la línea se calculó la frecuencia de excrementos de cabra en cuadros de 1 m<sup>2</sup> ubicados cada 5m. Se registró solo la presencia por cuadro.

2.- Frecuencia de excremento de ganado vacuno: Se realizó de la misma forma que el anterior pero con el registro de excremento de bovinos y equinos.

3. Ramoneo: Todos los arbustos y árboles (con excepción de Agave) que quedaron dentro del transecto fueron detenidamente examinados para detectar señales de ramoneo o maltrato por paso de animales. La proporción del ramoneo de las plantas total fue calculado como un índice de intensidad del ramoneo, es decir se contaron todas las plantas y se calculó un porcentaje de las ramoneadas.

4.- No. de caminos: Se registró el número de caminos de ganado.

5.- Compactación del suelo: Para medir que tan compacto está el suelo se utilizó un cilindro de un material resistente, el cual es impulsado en el suelo 4cm en cada uno de los puntos cardinales, posteriormente se vierten 5ml de agua en el cilindro, y se registrará el tiempo necesario para completar la infiltración.

##### b) Para las actividades humanas

6. Extracción de leña: Los campesinos suelen cortar ramas para su uso como leña. Este indicador se midió como el ramoneo, pero teniendo en cuenta los cortes de machete.

7. Camino Humanos: Se consideran los caminos usados por las personas.

8. Superficie de senderos humanos: Como los caminos más frecuentemente utilizados por las personas suelen ser más amplios, cubren una mayor fracción de la superficie del suelo. Se miden mediante el método de intercepción en línea, es decir se registrarán todos los caminos que atraviesen el transecto.

9. La proximidad de asentamientos humanos: Para ello se mide la distancia que hay del sitio de estudio al asentamiento humano más cercano. En este caso se utilizó una imagen para calcular la distancia con el apoyo del programa ArcGis y del GPS. Se calculó el inverso multiplicativo de la distancia (es decir se divide el 1 entre la distancia).

10. Contigüidad a núcleos de actividad: Se registran los transectos que estén a menos de 200m de un núcleo de actividades humanas, como casas, campos de maíz, las minas o capillas. La fracción de transectos contiguos a un núcleo se usa como un indicador. Un mismo núcleo no será contado dos veces, aunque este contiguo a dos transectos diferentes del mismo sitio.

11. Uso de la tierra: Se registró el porcentaje de cobertura del suelo dedicado a la agricultura, pastizales inducidos o cultivados, o las zonas urbanas en cada sitio, la estimación se hace visualmente.

12. Evidencia de incendios forestales: La presencia o ausencia de evidencia de fuego en cada sitio de estudio se registró como uno o cero.

#### c) Degradación de la tierra

13. La erosión: Se consideran los sitios donde el suelo muestra huellas de los materiales por el agua (como quebradas) como prueba inequívoca de la erosión. Para medición de este parámetro se seleccionaron 20 puntos al azar a lo largo del transecto para su estimación, y la fracción de los puntos erosionados es el registro.

14. Presencia de las islas del suelo: Se observó la presencia o ausencia de montículos de vegetación (islas) en un suelo severamente erosionado. El dato se registra como 1 o 0.

15. Superficies totalmente modificadas: Si el transecto cruza por superficies como: camino pavimentado, una casa, etc.

Al índice se agregaron dos variables más que fue número de tocones en el círculo y si en el pasado había sido o no terreno de cultivo

## VII.V Efecto de variables ambientales y de perturbación en composición y estructura de la vegetación

Para evaluar el efecto de las variables ambientales y de perturbación en la composición y estructura de la vegetación en el programa R 3.0.3 con los paquetes STATS y VEGAN se realizó un análisis de redundancia parcial, en las que se consideró para composición la matriz de abundancias en función de variables ambientales (altitud, orientación, calidad de suelo y evapotranspiración) y las variables de perturbación. Se realizó el análisis poniendo a cada grupo de variables como condicionantes y explicatorias.

Para la estructura de vegetación se realizó el mismo análisis pero esta vez se creó una matriz con características estructurales es decir densidad de individuos con diferentes rangos de diámetros y alturas.

El análisis anterior dio a conocer la variable de mayor efecto en la composición y estructura con las cuales se realizó una regresión lineal, que nos permitiría saber la relación que tenían y el aporte marginal de cada variable.

Para lograr un análisis más específico del efecto que tienen las variables en la estructura y composición vegetal se tomó la matriz de estructura y se realizó una nueva matriz que incluyera solo a las especies que se encontraban en 10 o más sitios y se le aplicó un modelo lineal generalizado de Poisson en serie, el cual fue programado en R 3.0.3 por Correa-Metrio *et al.* (2014).

## VII.VI Ámbito social

Para conocer el significado del bosque para los habitantes de la comunidad y el interés que tienen respecto a su conservación y restauración de los sitios perturbados, se realizaron entrevistas en las que el objetivo fue conocer la percepción que los habitantes tienen de sus recursos naturales. Dicha encuesta está constituida de 8 preguntas abiertas, se enfoca principalmente en conocer la importancia que tiene el bosque para los pobladores, los beneficios que obtiene de él, la percepción del cambio a través de los años y la disponibilidad que tienen de conservarlo y/o recuperarlo e identificar áreas prioritarias para dichas actividades. Así mismo en cada una de los cuestionarios a aplicar se recaba información personal como lo es: género, edad y ocupación (anexo 1). La información se analizó mediante estadística descriptiva.

## VII.VII Identificación de áreas prioritarias para restauración

Ya que el deterioro ambiental puede ocasionar cambio en las propiedades del suelo, remoción de ladera, inundaciones etc. se desarrolló un modelo apoyado en la información abiótica y biótica recolectada en el área, para la determinación de áreas vulnerables de deslizamiento en las que dependiendo de la cubierta vegetal y estado de la misma podría resultar necesario aplicar estrategias de restauración. El modelo está basado en los métodos propuestos por Gómez (2012) y por Peña (2013) con algunas modificaciones propias; para este caso en particular se usó información de la zona como datos fisiográficos, edafológicos, climáticos y de vegetación, los cuales fueron procesados en un sistema de información geográfica en el programa ArcGis 10 mediante el siguiente modelo (Fig. 5):

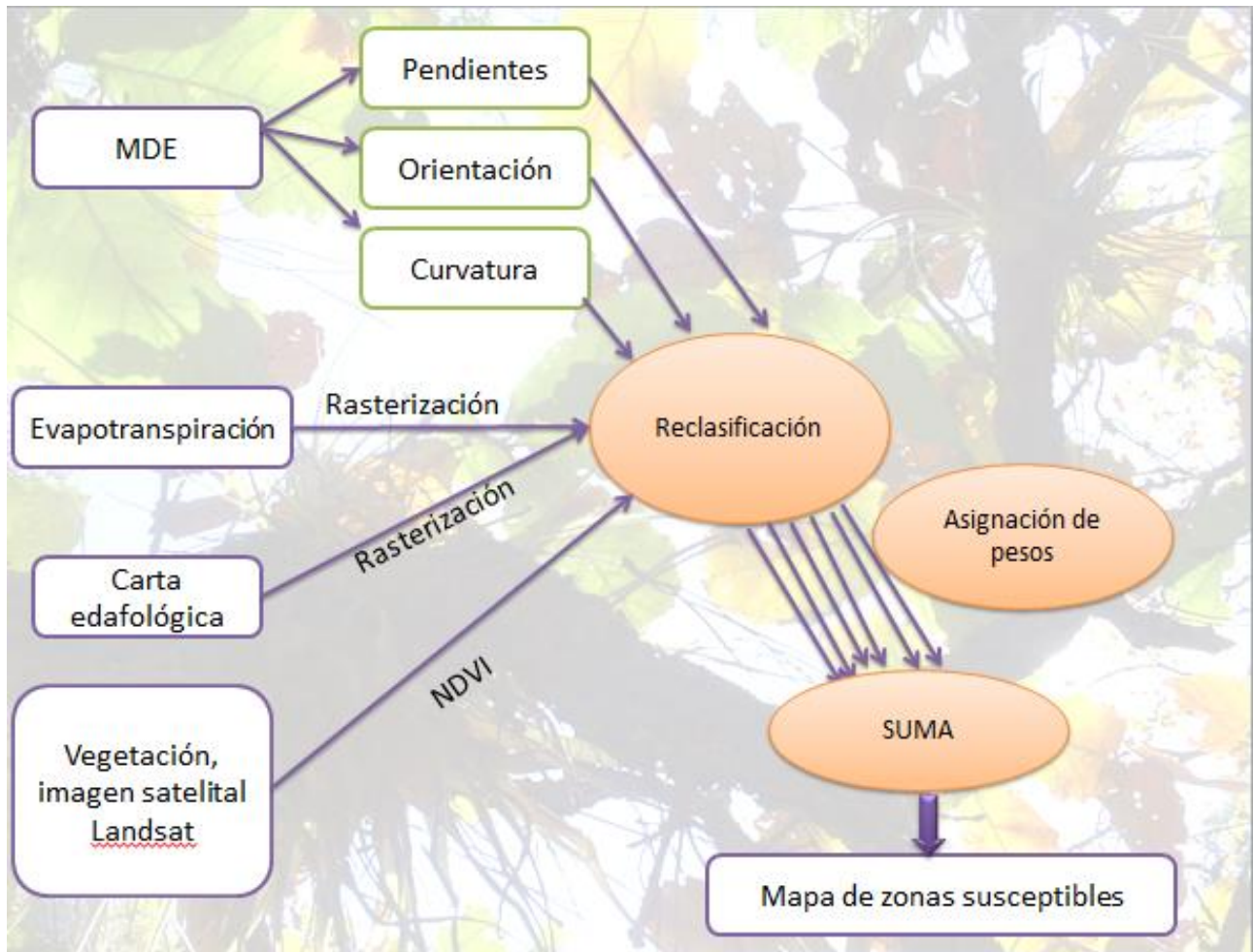


Fig. 5 Modelo de susceptibilidad

### VII.VII.II Factores topográficos

Para obtener dicha información se obtuvo el modelo digital de elevación (MDE) del INEGI con una resolución de 15m, a partir de este modelo se obtuvieron los mapas de pendientes, de curvatura (cambio en la pendiente) y de orientación de la ladera. Cada uno de los mapas obtenidos se reclasificaron y se les asignó un peso a cada clase como se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de factores topográficos.

Pendiente (°)	Clasificación Pendiente	Curvatura	Clasificación curvatura	Orientación	Clasificación orientación
0 a 3	1	convexo - cóncavo	1	Plano	1
3 a 6	2	Convexo-lineal	2	Noroeste	2
6 a 10	3	Lineal - cóncavo	3	Oeste	3
10 a 16	4	Cóncavo - convexo	4	Suroeste	4
16 a 25	5	Lineal - convexo	5	Sur	5
25 a 35	6	Concavo - lineal	6	Norte	6
35 a 55	7	Lineal - lineal	7	Sureste	7
>55	8	Convexo - convexo	8	Noreste	8
		concavo - concavo	9	Este	9

### VII.VII.III Factores edáficos

Otro factor primordial es el tipo de suelo ya que en sitios con partículas de tamaños medio es muy susceptible a ser removidos al igual que en sitios con suelo poco permeable, es decir muy rico en arcillas.

La información edáfica se obtuvo del INEGI de la carta edafológica serie II a escala 1:250000, ya que esta carta está disponible en formato vector, se rasterizó y se prosiguió a asignarles peso a cada una de los tipos de suelo, se le asignó un valor mayor al luvisol y el valor menor fue asignado para acrisol ya que es un material muy permeable compuesto por arenas (Fig. 6).

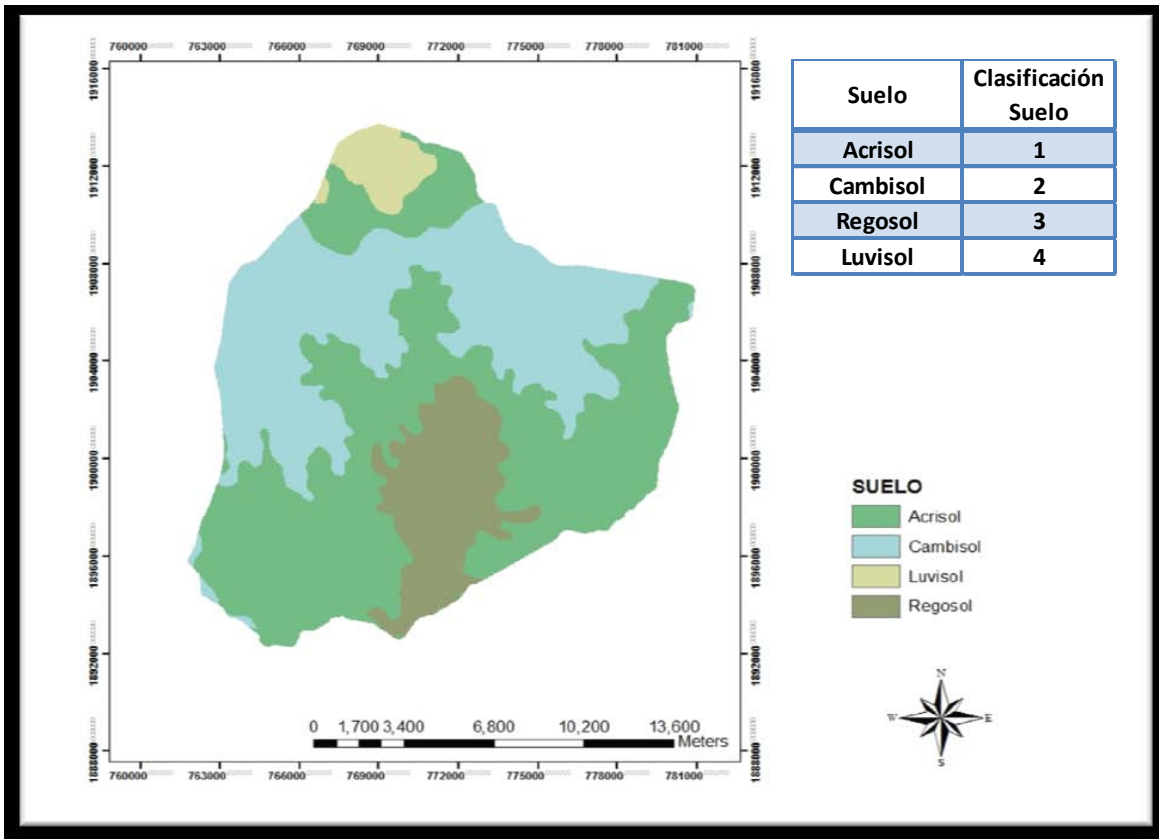


Fig. 6 Tipos de suelo y su clasificación

### VII.VII.VI Factores climáticos

Los mapas de temperatura y precipitación promedio de la zona se obtuvieron del Atlas Climático Digital de México elaborada por el Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM con una resolución espacial de 926 m con los cuales se calculó el mapa de evapotranspiración real (Fig. 7) mediante el método de Turc (1954) con la siguiente formula:

$$AET = P / [0.9 + (P / L) 2]^{1/2}$$

Donde:

AET= Evapotranspiración real

$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$

P = precipitación media anual

T = temperatura media anual.

Posteriormente se clasificaron los datos en 6 clases de evapotranspiración y se ponderaron como se muestra en el cuadro 2.

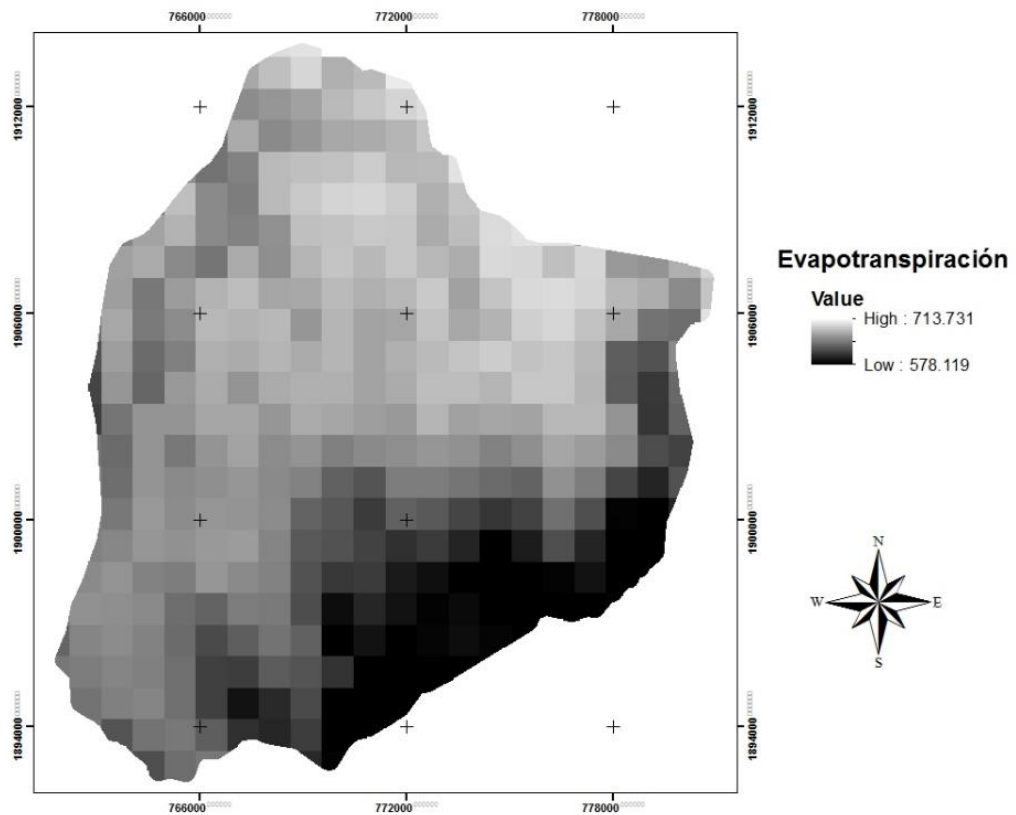


Fig. 7 Mapa de evapotranspiración real media anual

Cuadro 2 Clasificación y ponderación de los valores de evapotranspiración real

Evapotranspiración	Ponderación de evapotranspiración
550 a 600	1
600 a 625	2
625 a 650	3
650 a 675	4
675 a 700	5
>700	6

#### VII.VII.V Factores de vegetación



La vegetación juega un papel preponderante en el desarrollo de deslizamientos y para cuantificar la densidad de la cobertura lo que a su vez se puede interpretar como ausencia o presencia de vegetación se calculó el índice normalizado de vegetación (Rouse *et al.*, 1973) tomando los valores de la imagen Landsat 8 a la cual se le aplicó la siguiente formula:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

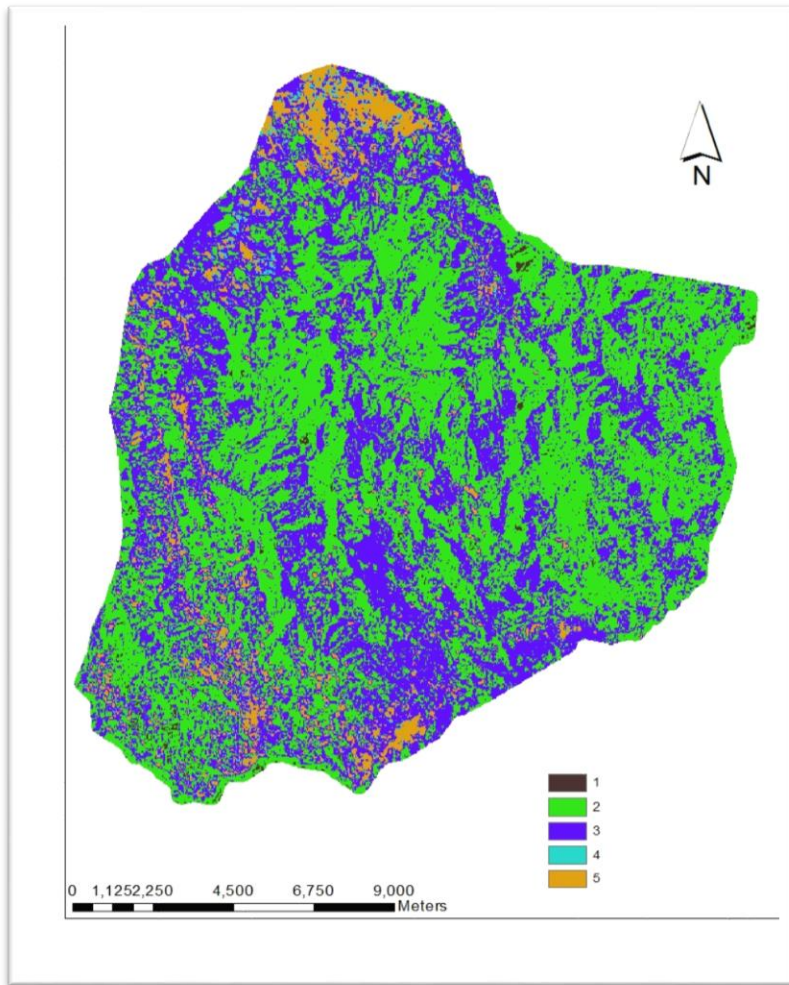
Donde:

NDVI= Índice normalizado de vegetación

NIR = Reflectancia infrarrojo cercano

R = Radiación roja

El resultado fue un mapa con valores continuos que van de 0.01 a 0.50 los cuales fueron clasificados en 5 clases y ponderados asignando valores menores a los sitios con menor vegetación o valores de NDVI bajos y al contrario, como se hizo con el resto de los mapas. (Fig. 8).



NDVI	Ponderación
0 a 0.1	1
0.1 a 0.2	2
0.2 a 0.3	3
0.3 a 0.4	4
0.4 a 0.5	5

Fig. 8 Clasificación y ponderación del mapa de NDVI

Una vez con los mapas ponderados se realizó la sumatoria de todos los factores para de esta manera obtener los sitios más vulnerables de remoción.

Al mapa resultado de dicho modelo se le agrego la información aportada por la población sobre lugares prioritarios a restaurar así como la información obtenida en campo sobre la perturbación y características de la vegetación, para determinar las áreas en las que se requiere aplicar estrategias de restauración.

## VIII. RESULTADOS

### VIII. I Caracterización de factores ambientales

Se estudiaron un total de 26 sitios con muestras de 1,000 m<sup>2</sup>, con tres replicas para cada sitio (3,000 m<sup>2</sup>), estos se encuentran en rango de altitud de 1,928 a 2,865 m s.n.m, con pendientes arriba de 6° y orientaciones diversas, están presentes 4 tipos de suelo y evapotranspiración anual real desde 641 a 688 mm (Cuadro 3). En total para el área se muestrearon 7.8 has.

Cuadro 3. Características de los sitios muestreados.

SITIO	ALTITUD	PENDIENTE (°)	ORIENTACIÓN	SUELO* <sup>1</sup>	TIPO DE ROCA	EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL <sup>2</sup> (mm)
1	1928	28	NE	LVcrlen	Caliza-Lutita	649.1
2	1982	26	N	ACcrlen	Lutita-arenisca	660.4
3	2059	20	NO	ACcrlen	Caliza-Lutita	674.2
4	2147	6	SO	ACcrlen	Caliza-Lutita	656.2
5	2170	26	N	CMrody	Lutita-arenisca	662.8
6	2225	19	N	CMrody	Caliza-Lutita	677.6
7	2274	27	S	CMrody	Caliza-Lutita	677.6
8	2322	21	SO	ACcrlen	Caliza-Lutita	682.0
9	2337	29	E	CMrody	Lutita-arenisca	675.1
10	2385	13	NO	ACcrlen	Caliza-Lutita	682.0
11	2427	21	O	CMrody	Lutita-arenisca	688.5
12	2474	21	NE	ACcrlep	Lutita-arenisca	679.0
13	2491	25	E	ACcrlep	Andesita	674.0
14	2518	24	N	CMrody	Lutita-arenisca	676.3
15	2535	22	NE	ACcrlep	Andesita	683.4
16	2536	14	O	CMrody	Caliza-Lutita	679.6
17	2574	19	NE	ACcrlep	Lutita-arenisca	676.3
18	2631	23	NE	ACcrlep	Andesita	674.7
19	2636	15	NE	ACcrlep	Caliza-Lutita	676.3
20	2648	18	O	ACcrlep	Andesita	679.2
21	2662	11	NE	ACcrlep	Andesita	675.1
22	2699	25	NO	ACcrlep	Andesita	655.1
23	2701	36	N	ACcrlep	Andesita	665.8
24	2750	25	NO	ACcrlep	Andesita	658.2
25	2794	9	SO	RGdyar	Arenisca-Toba intermedia	653.0
26	2865	20	NE	ACcrlep	Andesita	640.9

\*<sup>1</sup> ACcrlen :Acrisol crómico endo léptico; ACcrlep: Acrisol crómico epiléptico; LVcrlle: Luvisol crómico endoléptico; CMrody: Cambisol ródico distríco; RGdyar: Regosol distríco arénico. <sup>2</sup> Evapotranspiración calculada con el método de Turc (1954).

## Índice de calidad de suelo

Los valores del índice de calidad de suelo pueden ir de 7 a 56. En este estudio se obtuvieron valores altos entre 30 y 48; el luvisol crómico endoléptico fue el de mayor calidad y cambisol ródico dístico fue el de menor valor (Cuadro 4).

Cuadro 4. Variables del suelo que se incluyen para desarrollar el índice de calidad de suelo propuesto por González Espinosa et al. (2004).

Variable	ACcrlen		ACcrllep		LVcrlen		CMrody		RGdyar	
<b>Drenaje</b>	Regular/ bueno	5	Regular/ bueno	5	Bueno	8	Bueno	8	Bueno	8
<b>Profundidad efectiva</b>	Media/ Profunda	6	Media	5	Media/ Profunda	6	Media/ Profunda	6	Delgado/ medio	3
<b>Textura/ estructura</b>	3, regular	5	3, regular	5	2, buena	7	2, regular	4	1,regular	4
<b>Saturación de bases</b>	<50	4	<50	4	>50	6	<50, baja	2	<50, baja	2
<b>Contenido de materia orgánica</b>	Media	5	Media	5	Media	5	Media/ baja	3	Baja	2
<b>Reservas minerales</b>	Baja/ media	3	media	4	Alta	8	Baja/Medi a	3	Media/ alta	5
<b>Capacidad de intercambio de mineral / naturaleza arcilla</b>	Baja/ media	3	Media	4	Alta	8	Media	4	Alta	7
<b>Total</b>		31		32		48		30		31

ACcrlen :Acrisol crómico endo léptico

ACcrllep: Acrisol crómico epiléptico

LVcrlle: Luvisol crómico endoléptico

CMrody: Cambisol ródico dístico

RGdyar: Regosol distrito arénico

## VIII. II Caracterización de la estructura y composición de la vegetación

### VIII.II.I Composición florística

Se censaron un total de 7,879 individuos incluidas en 22 familias, pertenecientes a 90 morfoespecies de las cuales 68 se identificaron a nivel de especie, 13 a nivel de género y el resto solo a familia. La familia mejor representada fue la Asteraceae con 20 especies, seguida de Fagaceae con 16, Pinaceae con 12, Fabaceae con 10, Rosaceae y Ericaceae con 4 especies, Onagraceae, Rhamnaceae y Lauraceae con 2 y solo se encontró una especie de las familias Betulaceae, Buddlejaceae, Clethraceae, Cactaceae, Salicaceae, Verbenaceae, Asparagaceae, Meliaceae, Berberidaceae, Lamiaceae, Nyctaginaceae, Sapindaceae y Solanaceae. (Anexo 2)

La familias mejor representadas de acuerdo al valor de importancia que considera la densidad, el área basal y la frecuencia en cada uno de los sitios son: Fagaceae y Pinaceae con *Quercus crassifolia*, *Q. rugosa* y *Pinus patula* como las especies con mayor valor de importancia relativa y abundancia en la zona (Fig. 9).

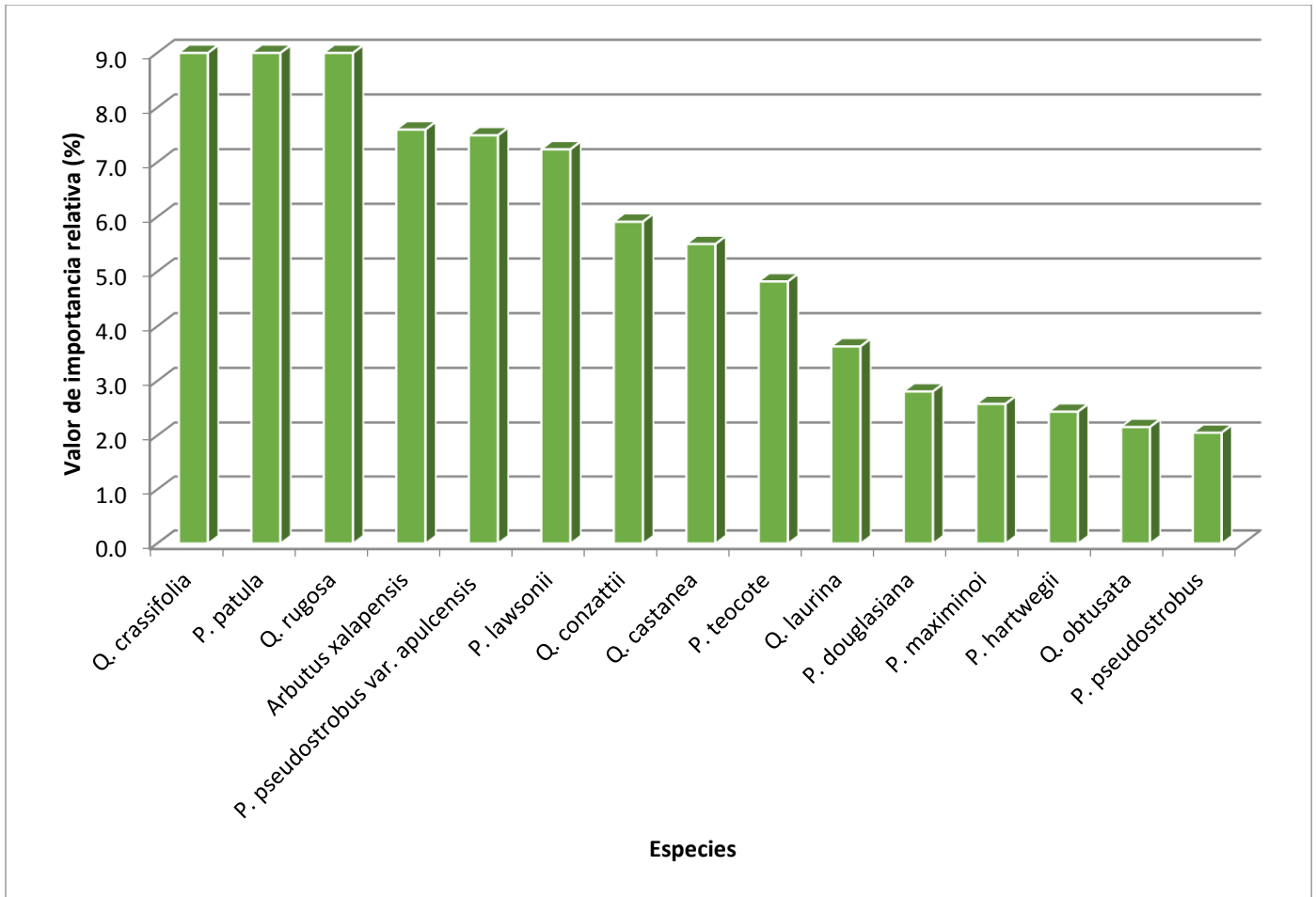


Fig. 9 Especies con mayor valor de importancia relativa en los sitios de muestreo.

### VIII.II.I Parámetros estructurales

El sitio con mayor riqueza presenta 12 especies en promedio (considerando los 3,000 m<sup>2</sup>), cuatro veces más que el de menor riqueza (sitio 8) con 3 especies en promedio. En la mayoría de los sitios se observa una mayor proporción de individuos con diámetros menores a 10cm y el área basal de estos individuos es menor a 1 m<sup>2</sup>, mientras que para los individuos mayores esta entre 1.6 y 5.4 m<sup>2</sup> (Cuadro 5). Cabe mencionar que el sitio con mayor área basal es uno de los sitios con mayor altitud y es en donde se observaron menores signos de perturbación.

Cuadro 5. Riqueza, densidad y área basal absoluta por sitio (en 0.1ha).

Sitio	Riqueza			Densidad Ind. DAP<10cm			Area Basal (m <sup>2</sup> /0.1ha) Ind. DAP<10cm			Densidad Ind. DAP≥10cm			Area Basal (m <sup>2</sup> /0.1ha) Ind. DAP≥10cm		
1	4	±	0.00	50.7	±	59.0	0.076	±	0.048	61.7	±	16.4	1.795	±	0.449
2	9	±	0.58	285.3	±	93.0	0.282	±	0.076	53.7	±	6.7	1.603	±	0.014
3	7	±	1.53	136.0	±	50.1	0.298	±	0.017	57.7	±	16.3	2.071	±	0.563
4	4	±	1.00	134.7	±	32.4	0.622	±	0.172	57.7	±	38.5	2.069	±	0.305
5	8	±	0.58	142.0	±	75.2	0.283	±	0.142	57.0	±	7.2	2.803	±	0.470
6	12	±	1.00	495.3	±	57.4	0.372	±	0.035	50.0	±	5.3	1.976	±	0.569
7	7	±	0.58	146.0	±	22.5	0.217	±	0.031	48.7	±	9.0	2.119	±	0.345
8	3	±	1.53	108.0	±	40.4	0.281	±	0.062	58.7	±	5.9	2.000	±	0.121
9	7	±	1.53	165.3	±	71.1	0.344	±	0.034	70.7	±	18.6	2.515	±	0.375
10	5	±	1.15	86.0	±	31.2	0.235	±	0.020	63.7	±	12.2	2.491	±	0.344
11	7	±	0.58	134.7	±	124.3	0.184	±	0.139	62.3	±	3.1	2.932	±	1.102
12	11	±	0.00	186.0	±	39.8	0.336	±	0.112	70.3	±	19.5	3.065	±	0.818
13	7	±	1.15	132.7	±	25.3	0.139	±	0.043	43.7	±	4.9	2.849	±	0.502
14	6	±	1.15	117.3	±	110.4	0.306	±	0.235	69.7	±	11.6	3.409	±	0.418
15	9	±	0.58	93.3	±	30.6	0.180	±	0.130	56.0	±	9.0	3.473	±	0.468
16	9	±	1.53	261.3	±	63.1	0.326	±	0.104	69.0	±	16.5	4.332	±	0.416
17	6	±	0.58	66.0	±	17.4	0.125	±	0.043	55.0	±	20.4	3.292	±	0.736
18	8	±	1.53	70.7	±	58.4	0.130	±	0.104	74.7	±	19.5	5.421	±	0.674
19	8	±	3.51	531.3	±	131.2	1.351	±	0.242	130.7	±	62.8	4.070	±	0.268
20	8	±	1.53	76.0	±	40.1	0.130	±	0.046	44.0	±	17.0	3.959	±	0.935
21	7	±	0.58	52.7	±	23.9	0.095	±	0.038	39.0	±	18.2	3.048	±	0.165
22	9	±	2.08	58.7	±	76.0	0.097	±	0.076	49.0	±	14.4	4.512	±	1.000
23	10	±	0.58	314.7	±	156.5	0.370	±	0.163	55.7	±	15.6	3.370	±	0.815
24	7	±	1.53	100.7	±	52.1	0.149	±	0.034	33.3	±	5.7	3.070	±	0.650
25	8	±	1.15	108.0	±	37.5	0.194	±	0.024	44.0	±	7.0	2.154	±	0.446
26	11	±	1.15	391.3	±	56.9	0.167	±	0.064	57.0	±	17.4	5.240	±	0.524

### VIII.II.III Densidad

El sitio con mayor número de individuos fue el 19 con 1,986 seguido del sitio 6 con 1,600 y el de menor densidad el sitio 21 con 275. Al considerar únicamente a los individuos con DAP ≥ 10cm (Fig. 10a), entre las especies arbóreas con mayor densidad destacan *P. patula* que representa el 14% del total de los individuos muestreados en todos los sitios, *Q. crassifolia* con un 13% y *Q. rugosa* con 12% y que están presentes en la mayoría de los sitios.

Se observa una diferencia en la distribución de las especies, relacionada con la altitud. En los sitios con menor altitud (entre 1900 y 2450) predominan *Q. conzattii*, *Q. castanea*, *P. lawsonii* y *P. teocote*; mientras que en sitios con altitud media (2450 – 2650 m s.n.m.) hay una mayor abundancia de *Q. rugosa*, *P. pseudostrobus var. apulcensis* y *P. patula*; en los sitios con altitud por encima de 2,650m s.n.m. las especies más abundantes fueron *P. hartwegii*, *Q. carssifolia* y *Q. laurina* tal es el caso del sitio 25 en donde *P. hartwegii* representa el 66% (Figura 10.a).

Al analizar la densidad de los individuos con DAP<10cm que representan a los individuos jóvenes de árboles y algunas especies de arbustos se encontró que la composición y proporción de especies en el estrato de individuos jóvenes difiere del estrato de adultos. Mientras en adultos 47% de los individuos pertenecen a encinos, 45 a pinos y 8% a otros géneros; en los jóvenes se tiene 47% de otros géneros, 37% de encinos y 16% de pinos.

En general las tres especies más abundantes de individuos adultos (*Q. crassifolia*, *Q. rugosa* y *P. patula*) también fueron las más abundantes en individuos jóvenes, pero a nivel de sitio se observa que en aquellos por abajo de 2,450m s.n.m.(sitios 1- 11) hay mayor presencia de *Calliandra hirsuta*, *Dodonea viscosa* y *Q. conzattii*; en sitios con altitud media (2,450 – 2,650 m s.n.m.) hay una mayor abundancia de *P. patula*, *Q. crassifolia* y *Q. rugosa* y en los sitios de altitud mayor a 2,650 m las especies con mayor densidad son *Q. laurina*, *P. patula*, *Litsea glauscencens* y *Roldana sartorii* (Figura 10.b).



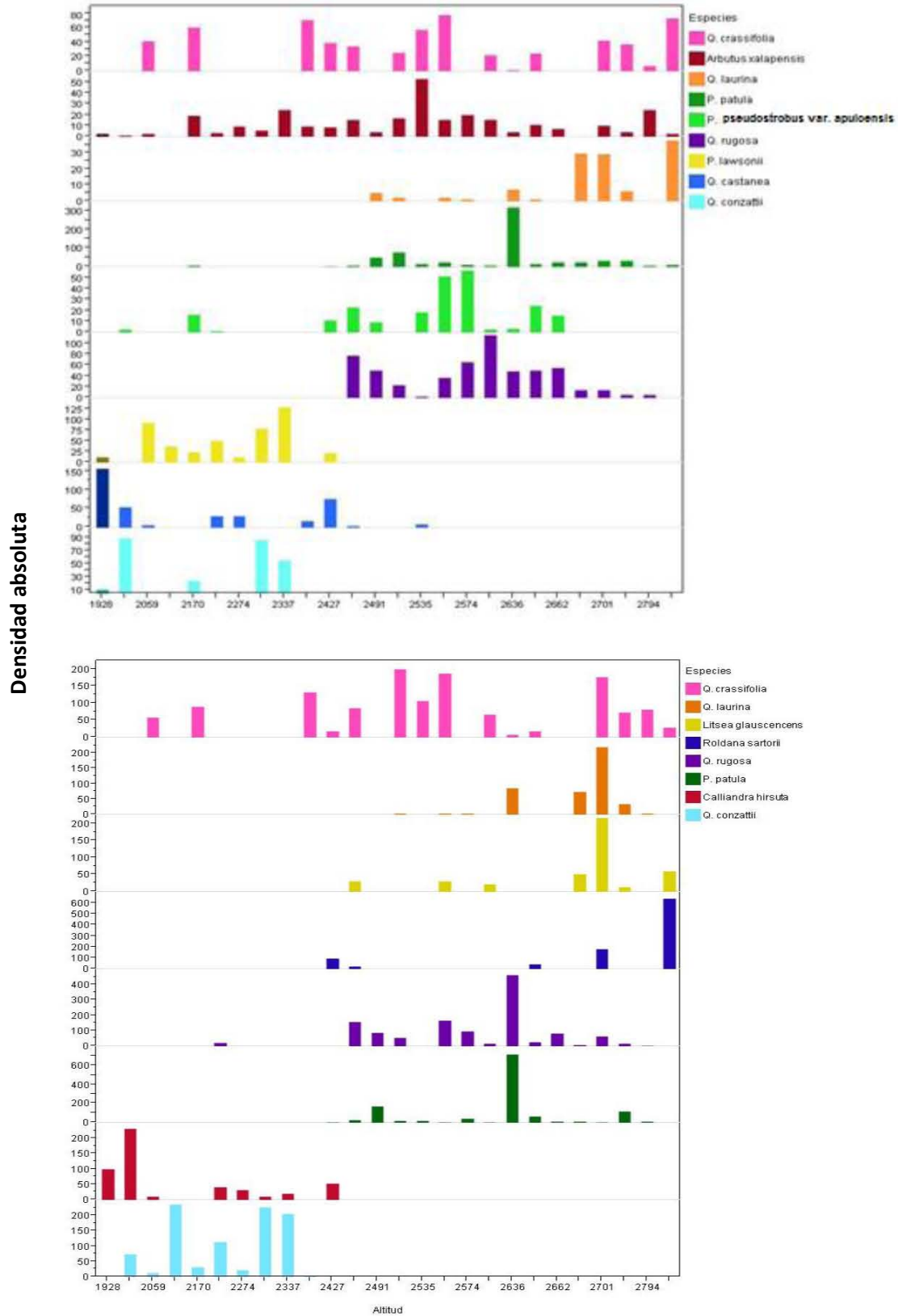


Fig. 10. Densidad relativa de especies, a) considerando solo los individuos con DAP ≥ 10 cm; b) densidad de los individuos con DAP menores de 10 cm.

Para reconocer si existen signos de restablecimiento en el bosque y saber si hay relación entre los individuos adultos y jóvenes en los sitios, se agruparon solo las especies de árboles en tres categorías que fueron *Pinus*, *Quercus* y otros (que incluye a todos los demás géneros) y se separaron en jóvenes ( $DAP \leq 10\text{cm}$ ) y adultos ( $DAP \geq 10\text{cm}$ ). Se encontró que los individuos jóvenes de encino son los que predominan en casi todos los sitios, solo en los dos sitios de menor altitud de alrededor de 1,900 metros, en el sitio 22 y en el de mayor altitud (sitio 26) los jóvenes que predominan corresponden a otros géneros entre los que están *Leucaena trichandra*, *Cedrela oaxacensis*, *Arbutus xalapensis* y *Litsea glauscencens*. En los sitios 13, 16 y 24 predominan individuos jóvenes de pinos (Fig. 11a), sin embargo en muchos otros están ausentes.

En el caso de los adultos destaca una dominancia de encinos en muchos de los sitios, solo en 4 (sitios 3, 4, 14 y 25) los pinos son más abundantes, sin embargo en esos sitios los individuos jóvenes más abundantes no pertenecen al género *Pinus* (Fig. 11b).

Los modelos generalizados de regresión de Poisson muestran que la abundancia de individuos jóvenes tanto de pinos, encinos y otros se relaciona con la presencia de adultos de pinos, sin embargo una mayor abundancia de encinos adultos tiene un efecto negativo en la presencia de individuos jóvenes de las especies de pinos, sin que se observe ni un efecto en juveniles del resto de árboles (Fig. 12).

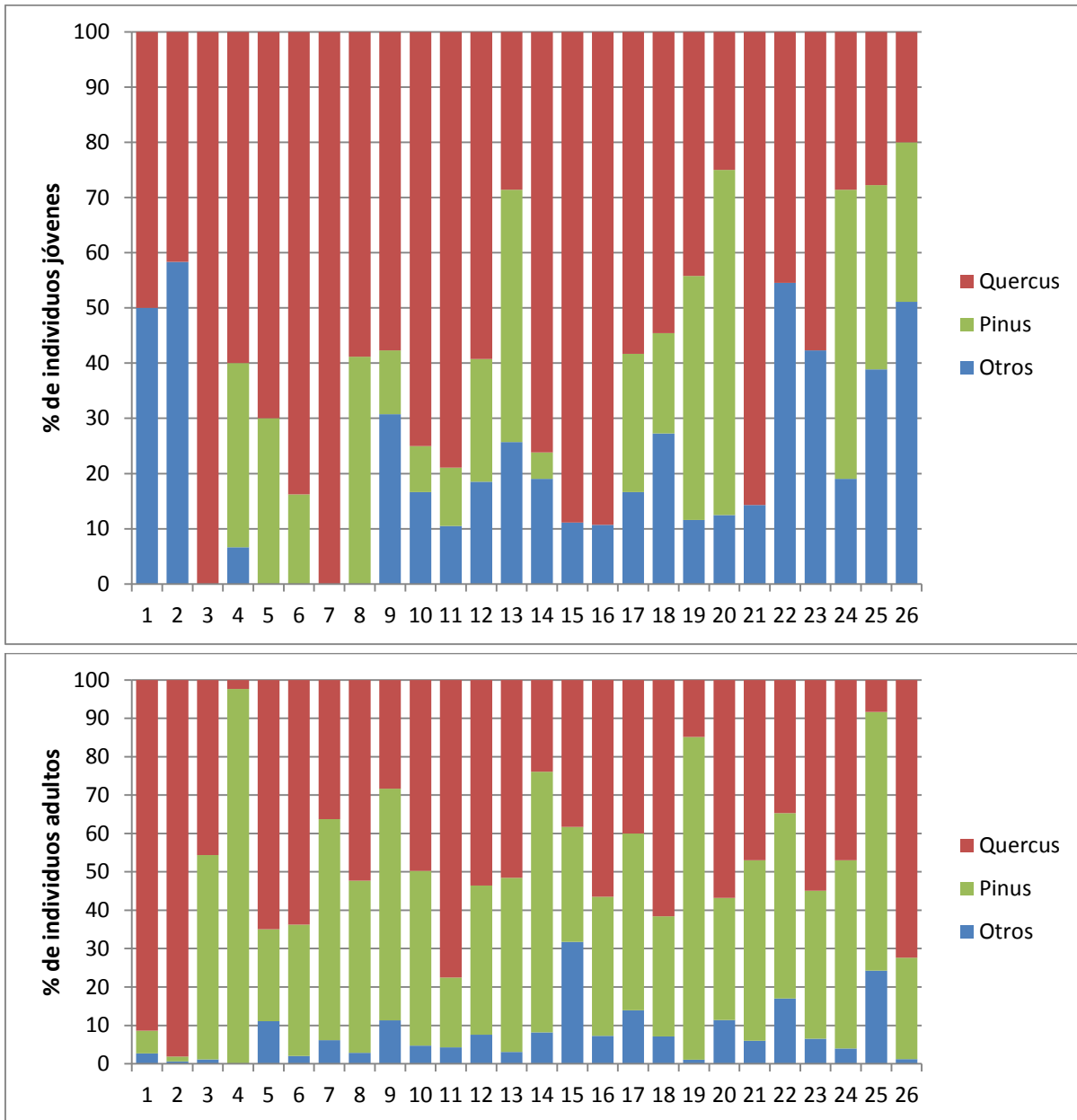


Fig. 11 Densidad relativa de *Pinus*, *Quercus* y otros. A) Densidad de juveniles (DAP < 10 cm). B) Densidad de adultos.

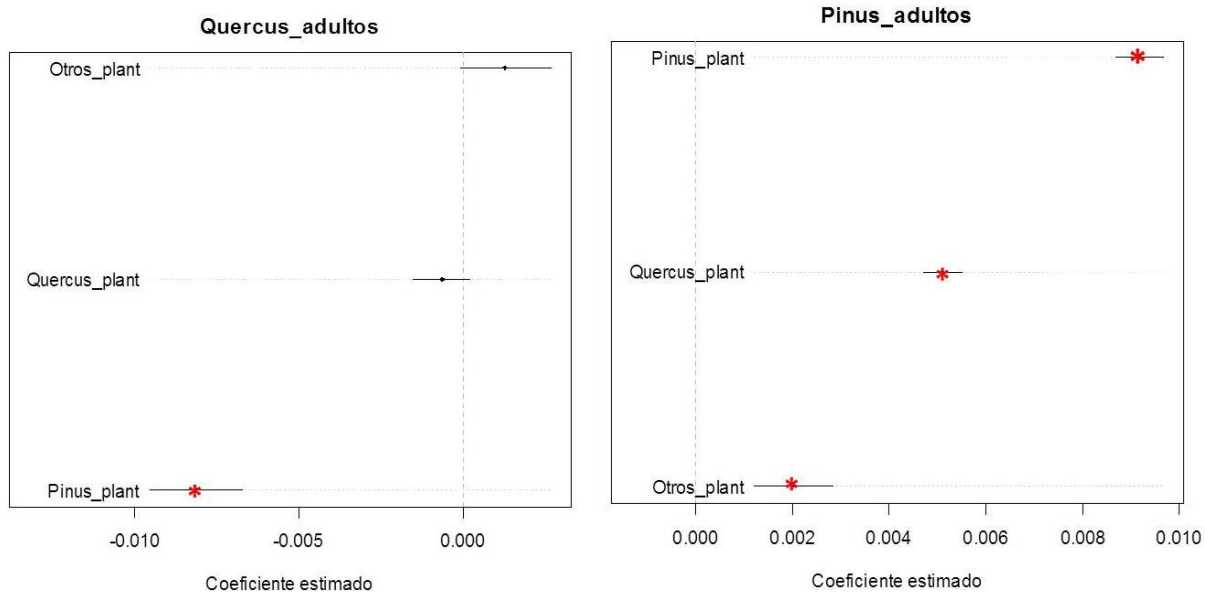


Fig. 12 Grafico del modelo generalizado Poisson de juveniles de pinos, encinos y otros en función de encinos adultos y pinos adultos.

#### VIII.II.IV Área basal

Los géneros con mayor área basal en la zona fueron *Pinus* y *Quercus* con 63 y 32% respectivamente, de los cuales *Pinus patula* representa el 14%, seguido de *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* con el 13% y de *P. lawsonii* con el 11%; los sitios que presentan área basal menor a 7 m<sup>2</sup> corresponden en la mayoría a sitios localizados por debajo de los 2330 m, en donde la cobertura está dominada por *Q. castanea*, *P. teocote* y *P. lawsonii*; en este grupo también se encuentra el sitio 25 ubicado a 2790 m s.n.m. el cual es dominado por *P.hartwegii*. La mayoría de los sitios presentan área basal entre 7 y 11m<sup>2</sup> siendo *P. patula*, *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* y *Q. rugosa* los dominantes y solamente 6 sitios tiene área basal mayor a 11m<sup>2</sup>, dichos sitios se encuentran a más de 2600 m de altitud y están representados por *P.hartwegii*, *P. douglasiana* y otras especies entre las que destacan *P. pseudostrobus* y *Q. laurina* (Fig. 13).

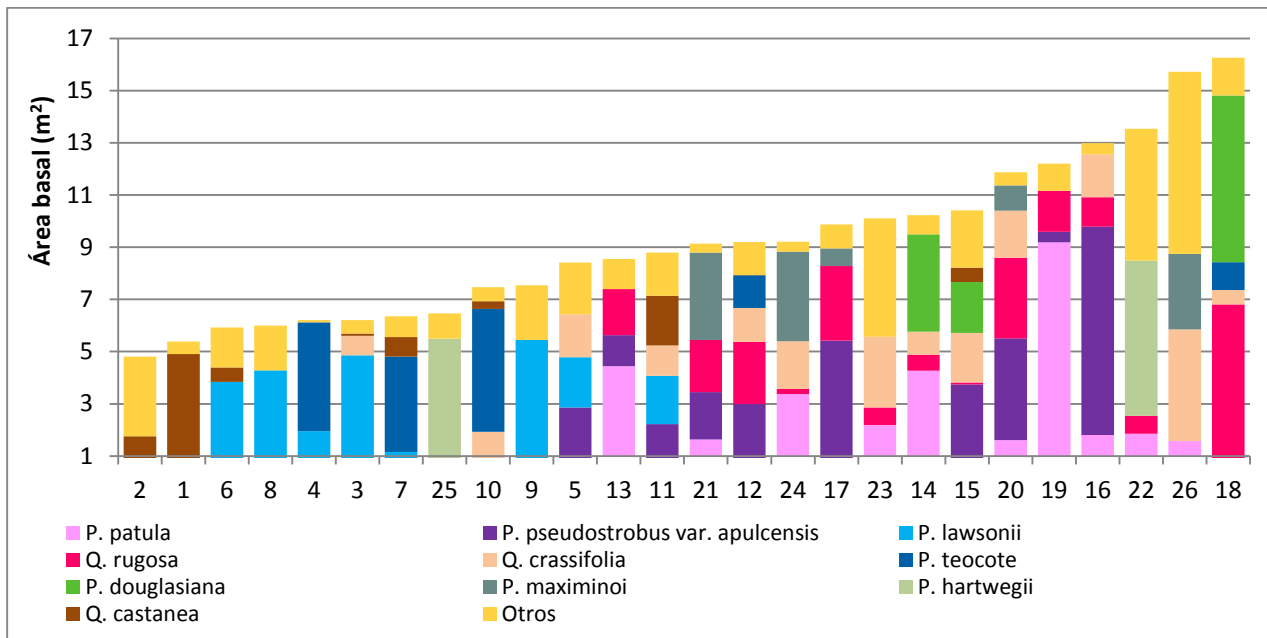


Fig. 13 Área basal para cada uno de los 26 sitios estudiados ordenados por altitud.

#### VIII.II.V Valor de importancia relativa

Con los datos de densidad, área basal y frecuencia se calculó el valor de importancia para cada especie en todos los sitios tomando en cuenta los individuos  $\geq 5$  cm de DAP. Las especies con mayor valor de importancia en toda el área fueron *Q. crassifolia*, *Q. rugosa*, *P. patula* y *P. lawsonii* que representan alrededor del 10% cada una. En los sitios con altitudes menores a 2,450 metros las especies con mayor valor de importancia son *Q. castanea*, *Q. conzattii*, *Q. crassifolia*, *P. lawsonii* y *P. teocote*. En altitudes entre 2,450 y 2,650 m s.n.m. las especies más importantes fueron *P. patula*, *P. pseudostrobus* var. *apulcensis*, *P. douglasiana* y *Q. rugosa* y en los sitios ubicados a más de 2650m *P. maximinoi*, *P. hartwegii*, *Q. laurina* y *Q. crassifolia*. Resalta el hecho de que tanto *P. patula* como *Q. crassifolia* son especies que se encontraron en la mayoría de los sitios (Fig. 14a).

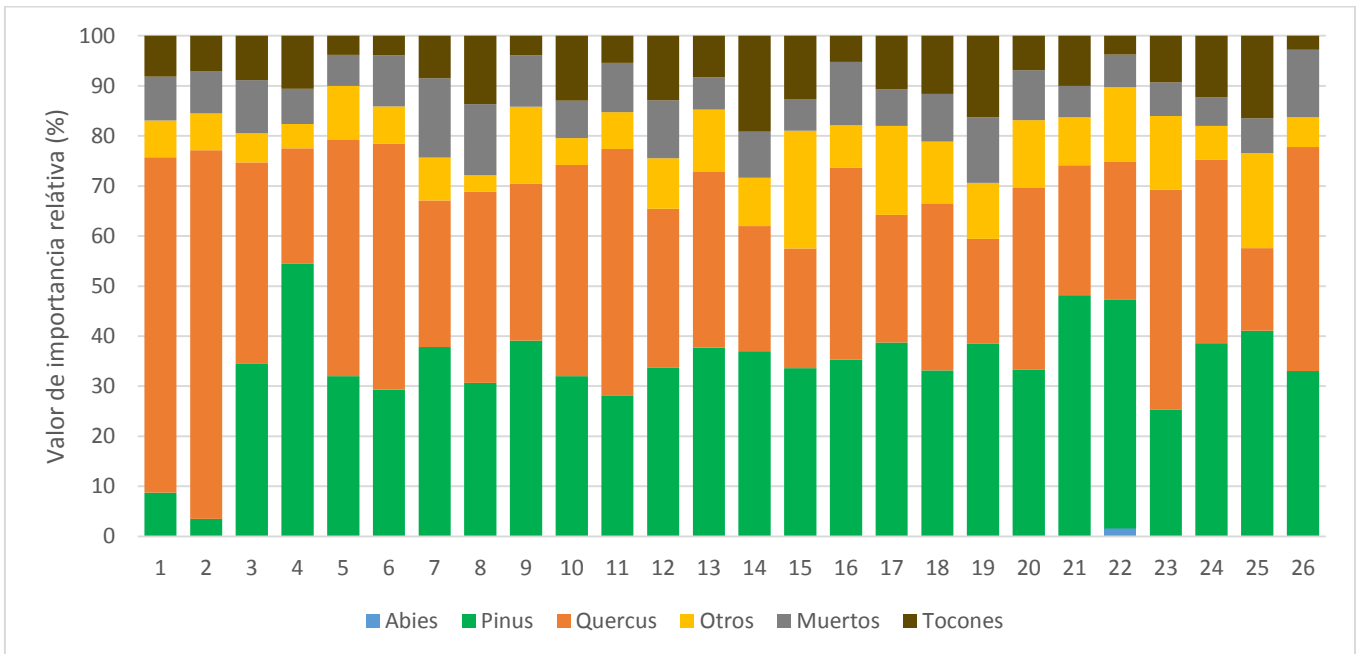
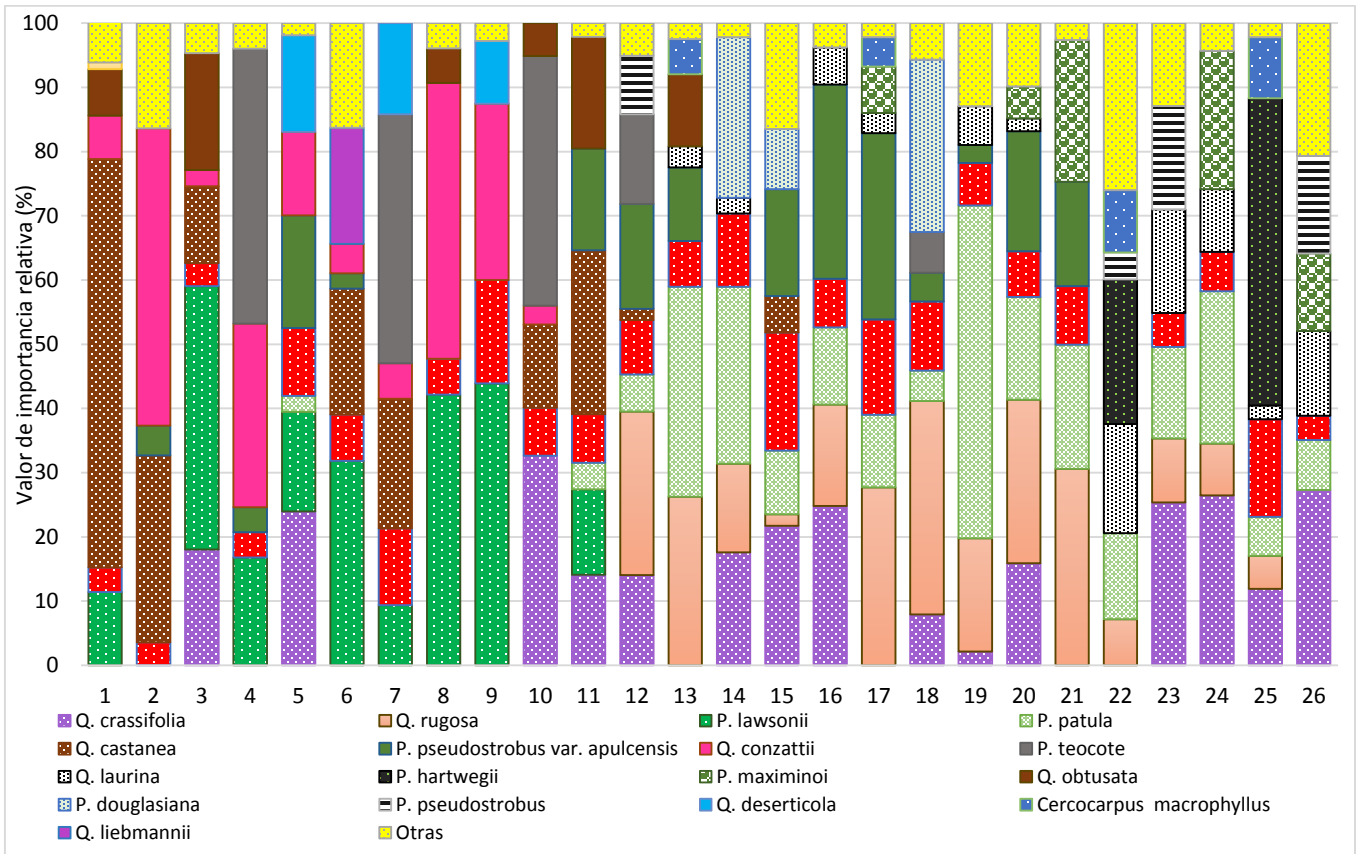


Fig. 14 Valor de importancia a) de especies presentes en cada uno de los sitios (solo vivos) b) de biomasa y necromasa en cada sitio.

Para cuantificar la proporción de necromasa que está presente y así tener una idea de si ha habido extracción en cada uno de los sitios, se agruparon a los individuos censados en 6 clases: *Abies*, *Pinus*, *Quercus*, otras especies, árboles muertos y tocones. En la figura 14b se observa claramente que en la mayoría de los sitios los bosques son mixtos (pino–encino, encino–pino), solo en dos de los sitios, que son los que se encuentran a menor altitud ( $\approx 1,900\text{m}$ ) se encontró una predominancia de encinos y únicamente en el sitio 4 los pinos representan un valor de importancia que rebasa el 50%. Se observa también que en la mayoría de los sitios, más del 10% de lo muestreado está representado por tocones y árboles muertos. El sitio 14 es el que presentó mayor evidencia de extracción ya que alrededor del 20% del valor de importancia corresponde al registro de tocones. Otros sitios como en el 19 y el 8, cerca del 30% del valor de importancia lo representan los tocones y los árboles muertos.

#### **VIII.II.VI Estructura diamétrica**

En general se registraron mayor cantidad de individuos menores a 10cm de DAP en todos los sitios, ya que aproximadamente el 60% de la densidad total corresponde a individuos con estas características, especialmente en los sitio 6 y 26 se observa que más del 80% corresponde a individuos con  $\text{DAP} < 5\text{cm}$  en contraste con los sitios 1 y 18 en donde poco más del 50% de los individuos presentan  $\text{DAP} > 10\text{cm}$  (Fig. 15).

Al evaluar solo a los individuos adultos (con  $\text{DAP} \geq 10$ ) se observa que la densidad de árboles con diámetros entre 10 y 20cm son los que predominan representando en la mayoría de los sitios más del 50%, esta categoría es mayor en los dos sitios de menor altitud (alrededor de 1,900m s.n.m.) y en el sitio 19 que es uno de los más altos (2,636 m). La proporción de la categoría de individuos con diámetros mayores a 50cm es baja, solo en 4 de los sitios con altitud mayor a 2,640m (sitios 20, 22, 24 y 26) esta proporción rebasa el 10% y es nula en el sitio uno.

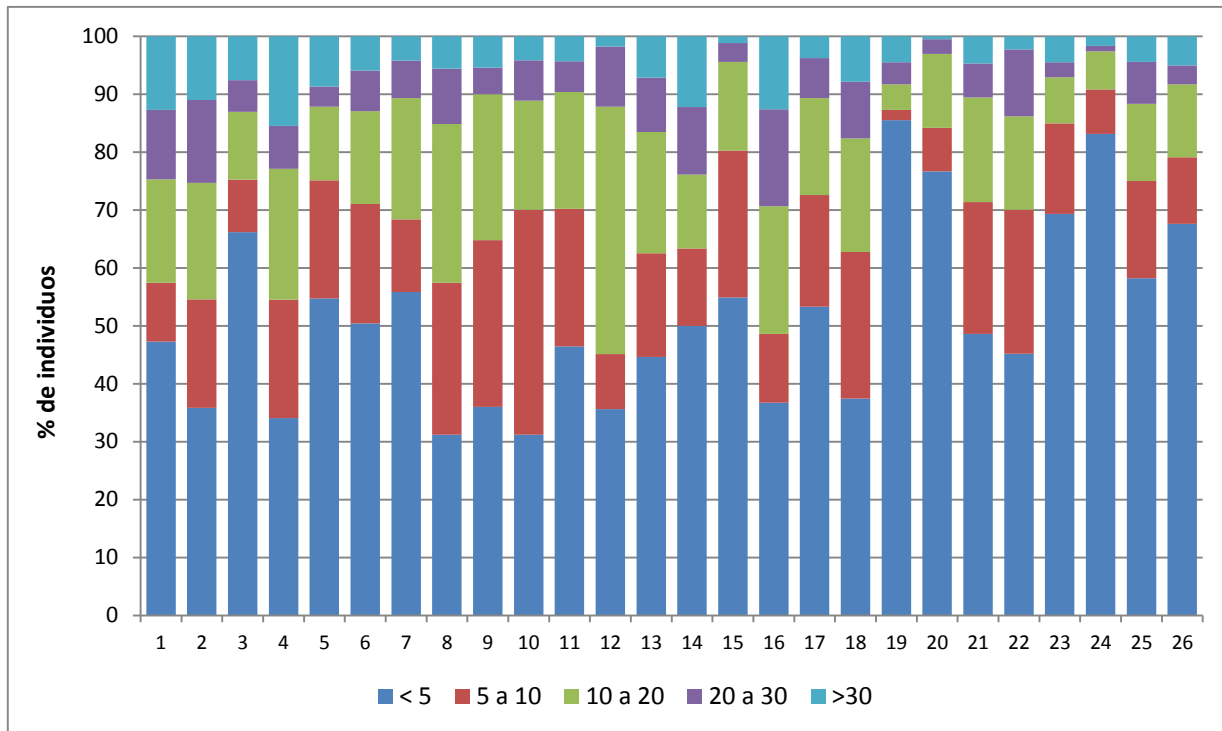


Fig. 15 Distribución de los diámetros. Se representan a todos los individuos en todos los sitios.

## VI.II.VII Estructura vertical

La altura de los individuos censados va desde 60 cm hasta 38m; más de 50% del total está representado por individuos menores a 5m de alto, especialmente esta categoría representa cerca del 80% en los sitios 2, 6, 23 y 26, en los cuales el 20% restantes pertenece a árboles mayores o iguales a 5m de altura. Por otro lado en los sitios 1, 17, 18, 19 y 22 los árboles con altura mayor o igual a 5m son los más abundantes y en los sitios 17, 21 y 22 más de un 10% del total de árboles pertenecen a individuos mayores o iguales a 20m de altura (Fig. 16a).

En individuos adultos se pierde la primera categoría y solo quedan aquellos de 2.5 metros de altura en adelante, en la mayoría de los sitios menores a 2,400 m s.n.m. (del sitio 1 al 10) predominan individuos de 5 a 10m; en contraste a lo que sucede en sitios de mayor altitud en los que predominan los árboles  $\geq 10$ m de altura (Fig.16b).



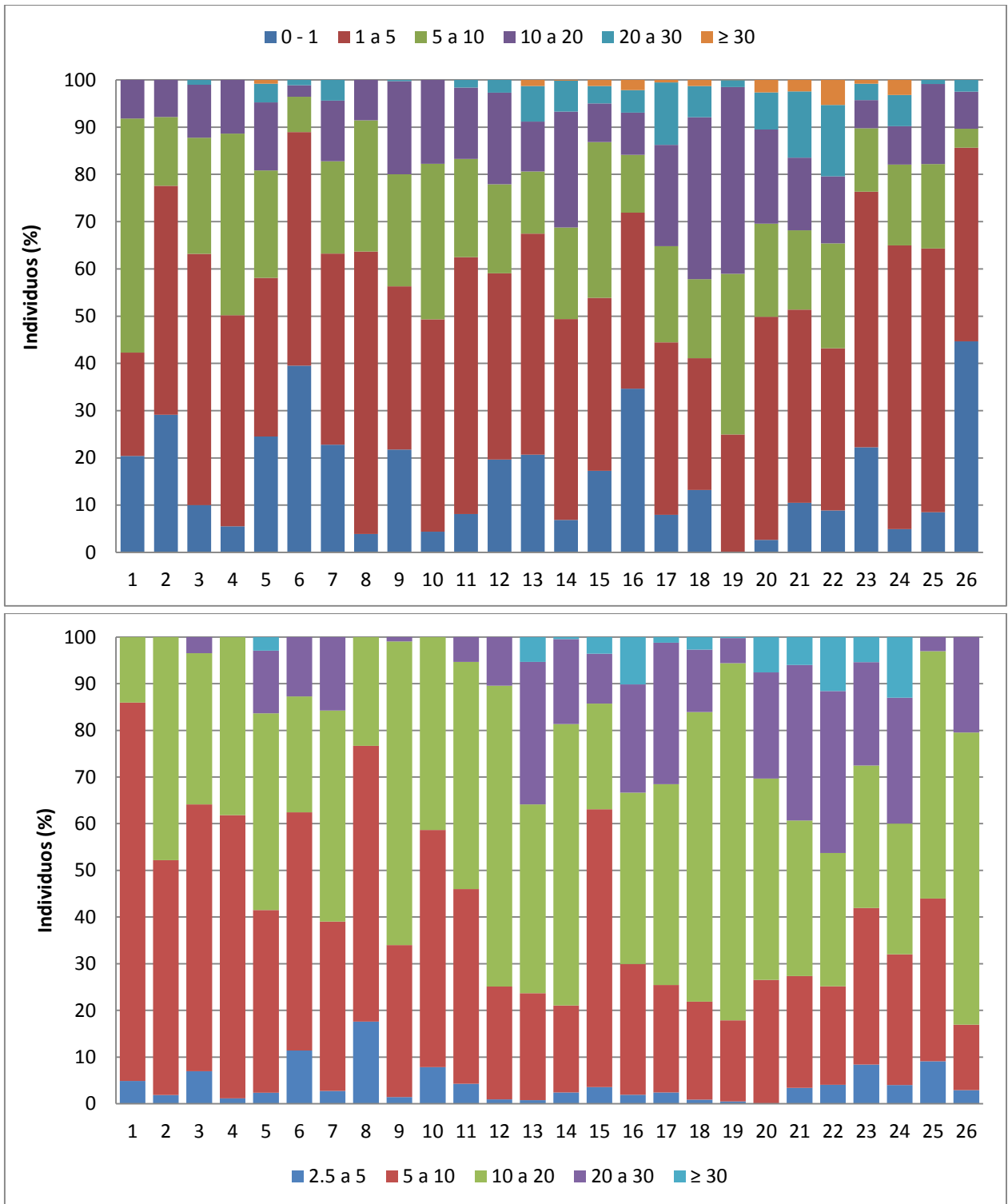


Fig. 16 Estructura vertical. A) se representan a todos los individuos divididos en 6 clases de alturas. B) se representan solo a los individuos con DAP  $\geq$  10m.

## VIII. III Diversidad

En el cuadro 6 se muestran los valores obtenidos de los índices de diversidad calculados para cada uno de los sitios. Con respecto al índice alfa de Fisher se obtuvieron valores que van desde 0.96 hasta 3.32, siendo el más diverso el sitio 2 (sitio con mayor número de especies) y el de menor diversidad el sitio 8. De acuerdo con el índice de Simpson calculado se obtuvieron valores entre 2.02 y 8.18, el sitio de mayor diversidad fue el 6, y el sitio 8 el de menor valor en el índice de diversidad. Se observa que los valores menores para ambos índices los presenta el sitio 8, que es donde se registró la menor riqueza.

Cuadro 6. Índices de diversidad en todos los sitios estudiados. En rojo se muestran los valores menores y en verde los más altos.

Sitio	Riqueza	$\alpha$ .Fisher	1/D
1	4	1.25	2.40
2	9	3.32	7.88
3	7	2.58	6.43
4	4	1.12	2.97
5	8	2.35	7.49
6	12	2.28	8.18
7	7	1.71	6.67
8	3	0.96	2.02
9	7	1.45	4.22
10	5	1.18	3.40
11	7	1.51	5.03
12	11	2.87	6.73
13	7	1.75	3.76
14	6	1.13	4.03
15	9	2.74	5.17
16	9	2.11	6.16
17	6	1.67	3.84
18	8	2.05	5.16
19	8	2.20	2.92
20	8	2.64	7.65
21	7	1.54	3.44
22	9	2.72	5.91
23	10	2.26	6.23
24	7	2.09	4.45
25	8	2.03	4.61
26	11	2.60	3.19

Al estandarizarse los valores para cada sitio se observa que en general la diversidad con ambos índices se comporta de manera similar coincidiendo en muchos de los valores; solo en los sitios 6, 7, 19 y 26 se observan diferencias de más de una desviación estándar entre ellos.

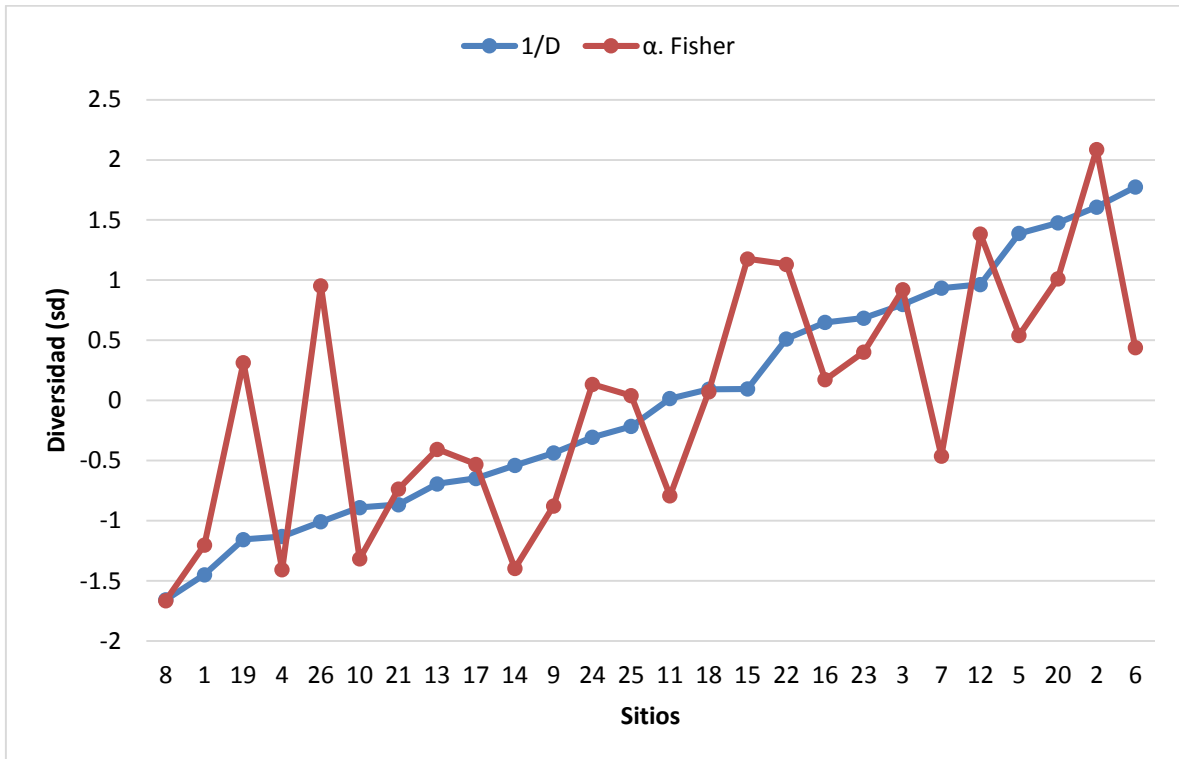


Fig. 17 Valores de diversidad de Simpson y Fisher de todos los sitios estandarizados.

### VIII. IV Apertura del dosel

En total se tomaron 390 fotos hemisféricas en el área de estudio, 5 en cada círculo (15 por cada sitio). Los valores promedio para cada sitio se presentan en el cuadro 5 en el que se observa que los sitios con mayor porcentaje de apertura del dosel fueron los sitios 6 y 25 con 45 y 43% respectivamente; los sitios 20 y 22 fueron los que tuvieron menor apertura con alrededor del 26%; el sitio con mayor variación en los valores de apertura es el 17 ya que tiene una mayor desviación estándar (10.5) y el de menor variación en los datos fue el sitio 22.

Al evaluar el área foliar para cada sitio se encontró que el sitio con mayor área foliar fue el 14 con un valor de 1.5, seguido del 22 (con IAF 1.46), que es uno de los sitios con menor apertura; el sitios de menor área foliar coincide con el de mayor apertura (sitio 6) con un valor de 0.85. El sitio con menor variación en los datos fue el 10, mostrando mayor variación el 17.

Cuadro 7. Apertura e índice de área foliar (IAF) en cada sitios. Los valores máximos para cada categoría se encuentran en color verde y los mínimos en color rojo.

Sitio	Apertura del dosel		Índice de área foliar	
	%	D.E	IAF	D.E
1	28.22	3.88	1.44	0.13
2	34.64	1.38	1.25	0.11
3	30.73	3.82	1.27	0.15
4	39.91	4.94	1.01	0.14
5	33.93	6.66	1.17	0.24
6	45.13	8.42	0.85	0.20
7	42.40	2.47	0.90	0.03
8	31.92	4.97	1.27	0.19
9	33.74	3.37	1.17	0.08
10	39.40	1.16	1.01	0.02
11	33.40	8.51	1.19	0.30
12	28.45	3.18	1.33	0.20
13	31.53	4.98	1.26	0.19
14	27.08	3.72	1.50	0.25
15	29.00	2.84	1.32	0.13
16	29.80	3.25	1.34	0.18
17	38.33	10.58	1.02	0.33
18	27.43	2.78	1.38	0.12
19	28.70	2.49	1.28	0.11
20	26.66	3.93	1.44	0.17
21	38.02	3.57	1.00	0.10
22	26.71	0.51	1.46	0.04
23	28.26	1.31	1.38	0.11
24	34.99	8.29	1.15	0.32
25	43.34	2.94	0.94	0.10
26	27.34	1.80	1.46	0.18

## VIII. V Identificación del nivel de deterioro

Se obtuvo el índice propuesto por Martorell y Peters (2005) para la zona de estudio, a pesar de que se midieron todos los indicadores 5 de las variables propuestas no presentaron variación por lo que fueron excluidos para el análisis, pero se agregaron otros dos parámetros de perturbación que fueron extracción de madera y uso como terreno agrícola (cuadro 8).

Cuadro 8. Parámetros utilizados en la determinación del nivel de disturbio

Cría de ganado	Actividades humanas	Degradación de la tierra	Variables agregadas
- Frecuencia de excrementos de cabra.	-Extracción de leña	-Erosión.	-Uso de suelo en el pasado
	-Camino Humanos	-Presencia de las islas del suelo	-Número de tocones
- Frecuencia de excremento de ganado vacuno.	-Superficie de senderos humanos	-Superficies totalmente modificadas	
- Ramoneo	-La proximidad de asentamientos humanos		
- Caminos para el ganado.	-Contigüidad a núcleos de actividad		
- La compactación del suelo.	-Uso de la tierra		
	-Evidencia de incendios forestales		

Los dos primeros componentes principales representaron el 28% y 19% de la varianza total, los puntajes de la mayoría de las variables fueron positivas en el primer eje y fueron estos los valores utilizados para desarrollar el índice. Se obtuvieron valores de perturbación entre 0.02 a 0.54 (cuadro 9), representando mayor perturbación aquellos con valores más altos, en este caso el sitio con mayor índice de perturbación es el 10 y el de menor perturbación el 24; al realizar el análisis por separado para cada parámetro en cada sitio se observó que las actividades humanas tienen un mayor impacto en la zona a diferencia de la ganadería que es el agente con menor impacto.

Cuadro 9. Índice de perturbación desglosado en cada uno de los parámetros principales en cada uno de los sitios estudiados

Sitio	Perturbación Total	Actividades humanas	Suelo	Ganadería
1	0.12	0.13	0.00	-0.01
2	0.28	0.28	0.00	-0.01
3	0.21	0.21	0.00	0.00
4	0.31	0.30	0.00	0.01
5	0.07	0.08	0.00	-0.01
6	0.09	0.09	0.00	0.00
7	0.12	0.11	0.01	0.01
8	0.28	0.29	0.00	0.00
9	0.15	0.14	0.00	0.00
10	0.54	0.51	0.02	0.01
11	0.19	0.20	0.00	-0.01
12	0.14	0.15	0.00	0.00
13	0.07	0.07	0.00	0.00
14	0.24	0.25	0.00	-0.01
15	0.12	0.13	0.00	-0.01
16	0.15	0.14	0.00	0.01
17	0.15	0.15	0.00	0.00
18	0.06	0.07	0.00	-0.01
19	0.16	0.17	0.00	-0.01
20	0.08	0.08	0.00	0.00
21	0.08	0.08	0.00	-0.01
22	0.13	0.13	0.00	0.00
23	0.11	0.11	0.00	0.00
24	0.02	0.02	0.00	0.00
25	0.22	0.22	0.00	-0.01
26	0.12	0.13	0.00	-0.01

#### VIII.VI Efecto de variables ambientales y de perturbación en composición y estructura de la vegetación

Mediante un análisis de redundancia parcial (RDA) se evaluó el efecto del grupo de variables ambientales (altitud, orientación, pendiente, calidad de suelo y evapotranspiración) y de perturbación en la composición de la vegetación (matriz de abundancias). Se probó con ambos grupos como variables condicionantes y explicatorias, y en los dos resultó que las variables ambientales explican un 37% de la variabilidad y el 36% es explicado por las variables de perturbación.

De las variables ambientales las que tiene un mayor efecto en la composición son la altitud y la evapotranspiración. En la figura 18 se observa la agrupación de los sitios, en donde el sitio 17 es el que tiene una mayor evapotranspiración lo que aparentemente favorece la presencia de especies como *Q. rugosa* y *P. pseudostrobus* var. *apulcensis*. Los sitios 1, 14 y 8 tienen mayor calidad de suelo y se encuentran a menor altitud, condiciones favorables para *Q. castanea*. Por otro lado en los sitios con mayor altitud se encuentran *Roldana sartorii*, *P. hartwegii*, *Litsea glauscencens* y *Q. laurina*. *Q. conzattii* está presente en lugares con mayor pendiente, como en los sitios 7, 9 y 2 (Fig. 18b).

En relación a la perturbación se observó que la mayoría de las variables que la representan se agrupan en dos de los cuadrantes del análisis. Las variables que tiene mayor efecto en la composición de vegetación fueron la extracción de madera (tocones), seguida de la erosión, ambos síntomas de perturbación están presentes en los sitios 10, 14 y 15 en los cuales encontramos alta densidad de *Q. crassifolia* y *P. teocote*. En sitios que en el pasado fueron terreno de cultivo (sitios 29, 5, 19, 13) las especies más abundantes son *P. patula* y *Q. rugosa*; los sitios 6, 8, 9 y 21 se encuentran contiguos a lugares en las que se desarrollan actividades humanas y son sitios que están muy abiertos, en ellos las especies más abundantes son *P. lawsonii*, *Q. conzattii* y *Calliandra hirsuta* (Fig. 19).

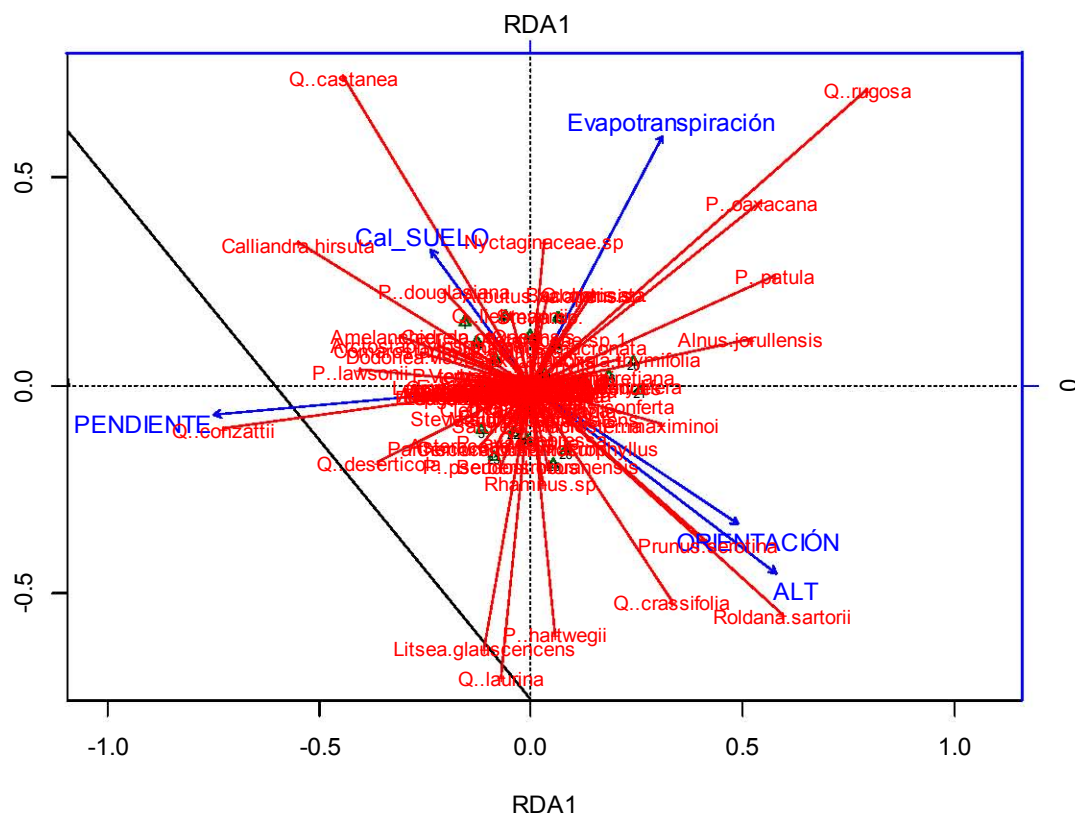
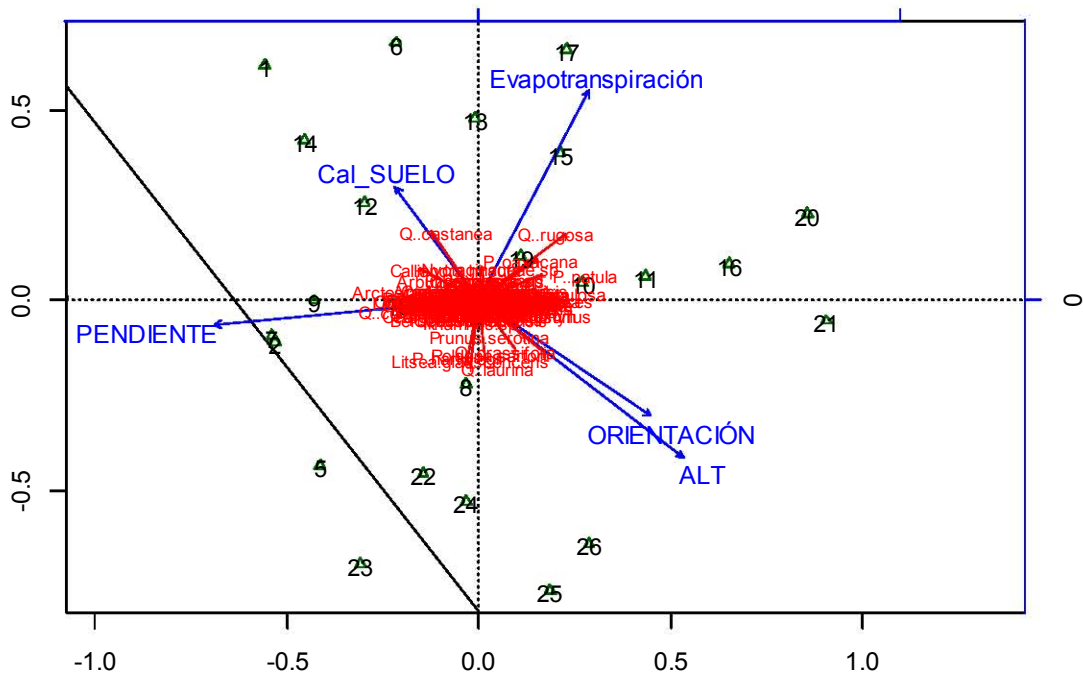


Fig. 18 Diagrama del análisis de redundancia parcial, en el que se eligen a las variables ambientales como explicatorias y a las de perturbación como condicionantes a) se observa la ordenación de los sitios b) se muestra la ordenación de las especies.



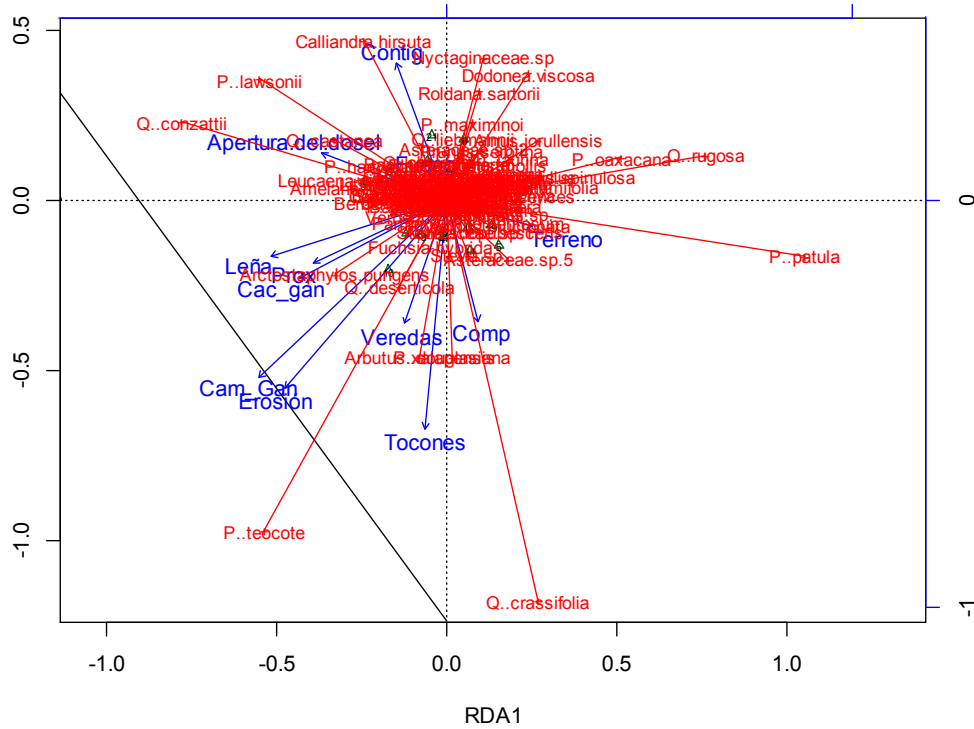
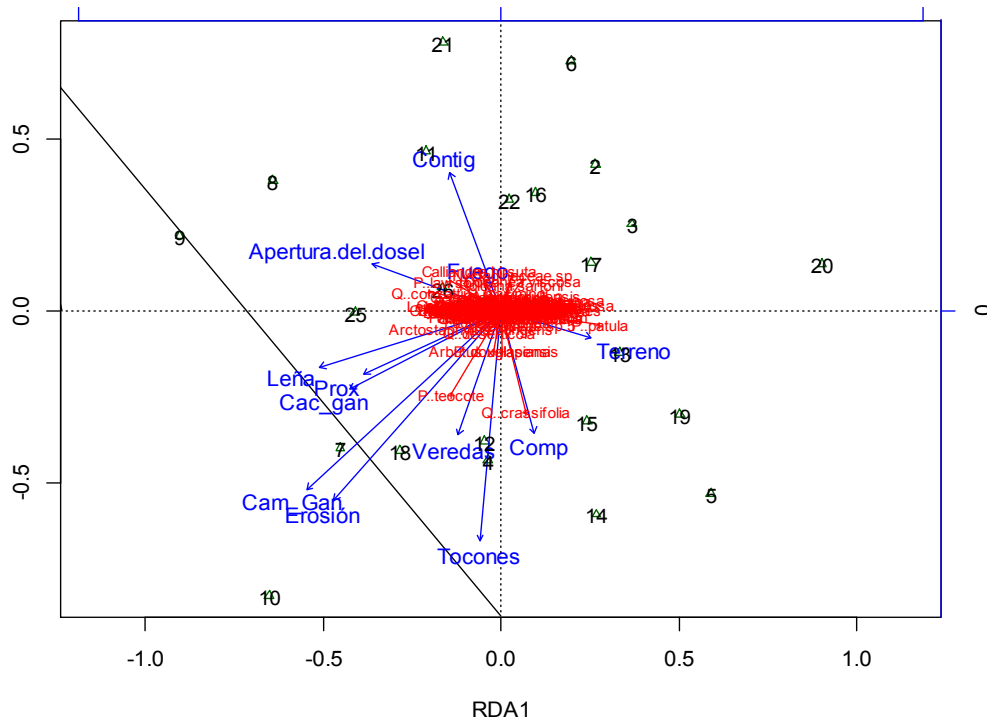


Fig. 19 Diagrama del análisis de redundancia parcial, en el que se eligen a las variables de perturbación como explicatorias y a las ambientales como condicionantes a) se observa la ordenación de los sitios b) se muestra la ordenación de las especies.

Para realizar el RDA con la estructura de vegetación se tomaron en cuenta datos de diámetros, alturas y área basal de las especies y en este caso las variables de perturbación fueron las que explicaron mejor la ordenación (48% de la variabilidad) y fue menor el porcentaje explicado por las variables ambientales (25%). La altitud y la calidad de suelo fueron las variables ambientales que tuvieron mayor efecto en la estructura de la vegetación.

En cuanto a la perturbación se observó que igual que en el caso anterior las variables se agrupan en dos de los cuadrantes, aquellas que tuvieron mayor efecto en la estructura fueron la extracción de madera (tocones) y que el sitio haya sido utilizado para alguna actividad productiva en el pasado (terreno). En la figura 20 se observa que la mayoría de los sitios se agrupan cercanos a una o más variables de perturbación y solo cinco sitios el 3, 5, 16, 24 y 26 se sitúan a lados opuestos a estas variables, lo cual indica que presentan menores signos de disturbio.

En particular en sitios en los que se extrajo madera, como el sitio 9, la mayoría de árboles presentes tienen entre 20 y 30cm de DAP, en comparación con aquellos en los que hay síntomas de perturbación como, presencia de fuego, compactación y si en el pasado fue utilizado como terreno se registran muchos individuos delgados con diámetros entre 5 y 20cm, con áreas basal entre 10 y 1,000cm<sup>2</sup> y con alturas menores a 20m, el sitio 19 es un representante de dichas condiciones. Se hace evidente que en sitios en donde hay menos signos de perturbación hay abundancia de individuos jóvenes, se encuentran individuos con mayor área basal (mayor a 1,000cm<sup>2</sup>), más altos (mayores a 20m) y con mayores diámetros (DAP>30cm) (Fig. 20).

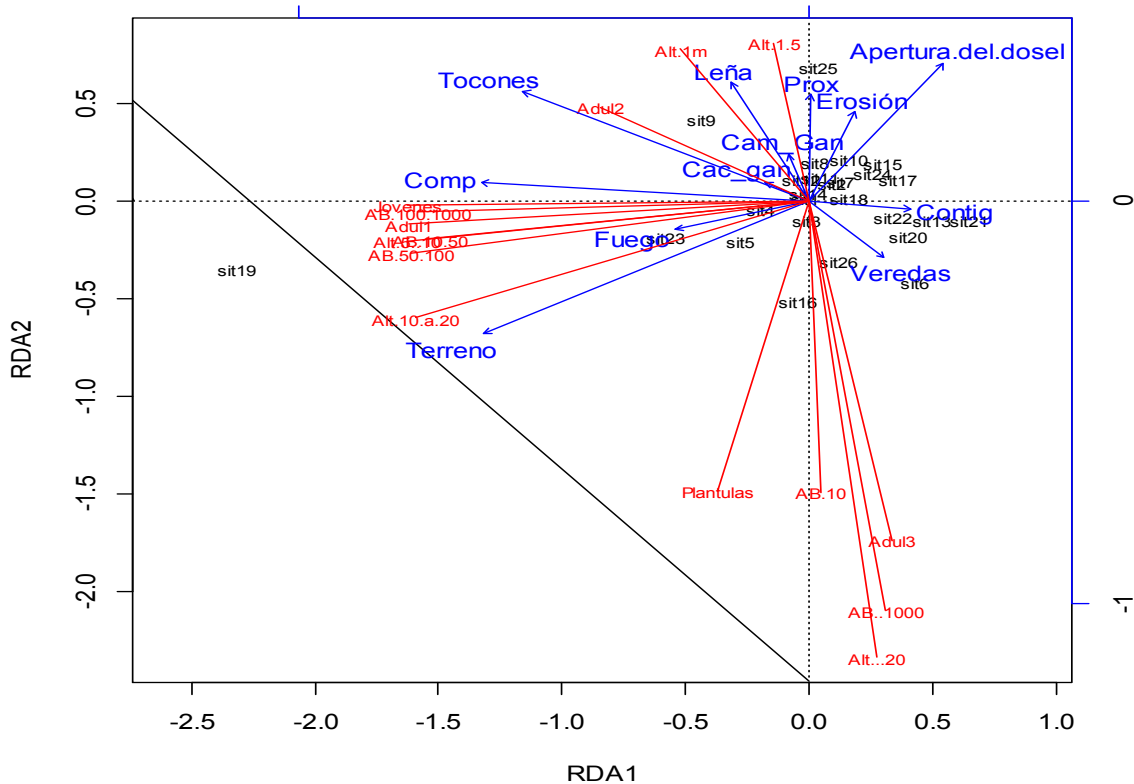


Fig. 20 Diagrama del análisis de redundancia parcial, en el que se eligen a las variables de perturbación como explicatorias y a las ambientales como condicionantes en la estructura de la vegetación.

Se realizó un análisis de correspondencia sin tendencia (DCA) para resumir la composición y estructura de la comunidad y así conocer concretamente cual es el aporte marginal que tienen las variables que determinaron las ordenaciones anteriores, ya que las variables con mayor efecto en la composición fueron la altitud, evapotranspiración, extracción de madera y erosión, fueron estas las utilizadas para realizar la regresión; es decir se asumió que la composición (DCA1\_composición) está en función de las cuatro variables antes mencionadas. El único coeficiente significativo fue el de la altitud, con la cual se encontró una relación lineal negativa (fig. 21), el resto no tienen un aporte estadísticamente significativo en la composición, al igual que la estructura de la vegetación no se relacionó significativamente ( $R^2=0.23$ ) con las variables.

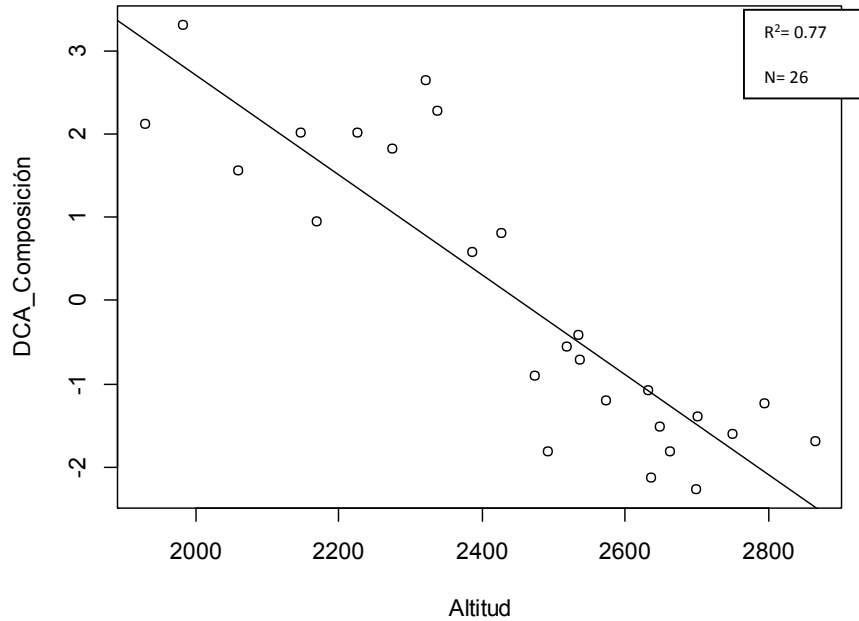


Fig. 21 Regresión lineal de la composición de la vegetación en función de la altitud.

Para conocer si la abundancia de las especies está en función de las variables ambientales y de perturbación que tuvieron mayor efecto en las ordenaciones, se eligieron a las especies presentes en más de 10 sitios y con esto se realizó un modelo lineal generalizado de Poisson. Los coeficientes estimados del modelo mostraron que la abundancia de siete de las ocho especies analizadas se asocia significativamente con la altitud (Fig. 22a). Seis especies (*Arbutus xalapensis*, *P. patula*, *Prunus serotina*, *Q. crassifolia*, *Q. laurina* y *Q. rugosa*) presentan una relación positiva y solo en el caso de *Q. conzattii* la relación es negativa.

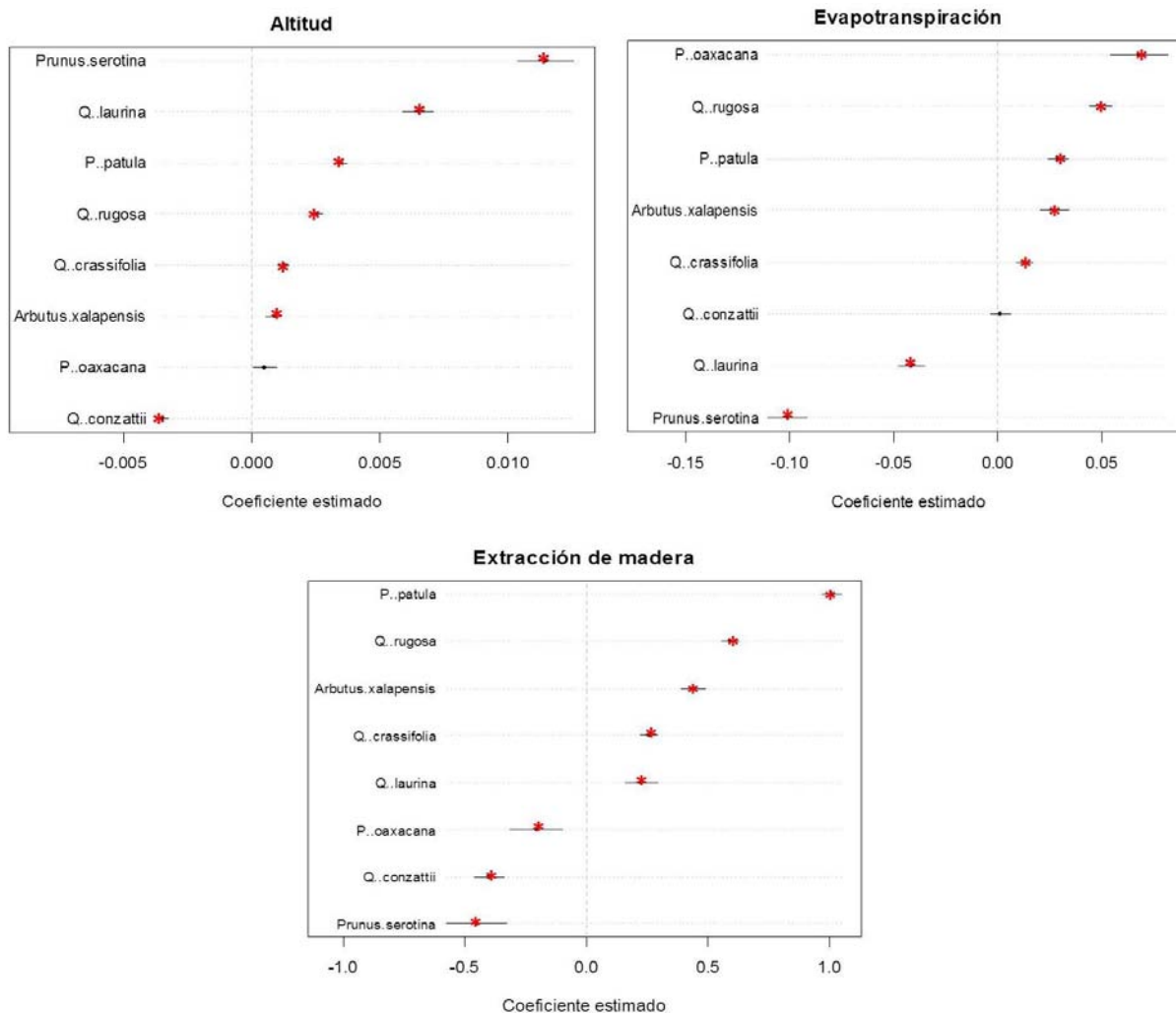


Fig. 22 Estimación de los coeficientes del modelo generalizado. A) Abundancia ~ Altitud, b) Abundancia ~ de evapotranspiración, c) Abundancia ~ extracción de madera. Los asteriscos indican que la regresión es estadísticamente significativa con un valor de  $P < 0.05$ .

Para el caso de la evapotranspiración, cinco de las especies (*A. xalapensis*, *P. pseudostrobus* var. *apulcensis*, *P. patula*, *Q. crassifolia* y *Q. rugosa*) presentaron una relación positiva, asociándose negativamente *Q. laurina* y *P. serótina* y con respecto a la extracción de madera resultó que en las ocho especies hay un efecto. Para el caso de *P. patula*, *Q. rugosa*, *Arbutus xalapensis*, *Q. crassifolia* y *Q. laurina* el efecto de la extracción fue positivo, contrario a *P. pseudostrobus* var. *apulcensis*, *Q. konzattii* y *Prunus serotina*.

Los modelos generalizados de Poisson aplicados a la estructura, indican que la abundancia de árboles de diversos tamaños está en función de la altitud, los árboles de mayor tamaño y grosor (DAP>40cm, Alt>10m) y las plántulas se relacionan positivamente con esta variable, pero los árboles más delgados (DAP entre 5 y 20cm, Alt >1m) tiene una relación negativa (Fig. 23a). La abundancia de árboles delgados se relaciona positivamente con la extracción de madera, pero ésta afecta negativamente la abundancia de individuos grandes y de las plántulas (considerando a las mismas como individuos con DAP<5cm, altura ≥60cm, Fig. 23 b); en la ordenación parcial se observó que el hecho de que en el pasado parte del sitio haya sido utilizado como terreno agrícola afecta la estructura, este síntoma de perturbación favoreció la abundancia de individuos adultos tanto delgados como grandes, pero la relación que tiene con las plántulas es negativa (Fig. 23 c).

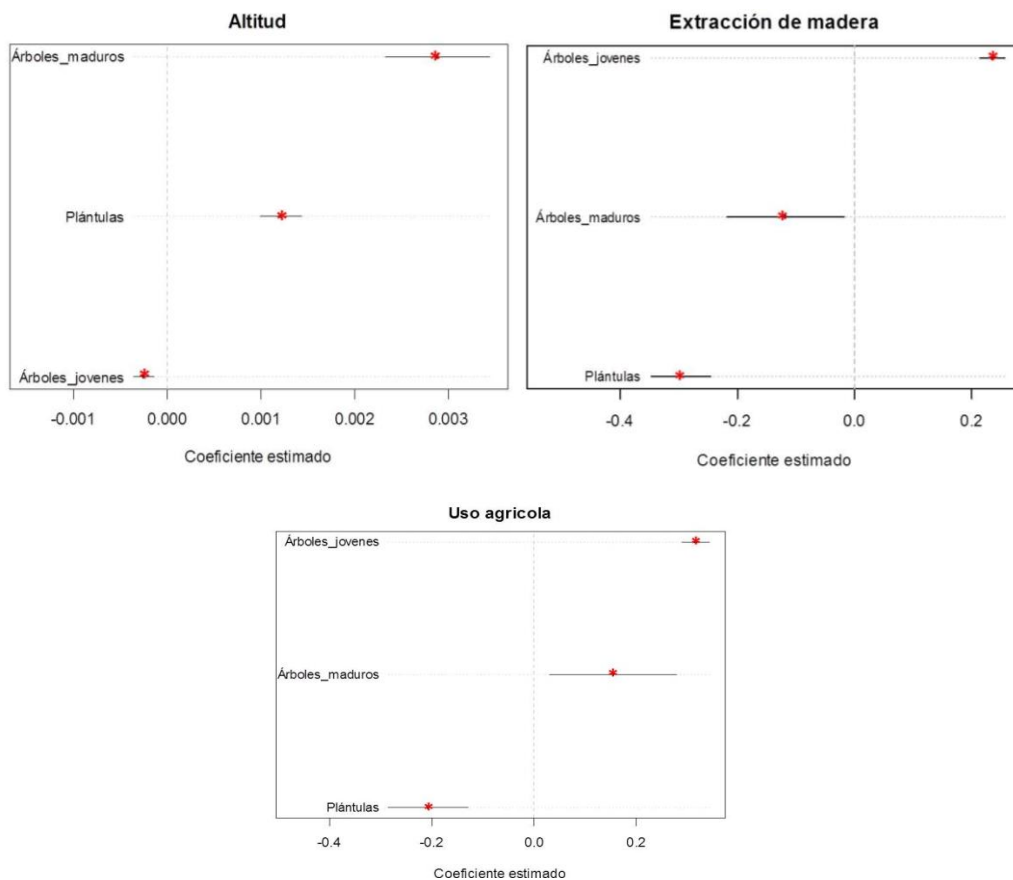


Fig. 23 Estimación de los coeficientes de regresión. A) Estructura ~ altitud, b) estructura ~ extracción de madera, c) estructura ~ uso agrícola. Los asteriscos indican que la regresión es estadísticamente significativa con un valor de  $P < 0.05$ .

## VIII. VII ASPECTO SOCIAL

### VIII.VII.I Descripción de población entrevistada

Se entrevistaron a 39 personas que corresponden a más del 10% de la población, los entrevistados tienen entre 11 y 94 años de edad, el 47% corresponde a personas del sexo masculino y el 53% al sexo femenino; se registraron 11 ocupaciones desempeñadas siendo las más comunes ama de casa (30%), campesino (23%) y estudiantes (23%), pero en muchos casos cada persona desempeña más de una actividad; cabe mencionar que entre las personas entrevistadas se incluyeron a servidores públicos en turno, como lo fue el presidente municipal, representante comunal y algunos regidores (Fig. 24).

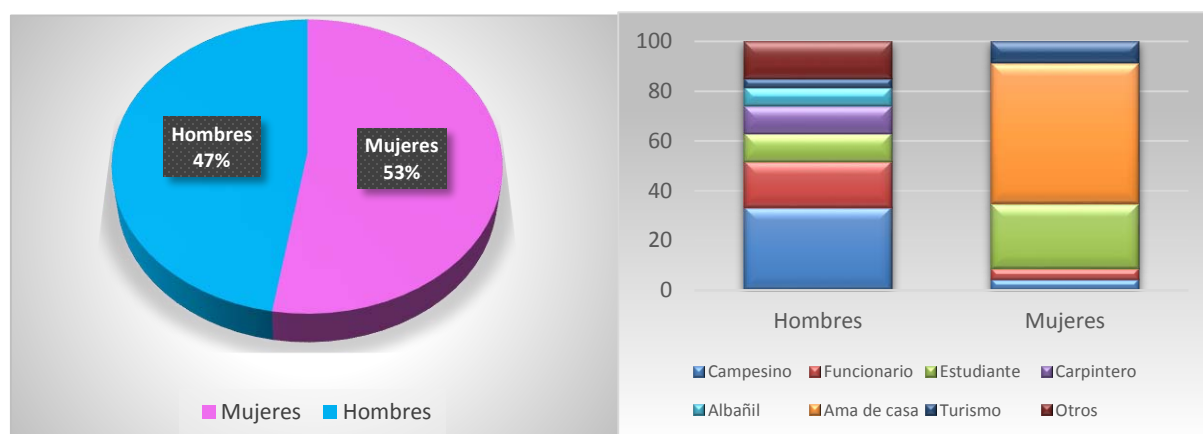


Fig. 24 Características de población entrevistada. A) Proporción de hombres y mujeres, b) Ocupaciones de entrevistados.

### VIII.VII.II Reconocimiento e importancia del bosque y sus productos

Tan solo el 38% de la muestra conoce todo el territorio, pero el 100% de los pobladores entrevistados consideran muy importante el bosque debido a que les proporciona recursos vitales como agua y oxígeno, provee y alberga flora y fauna y al menos una tercera parte de los entrevistados mencionan que existe un sentimiento de amor y respeto hacia él; el 95% extrae algún producto del bosque

entre los que destacan leña, plantas comestibles y medicinales y hongos, los cuales los obtienen tanto de zonas lejanas como aledañas al pueblo, es importante saber que tanto la leña como la madera que los pobladores extraen la adquieren de árboles muertos y es para consumo propio; conocen alrededor de 24 tipos de plantas siendo las más mencionadas los pinos, encinos, madroño y manzanito (Fig. 25).

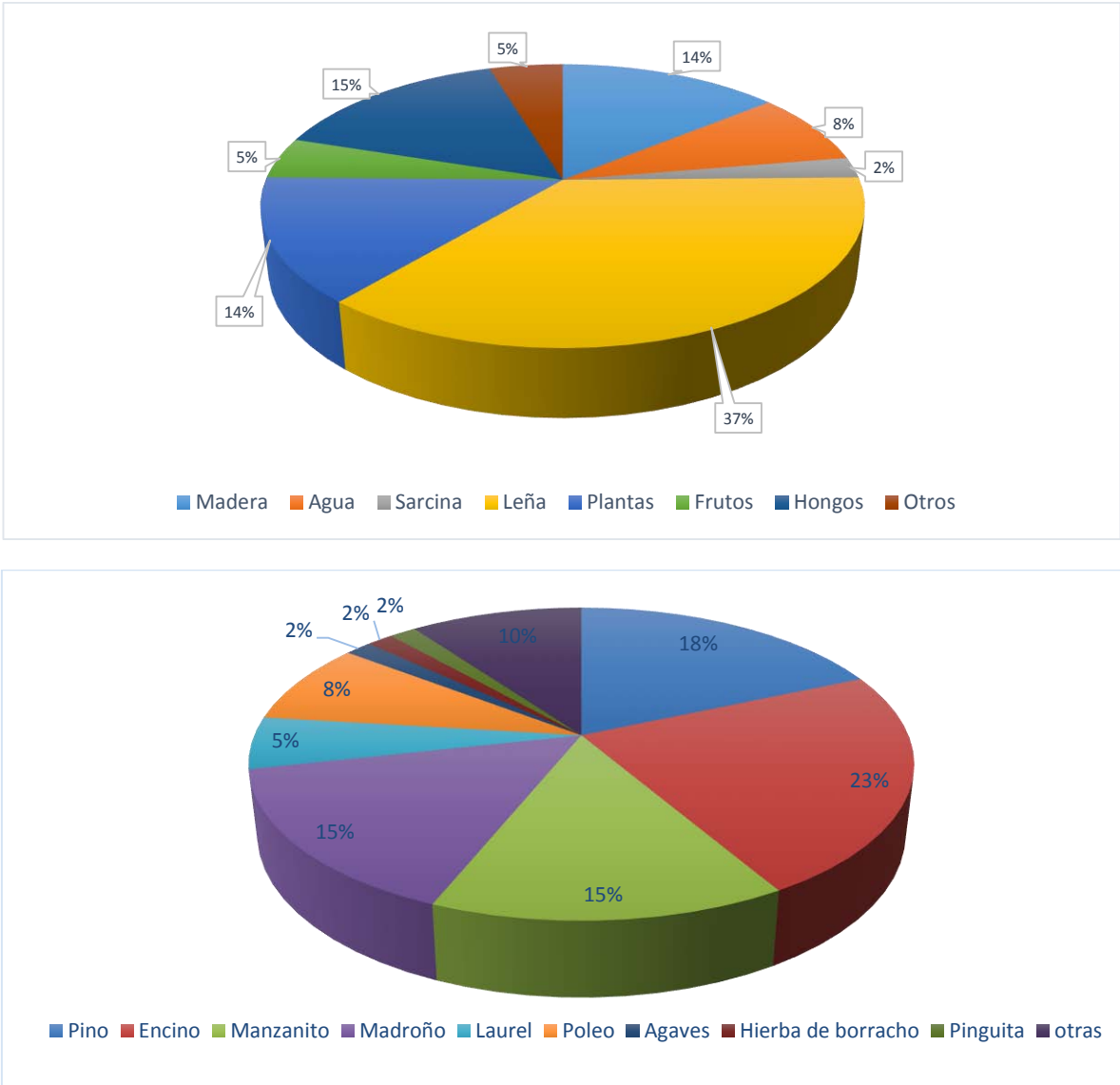


Fig. 25 Conocimiento sobre el bosque. A) productos que obtienen del bosque. B) plantas que conoce la población.



### VIII.VII.III Cambio y recuperación del bosque

El 5% de los pobladores entrevistados consideran que el bosque no ha cambiado a través de los años, por otro lado el 95% menciona que si ha sufrido un cambio, 90% indica que este cambio ha sido negativo y que se ha visto reflejado en que ya no hay árboles grandes y anchos como antes, ahora hay más claros, han desaparecido animales, hay menos agua, el suelo ha perdido fertilidad, existe un aumento de temperatura y se han presentado algunos deslaves, este cambio se lo atribuyen a la extracción de madera realizada por empresas ajenas a la comunidad, a la escasa y tardía respuesta de las instituciones correspondientes ante el problema de la plaga del escarabajo descortezador (*Dendroctonus adjunctus*) por la cual se han visto en la necesidad de realizar saneamiento a destiempo, el cambio se atribuye también a los ciclones; el 5% restante opina que en algunos lugares el bosque ha cambiado positivamente entre ellos zonas alrededor del pueblo en las que según su narrativa hay menos terrenos que antes por lo tanto hay más árboles, esto ha sido consecuencia de la emigración, mencionan también que en zonas no tan cercanas al pueblo se ha reforestado obteniendo buenos resultados.

A la mayoría (95%) les gustaría que el bosque se recuperara o se siguiera recuperando, según su criterio las acciones que deberían llevar a cabo son 13, entre las más mencionadas están reforestar, evitar extracción de madera, control de plaga en tiempo y forma, controlar incendios y aumentar la educación ambiental entre otras (Fig. 26); de hecho muchos mencionan que ya se han tomado medidas para evitar la extracción de madera y narran tristemente como es que en más de una ocasión han puesto hasta su vida en juego por proteger el bosque y como es que las autoridades competentes hacen caso omiso ante la situación.

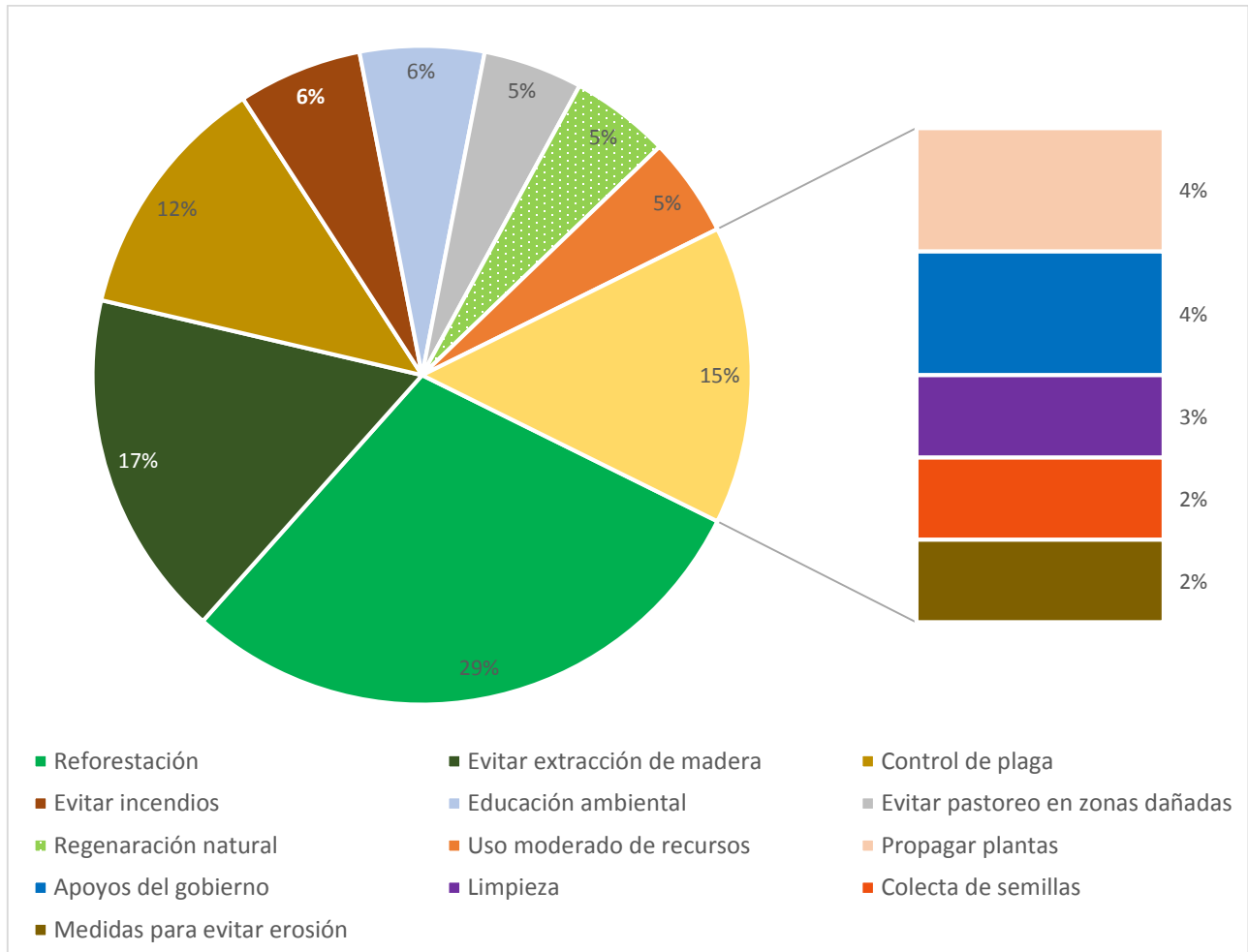


Fig. 26 Medidas propuestas por pobladores para la recuperación del bosque.

Los entrevistados mencionaron alrededor de 16 predios en los que consideran que es necesario hacer algo por el bosque, estas se clasificaron en 3 sitios que son zonas altas o de recarga al acuífero (70%), zonas cercanas a las agencias (20%) y zonas cercanas al pueblo (10%) las cuales se muestran en la figura 27; al cuestionar si ellos participarían en procesos de recuperación del bosque, la mayoría dijo que si y solo una persona menciona que tal vez no podría.

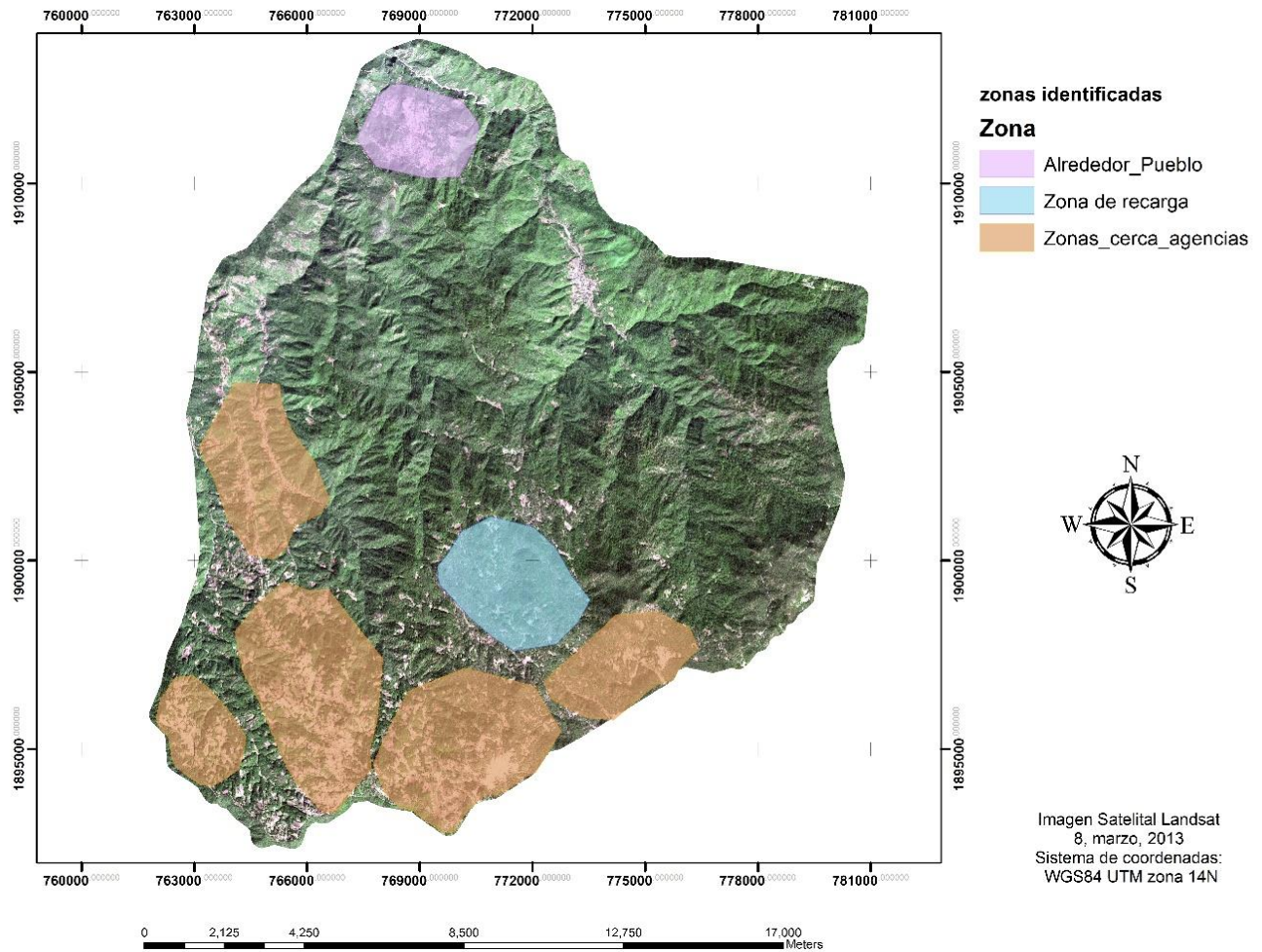


Fig. 27. Zonas identificadas por los pobladores prioritarias para restauración

### VIII.VIII Áreas a restaurar

El índice de susceptibilidad de remoción de suelo calculado mediante la suma ponderada de los factores dio como resultado un mapa con valores continuos que van de 10 a 37, el cual se clasifico en 5 clases mediante el método de intervalos iguales que permite dividir los valores en partes de igual tamaño, dicha clasificación dio como resultado un mapa que zonifica la región de estudio en niveles de susceptibilidad de remoción, que se pueden traducir a zonas en las que es o no prioritaria la restauración en caso de que estas áreas carezcan de

cobertura vegetal; las categorías de nivel de vulnerabilidad son muy baja, baja, media, alta y muy alta. Se observa en el mapa que las zonas con alta y muy alta susceptibilidad de desplazamiento ocupan un área considerable abarcando aproximadamente el 30% de la zona de estudio. Las zonas de susceptibilidad media son las que ocupan el mayor porcentaje en la región (48%) y el área menos susceptible a erosión representada por la clase de baja y muy baja susceptibilidad ocupa el 22% del total (Fig. 28).

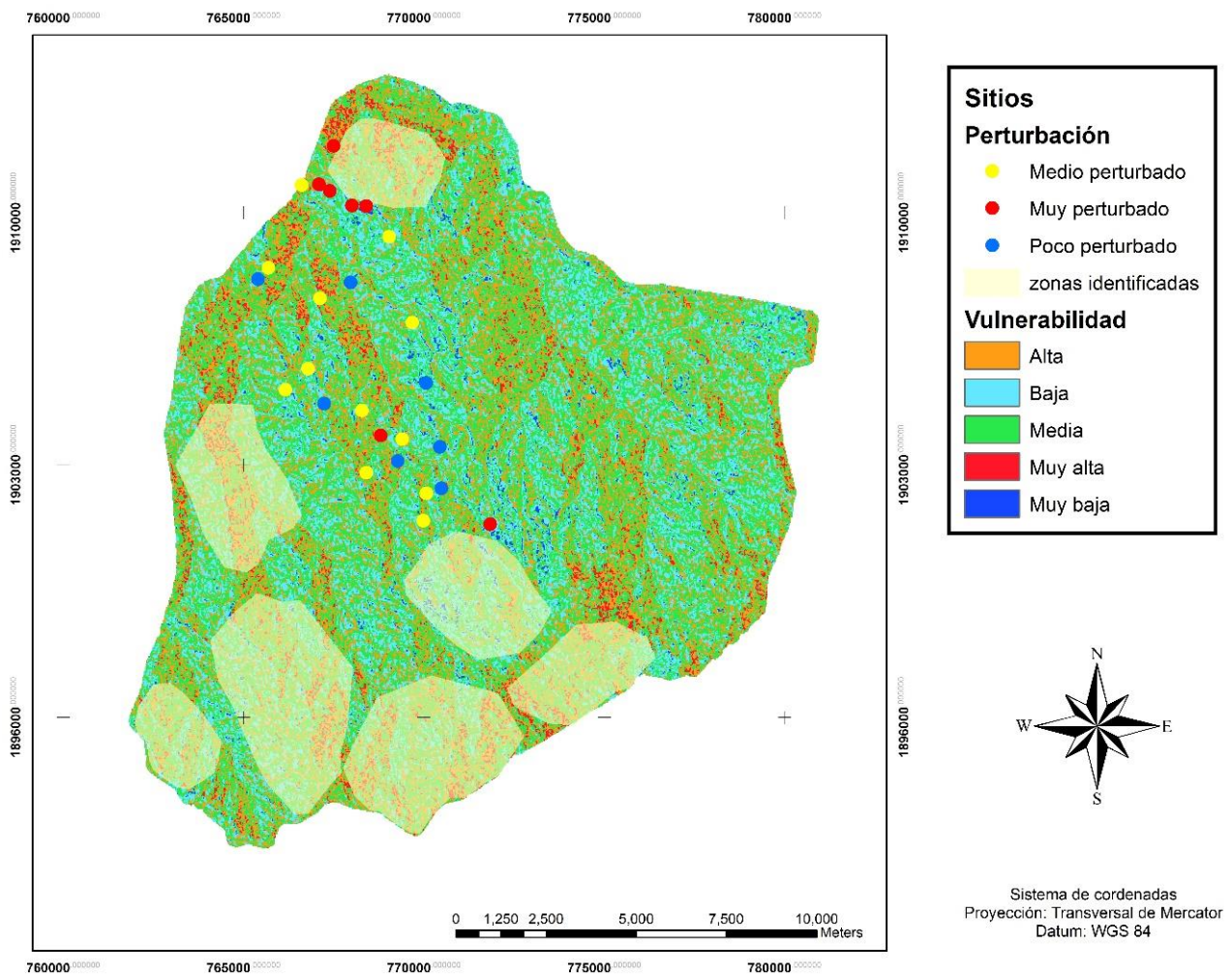


Fig. 28 Mapa de las zonas vulnerables según el índice de remoción. Los puntos de colores corresponden a los sitios muestreados en campo y están clasificados de acuerdo al índice de perturbación calculado en campo.

Sobre el mapa de vulnerabilidad se colocaron las zonas interpretadas como dañadas que mencionaron los pobladores y los sitios muestreados divididos en 3 categorías según los valores obtenidos del índice de perturbación calculado en campo, considerando a sitios poco perturbados a aquellos con valores menores a 0.1, como medio perturbados a aquellos con valores entre 0.1 y 0.2 y muy perturbados a los de valores mayores a 0.2. Se observa que algunas áreas mencionadas por la población como las que requieren restauración coinciden en general, con los más vulnerables según el índice de susceptibilidad calculado, tal es el caso de la zona cercana al pueblo y a la zona de recarga. Siete sitios de los muestreados, están clasificados como muy perturbados de los cuales la mayoría pertenecen a zonas de media vulnerabilidad según el índice calculado para toda la zona, en todos estos hay presencia de árboles jóvenes pero no de árboles maduros; los sitios con mediana perturbación se encuentran sobre diferentes categorías de vulnerabilidad, pero destacan dos que son el de menor altitud y el más alto que fueron catalogados como de mayor vulnerabilidad, en el primero de los sitios antes mencionados no hay árboles jóvenes ni maduros a diferencia del sitio de mayor altitud. Finalmente los sitios categorizados como poco perturbados coincidieron con zonas de baja y media vulnerabilidad en los que se encontraron tanto individuos maduros como juveniles (Cuadro 10).

Cuadro 10. Características de los sitios asociadas a perturbación, vulnerabilidad y vegetación.

Sitio	Perturbación	Vulnerabilidad	Presencia de juveniles	Presencia de árboles maduros
1	Medio perturbado	Muy alta	No	No
2	Muy perturbado	Alta	Si	No
3	Muy perturbado	Media	Si	Si
4	Muy perturbado	Muy baja	Si	No
5	Poco perturbado	Media	Si	Si
6	Poco perturbado	Media	Si	Si
7	Medio perturbado	Media	Si	Si
8	Muy perturbado	Media	Si	No
9	Medio perturbado	Media	Si	No
10	Muy perturbado	Media	Si	No
11	Medio perturbado	Alta	Si	Si
12	Medio perturbado	Alta	Si	Si
13	Poco perturbado	Media	Si	Si
14	Muy perturbado	Media	Si	Si
15	Medio perturbado	Baja	Si	Si
16	Medio perturbado	Baja	Si	Si
17	Medio perturbado	Media	Si	Si
18	Poco perturbado	Media	Si	Si
19	Medio perturbado	Alta	No	Si
20	Poco perturbado	Media	Si	Si
21	Poco perturbado	Baja	Si	Si
22	Medio perturbado	Alta	Si	Si
23	Medio perturbado	Media	Si	Si
24	Poco perturbado	Muy baja	Si	Si
25	Muy perturbado	Media	Si	Si
26	Medio perturbado	Muy alta	Si	Si

La categoría Perturbación hace referencia a la clasificación de los sitios con base en el índice de perturbación calculado en campo (Martorell y Peters, 2005). Vulnerabilidad se refiere a la categoría que se obtuvo para cada sitio mediante el índice de vulnerabilidad de remoción. Se consideraron juveniles a todos aquellos árboles con DAP<5cm y altura >60cm y árboles maduros a aquellos con DAP>40cm.

## IX. DISCUSIÓN

### IX.I Composición y estructura de la vegetación

El registro de 90 especies para la zona de estudio confirma la alta riqueza presente en los bosques de México (Rzedowski, 1991), aproximadamente 40 de estas especies son arbóreas.

Los resultados de composición florística coinciden con trabajos realizados en Yavesía zona aledaña en la que no se realiza explotación forestal (Benítez, 2006; Aguilar, 2007; Orta, 2009; Wong, 2011), aun así coinciden que las familias con mayor número de especies son Asteraceae, Fagaceae y Pinaceae; siendo Asteraceae la que presenta el mayor número de especies (20 especies), seguida de Fagaceae (16 especies) la cual también presenta la mayor abundancia en Lachatao.

Villaseñor *et al.* (2004) mencionan que los bosques de Oaxaca son ricos en especies de asteráceas, lo cual se confirma en el presente trabajo ya que dicha familia ocupa el primer lugar en número de especies y el tercero en mayor abundancia, a pesar de que solo está presente en 17 de los 26 sitios analizados

La familia Pinaceae, representada por los géneros *Abies* y *Pinus* es la segunda más abundante en el área y está representada por 12 especies de las cuales 11 pertenecen al género *Pinus*, que corresponde al 78% para el estado de Oaxaca (Del Castillo, 2004) y cerca del 11% de la diversidad mundial (Richardson, 1998). Por otro lado *Abies hickelii* la única especie registrada de este género fue sumamente escasa (registrando solo 2 individuos en los sitios muestreados).

Finalmente la familia Fagaceae fue la que presentó mayor número de individuos en el presente estudio, representada por 16 especies todas del género *Quercus*, lo cual equivale al 31% de la especies registradas para el estado de Oaxaca (Valencia y Nixon, 2004) y el 10% de las 161 especies de encinos de la riqueza total del país (Valencia, 2004), dicha familia al igual que Pinaceae están

presentes en todos los sitios y la densidad de ambas varía considerablemente conforme lo hace la altitud.

La mayoría de los sitios estudiados están constituidos por bosques mixtos de pino–encino, lo que representa la coexistencia de dos grupos ecológicos distintos que son componentes de la capa del dosel dando lugar a muchas asociaciones en las montañas de México (Ramírez-Marcial *et al.*, 2001; Galindo-Jaimes *et al.*, 2002). En la zona estudiada, además de estar presentes dichos grupos de plantas, éstas interactúan con otras especies.

Las condiciones ambientales varían entre sitios y la altitud es uno de los factores que influyen de manera más clara en el cambio de la composición de especies (Galindo-Jaimes *et al.*, 2002; Sánchez-Gonzalez y López-Mata, 2003), en la zona de estudio se observa que la composición, así como la proporción de especies cambia relacionado con la altitud. Son notorias las diferencias también entre los componentes del dosel como los del sotobosque (Fig. 10).

En los sitios con altitudes entre 1900 y 2450 m, predominan *Q. conzattii*, *Q. castanea*, *P. lawsonii* y *P. teocote*, especies arbóreas típicas de zonas boscosas mexicanas, componentes de bosques mixtos y de coníferas (CONAFOR, 2000; Arizaga *et al.*, 2009). En el caso de *Q. castanea* está catalogada como especie de amplia distribución altitudinal (Valencia, 2004), sin embargo en el presente estudio no se encontró en sitios por encima de los 2500m. Cabe destacar que los dos pinos más dominantes en dichos sitios (*P. lawsonii* y *P. teocote*) son endémicos de México (Sánchez, 2008). En el estrato inferior o en el sotobosque de estos sitios, las especies predominantes fueron principalmente arbustos como *Calliandra hirsuta* y *Dodonea viscosa* que además son indicadores de perturbación (Heike, 2009) y algunos encinos como *Q. conzatti*.

En sitios con altitud media (2450–2650 m s.n.m.) hay una mayor abundancia de *Q. rugosa*, *P. pseudostrobus var.apulcensis* y *P. patula* en el estrato alto, que en general coincide con el estrato bajo en donde se encontró tanto a *P. patula* como a *Q. rugosa*, especies que según Castelán-Lorenzo y Arteaga-Martínez (2009) y Bonfil *et al.*, (2000) pueden establecerse en sitios perturbados bajo ciertas



condiciones, lo que explicaría su alto valor de importancia en la zona. En estos sitios se observa un incremento en la abundancia de *Q. crassifolia*, especie catalogada como ampliamente distribuida en México (Valencia, 2004) y también en la zona de estudio, y que está presente prácticamente en todo el rango altitudinal.

A pesar de la dominancia de pinos en el estrato arbóreo en dicho piso altitudinal, en el sotobosque es notoria la disminución de diferentes especies como por ejemplo *P. douglasiana* y *P. pseudostrobus* var. *apulcensis*, lo que nos habla del bajo establecimiento debido a la perturbación que han sufrido estos sitios, resultados parecidos a los que obtuvieron Villavicencio *et al.* (2012) con respecto a *P. douglasiana* ya que encontraron un mayor establecimiento de esta especie en bosques conservados que en bosques abiertos.

Finalmente en los sitios ubicados por encima de los 2650 m s.n.m. las especies más abundantes del dosel fueron *P. hartwegii*, *Q. crassifolia* y *Q. laurina*, la primera es conocida como pino de las alturas en México (Campos, 1993) y su crecimiento está limitado principalmente por condiciones ambientales predominantes en dichas zonas (principalmente las bajas temperaturas; Hernández *et al.*, 2005); por otro lado los encinos más abundantes en estos sitios están catalogados como de amplia a mediana distribución en el país. En el caso de *Q. laurina* se le ha encontrado hasta los 3000 m s.n.m. (Valencia, 2004; Arizaga *et al.*, 2009); en el sotobosque es una de las de mayor densidad, además de *Litsea glauscencens* y *Roldana sartorii*. Jiménez (2004) reporta a esta última para el sotobosque en bosques de Oaxaca.

*Litsea glauscencens* conocida como laurel silvestre está considerada como especie en peligro de extinción de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) y cabe mencionar que tiene una importancia industrial para la extracción de productos químicos (Masten, 1999). Es utilizada en forma tradicional como planta medicinal y condimento de cocina, con una influencia importante en el uso ritual religioso (INEGI, 2005; Montañez-Armenta, 2006). Luna (2014) reporta que esta especie solo está presente en zonas conservadas o con abandono de

manejo de más de 13 años, tiempo que de acuerdo a su estudio es lo que tarda esta especie para recuperarse y nuevamente comenzar a formar parte del ecosistema, lo que podrían explicar la distribución de dicha especie en la zona.

La densidad en los sitios es muy variable y se encuentra entre 918 y 6,620 individuos por hectárea, el sitio de menor densidad está ubicado a una altitud de 2662 m s.n.m. y el de mayor densidad a 2636, la composición entre ambos es muy similar, sin embargo en el sitio con mayor densidad la combinación de diversos tipos de perturbación dio como resultado un incremento en el número de individuos.

Tanto adultos como juveniles de encino, de las diferentes especies que se distribuyen en la zona, se encuentran en toda la gama de variables ambientales presentes en la zona. En el caso de los pinos la situación es diferente ya que los juveniles de este grupo no están presentes en varios de los sitios analizados. En los sitios localizados en la parte baja del gradiente y debido a que las temperaturas son más altas (alrededor de 17.5 °C temperatura media anual registrada) y hay menor humedad es notoria la dominancia de los encinos y la presencia y abundancia de individuos adultos del género *Pinus* disminuye, estando ausentes también los individuos jóvenes de este género.

Los resultados del modelo generalizado de Poisson aplicado para la zona, sugieren que los encinos se pueden establecer tanto en zonas dominadas por pinos y/o por encinos, pero la densidad de plántulas de pinos se ve seriamente afectada en sitios dominados por encinos, en donde el dosel es más cerrado, tal como los reportaron Galindo-Jaimes *et al.*, (2002). Lo anterior confirma el efecto que podría tener la perturbación (como la extracción de madera), ya que al abrirse claros se favorece el establecimiento de los pinos en zonas dominada por encinos (González-Espinosa, *et al.*, 1991). Los datos obtenidos sugieren que con el paso del tiempo podrían producirse diversas sustituciones de manera natural en las que los encinos dominen sitios que ahora son dominados por pinos, pero también de

manera inducida o producto de la perturbación antropogénica sitios dominados por encinos podrían incrementar la densidad de pinos.

## IX. II Estructura vertical y diamétrica

El análisis de la estructura de la vegetación basado en la edad y tamaño de los árboles (representados por alturas y diámetros) se ha utilizado para determinar el grado de conservación o etapa sucesional en la que se encuentran (Rozas, 2002; Ajbilou *et al.*, 2003). En el presente trabajo se observa una gran cantidad de individuos con diámetros menores a 10 cm. aún cuando entre los individuos que están representados en esta clase se encuentran algunos arbustos, esta abundancia sugiere una alta regeneración en el bosque y que en general, los sitios están compuestos por bosques jóvenes. Aguilar (2007) en un estudio en bosques conservados aledaños a la zona reporta una baja abundancia de individuos de esta clase y en contraste una mayor abundancia de árboles grandes.

La baja densidad de árboles grandes pueden explicar la abundancia de individuos jóvenes en la zona estudiada, ya que todos los sitios han sufrido distintos tipos de perturbación, principalmente la extracción de madera e incendios, lo que ha promovido la presencia de claros y un dosel más abierto favoreciendo la regeneración tanto de pinos como de encinos como sugieren González-Espinosa *et al.* (1991) y Galindo-Jaimes *et al.* (2002).

Es muy notable la predominancia de individuos de tallas menores (entre 0.6 y 5m de altura) y la escases de individuos mayores de 5m en la mayoría de los sitios, el análisis de los datos de las alturas de los sitios muestra una distribución conocida como “J” invertida. Destacan los sitios 6 y 26 (con altitudes de 2225 y 2865 respectivamente) en donde cerca del 90% de los individuos son menores a 5m de alto y pertenecen a especies como *Comarostaphylis spinulosa*, *Q. castanea*, *Prunus serotina* y *Roldana sartorii*, Jiménez (2004) señala que los géneros *Roldana* y *Comarostaphylis* son comunes en el sotobosque de los bosques de

abetos en la Sierra Juárez establecidos entre los 2500 y 3000 m s.n.m. con clima semifrío subhúmedo.

El sitio 19 es un caso bastante particular ya que fue el sitio con mayor densidad (662 individuos en 1000m<sup>2</sup>), sin embargo, no se encontraron individuos menores a un metro de altura, lo cual podría ser un indicador de la falta de regeneración, pero gran proporción de los individuos (60%) son árboles menores a 10 m, principalmente de *P. patula* y *Quercus rugosa*, esta estructura y composición puede ser el resultado del efecto de diversos tipos de perturbación a los que ha sido sujeto el sitio como la extracción de madera, el uso agrícola y además la presencia de incendios.

Al igual que la densidad, el área basal encontrada en la zona estudiada varía en un amplio rango entre 16 y 53.3 m<sup>2</sup> por hectárea, dicha variabilidad está explicada por el tipo de vegetación presente en cada uno de los sitios, ya que se observa que los dos sitios de menor altitud y dominados por encinos son los de menor área basal a diferencia de aquellos en los que predomina *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* y *P. douglasiana*.

Además el área basal también se ve modificada por la perturbación, ya que en zonas conservadas como lo es el municipio de Yavesía los valores son mayores que en nuestros sitios en los que se ha realizado una explotación de recursos (cuadro 11), ya que como lo mencionan Ramírez-Marcial *et al.* (2001) la perturbación puede generar cambios en la composición, estructura y acomodo de especies vegetales, una prueba más de dicha suposición son los altos valores de importancia relativa que presentan los árboles muertos y tocones en cada uno de los sitios de estudio.

### IX.III Diversidad

La diversidad de los sitios muestreados se calculó mediante dos métodos, el de Simpson que es sensible a los cambios en la abundancia de la especie más común (dominancia) y el  $\alpha$  de Fisher que le da mayor peso a las especies raras y

que además es más sensible a las diferencias entre localidades; ambos índices no son afectados por el tamaño de muestra y son muy usados actualmente (Magurran, 1988) debido a estas características descritas, se consideró pertinente utilizarlos y porque además permite realizar comparaciones con otros estudios.

El índice de diversidad de Simpson ( $1/D$ ) obtenido, oscila entre 2.02 y 8.18 siendo más comunes los valores entre 3 y 4, ya que el 37% de los sitios está representados por estos valores (Fig. 31). El sitio con mayor diversidad fue el 6 que se encuentra a 2225 m s.n.m., es el que tiene mayor número de especies y además es un sitio con bajos niveles de perturbación, contrario al de menor diversidad (sitio 8) ubicado a mayor altitud (2321m) pero con el menor número de especies y es uno de los sitios con altos valores de perturbación.

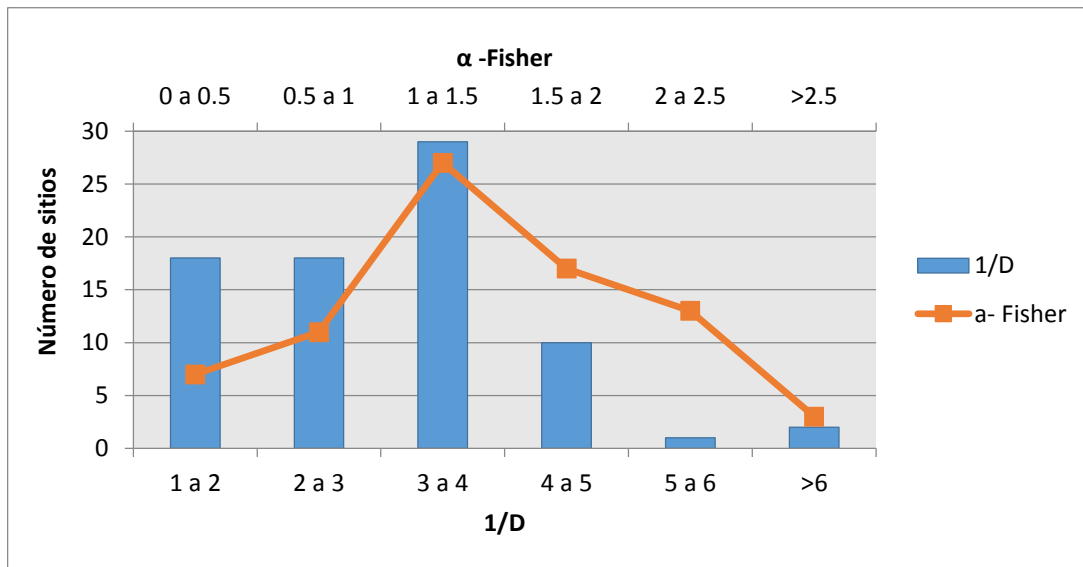


Fig. 31. Frecuencia de sitios con similares valores de diversidad.

Con respecto al  $\alpha$  de Fisher los valores oscilan entre 0.96 y 3.32 para nuestro estudio, los valores más frecuentes se encontraron entre 1 y 1.5 representando el 35% del total, los de menor frecuencia fueron los valores mayores a 2.5, es decir hay pocos sitios (4%) con alta diversidad (Fig. 31). El sitio más diverso de acuerdo a este índice fue el sitio 2 (ubicado a 1982 m s.n.m.) catalogado como uno de los sitios con alto valor de perturbación, en el cual hay una clara dominancia de algunas especies tal es el caso de *Calliandra hirsuta* especies indicadora de

perturbación. Por otro lado el sitio de menor diversidad coincide con el índice anterior.

Esta variación de diversidad entre sitios parece estar relacionada con la perturbación ya que en lugares con alto grado de deterioro encontramos menor riqueza y mayor dominancia, contrario a lo que sucede en sitios menos perturbados.

En términos generales se observó que ambos índices se comportan de manera muy similar tal como lo menciona Benítez (2006), solo en los sitios 19, 26 y 6 la diferencia entre índices es significativamente diferente (de más de una desviación estándar), dichas diferencias se deben a que los dos primeros son sitios en los que dominan dos especies y el resto son especies raras, en contraste a lo que sucede en el sitio 6 en el que no hay especies dominantes ya que la mayoría tiene densidades similares y son pocas las especies raras.

En general, al comparar la estructura y diversidad de algunos de nuestros sitios contra sitios con similares características pero ubicados en el bosque de Yavesía (Benítez, 2006; Wong, 2009; Wong, 2011) en el cual no se ha realizado manejo y considerando solo a individuos con DAP mayor a 10cm se observa que existe una mayor riqueza, diversidad y área basal en bosques conservados que en los que se ha extraído madera, en algunos casos incluso se rebasa el doble de dichos valores.

Solo en tres sitios existe un mayor número de individuos en lugares perturbados pero a pesar de ello el área basal es menor a la de los conservados (Cuadro 11) lo cual nos habla de la abundancia de individuos jóvenes en nuestra área de estudio, esto además se corrobora al comparar el DAP promedio entre los sitios ya que mientras este varía entre 20.9 y 41.5 cm en sitios conservados, en sitios con explotación encontramos valores entre 18.4 y 26.7 cm en promedio, así como menor cantidad de individuos con DAP mayor a 30 cm y con alturas mayores 12m. Dichas diferencias estructurales y de diversidad entre los bosques de ambas comunidades parecen ser efecto del aprovechamiento que se tuvo por varios años

en la comunidad de Lachatao, con lo cual podemos corroborar que la explotación modifica la estructura de la vegetación y disminuye su diversidad.

Cuadro 11. Sitios muestreados en bosque con y sin aprovechamiento forestal. Muestreo circular de 0.1 ha. Se consideran solo a individuos con DAP>10. \*Sitios en bosque conservado (Benítez, 2006; Wong, 2009; Wong, 2011). No. Ind.= Número de individuos; AB= Área basal; DAP\_prom=DAP promedio; Alt\_Prom= Altura promedio; Alt\_Max= Altura máxima.

Sitio	Altitud (ms.n.m.)	Riqueza	No. Ind.	Simpson_1-D	Fisher_α	AB (m <sup>2</sup> )	DAP_Prom (cm)	Alt_Prom (m)	No. Ind. DAP>30	Alt_Max
<b>*S1</b>	2130	9	94	0.71	2.45	6.52	25.3	13.2	27	28
<b>4.2</b>	2152	2	63	0.50	0.39	2.15	18.4	7.2	9	14
<b>*S2</b>	2209	6	45	0.80	1.86	5.15	31.9	14.7	19	35
<b>5.3</b>	2173	6	59	0.79	1.67	2.99	22.5	13.3	8	32
<b>*S3</b>	2325	5	60	0.69	1.30	4.64	28.1	16.4	24	30
<b>9.3</b>	2329	4	55	0.60	0.99	2.13	20.9	10.3	6	17
<b>*S4</b>	2340	6	99	0.79	1.41	8.72	29.1	12.6	38	28
<b>8.2</b>	2340	2	61	0.48	0.40	2.12	19.0	8.6	11	17
<b>*S5</b>	2350	8	107	0.85	2.00	4.54	20.9	11.7	16	28
<b>9.1</b>	2352	4	76	0.55	0.90	2.63	19.4	10.9	8	20
<b>*S6</b>	2380	14	96	0.82	4.51	7.87	28.1	15.2	37	30
<b>10.2</b>	2375	2	54	0.49	0.41	2.14	20.0	8.6	8	14
<b>*S7</b>	2500	10	142	0.80	2.45	9.60	23.5	14.8	32	32
<b>15.1</b>	2496	7	49	0.73	2.24	3.77	26.7	10.2	15	30
<b>*S8</b>	2570	10	102	0.83	2.75	11.56	32.5	15.6	47	35
<b>15.3</b>	2571	7	67	0.71	1.97	3.76	23.4	11.4	11	32
<b>*S9</b>	2770	5	14	0.73	2.78	5.29	41.5	17.0	5	34
<b>24.2</b>	2764	4	35	0.54	1.16	2.61	25.1	14.3	9	30
<b>*S10</b>	2819	6	38	0.72	2.00	3.65	28.8	14.7	18	40
<b>25.2</b>	2800	4	53	0.38	1.00	2.65	22.9	11.7	14	18

## IX. IV Nivel de deterioro

El índice de perturbación (Martorel y Peters, 2005) fue una herramienta de gran utilidad para evaluar el deterioro ya que nos permite asignar valores numéricos del grado de deterioro de los sitios mediante un análisis multiparamétrico que nos da la facilidad de incorporar variables que consideramos de impacto en la zona, así como eliminar aquellas que no tienen variación.

La nula variabilidad de los factores eliminados (ramoneo, islas de erosión, excremento de cabra y superficie totalmente degradada) indica que la perturbación en la zona no es causada en gran medida por la ganadería uno de los problemas ambientales reportados por CONABIO (2000) y Gómez-Mendoza *et al.* (2006) en la Sierra Norte de Oaxaca, en la que señalan que ocurre desmonte en las zonas húmedas para la práctica de ganadería extensiva que no es el caso de la zona estudiada ya que esta, actividad no es predominante en el área y se corrobora su poco impacto con los valores bajos en los agentes de perturbación de suelo y ganadería, factores regularmente relacionados (Martorel y Peter, 2005). El factor de perturbación que tuvo un mayor impacto en el área de estudio fueron las actividades humanas en las que destacaron la proximidad de la población, extracción de madera, veredas e incendios, dichos factores podría explicar la transformación del 37% de bosque templado conservado a zonas templadas perturbadas que reportan Gómez-Mendoza *et al.* (2006) en la Sierra Juárez durante el periodo de 1980 -2000.

Los dos sitios para los que se obtuvo el mayor índice de perturbación (10 y 4) coincidentemente son los que se encuentran más cercanos al pueblo, estos sitios consecuentemente presentan baja diversidad, alto porcentaje de apertura del dosel, y alta densidad de individuos de diámetros y alturas pequeñas, en contraste con los sitios con menor índice de perturbación (sitios 24 y 18), en los que la diversidad es mayor, el dosel es más cerrado y se encuentra un mayor número de individuos adultos. Estos resultados concuerdan con lo propuesto por diversos autores (Ramírez-Marcial *et al.*, 2001; Turner *et al.*, 2003; González-Espinosa *et*



*al.*, 2009; Zarco-Espinosa *et al.*, 2010) que señalan que la perturbación provoca un cambio en la estructura de la vegetación.

#### IX.V Efecto de las variables ambientales y de perturbación en composición y estructura de la vegetación

De acuerdo a los datos obtenidos, tanto las variables ambientales como las de perturbación tuvieron un efecto considerable en la composición de la vegetación; la altitud y la evapotranspiración son las que explicaron de mejor manera la distribución de las especies en los sitios; el gráfico del RDA muestra un ángulo entre ellas de 90° aproximado, lo que indica independencia de las variables. La evapotranspiración es el resultado de la interacción entre la temperatura y la precipitación, y se considera una medida de productividad primaria o energía disponible (Mittelbach, 2001). Diversos trabajos corroboran la importancia de la altitud y la evapotranspiración (Challenger, 2003; Sánchez-González y López-Mata, 2003; González-Espinosa *et al.*, 2004; Zacarías-Eslava y Del Castillo, 2010) como elementos clave que determinan la distribución y composición de la vegetación.

En sitios aledaños a la zona de estudio Zacarías-Eslava y Del Castillo (2010) registraron un cambio drástico en la composición y estructura de la vegetación entre localidades con poca diferencia altitudinal; por otro lado Aguilar (2007) reporta un efecto significativo de la altitud, evapotranspiración y orientación de ladera en la abundancia de especies.

A nivel específico se observó que las especies que se encuentran a mayor altitud como *Prunus serótina* y *Q. laurina* se relacionan negativamente con la evapotranspiración ya que se encontraron en lugares más húmedos y fríos; a diferencia de *P. patula*, *Q. rugosa*, *Q. crassifolia* y *A. xalapensis* los cuales se hallaron en altitudes intermedias coincidiendo con una mayor evapotranspiración.

La abundancia de estas especies que fueron las que estuvieron presentes en más de 9 sitios se vio relacionada con la extracción de madera; *P. patula*, *Q. rugosa*, *A.*

*xalapensis*, *Q. crassifolia* y *Q. laurina* están presentes en lugares en donde la extracción de madera fue mayor; la presencia de *P. patula* indica la alta regeneración de esta especie así como su tolerancia ante diversos tipos de perturbación ya que cabe mencionar que en la mayoría de los sitios los individuos de esta especie son individuos jóvenes, a diferencia de lo que ocurre con *P. pseudostrobus* var. *apulcensis*, especie que presento muy baja regeneración.

Las variables relacionadas con la evaluación de los niveles de perturbación explicaron en menor medida la composición florística de los sitios y es la extracción de madera y la erosión las principales causas que explican la variabilidad, lo que coincide con lo expuesto por Challenger (2003), quien menciona que los bosques de coníferas y encinos se encuentran entre los ecosistemas más afectados por los asentamientos y actividades de producción primaria (agricultura y forestal).

Aunque la erosión no se midió directamente, los valores obtenidos se relacionan con las observaciones de remoción de suelo o las huellas dejadas por el paso del agua por lo que es posible inferir que la erosión puede estar relacionada con actividades como la extracción de madera, ya que el aprovechamiento forestal disminuye la cobertura y generalmente se abren brechas para el paso de grúas y vehículos que aumentan la posibilidad de remoción del suelo.

Algunos estudios han documentado cambios en la composición vegetal a consecuencia de disturbios, lo que ha ocasionado disminución en la cobertura vegetal (Villavicencio *et al.*, 2012), apertura de claros que muchas veces favorecen el establecimiento de especies invasoras (Galindo-Jaimes *et al.*, 2002; Ramírez-Marcial *et al.*, 2001) o modificación en la sucesión natural de los bosques (González-Espinosa *et al.*, 1991), en nuestra área de estudio no es la excepción ya que es bien conocido que en el territorio Pueblos mancomunados se realiza un aprovechamiento forestal, por lo que el impacto que tiene la extracción de madera era de esperarse, aunque pareciera ser que dicho impacto no es tan severo como lo que ocurre en el bosque ubicado en Ixtlán en el que Vásquez (2013) realiza muestreos de estructura y composición vegetal en muestreos circulares muy parecidos a los realizados en este estudio y reporta tan solo 12 especies de

árboles y arbustos en zonas sin manejo y 8 para zonas con manejo; además de que encuentra que la diversidad difiere entre ambas zonas; sin embargo concluye que la composición no se ve afectada por dicha actividad.

También la estructura de la vegetación puede presentar cambios relacionados con la perturbación; principalmente por la extracción de madera y/o si el sitio estuvo sujeto a uso agrícola en el pasado. Dummel y Pinazo (2013) mencionan que el uso anterior del suelo es una variable condicionante de la estructura y composición de la vegetación, ya que en situaciones en la que se le dio un uso agrícola al suelo reduce la regeneración por la eliminación de propágulos y pérdida del banco de semillas. Ya se mencionó el caso de un sitio (19), en donde los efectos de la perturbación (incendios, extracción de madera, uso agrícola en el pasado, compactación del suelo) se reflejan en la estructura del bosque presente y en la ausencia de regeneración. Ramírez-Marcial *et al.* (2001) menciona que cuando el dosel está predominado por pinos las especies de árboles en el sotobosque se ve empobrecida.

En sitios en los que la extracción de madera fue la principal perturbación en años pasados, se observaron individuos adultos con DAP entre 20 y 30cm, lo que puede considerarse como bosque joven. Probablemente estos árboles que al momento de la extracción no cumplieron los requisitos para ser retirados, son los que permanecen en ese sitio. Es importante mencionar que en los sitios en los que se documentaron menores signos de perturbación se encuentran los árboles con mayor área basal, mayor altura y mayores diámetros, tal y como lo documenta Ramírez-Marcial *et al.* (2001), es en estos sitios donde también se encontró mayor cantidad de individuos pequeños, ya que a pesar de que las plántulas de pinos y encinos pueden germinar y establecerse en zonas abiertas (Galindo-Jaimes, 2002), se considera que es más probable que permanezcan si no existe alguna otra alteración.

Los análisis hechos para reconocer el aporte de las variables ambientales en la composición y estructura de la vegetación, fueron útiles para corroborar el efecto que tiene la altitud ya que la relación fue significativa. Las variables de

perturbación con mayor efecto en la estructura se relacionaron significativamente con las diferentes categorías de árboles, se corroboró que en sitios con mayor extracción de madera y en lugares que tuvieron uso agrícola hay una mayor cantidad de árboles delgados y menor cantidad de árboles maduros y plántulas, lo que se podría atribuir a la degradación del suelo y disminución de nutrientes o a la etapa sucesional en la que se encuentra el bosque.

## IX.VI Aspecto social

La distribución de las principales zonas ecológicas así como los grupos indígenas de México muestra cierta similitud (Challenger, 1998) lo que indica que la mayoría de los grupos indígenas tiene acceso a esas zonas. De acuerdo a Challenger (2003) los ecosistemas de bosque de coníferas y encinos son los más ocupados debido a su estacionalidad y fertilidad de suelo y es en este tipo de ecosistemas en donde se encuentra a la comunidad Zapoteca, objeto de este estudio. Cabe mencionar que se tiene evidencia de que el uso tradicional de los recursos así como el empleo de la roza-tumba y quema mantenían una direccionalidad sucesional durante varios decenios después del abandono de las parcelas agrícolas, lo que permitía conservar los bosques (González-Espinosa, 2009).

La diversidad ecológica, biológica y climática permite la existencia de mayor cantidad de productos silvestres y cultivados disponibles para satisfacer las necesidades cotidianas de las comunidades humanas y se constituye en la base misma de la economía campesina tradicional (Toledo et al., 1989). Es obvio que los bosques han sido el sustento de vida para los grupos sociales indígenas (Ochoa-Gaona y González-Espinosa, 2000), por lo que como menciona Challenger (2003) no es mera coincidencia que la mayoría de las zonas que aun ostentan ecosistemas en buenas condiciones de conservación se relaciona estrechamente con la distribución de las etnias del país; sin embargo diversas presiones sociales, económicas y ecológicas han dado lugar a una serie de variantes en el uso de los recursos naturales (Ochoa-Gaona y González-Espinosa, 2000; González-Espinosa et al., 2006), tal es el caso de concesiones de aprovechamiento forestal.

Gracias a las entrevistas y a pláticas que se entablaron con gente de la comunidad de Lachatao, sabemos que todas las personas entrevistadas, desde los niños hasta los adultos mayores conocen la importancia que tiene los bosques debido a que les proporcionan recursos vitales. Se sabe que en la zona hubo aprovechamiento forestal por la empresa de Mancomunados, (figura legal agraria a la que pertenece Lachatao), sin embargo el sentir actual que expresan es “¡Fuimos engañados!, nosotros solo le hicimos caso a los expertos para el manejo del bosque y no recibimos beneficios”. En los últimos años cuando comenzaron a notar los cambios en el bosque, tomaron la decisión de detener el aprovechamiento.

La mayoría de los pobladores ha notado cambios negativos en el bosque tales como la disminución de árboles grandes, baja en la fertilidad del suelo, presencia de deslaves y disminución en la disponibilidad del agua, efecto que atribuyen a la deforestación. Aunado a lo anterior, en los últimos años tuvieron la presencia de la plaga del escarabajo descortezador, y si bien el insecto produce una mortandad importante de árboles, algunas de las acciones de combate como la extracción de madera y la apertura de caminos, impulsadas por instituciones gubernamentales (CONAFOR) afectan en mayor medida el ecosistema (Camacho, 2008). El efecto negativo se ve incrementado debido a las respuestas tardías y dilatorias de las instituciones correspondientes para otorgar los permisos de saneamiento, tal como lo mencionan los pobladores, que derivan en incrementos exponenciales de infestación.

Alrededor de un 5% de las personas entrevistadas, que además coincide con personas que no conocen todo el territorio, mencionan que el bosque ha cambiado positivamente ya que han disminuido los terrenos alrededor del pueblo, esto se corrobora con los datos obtenidos en campo ya que muchos de los sitios en el pasado fueron terrenos de cultivo, aledaños al caserío. Estos cambios los atribuyen a la emigración; lo cual coincide con lo documentado en algunos países latinoamericanos (Grau *et al.*, 2008) quienes adjudican un incremento de cobertura forestal o “transición forestal” a que la población rural ha emigrado por decenios a

la ciudades de la región, dentro del mismo país o al extranjero. Es probable que en la zona de estudio algo similar esté sucediendo.

Lo que es destacable en este caso es el interés y nivel de organización de la comunidad para conservar de manera deliberada, tal como apuntan los resultados de las encuestas en el que al 100% le interesa la recuperación del bosque y 95% está dispuesta a participar en dicho proceso. Alternativas como las propuestas por Tenza *et al.* (2011) en el que se sugiere que más que el abandono de tierras o la intensificación agroindustrial una estrategia alternativa para la conservación de los ecosistemas es: recuperar y construir paisajes agrícolas diversificados que sirvan como 'matriz de la naturaleza' de alta calidad, estrategia apoyada en el enfoque agroecológico para el manejo de los agroecosistemas y que incluye la recuperación de los saberes tradicionales y la complementación con los conocimientos en ecología y diseño de paisajes. Supone un uso del territorio más equilibrado, que respeta y favorece la funcionalidad ambiental, además de ser capaz de enfrentar la necesidad de producir alimentos en cantidad y calidad suficientes, conservar la biodiversidad, promover la cohesión social y una evolución cultural adecuada.

Las personas de la comunidad identificaron como zonas prioritarias a restaurar, aquellas que son importantes para la recarga del acuífero, así como los sitios aledaños a los poblados. Esta preocupación la basan en los cambios en la estructura (menos individuos, menos cobertura) del bosque que han observado a través de los años y las consecuencias que esto ha traído como la disminución del suministro de agua y la ocurrencia de deslaves en zonas aledañas.

Cabe destacar que el interés mostrado por la comunidad por recuperar la calidad del bosque es genuino y no un artefacto de la entrevista. Durante la permanencia en la comunidad para realizar los muestreos se pudo constatar la gran participación que tiene la gente en las actividades comunitarias ya sea culturales o ambientales, como pláticas, cursos, saneamiento, construcción y rehabilitación de vías de acceso, eventos culturales. Hubo un gran interés en conocer el tipo de información que se podría obtener con la realización de este trabajo y una

participación en una asamblea para dar a conocer los objetivos y las condiciones ambientales del bosque. Un claro reflejo de su interés por preservar sus recursos y su cultura es que cansados de la ineficiencia del sistema, han impulsado la creación de su propia escuela en la que además del programa propuesto por la Secretaría de Educación Pública han incorporado en sus materias talleres como: Lengua indígena, artesanías y tradiciones, geografía regional y gastronomía local; dicho logro habla por sí solo del interés y lucha constante de la cual ahora forma parte esta comunidad.

### IX.VII Áreas a restaurar

La zona de estudio presenta gran variación en los factores topográficos, climáticos, edafológicos y de vegetación, las cuales resultan en una diversidad de condiciones, que además han sido modificadas por las actividades humanas, las interacciones de estas condiciones (topográficas, hidrológicas y actividades antrópicas) son las que determinan la ocurrencia de deslizamientos (Doratti *et al.* 2002).

En este caso, los sistemas de información geográfica son herramientas muy útiles que permiten abordar el problema desde varias perspectivas, ya que en análisis de este tipo, en donde es necesario incluir más de una variable para tomar decisiones, su uso permite hacer más eficiente el análisis, sin embargo, es importante considerar que se requiere de mucha información sobre las características de los factores ambientales, para de esta manera darles un peso adecuado, debido a que esto influye en el resultado final.

Es necesario considerar que los modelos que se obtienen basados en información de cartas disponibles, es un acercamiento a la vulnerabilidad que se tiene de la zona analizada, y que es necesario llevar a cabo procesos de verificación, así como de incorporación de información a niveles más finos que permitan identificar con menor grado de incertidumbre los grados de vulnerabilidad en la zona.

Los datos obtenidos permitieron identificar en el territorio de Pueblos mancomunados cinco clases de vulnerabilidad, lo que hace posible detectar las zonas que son susceptibles de remoción de suelo, sobre todo si se pierde la cobertura vegetal. En el mapa resultante resaltan las áreas que se encuentran en pendientes muy pronunciadas en donde el riesgo se incrementa. Al hacer algunos recorridos en la zona se pudo observar que en algunas de estas zonas con pendientes fuertes sí se conserva la vegetación y además en general es diferente debido a las condiciones del terreno. En los casos en donde la cobertura se ha perdido en ese tipo de condiciones son evidentes los procesos de erosión provocados principalmente por eventos de lluvias fuertes. En las zonas en donde la vegetación está mejor conservada se puede verificar el amortiguamiento que ofrece ante eventos como el mencionado en contraste con aquellas áreas en donde se ha perdido esta capa.

Cabe mencionar que una dificultad técnica relacionada con estos análisis es el uso de imágenes satelitales para la identificación de la cobertura vegetal, en donde hay que ser muy precavido en la interpretación de las mismas. En este caso, un problema surge por ejemplo por la presencia de vegetación caducifolia (encinares), que causa confusiones espectrales con otras clases como las zonas agrícolas o sin vegetación. Si se da el caso en el que se le asignen pesos a las variables que se incorporan en el modelo, habría que considerar estos aspectos para evitar sesgos no deseados en los resultados.

Las áreas que resultaron, según el análisis, de alta vulnerabilidad en general concuerdan con las zonas que los pobladores reconocen como los sitios que han sido afectados por las diferentes actividades a las que han estado sujetas y que son las que requieren atención. Sería importante que en un futuro cercano se haga un trabajo en conjunto con los comuneros (talleres y cartografía participativa) para identificar y delimitar los sitios con mayor detalle. Se sabe que para que un proyecto de restauración funcione debe estar vinculado fundamentalmente con las necesidades y valores del grupo social relacionado con el sistema a restaurar



(Zorilla, 2005), de la fortaleza de la vinculación dependerá el éxito y aplicación de las medidas que se lleven a cabo.

La restauración tiene como objetivo el restablecimiento de la función y la estructura de las áreas que han sido perturbadas (Young, 2000), lo que implica eliminar o modificar una alteración específica, para permitir que los procesos ecológicos se recuperen. El objetivo de la restauración es retornar un ecosistema a su trayectoria histórica (SER, 2004), los principios rectores de los procesos de recuperación de bosques deberán ser los de la regeneración natural, buscando que las actividades recreen y aceleren la dinámica de la sucesión (Gonzales-Espinosa *et al.*, 2007).

Debido a las características evaluadas en la zona de estudio se observa que en algunos sitios, una parte del proceso de restauración ya está avanzada ya que los agentes del disturbio han cesado. Al menos en la comunidad de Lachatao y a pesar de que la composición y estructura de la vegetación muestra claramente los efectos de diversos factores de perturbación (principalmente el aprovechamiento forestal y los incendios), en muchos de los sitios se reportó una alta regeneración de especies arbóreas.

Los hallazgos sugieren a que mientras no se generen otros tipos de perturbación en dichos sitios, el bosque tiene la capacidad de recuperarse casi sin ninguna intervención. Sin embargo y debido a las diferencias encontradas en la composición de especies entre los adultos y los jóvenes, es probable que en algunos casos sería necesario hacer actividades de reforestación que contribuyan al establecimiento de especies que presentan muy baja presencia en el sotobosque. Resalta la abundancia de *Pinus patula*, que si bien es componente importante de estos bosques, los datos muestran abundancias muy altas, comparadas además con las de bosques aledaños con menores signos de perturbación.

En aquellos sitios en donde los datos de estructura muestran los mayores signos de perturbación y que se ha traducido en la pérdida de especies y en los parámetros estructurales, será necesario la planeación de actividades que

promuevan el restablecimiento de bosques. La presencia de bosques mejor conservados en la zona, particularmente en Yavesía, en donde no se ha hecho aprovechamiento forestal, son la base para evaluar el nivel de cambio que han sufrido los bosques aprovechados.

La combinación de análisis puntuales, basados en información de muestreos de campo que generan información sobre los efectos de la perturbación y datos cuantitativos de la vegetación, en conjunto con la incorporación de variables ambientales realizados con ayuda de un SIG, sumado a la información social, son acercamientos metodológicos que nos permite tener un panorama más completo de lo que sucede en la región de estudio. Todo esto contribuye a la toma de decisiones, por ejemplo para la selección de zonas prioritarias para las acciones de restauración, así como para proponer líneas de acción.

El conocimiento de las condiciones en las que se encuentran los bosques de la zona se convierte en un elemento fundamental que aporta a los objetivos fijados por las comunidades de Yavesía y Lachatao, encaminadas a la conservación y recuperación del bosque. En el caso de Yavesía, el impacto más fuerte se relaciona con la presencia de la plaga del gusano descortezador. Sin embargo después de haber realizado las actividades de saneamiento, es evidente la recuperación del bosque debido fundamentalmente a la casi nula afectación al banco de semillas y la presencia de árboles adultos que han aportado a la propagación de propágulos. Esta condición se contrasta con las condiciones de los bosques con aprovechamiento y/o incendios donde es notable la ausencia de árboles maduros que como mencionan Holl *et al.* (2000) y Ramírez-Marcial (2001) modifican las condiciones microclimáticas y disminuye la calidad del suelo pudiendo favorecer a especies invasivas y reduciendo la germinación de las especies arbóreas del sitio.

El ganado, si bien existen algunas cabezas de bovinos, no representan un fuerte impacto en la zona, pero es importante que esto se mantenga así, ya que en sitios donde se observa su presencia el resultado es el pisoteo de plántulas, su

mortalidad, la compactación del suelo y la disminución en la disponibilidad de humedad (Ramírez-Marcial *et al.*, 1996; Martorell y Peters, 2005).

Con los datos de cada uno de los sitios analizados, es posible proponer para cada uno las posibles actividades que contribuyan a elevar la calidad de los bosques, sobre todo en aquellos que requieren algún tipo de ayuda que abone a la recuperación de su integridad (Cuadro 12). La presencia de bosques aledaños, en mejor estado de conservación en condiciones ambientales similares, son una referencia importante que facilita esta labor y que puede orientar los caminos hacia la recuperación de los bosques deteriorados.

Cuadro 12. Acciones de restauración en cada uno de los sitios estudiados.

Sitio	Signos de perturbación	Características de vegetación	Acciones de restauración a aplicar
1	* Terreno de cultivo en el pasado	* Ausencia de árboles adultos	* Evitar cualquier actividad debido al tipo de suelo y pendiente, ya que es muy susceptible de erosión
	* Extracción de leña	* No presenta regeneración	* Recuperación de características físicas y químicas del suelo * Colecta y germinación de semillas del sitio para posterior trasplante especialmente las especies diferentes a <i>P. patula</i> .
2	* Extracción de leña * Alta vulnerabilidad	* Regeneración * Ausencia de árboles adultos * Alta diversidad	* Evitar cualquier actividad debido al tipo de suelo y pendiente, ya que es muy susceptible de erosión
3 y 14	* Extracción de madera	* Regeneración	* No volver a extraer madera en el sitio
	* Fuego * Vulnerabilidad media de remoción	* Presencia de árboles adultos	* Evitar incendios
4 y 10	* Veredas	* Ausencia de árboles adultos	* Evitar entrada de ganado
	* Ganado	* Regeneración	* Favorecer regeneración natural
5, 6, 7,	Bajos signos de perturbación.	* Regeneración	* No volver a extraer madera en el sitio

13, 15, 16, 17, 18,2 0, 21, 22, 23 y 24	* Extracción de madera	* Presencia de árboles adultos	
	* Vulnerabilidad media de remoción		
8 y 9	* Extracción de leña	* Poca densidad de juveniles (50 indiv/ha)	* Transitar por solo un camino
	* Veredas	* Ausencia de árboles adultos	* Evitar extracción de leña
	* Vulnerabilidad media de remoción	* Baja diversidad	* Favorecer regeneración natural
19	* Evidencia de incendios	* Alta densidad (6,620 inv/ha)	* Realizar análisis más profundo con respecto a la escases de plántulas
	* Uso agrícola en el pasado	* Dominancia de individuos con DAP entre 10 y 20cm	
	* Extracción de madera	* Ausencia de establecimiento	
	* Alta vulnerabilidad de remoción	* Escasos árboles adultos	* Recuperación de características físicas y químicas del suelo
	* Compactación		
25	* Extracción de madera	* Regeneración	* No volver a extraer madera en el sitio
	* Incendio	* Presencia de árboles adultos	* Evitar incendios
	* Compactación		
	* Vulnerabilidad media de remoción		
26	* Fuego	* Regeneración	* Mantenerse como hasta ahora y evitar actividades en la zona ya que de perder cobertura es altamente vulnerable de remoción
	* Alta vulnerabilidad de remoción	* Presencia de árboles adultos * Estructura de vegetación compleja	

## X. CONCLUSIONES

- Dentro del Territorio de Pueblos mancomunados se encuentran bosques en diferentes condiciones ambientales, así como en diferente grado de perturbación
- Los sitios analizados se encuentra en un rango de altitud que va de 1928 a 2865 m s.n.m que cubre una parte importante del ámbito altitudinal y de condiciones ambientales como tipo de suelo, temperatura y lluvia.
- El método utilizado permitió de una manera eficiente obtener información de las características de composición y estructurales de los sitios, así como caracterizar las condiciones ambientales y nieles de perturbación.
- Se caracterizó la estructura y composición de 26 sitios de bosques de encino y mixtos en los que se registraron un total de 90 especies distribuidas en 22 familias siendo la más abundantes y de mayor riqueza Fagaceae, Asteraceae y Pinaceae. *Q. crassifolia*, seguido de *Q. rugosa* y *P. patula* fueron las especies predominantes.
- La composición de especies varía entre el dosel y el sotobosque que en parte ese explica por el uso que se ha dado al bosque, principalmente el aprovechamiento forestal e incendios.
- Conforme cambia la altitud, se observan diferencias en la composición de los bosques con dominancia de encinares en las partes bajas y a más de 2000m los bosques mixtos de pino- encino.
- Es evidente la diferencia en la distribución de las especies las cuales tienes una relación fundamentalmente con la altitud
- La regeneración de *Quercus* spp. es más alta que la de *Pinus* spp. en la mayoría de los sitios, por lo que se espera a futuro una sustitución en la composición vegetal de la zona.
- La evaluación de los factores de perturbación muestra que el agente que ha tenido mayor impacto en la condición del bosque en la zona fueron las actividades humanas, en donde destaca la extracción de madera.
- El análisis de redundancia (RDA) fue de gran utilidad y muestra que tanto las variables ambientales como las de perturbación tienen un efecto significativo

en la composición vegetal. La altitud y la evapotranspiración fueron las variables que explicaron mejor la ordenación de la especies. Con respecto a la estructura resultó que las variables de perturbación son las que explican en mayor medida las diferencias entre los sitios. La extracción de madera y el uso agrícola en el pasado fueron las variables que tuvieron mayor efecto y que explican el predominio de árboles con diámetros menores, baja presencia de plántulas y árboles maduros.

- El modelo de susceptibilidad permitió clasificar el área de estudio en 5 niveles de vulnerabilidad, que permiten reconocer las zonas que podrían ser críticas si se pierde la cobertura vegetal.
- En el territorio de mancomunados se encuentran bosques en diferente estado de conservación, destaca el menor deterioro en el área de Yavesía en donde a pesar del impacto de la plaga se observan procesos de regeneración natural, en contraste con las zonas en la parte sur y oriental del territorio, con grandes áreas sin vegetación.
- La mayoría de los pobladores entrevistados independientemente del género y edad consideran importante el bosque ya que les brinda productos y diversos servicios; el 90% ha percibido un deterioro del bosque atribuido principalmente a la extracción de madera y a la presencia de la plaga e identifican las zonas que están alrededor del pueblo, cercanas a las agencias y en el área de recarga al acuífero como las que requieren mayor atención. La mayoría de los pobladores están dispuestos a participar activamente en la recuperación de su bosque.
- Los resultados indican que la combinación de datos geográficos, variables estructurales de la vegetación obtenidas en campo así como datos sociales permiten seleccionar las zonas en las que es necesaria la restauración así como las directrices que ésta debe llevar.
- Se reconocen sitios prioritarios para actividades de restauración, así como zonas en las que el bosque puede restaurarse naturalmente o tomar medidas precautorias y de ordenamiento territorial, para que aquellas zonas que son muy vulnerables sean protegidas.

## XI. LITERATURA CITADA

- Aguilar A (2007) Estructura del bosque templado en la comunidad de Santa María Yavesía, en la Sierra de Juárez, Oax; México. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Allison SK (2004) What do we mean when we talk about ecological restoration? *Ecological Restoration*, 22 (4): 281-286.
- Almeida-Leñero L, Nava M, Ramos A, Espinosa M, Ordoñez MJ y Jujnovsky J (2007). Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. *Gaceta Ecológica* 84-85: 53-64.
- Arriaga L, Espinosa JM, Aguilar C, Martínez E, Gómez L y Loa E (coordinadores) (2000) Regiones terrestres prioritarias de México. Escala de trabajo 1:1 000 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.
- Barrera-Cataño J y Valdés-López C (2007) Herramientas para abordar la restauración ecológica de áreas disturbadas en Colombia. *Universitas Scientiarum*. 12(2): 11-24.
- Benítez E (2006) Estructura, composición y diversidad  $\beta$  de los bosques de Santa María Yavesía, Oax. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Brooks (a) T, Mittermeier R, Da Fonseca G, Rylands A, Konstant W, Flick P, Magin G, Hilton-Taylor C (2002) Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity. *Cons. Biol.* 16: 909 – 923.
- Brooks (b) SS, Palmer MA, Cardinale BJ, Swuan MCh, Ribblett S (2002) Assessing stream ecosystem rehabilitation: limitations of community structure data. *Restoration Ecology*, 10(1):156-168.
- Bustamante R, Grez A (1995) Consecuencias ecológicas de la fragmentación de los bosques nativos. *Ambiente y desarrollo*. 11: 58 – 63.

- Camacho F (2008) Propuesta para un plan de restauración de los bosques templados de Santa María Yavesía Oaxaca, México, ante el ataque de *Dendroctonus adjunctus* Bandfor 1897. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Biología Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cardinale BJ, Matulich KL, Hooper DU, Byrnes JE, Duffy E, Gamfeldt L, Balvanera P, O'Connor MI, Gonzalez A (2011) The functional role of producer diversity in ecosystems. *American Journal of Botany*, 98(3): 572–592.
- Castillo A (2005). Comunicado para la restauración: Perspectivas de los actores e intervenciones con y por medio de las personas. En: Sánchez. O, E. Peters, R, Márquez, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y Danae Azuara (Eds). Temas sobre restauración ecológica. Instituto Nacional de Ecología- SEMARNAT. México.
- 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.
- Challenger A (2003) Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de montaña de México y su estado de conservación. En: Sánchez, O., Vega, E., Peters, E. y O. Monroy-Vilchis (eds) Conservación de ecosistemas templados de montaña en México. INE.
- CONABIO (1998) La diversidad biológica de México: Estudio de País, 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- CONAFOR (2009) Restauración de ecosistemas forestales. Guía básica para comunicadores.
- CONAFOR (2012) Estrategia nacional para REDD+. Comisión Nacional Forestal. México.
- CONAFOR (2013) Bosques, cambio climático y REDD+ en México. Guía básica. Comisión Nacional Forestal.



- Correa-Metrio A, Meave JA, Lozano-García S, Bush MB (2014) Environmental determinism and neutrality in vegetation at millennial time scales. *Journal of Vegetation Science*. 25: 627-635.
- Davis, SD, Heywood VH (1997) Centres of Plant Diversity: A Guide and Strategy for their Conservation. Vol. 3 The Americas. World Wide Fund for Nature and IUCN-The World Conservation Union. Oxford. U.K.
- Del Castillo RF, Perez DJ, Vargas GA, Rivera GR (2004) Coníferas. En: García-Mendoza, Ordoñez MJ, Briones-Salas M (eds.). Biodiversidad de Oaxaca (pp. 219-225). Instituto de Biología, universidad Nacional Autónoma de México-Fondo Oaxaqueño para la conservación de la Naturaleza-World Wildlife Found. México, D.F.
- Doratti M, McColl C, Tweeddale C (2002) Landslide Prediction Study. British Columbia: BCIT Geographic Information Systems Advanced Diploma Program.
- Dummel C, Pinazo A, (2013) Efecto de variables de paisaje y de rodal sobre la diversidad de especies arbóreas en el sotobosque de plantaciones de *Pinus taeda* en la provincia de Misiones, Argentina. *Bosque* 34 (3): 331-342.
- Falk D A, Palmer M A, Zedler J B (2006) Foundations of restoration ecology. Society for Ecological Restoration International. Island Press. Washington, D.C. USA. 364 p.
- FAO, 2001. Causas y tendencias de la deforestación en América Latina, en Evaluación de recursos forestales Mundiales 2000 (FRA2000). [www.fao.org](http://www.fao.org).
- Fernández E A, Romero CR, Zavala HJ (2013) Atlas Climático Digital de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx>.
- Flores Villela O, Gerez P (1994) Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso de suelo. Comisión Nacional para el

Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Universidad Nacional Autónoma de México.

Frazer W, Canham D, Lertzman P (1999) Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-color fisheye photographs, users manual and program documentation. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York.

Galindo-Jaimes L, González-Espinosa M, Quintana-Ascencio P, García-Barrio L (2002) Tree composition and structure in disturbed stands with varying dominance by *Pinus* spp. in the highlands of Chiapas, México. *Plant Ecology* 162: 259–272, 2002.

Galindo-Jaimes L, González-Espinosa M, Quintana-Ascencio P, García-Barrio L (2002) Tree composition and structure in disturbed stands with varying dominance by *Pinus* spp. in the highlands of Chiapas, México. *Plant Ecology* 162: 259–272.

García P V (2000) La región de la Sierra Juárez. Las propiedades comunales y el desarrollo sustentable, World Wildlife Fund (WWF), Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), programa de Conservación y Manejo Sustentable de Recursos Forestales de México (PROCYMAF), Oaxaca, México.

García-Mendoza AJ, Ordóñez M J, Briones-Salas M (2004) Biodiversidad de Oaxaca. Coordinadores Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza. World Wildlife Fund. Distrito Federal, México. 605 pp.

García-Mendoza P (2000) La región de la Sierra Juárez: las propiedades comunales y el desarrollo sustentable. Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca-World Wildlife Fund. México.

- Gómez P (2012) Estrategias para la restauración forestal en comunidades del municipio de Motozintla, Chiapas, México. Tesis de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo rural. El colegio de la Frontera Sur.
- Gómez-Mendoza L, Vega-Peña M, Ramírez MI, Palacio-Prieto JL, Galicia L (2006) Projecting land-use change processes in the Sierra Norte of Oaxaca, Mexico. *Applied Geography* 26:276-290.
- González R (2000) Deforestación y Degradación Forestal en México. <http://www.union.org.mx/guia/actividadesyagravios/deforestacionenmexico.htm>.
- González-Espinosa M, Quintana-Ascencio PF, Ramírez-Marcial N, Gaytán-Guzmán P (1991) Secondary succession in disturbed *Pinus-Quercus* forests in the highlands of Chiapas México. *Journal of Vegetation Science* 2: 351–360.
- González-Espinosa M, Ramírez-Marcial N, Quintana-Ascencio PF, Martínez-Icó M (1995) La utilización de encinos y la conservación de la biodiversidad en Los Altos de Chiapas. Reporte Científico Universidad Autónoma de Nuevo León, Número Especial 15: 183-197. Publication no. 727.
- González-Espinosa M, Ramírez-Marcial N, Camacho-Cruz A, Holz S, Rey-Benayas J, Parra-Vázquez M (2007) Restauración de bosques en territorios indígenas de Chiapas: Modelos ecológicos y estrategias de acción. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 80: 11-23.
- González-Espinosa M, Ramírez-Marcial N, Galindo-Jaimes L, Camacho-Cruz A, Golicher D, Cayuela L, Rey-Benayas JM (2009) Tendencias y proyecciones del uso del suelo y la diversidad florística en Los Altos de Chiapas, México. *Investigación Ambiental. Ciencia y política Pública.* 1(1):40-53.
- González-Espinosa M, Rey-Benayas J M, Ramírez-Marcial N, Huston M A, Golicher D (2004) Tree diversity in the northern Neotropics: regional patterns in highly diverse Chiapas, Mexico. *Ecography* 27: 741-756.

- González-Medrano F (2004) Las comunidades vegetales de México: propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México 2ª. Ed. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. México, D.F.
- Granados-Sánchez D, López-Ríos G F, Hernández-Gacía MA (2007) Ecología y silvicultura en Bosques Templados. *Revista Chapingo Seri Ciencias Forestales y del Ambiente*. 13(1): 67-83.
- Grau H R, Pérez CM, Martinuzzi S, Xioma E, Mitchell TA (2008) Cambios socioeconómicos y regeneración del bosque en la República Dominicana. En: González- Espinosa M, Rey-Benayas JM, Ramírez-Marcial N (eds.). *Restauración de bosques en América Latina*. Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas y Editorial Mundi-Prensa, México. Pp. 211-227.
- Heike V (2009) Malezas de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/>.
- Hobbs RJ, Huenneke LF (1992) Disturbance, diversity, and invasion: implications for conservation. *Conservation Biology* 6: 324–337.
- Holl M, Loik EH, Lin V, Samuels L (2000) Tropical montane forest restoration in Costa Rica: overcoming barriers to dispersal and establishment. *Restoration Ecology* 8(4): 339-349.
- Hoobs R J, Norton D (1996) Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology* 4(2): 93-110.
- INF (2001) Cartografía de recursos forestales y uso del suelo. Inventario Nacional Forestal 2000. Subsecretaria de Gestión Ambiental, SEMARNAT.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2004) Guías para la Interpretación de Cartografía Edafología. México.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México) (2010) Información Nacional por entidad federativa y municipios. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México) (2013) Anuario Estadístico y Geográfico de Oaxaca.
- ITTO (2002) Guidelines for the restoration, management and rehabilitation of degraded and secondary tropical forests. International Tropical Timber Organization. Yokohama, Japan.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
- Körner C, Ohsawa M (2006) Mountain systems. In: Hassan R, Scholes R, Ash N (eds) Ecosystem and Human Well-being: Current State and Trends. Millennium Ecosystem Assessment, Vol 1. Washington, DC: Island Press, pp 681–716.
- Lamb D, Erskine P, Parrotta J (2005) Restoration of Degraded Tropical Forest Landscapes. *Science* 310(5754): 1628-1632.
- Landell-Mills N, Bishop J (2003) Los servicios ambientales de los Bosques: En Bishop J, Landell-Mills N, Pagiola S (eds) La venta de servicios ambientales, Forestales, Mecanismos basados en el mercado para la Conservación y el Desarrollo. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. D.F.
- Lavell T (1996) Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: Hacia la definición de una agenda de investigación. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- Magurran E (1988) Diversidad ecológica y su medición. Vedral. Barcelona, España. 197 p.
- Martínez R (1996) La restauración ecológica. *Ciencias*. 43: 56 – 61.

- Martorell C, Peters EM (2005) The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biological conservation*. 124: 199–207.
- Meffe G K, Carroll CR (1994) Principles of Conservation Biology. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts.
- Melí P (2003) Restauración ecológica de bosques tropicales. Veinte años de investigación académica. *Interciencia*. 8(10): 581-589.
- Merino L (2008) Conservación comunitaria en la cuenca del río Papaloapan, Sierra Norte de Oaxaca. *Nueva antropología*. 21: 37-49.
- M.A (2005) Ecosystems and human well-being. Drivers of ecosystem change, summary chapter. Millenium Ecosystem Assesment, Islands Press.
- Montreal Process (2009) Criteria and indicators for the conservation and sustainable management of temperate and boreal forests, 4a edición. [www.rinya.maff.go.jp/mpci/2009p\\_4.pdf](http://www.rinya.maff.go.jp/mpci/2009p_4.pdf).
- National Research Council (1992) Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology, and Public Policy. Washington, D. C. National Academic Press.
- Ochoa-Gaona S, González-Espinosa M (2000) Land use and deforestation in the highlands of Chiapas, Mexico *Appl. Geogr.*, 20:17–42.
- Orta E (2009) Estructura y condiciones microambientales en bosques de la comunidad de Santa María Yavesía, Oaxaca. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de estudios superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ortiz A (2011) Conflicto y codicia en Pueblos Mancomunados. Al margen Oaxaca, desifrando la realidad (en prensa).
- Ovington J D (1983) Ecosystems of the World, Temperate Broad-Leaved Evergreen Forests. Vol. 10. Elsevier, New York. 242 pp.

- Palmer A, Ambrose F, LeRoy N (1997) Ecological Theory and Community restoration ecology. *Restoration Ecology*, 5 (4): 291 - 300.
- Peña I (2013) Modelo cuantitativo para inestabilidad de laderas en un ambiente SIG, aplicado a la Sierra Norte de Chiapas. Tesis de Licenciatura en Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pickett S T, White PS (1985) The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics. New York: Academic Press.
- Ramírez R. F. Ramos y A. Ríos. 2001. Estudios de Ordenamiento Territorial Comunitario en Santa María Yavesía. Proyecto de Desarrollo Sierra Norte de Oaxaca, A.C.-WWF, México.
- Ramírez-Marcial N, González-Espinosa M, Williams-Linera G (2001) Anthropogenic disturbance and tree diversity in Montane Rain Forests in Chiapas, Mexico. *Forest Ecology and Management*. 154: 311-326.
- Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW (1973) Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS. Third ERST Symposium, NASA SP- 351, p.309-317.
- Ryan MG, Binkley D, Fownes JH, Giardina CP, Senock RS (2004) An experimental test of the causes of forest growth decline with stand age. *American Naturalist* 74:393-414.
- Rzedowski J (1978) *La vegetación de México*. Limusa, México.
- Rzedowski J (1991) Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica e México. *Acta Botánica Mexicana* 14: 3-21.
- Sánchez O, Peters E, Márquez-Huitzil R, Vega E, Portales G, Valdés M, Azuara D (2005) Temas sobre restauración ecológica.1ª. Ed. SEMARNAT, INE, US. Fish & Wildlife Service, Unidos para la Conservación, A.C. D.F. México. 256 p.

- Sánchez O, Vega E, Peters E, Monroy-Vilchis O (2003) Conservación de ecosistemas templados de montaña en México. INE.
- Santos G (2011) Restauración ecológica: un ensayo de integración. Proyecto de tesis para obtener el grado de Ingeniero en restauración forestal. Universidad Autónoma Chapingo.
- SEMARNAT (2006) Vegetación y uso del suelo. Consultado en: <http://www.semarnat.go.mx>.
- Simula M, Mansur E (2011) Un desafío mundial que reclama una respuesta local. *Unasylva* 62 (238):3-7.
- Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group (2004) The SER International Primer on Ecological Restoration. [www.ser.org](http://www.ser.org) & Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Society for Ecological Restoration International, Science and Policy Working Group (2002) *The SER primer on ecological restoration*, First Edition.
- Tenza A, García-Barrios L, Giménez A (2011) Agricultura y conservación en latinoamérica en el siglo XXI: ¿festejamos la 'transición forestal' o construimos activamente 'La matriz de la naturaleza'? *INTERCIENCIA* 36(7): 500-5007.
- Thompson I (2011) Biodiversidad, umbrales ecosistémicos, resiliencia y degradación forestal. *Unasylva* 62(238): 25-30.
- Thompson I, Mackey B, McNulty S, Mosseler A (2009) Forest resilience, biodiversity, and climate change: a synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems. Technical Series No. 43. Secretariat of the convention on Biological Diversity. Montreal, Canadá. 67 pages.
- Toledo V M, Carabias J, Toledo C, González C (1989) La producción rural en México: alternativas ecológicas. Colección medio ambiente, num. 6. Fundación Universo Veintiuno, México.



- Trejo I, Hernández LJ (2005) VEGETACIÓN Y USO DE SUELO, Informe Técnico del proyecto: Diagnostico funcional del Territorio Nacional, SEDESOL – IGG UNAM, pp. 100-109.
- Turc L (1954) Le bilan d'eau des sols: relations entre les précipitation, l'évaporation et l'écoulement. *\_ / Ann. Agronom.* 5: 491-596.
- Unidad de informática para las ciencias atmosféricas y ambientales (2011) Variables ambientales.
- Valencia A., S. (2004). Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (75) 33-53.
- Valencia S, Nixon K C (2004) Encinos. En: García-Mendoza AJ, Ordóñez M J, Briones-Salas M (2004) Biodiversidad de Oaxaca. páginas 219-225. Instituto de Biología, universidad Nacional Autónoma de México-Fondo Oaxaqueño para la conservación de la Naturaleza-World Wildlife Found. México, D.F.
- Vargas O (2007) Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque alto andino. Grupo de Restauración Ecológica, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia.
- Vásquez VF (2013) Estructura, composición y diversidad arbórea, en área de manejo forestal de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Tesis de Licenciatura en Ingeniería forestal. Universidad de la Sierra Juárez.
- Vega E, Peters E (2003) Conceptos generales sobre el disturbio y sus efectos en los ecosistemas, en Sánchez, O.; Vega, E.; Peters E. y O. Monroy-Vilchis. 2003. Conservación de ecosistemas templados de montaña en México. INE.
- Velázquez A, Bocco G (2003) La ecología del paisaje y su potencial para acciones de conservación de ecosistemas templados de montaña. En: Sánchez O, Vega E, Peters E, Monroy-Vilchis O. 2003. Conservación de ecosistemas templados de montaña en México. INE.

- Velázquez A, Durán E, Ramírez I, Mas JF, Bocco G, Ramírez G, Palacio JL (2003) Land use-cover change processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, Mexico. *Global Environmental Change* 13: 175-184.
- Velázquez A, Mas JF, Palacio JL (2001) Análisis del cambio de uso del suelo Instituto Nacional de Ecología- Instituto de Geografía, UNAM (Informe Técnico) ([www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx)).
- Viereck L A (1983) The effects of fire in black spruce ecosystems of Alaska and northern Canada. Pages 201-220 *In: Wein RW, MacLean DA (eds) The Role of Fire in Northern Circumpolar Ecosystems*. New York:Wiley.
- Villaseñor JL, Ortiz E, Juárez V (2004) Asteraceae. pp. 219-225. En: García-Mendoza AJ, Ordóñez M J, Briones-Salas M (eds) Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, universidad Nacional Autónoma de México-Fondo Oaxaqueño para la conservación de la Naturaleza-World Wildlife Found. México, D.F.
- Whitmore T (1997) Tropical forest disturbance, disappearance, and species loss. Pp. 3-12 En Laurence WF, Bierregaard RO (Eds.) *Tropical forest remnants. Ecology, Management, and Conservation of fragmented communities*. The University of Chicago Press. EEUU.
- Wong J (2011) Determinación de peligro a incendios forestales en el municipio de Santa María Yavesía, Oaxaca, México. Tesis de maestría en ciencias biológicas. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Young P (2000) Restoration ecology and conservation biology. *Biological conservation* 92: 73-83.
- Zorrilla M (2005) La influencia de los aspectos sociales sobre la alteración ambiental y la restauración ecológica. En: Sánchez O, Peters E, Márquez R, Vega E, Portales G, Valdez M, Azuara D (eds). *Temas sobre restauración ecológica*. Instituto Nacional de Ecología- SEMARNAT. México.

## XII. ANEXOS

### Anexo 1. Entrevista aplicada a pobladores.

La participación en la presente encuesta es voluntaria y confidencial.

Datos de la persona entrevistada:

Nombre:

---

Sexo: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_ Ocupación:

---

1.- ¿Conoce todo el territorio que pertenece a Lachatao? \_\_\_\_\_

---

---

2.- ¿Es importante el bosque para usted? \_\_\_\_\_ ¿Por qué? \_\_\_\_\_

---

---

---

---

3.- ¿Obtiene algunos productos del bosque? \_\_\_\_\_  
¿Cuales? \_\_\_\_\_

---

---

---

---

4.- Mencione el nombre de algunas plantas del bosque de las cuales extrae productos:

---

---

---

---

5.- Los productos que obtiene del bosque, ¿Los adquiere de zonas aledañas al pueblo o de zonas alejadas?

---

---

6.- ¿Considera que el bosque ha cambiado a través de los años?

\_\_\_\_\_

¿De \_\_\_\_\_ que  
manera? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¿A \_\_\_\_\_ que considera que se debe dicho cambio?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

7.- En caso de notar un cambio negativo en el bosque ¿Le gustaría que el bosque se recupere?

\_\_\_\_\_ ¿Cómo considera que se puede lograr esta recuperación?

\_\_\_\_\_

¿En qué áreas supone que es prioritario y por qué?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

8.- ¿Usted, tiene la disponibilidad de participar en el proceso de la recuperación del bosque? \_\_\_\_\_

Anexo 2. Listado de especies encontradas en los sitios de muestreo.

<b>Familia</b>	<b>Especie</b>
<b>Asparagaceae</b>	<i>Nolina</i> sp.
<b>Berberidacea</b>	<i>Berberis moranensis</i> Hebenstr. & Ludw. ex Schult. & Schult.f.
<b>Betulaceae</b>	<i>Alnus jorullensis</i> Kunth
<b>Cactaceae</b>	<i>Opuntia</i> sp 1
<b>Clethraceae</b>	<i>Clethra hartwegii</i> Britton
<b>Compositae</b>	<i>Ageratina</i> sp.
	<i>Ageratina mairetiana</i> (DC.) R.M.King & H.Rob.
	<i>Ageratum albidum</i> (DC.) Hemsl
	<i>Baccharis</i> sp.
	<i>Baccharis conferta</i> Kunth
	<i>Baccharis heterophylla</i> var. <i>glandulifera</i> GLNesom
	Compositae sp.1
	Compositae sp.2
	Compositae sp.3
	Compositae sp.4
	Compositae sp.5
	Compositae sp.6
	<i>Elephantopus mollis</i> Kunth
	<i>Parthenium tomentosum</i> DC.
	<i>Roldana sartorii</i> (Sch.Bip. ex Hemsl.) H.Rob. Y Brettell
	<i>Stevia</i> sp
	<i>Stevia subpubescens</i> Lag.
	<i>Telanthophora</i> sp
<i>Vernonanthura patenas</i> (Kunth) H.Rob	
<b>Ericaceae</b>	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth
	<i>Arctostaphylos pungens</i> Kunth
	<i>Comarostaphylis glaucescens</i> (Kunth) Zucc. ex Klotzsch
	<i>Comarostaphylis spinulosa</i> (M.Martens y Galeotti) Diggs
<b>Fagaceae</b>	<i>Quercus affinis</i> Scheidw.
	<i>Quercus castanea</i> Née
	<i>Quercus conzattii</i> Trel.
	<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.
	<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.
<i>Quercus depressa</i> Bonpl.	

	<i>Quercus glabrescens</i> Benth.
	<i>Quercus glaucoides</i> M.Martens y Galeotti
	<i>Quercus laeta</i> Liebm.
	<i>Quercus laurina</i> Bonpl.
	<i>Quercus liebmannii</i> Oerst. ex Trel.
	<i>Quercus obtusata</i> Bonpl.
	<i>Quercus rugosa</i> Née
	<i>Quercus salicifolia</i> Née
	<i>Quercus vallicola</i> Trel.
	<i>Quercus</i> . sp 1
<b>Lamiaceae</b>	<i>Clinopodium macrostemum</i> (Moc. Y Sessé ex Benth.) Kuntze
<b>Lauraceae</b>	<i>Litsea glaucescens</i> Kunth
	<i>Litsea neesiana</i> (S.Schauer) Hemsl.
<b>Leguminosae</b>	<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd
	<i>Apoplanesia paniculata</i> C.Presl
	<i>Calliandra hirsuta</i> (G.Don) Benth
	<i>Calliandra houstoniana</i> var. <i>anomala</i> (Kunth) Barneby
	<i>Desmodium conzattii</i> Greenm
	<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ortega) Sarg
	<i>Indigofera</i> sp.
	<i>Leucaena diversifolia</i> (Schltdl.) Benth.
	<i>Leucaena trichandra</i> (Zucc.) Urb.
	<i>Mimosa albida</i> Willd.
<b>Meliaceae</b>	<i>Cedrela oaxacensis</i> C.DC. Y Rose
<b>Nyctaginaceae</b>	Nyctaginaceae sp 1
<b>Onagraceae</b>	<i>Fuchsia hybrida</i> hort. ex Siebert & Voss
	<i>Fuchsia thymifolia</i> Kunth
<b>Pinaceae</b>	<i>Abies hickelii</i> Flous & Gausson
	<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltdl.
	<i>Pinus douglasiana</i> Martínez
	<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.
	<i>Pinus lawsonii</i> Roezl ex Gordon
	<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. Y Cham.
	<i>Pinus maximinoi</i> H.E.Moore
	<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. Y Cham.
	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.
	<i>Pinus pseudostrobus</i> var. <i>apulcensis</i> (Lindl.) Shaw
	<i>Pinus teocote</i> Schied. ex Schltdl. Y Cham.
<b>Rhamnaceae</b>	<i>Frangula mucronata</i> (Schltdl.) Grubov

	<i>Rhamnus</i> sp 1
	<i>Amelanchier</i> sp
<b>Rosaceae</b>	<i>Cercocarpus macrophyllus</i> CKSchneid
	<i>Malacomeles denticulata</i> (Kunth) GNJones
	<i>Prunus serotina</i> Ehrh.
<b>Salicaceae</b>	<i>Salix paradoxa</i> Kunth
<b>Sapindaceae</b>	<i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq.
<b>Scrophulariaceae</b>	<i>Buddleja cordata</i> Kunth
<b>Solanaceae</b>	<i>Nicandra physalodes</i> (L.) Gaertn.
<b>Verbenaceae</b>	<i>Lippia</i> sp.