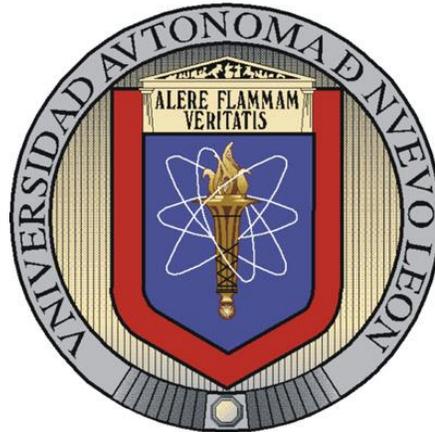


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



ECOLOGÍA DEL PAISAJE Y CAMBIO DEL USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN  
EN LA SIERRA SAN ANTONIO PEÑA NEVADA, ZARAGOZA, NUEVO LEÓN.

Por

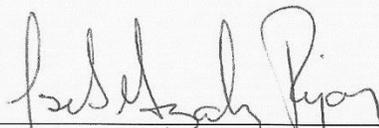
ANTONIO MORENO TALAMANTES

Como requisito parcial para obtener el Grado de  
DOCTOR EN CIENCIAS con Especialidad en Ecología

Junio de 2014

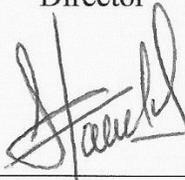
ECOLOGÍA DEL PAISAJE Y CAMBIO DEL USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN  
EN LA SIERRA SAN ANTONIO PEÑA NEVADA, ZARAGOZA, NUEVO LEÓN.

Comité de Tesis



---

Dr. José Ignacio González Rojas  
Director



---

Dr. Susana Favela Lara  
Secretario



---

Dra. Irene Ruvalcaba Ortega  
Vocal



---

Dr. Roberto Mercado Hernández  
Vocal



---

Dr. Ricardo Canales Del Castillo  
Vocal

## DEDICATORIA

AGRADEZCO a Dios por PRESTARME VIDA, SALUD y una FAMILIA HERMOSA como la que tengo.

A mí amada Esposa: Lic. María Esperanza Perales Galván

Con todo mi amor. Gracias por tu ayuda en los momentos difíciles.

A mis Hijas:

Frida Alejandra Moreno Perales

Cassandra Moreno Perales

Ustedes son la nueva luz que hace que me esfuerce más cada día

A mis Padres:

Sr. Antonio Moreno Pérez

Sra. Mercedes Talamantes Ortiz

Gracias por su gran apoyo, comprensión y cariño, por enseñarme a ser como ustedes, a respetar y amar todo lo que hago... a ustedes les debo todo.

A mis Hermanos:

Alejandro Jacobo y Erick Alonso

Gracias por ser los mejores hermanos, por todo el tiempo que hemos pasado juntos.

A mis Abuelas:

Concepción Pérez de Moreno

Ana Ma. Ortiz de Talamantes (Q.E.P.D.)

A mi Madre y mi Hija adoptiva:

Juanita Galván Castillo y Diana López Galván

Gracias por todo el apoyo y cariño que me han brindado.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer especialmente al Dr. José Ignacio González Rojas, por el apoyo incondicional brindado durante la elaboración de este trabajo, por su guía y valiosas sugerencias y por todas las facilidades dadas a su servidor, así como por la amistad que surgió durante el mismo.

A los miembros de la comisión de tesis, a la Dra. Susana Favela Lara, a la Dra. Irene Rubalcaba Ortega, al Dr. Roberto Mercado Hernández y al Dr. Ricardo Canales del Castuillo, por los valiosos comentarios y sugerencias vertidos a este trabajo.

Al M. C. Antonio Guzmán Velasco, por su apoyo y facilidades prestadas durante la elaboración del presente trabajo.

Para mis compañeros en el doctorado, que coincidimos en el trabajo de campo en la Sierra San Antonio Peña Nevada, al Dr. David Lazcano Villarreal, Dr. Gilberto Tijerina Medina, Dr. José María Torres Ayala, Biol. Jaime J. Muñoz Salcedo, por su compañía y ayuda en los trabajos de campo.

Al Dr. Francisco Javier Iruegas Buentello, por su apoyo en los trabajos de campo.

Muy especialmente al equipo de botánica que participo en este proyecto, Biol. Marianela Peralta Obregón, Biol. Virginia Verónica Navarro Velásquez, Biol. Bertha Balderas García y Biol. Erika Jerez Hernández, por su invaluable apoyo en los muestreos de campo e identificación taxonómica de los ejemplares colectados, así como las innumerables horas que tuvieron que aguantarme.

A los Biólogos Alan López, Villarreal, Oscar Ballesteros Medrano, José Juan Flores Maldonado, Alina Olalla Kerstupp, Mario Guerrero, Madriles, Magali Belmares, Perla Cecilia García, José Arnoldo Sánchez e Hidalgo Rodríguez Vela, por su ayuda en la parte de campo de este proyecto, así como las amenas charlas alrededor de una fogata a menos de 5 grados centígrados.

A George S. Hinton y al “Herbarium of Geo. B. Hinton” por las facilidades prestadas a este trabajo, en la consulta de información de ejemplares de Zaragoza, N.L.

A todos aquellos que de una u otra forma apoyaron este trabajo y por cuestiones de mi mala memoria no son mencionados, sin ánimo de omitir alguno, muchas gracias.

### AGRADECIMIENTO ESPECIAL

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y la Universidad Autónoma de Nuevo León, por el apoyo brindado al proyecto de investigación: Planeación para Conservación de Sitios para el Ordenamiento Ecológico en San Antonio Peña Nevada, Nuevo León, México, bajo el convenio SIREYES: 99/6002; así como de la beca N° 154012 otorgada para la realización de los estudios de Doctorado en la Universidad Autónoma de Nuevo León.

# ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN .....	1
2 HIPÓTESIS.....	4
3 OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	5
3.1. <i>Objetivo General</i> .....	5
3.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	5
4 ANTECEDENTES.....	6
4.1. <i>Vegetación</i> .....	6
4.1.1. <i>Riqueza y Diversidad</i> .....	13
4.2. <i>Deforestación y Amenazas a la Vegetación</i> .....	15
4.3. <i>Incendios Forestales y la Vegetación</i> .....	19
4.4. <i>Percepción Remota, Análisis Digital de Imágenes y Sistemas de Información Geográfica.</i> .....	24
4.4.1. <i>Percepción Remota</i> .....	24
4.4.1.1. <i>Procesamiento Digital de Imágenes</i> .....	24
4.4.1.2. <i>Usos de la Percepción Remota</i> .....	26
4.4.2. <i>Los Sistema de Información Geográfica</i> .....	28
4.5. <i>Ecología del Paisaje y Fragmentación del hábitat</i> .....	29
5 MATERIALES Y MÉTODO.....	40
5.1. <i>Localización geográfica y extensión del área de estudio</i> .....	40
5.2. <i>Fisiografía</i> .....	43
5.3. <i>Geología</i> .....	46
5.3.1. <i>Rocas sedimentarias de origen mecánico</i> .....	48
5.3.1.1. <i>Conglomerado</i> .....	48
5.3.1.2. <i>Areniscas</i> .....	48
5.3.1.3. <i>Lutita</i> .....	48
5.3.2. <i>Rocas Sedimentarias de origen químico y bioquímico</i> .....	49
5.3.2.1. <i>Caliza</i> .....	49
5.3.2.2. <i>Yeso</i> .....	49
5.3.3. <i>Suelos de acuerdo a su origen</i> .....	49
5.3.4. <i>Suelos aluviales</i> .....	49
5.4. <i>Edafología</i> .....	50
5.4.1. <i>Tipos de Suelo</i> .....	50
5.4.1.1. <i>Feozem</i> .....	50
5.4.1.2. <i>Litosol</i> .....	52
5.4.1.3. <i>Luvisol</i> .....	53
5.4.1.4. <i>Rendzina</i> .....	53
5.4.1.5. <i>Xerosol</i> .....	54
5.4.1.6. <i>Regosol</i> .....	54
5.4.2. <i>Clase textural</i> .....	55
5.4.3. <i>Fases físicas</i> .....	55
5.4.3.1. <i>Superficiales</i> .....	55
5.4.3.2. <i>De Profundidad</i> .....	56
5.5. <i>Climatología</i> .....	57
5.6. <i>Vegetación</i> .....	59

5.7. Hidrología.....	60
5.7.1. Hidrología superficial .....	60
5.8. Materiales, Datos y Equipo Utilizados .....	62
5.9. Procesamiento Digital de Imágenes de Satélite.....	63
5.9.1. Corrección Geométrica .....	63
5.9.2. Extracción de Áreas de Interés.....	64
5.9.3. Clasificación Supervisada.....	64
5.9.3.1. Realces de las imágenes de satélite.....	66
5.9.3.2. Selección de campos de entrenamiento y extracción de las firmas espectrales. ....	66
5.9.3.3. Análisis de Firmas espectrales.....	68
5.9.3.4. Clasificación de las Imágenes.....	68
5.9.4. Evaluación de clasificaciones o evaluación de la exactitud.....	69
5.10. Análisis Multitemporal.....	70
5.11. Análisis de la ecología del paisaje y la fragmentación del hábitat.....	71
5.11.1. Definición de Métricas.....	71
5.11.1.1. Métricas de área.....	73
5.11.1.2. Métricas de variabilidad, tamaño y densidad del fragmento:.....	73
5.11.1.3. Métricas de borde: .....	74
5.11.1.4. Métricas de forma: .....	75
5.11.1.5. Métricas de contagio:.....	78
5.11.1.6. Métricas de diversidad:.....	80
5.11.2. Índice de Fragmentación:.....	81
5.11.3. Procesos espaciales en la transformación del paisaje.....	82
5.12. Análisis de la vegetación.....	83
5.12.1. Muestreo .....	83
5.12.2. Parámetros de la comunidad .....	85
5.12.3. Diversidad .....	86
5.12.4. Similitud entre comunidades.....	87
6 RESULTADOS.....	88
6.1. Procesamiento Digital de Imágenes de Satélite.....	88
6.1.1. Clasificación Supervisada.....	88
6.2. Análisis Multitemporal.....	91
6.1. Análisis de la fragmentación del hábitat.....	106
6.1.1. Métricas .....	106
6.1.1.1. Métricas de área:.....	106
6.1.1.1. Métricas de variabilidad, tamaño y densidad del fragmento:.....	107
6.1.1.1. Métricas de borde: .....	111
6.1.1.2. Métricas de forma: .....	118
6.1.1.3. Métricas de contagio:.....	122
6.1.1.4. Métricas de diversidad:.....	127
6.1.1.5. Índices de Fragmentación: .....	129
6.1.2. Procesos espaciales en la transformación del paisaje.....	132
6.2. Análisis de la vegetación.....	133
6.2.1. Caracterización ecogeográfica y descripción de las comunidades .....	133
6.2.1.1. Bosque de Oyamel.....	135
6.2.1.2. Bosque de Pino: .....	141
6.2.1.3. Bosque de Encino: .....	149
6.2.1.4. Bosque Mixto: .....	156
6.2.1.5. Chaparral.....	162
6.2.1.6. Otros tipos de vegetación y usos del suelo.....	168

6.2.2. Análisis de diversidad .....	177
6.2.3. Similitud entre comunidades.....	179
7 DISCUSIÓN .....	182
8 CONCLUSIONES .....	193
9 RECOMENDACIONES .....	196
10 BIBLIOGRAFÍA.....	197
11 ANEXO A.....	218
12 ANEXO B (Anexo fotográfico) .....	232
13 RESUMEN BIOGRÁFICO .....	246

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
Tabla 1. Riqueza florística encontrada en el municipio de Santiago Nuevo León.	14
Tabla 2. Comparación de valores de índices de diversidad para diversas comunidades templadas en México.	17
Tabla 3 Geología del área de estudio.	46
Tabla 4 Litología del área de estudio.	47
Tabla 5 Tipos de suelo dominantes en el área de estudio.	50
Tabla 6 Edafología del área de estudio.	51
Tabla 7 Climas presentes en el área de estudio.	57
Tabla 8 Tipos de vegetación presentes en el área de estudio	59
Tabla 9 Hidrología Superficial del Estado de Nuevo León	60
Tabla 10 Regiones hidrológicas, y cuencas presentes en el área de estudio	61
Tabla 11 Imágenes LANDSAT usadas en el presente trabajo.	62
Tabla 12 Niveles de Clasificación de los tipos de cobertura en la Sierra San Antonio Peña Nevada.	66
Tabla 13 Métricas usadas para el análisis de ecología del paisaje y fragmentación de hábitat.	72
Tabla 14 Coberturas del suelo y áreas de la clasificación supervisada de la imagen LANDSAT TM del año 1986.	88
Tabla 15 Coberturas del suelo y áreas de la clasificación supervisada de la imagen LANDSAT TM del año 1996.	90
Tabla 16 Coberturas del suelo y áreas de la clasificación supervisada de la imagen LANDSAT TM del año 2007.	91
Tabla 17 Área para cada tipo de vegetación y año analizado	92
Tabla 18 Tasa de Cambio anual por clase (% anual).	94
Tabla 19 Análisis de cruce de tablas de áreas entre los años 1986 y 1996 por tipo de vegetación.	95
Tabla 20 Porcentaje de persistencia o cambio en el periodo 1986 y 1996 por tipo de vegetación.	97
Tabla 21 Modelo Markoviano de cambio de uso del suelo para el periodo de 1986 a 1996 (10 años).	97
Tabla 22 Análisis de cruce de tablas de áreas entre los años 1996 y 2007 por tipo de vegetación.	99
Tabla 23 Porcentaje de persistencia o cambio en el periodo 1996 y 2007 por tipo de vegetación.	100
Tabla 24 Modelo Markoviano de cambio de uso del suelo para el periodo de 1996 a 2007 (11 años).	101
Tabla 25 Análisis de cruce de tablas de áreas entre los años 1986 y 2007 por tipo de vegetación.	103
Tabla 26 Porcentaje de persistencia o cambio en el periodo 1986 y 2007 por tipo de vegetación.	104
Tabla 27 Modelo Markoviano de cambio de uso del suelo para el periodo de 1986 a 2007 (21 años).	105
Tabla 28 Métricas del paisaje.	128
Tabla 29 Métricas de clases.	129
Tabla 30 Índice del parches por unidad (PPU) a nivel de clases.	132
Tabla 31 Tipos de vegetación de San Antonio Peña Nevada.	133
Tabla 32 Valores encontrados en el muestreo cuantitativo del bosque de oyamel.	139
Tabla 33 Valores encontrados en el muestreo cuantitativo del bosque de pino.	145
Tabla 34 Valores encontrados en el muestreo cuantitativo del bosque de encino.	153
Tabla 35 Valores encontrados en el muestreo cuantitativo del bosque mixto.	158
Tabla 36 Valores encontrados en el muestreo cuantitativo del chaparral.	166
Tabla 37 Índices asociados al Índice de diversidad de Shannon-Weaver, a nivel de comunidad.	178
Tabla 38 Análisis <i>t</i> del Índice de diversidad de Shannon-Weaver, a nivel de comunidad.	179
Tabla 39 Matriz de Similitud entre comunidades, utilizando el Índice de Similaridad de Morisita.	179
Tabla 40 Matriz de agrupamiento en comunidades, usando WPGMA.	181
Tabla 41 Familias, número de géneros, especies y subespecies encontrados en el área de estudio.	218
Tabla 42 Listado florístico del área San Antonio Peña Nevada.	219

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Superficie bajo riesgo potencial de ataque por las principales plagas forestales en México (2001).	18
Figura 2 Superficie afectada por diferentes plagas forestales en México período 1990-2008 (SEMARNAT, 2009).	19
Figura 3 Número de Incendios Forestales anuales en México (SEMARNAT, 2010).	20
Figura 4 Superficie afectada en México por Incendios Forestales (SEMARNAT, 2009).	21
Figura 5 Componentes del paisaje.	32
Figura 6 Proceso de fragmentación.	36
Figura 7 Sierra San Antonio Peña Nevada, Zaragoza Nuevo León	40
Figura 8 Localización del área de estudio.	41
Figura 9 Mapa topográfico del área de estudio.	44
Figura 10 Mapa Fisiográfico del área de estudio.	45
Figura 11 Geología de la Sierra San Antonio Peña Nevada.	47
Figura 12 Edafología de la Sierra San Antonio Peña Nevada.	56
Figura 13 Mapa de climas del área de estudio.	58
Figura 14 Hidrología superficial del área de estudio.	61
Figura 15 Ejemplificación de campos de entrenamiento, los polígonos de cada color representan una clase.	67
Figura 16 Método de puntos en cuadrante.	83
Figura 17 Medida tomadas a las plantas: d1 diámetro mayor, d2 diámetro perpendicular o menor, h altura.	84
Figura 18 Mapa de vegetación resultado de la clasificación supervisada de la imagen LANDSAT TM de 1986.	89
Figura 19 Mapa de vegetación resultado de la clasificación supervisada de la imagen LANDSAT TM de 1996.	90
Figura 20 Mapa de vegetación resultado de la clasificación supervisada de la imagen LANDSAT TM de 2007.	92
Figura 21 Cambio neto en ha para el periodo 1986 - 2007.	93
Figura 22 Área por tipo de vegetación o uso del suelo a través del tiempo (1986, 1996, 2007).	94
Figura 23 Ganancias y pérdida por tipo de vegetación y uso del suelo en ha para el periodo 1986-1996.	96
Figura 24 Diagrama del modelo de Markoviano de probabilidad de persistencia o cambio para el periodo 1986-1996. Las líneas punteadas indican cambio en ambas direcciones, cuadros con color indican cubierta secundarias o de origen antrópico.	98
Figura 25 Ganancias y pérdida por tipo de vegetación y uso del suelo en ha para el periodo 1996-2007.	99
Figura 26 Diagrama del modelo de Markoviano de probabilidad de persistencia o cambio para el periodo 1996-2007. Las líneas punteadas indican cambio en ambas direcciones, cuadros con color indican cubierta secundarias o de origen antrópico.	102
Figura 27 Ganancias y pérdida por tipo de vegetación y uso del suelo en ha para el periodo 1986-2007.	103
Figura 28 Diagrama del modelo de Markoviano de probabilidad de persistencia o cambio para el periodo 1996-2007. Las líneas punteadas indican cambio en ambas direcciones, cuadros con color indican cubierta secundarias o de origen antrópico.	106
Figura 29 Mapa de persistencias entre los años 1986 y 2007.	107
Figura 30 Mapa de cambios entre los años 1986 y 2007.	108
Figura 31 Número de fragmentos a través del tiempo y la desviación estandar del tamaño del fragmento.	108
Figura 32 Media del tamaño del fragmento (MPS) a nivel de paisaje.	109
Figura 33 Número de fragmentos (NP) por clase a través del tiempo.	110
Figura 34 Media del tamaño del fragmento (MPS)	111
Figura 35 Media del tamaño del fragmento (MPS) en ha y desviación estándar del tamaño del fragmento (PSSD) a nivel clase.	112
Figura 36 Tamaño de borde (TE) a nivel de paisaje. La línea roja representa la media.	113
Figura 37 Densidad de borde (ED) a nivel de paisaje.	113

Figura 38 Media del tamaño del borde del fragmento (MPE) a nivel de paisaje.	114
Figura 39 Tamaño de borde (TE) a nivel clase.	115
Figura 40 Densidad de borde (ED) a nivel de clase.	116
Figura 41 Media del tamaño de borde del fragmento (MPE) a nivel de clase.	117
Figura 42 Índice de forma media (MSI) a nivel de paisaje.	118
Figura 43 Métrica del píxel Cuadrado (SqP) a nivel de paisaje.	119
Figura 44 Índice de forma media (MSI) a nivel de clase.	120
Figura 45 Media de la Dimensión Fractal del Fragmento (MPFD) a nivel de clase.	121
Figura 46 Media de la dimensión fractal ponderada por el área (AWMPFD) a nivel de clases.	121
Figura 47 Media de la Distancia al Vecino más Cercano (MNN) a nivel de paisaje.	122
Figura 48 Índice de yuxtaposición y espaciamento (IJI) a nivel de paisaje.	123
Figura 49 Índice de proximidad media (MPI) a nivel de paisaje.	124
Figura 50 Diagrama radial donde se muestra la media de la distancia al vecino más cercano (MNN) a nivel de clase.	125
Figura 51 Diagrama radial del índice de yuxtaposición y espaciamento (IJI) a nivel de clase.	126
Figura 52 Diagrama radial mostrando el índice de proximidad media (MPI) a nivel de clase.	127
Figura 53 Índices de diversidad y equitatividad de Shannon para el paisaje.	128
Figura 54 Índice de parches por unidad (PPU) a nivel de paisaje.	130
Figura 55 Índice de fragmentación de parches por unidad (PPU) a nivel de clase.	131
Figura 56 Riqueza florística por tipo de vegetación, en el área de estudio.	134
Figura 57 Líneas de muestreo.	135
Figura 58 Relación entre la geología y el bosque de oyamel.	136
Figura 59 Relación entre la edafología y el bosque de oyamel.	136
Figura 60 Relación del clima y el bosque de oyamel.	137
Figura 61 Relación entre la geología y el bosque de pino.	142
Figura 62 Relación entre la edafología y el bosque de pino.	142
Figura 63 Relación entre el clima y el bosque de pino.	143
Figura 64 Relación entre la geología y el bosque de encino.	150
Figura 65 Relación entre la edafología y el bosque de encino.	150
Figura 66 Relación entre el clima y el bosque de encino	151
Figura 67 Relación entre la geología y el bosque mixto.	156
Figura 68 Relación entre la edafología y el bosque mixto.	157
Figura 69 Relación entre el clima y el bosque mixto.	157
Figura 70 Relación entre la geología y el chaparral.	163
Figura 71 Relación entre la edafología y el chaparral.	164
Figura 72 Relación entre el clima y el chaparral.	164
Figura 73 Relación entre la geología y el matorral desértico rosetófilo.	169
Figura 74 Relación entre el clima y el matorral desértico rosetófilo.	170
Figura 75 Relación entre la geología y el pastizal inducido.	171
Figura 76 Relación entre la edafología y el pastizal inducido.	171
Figura 77 Relación entre clima y pastizal inducido.	172
Figura 78 Relación entre la geología y la pradera subalpina.	173
Figura 79 Relación entre la edafología y la pradera subalpina.	174
Figura 80 Relación entre el clima y la pradera subalpina.	175
Figura 81 Relación entre la geología y las zonas agrícolas.	176
Figura 82 Relación entre la edafología y las zonas agrícolas.	176
Figura 83 Relación entre clima y zonas agrícolas.	177
Figura 84 Índice de Diversidad de Shannon-Weaver ( $H'$ ) por comunidad.	178
Figura 85 Dendrograma resultado del análisis de similitud entre comunidades, utilizando el Índice de Similaridad de Morisita y el método de aglomeración WPGMA. BA= bosque de oyamel, BP= bosque de pino, BM= bosque mixto, BQ= bosque de encino, ML= chaparral.	180
Figura 86 Panorámica del bosque de oyamel.	232
Figura 87 Estructura vertical del bosque de oyamel. Nótese el poco desarrollo del estrato arbustivo.	232
Figura 88 Panorámica del bosque de pino (dominado por <i>Pinus cembroides</i> ).	233
Figura 89 Panorámica del bosque de pino (dominado por <i>Pinus nelsonii</i> ).	233
Figura 90 Panorámica del bosque de pino (dominado por <i>Pinus hartwegii</i> y <i>P. pseudostrobus</i> ).	234

Figura 91 Panorámica de bosque de encino.	234
Figura 92 Primer plano bosque de encino, al fondo se observa el chaparral con abundantes elementos arrosetados.	235
Figura 93 Vista interior del bosque de encino, dominado por <i>Quercus mexicana</i> .	235
Figura 94 Bosque mixto.	236
Figura 95 Bosque mixto de <i>Pinus pseudostrobus</i> y <i>Quercus polymorpha</i> .	236
Figura 96 Dos tipos de chaparral, a la izquierda chaparral dominado por <i>Quercus intricata</i> , a la derecha chaparral dominado por <i>Quercus mexicana</i> , con elementos arrosetados.	237
Figura 97 Chaparral de <i>Quercus mexicana</i> , <i>Q. greggii</i> y <i>Nolina hibernica</i> .	237
Figura 98 Matorral desértico rosetófilo.	238
Figura 99 Panorámica de la pradera subalpina.	238
Figura 100 Uso pecuario en la pradera subalpina.	239
Figura 101 Pastizal inducido producto de incendio forestal.	239
Figura 102 Pastizal inducido producto de descanso de zonas agrícolas.	240
Figura 103 Agricultura de temporal.	240
Figura 104 Áreas incendiadas en el año 1998, nótese la comunidad secundaria resultante a 2 años del incendio.	241
Figura 105 Áreas incendiadas en 1998 cercanas al Picacho San Onofre.	241
Figura 106 Recuperación de suelo incendiado en el año 1998. A 3 años del incendio existe colonización de musgos y líquenes.	242
Figura 107 Área afectada por el incendio forestal de 1998. Los árboles de oyamel y ayarín murieron, sobreviviendo los árboles de <i>Pinus hartwegii</i> .	242
Figura 108 Comunidad de chaparral afectada por el incendio forestal de 1998, nótese la recuperación de la vegetación a 4 años del incendio. Se pueden observar los troncos de <i>Nolina hibernica</i> ennegrecidos por el fuego.	243
Figura 109 El pastoreo de ganado equino y bovino es uno de los problemas que enfrenta la pradera subalpina.	243
Figura 110 Aserradero. En la zona de estudio se hace extracción de madera de oyamel, ayarín y pino.	244
Figura 111 Posterior al incendio de 1998 se autorizó la extracción de los árboles quemados, pero se extrajeron también árboles sanos.	244
Figura 112 Oyamel atacado por <i>Dendroctonus</i> .	245
Figura 113 Árboles atacados por Descortezador (centro, árboles color rojizo o pardo).	245

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo analizar y cuantificar las condiciones actuales de la vegetación en de la Sierra San Antonio Peña Nevada, Zaragoza, N. L., y observar la dinámica del cambio de la cobertura vegetal. Se clasificaron 3 secciones de imágenes de satélite LANDSAT de tres fechas distintas (1986, 1996 y 2007), con el fin de cuantificar los cambios de uso de la cubierta de vegetación y los procesos de fragmentación del paisaje. Se realizaron muestreos cuantitativos y colectas intensivas para estimar las características estructurales y de composición de las comunidades vegetales. El inventario florístico arrojó un total de 488 especies, repartidas en 279 géneros y 75 familias, que representan el 66.8% de las especies del municipio, el 47.2% de las especies de la Sierra Madre Oriental y entre el 15 y 17% de las especies del estado, de las cuales 36 especies son endémicas para el noreste de México y 15 especies con algún estatus de protección. Se presenta una clara disminución en el área de los bosques de oyamel, reduciendo en 66% sus áreas originales en 21 años, mientras que los bosques de pino y bosques mixtos (pino y encino) presentaron una pérdida cercana al 50% de sus áreas, el bosque de encino una pérdida 74% en el mismo periodo y la pradera subalpina una pérdida de cerca del 53% de su área. El Chaparral mostró un aumento en su área en un 77% y el uso del suelo agrícola permaneció casi sin cambio durante el lapso estudiado. Los resultados mostraron que las comunidades templadas primarias, han sufrido procesos de disminución en el número de fragmentos y disección de los mismos, esto es, procesos de degradación de la cobertura vegetal, mientras que las coberturas secundarias y los usos del suelo presentaron procesos de agregación y creación de nuevos fragmentos. El análisis de la fragmentación del hábitat mostró una atomización y disminución en tamaño de los fragmentos, indicando que la continuidad en los hábitats boscosos se está perdiendo, señalando que la dinámica de cambio es muy compleja, diferente para cada tipo de vegetación o cobertura y que se encuentra en fase de activa de fragmentación.

Palabras clave: Procesos de cambio, tasa de cambio anual, ecología del paisaje, cambio uso del suelo, fragmentación, percepción remota, comunidades vegetales, Nuevo León.

## ABSTRACT

This study had the objective of analyzing and quantifying the current conditions of vegetation in the Sierra Nevada San Antonio Peña, Zaragoza, N. L., and observe the dynamics of change in vegetation cover. Three sections were classified LANDSAT satellite images of three different dates (1986, 1996 and 2007), in order to quantify the changes in and cover, land use and landscape fragmentation processes. Quantitative surveys and intensive collections were conducted to estimate the structural characteristics and composition of plant communities. The floristic inventory showed a total of 488 species, distributed in 279 genera and 75 families, representing 66.8% of the species of the municipality, the 47.2% of the species of the Sierra Madre Oriental and between 15 and 17% of the species the state. Thirty-six species are endemic to northeastern Mexico and 15 species with a protected status. There was a decrease in the area of fir forests, reducing by 66% its original area in 21 years, while areas of pine and mixed forests showed a loss around 50% of their areas, oak forest one 74% loss in the same period and a loss of subalpine meadow about 53% of its area. The Chaparral showed increasing its area by 77% and agricultural land use remained almost unchanged during the period studied. The results showed that primary temperate communities have undergone processes of decline in the number of fragments and dissection of the same, that is, processes of degradation of the vegetation cover, while the secondary coverage and land use aggregation processes presented and creating new fragments. Analysis of habitat fragmentation, showed decrease in size of the fragments and atomization, indicating that the continuity of forest habitats being lost, showing that the dynamics of change is very complex, different for each type of vegetation or cover and that is being fragmented.

Keywords: Processes of change, annual rate of change, landscape ecology, land use change, fragmentation, remote sensing, plant communities.

## INTRODUCCIÓN

La cubierta vegetal de México es una de las más variadas y ricas del mundo, puesto que en nuestro territorio están representados prácticamente todos los biomas. En ella se encuentra el 10 a 12% de la diversidad biológica del mundo (Challenger, 1998). Por desgracia, ésta cubierta vegetal se ha visto impactada por la actividad del hombre, prácticamente desde su llegada al territorio nacional, siendo la colonización y expansión progresiva del país, aunada al crecimiento de la ganadería y la agricultura, las principales causas de impacto, al grado que en la actualidad es difícil encontrarla en una forma primaria, ocupando su distribución histórica (Gómez y Vázquez 1976, Rzedowski 1966, 1978, 1991). Debido a los procesos de deforestación, con la consecuente pérdida de hábitat se estima que el 17% de las plantas endémicas de México se encuentran en peligro de extinción (Challenger, *op cit.*).

La pérdida de la cobertura primaria en México alcanza cifras de 700,000 ha anuales, esto es una tasa anual de deforestación del orden del 4.2%, siendo la tercera de Latinoamérica. De las 80 millones de hectáreas que existían en 1980, solo se conservan 50 millones al año 2000 y se estima que para el año 2010 la cobertura de vegetación primaria del país solo sea de 35 millones de ha (Toledo, 1988; Challenger, 1998).

Una parte importante de la cobertura vegetal se pierde por la acción de los incendios forestales: Se estima que en el mundo se pierden más de mil millones hectáreas anuales; de estas, 5 millones se pierden en Norteamérica de bosque templado, 25 Millones de Bosque lluvioso en África, Centro y Sudamérica; 10 millones de Bosques Boreales en el mundo y cerca de mil millones de ha de Sabanas en África, Australia, Centro y Sudamérica).

En México se pierden más de 330,000 ha anuales, variando mucho entre año, dependiendo de las características específicas de cada uno de ellos. En el año 2002 se contabilizaron 7,836 incendios forestales, con una superficie afectada de 183,552 ha a diferencia del año 1998 en el cual la cifra de superficie afectada se elevó hasta las 850,000 ha, al parecer relacionados con los años secos y el fenómeno del Niño (Rodríguez, 1996; SEMARNAP, 2000; Rodríguez, *et al.*, 2002). Nuevo León fue uno de los estados más

afectados del norte de la república, con 28,155 ha, afectando principalmente las sierras del sur del estado como el cerro El Potosí y la sierra San Antonio Peña Nevada.

Dado lo anterior, es necesario tratar de conservar los remanentes de las áreas de vegetación primaria (o lo más parecido a ellas), preservando a la vez la biodiversidad del país y del mundo, como lo señalan Margules y Nichols (1988), quienes mencionan que es importante detectar las áreas con máxima diversidad biológica, una vez ubicadas, la conservación de la vegetación de un mínimo número de dichas zonas ayudarían a preservar la mayor proporción de especies de una región, y el apoyo para su conservación sería más fácil de obtener.

Muchas áreas de nuestro territorio mexicano están compuestas por relieve montañoso, tal es nuestro caso, las cuales en su mayoría cuentan con poco acceso y alta biodiversidad. En gran parte de ellas, en donde las altitudes superan los 3000 metros sobre el nivel del mar se encuentran comunidades de bosques templados con características únicas y que son presa de la deforestación, este es el caso de la Sierra San Antonio Peña Nevada.

Entre los recursos naturales el bosque es importante por diferentes razones: conservación de suelos, producción de madera y sustancias farmacéuticas e industriales; además de proporcionar hábitat para fauna y flora, ayuda en el regulamiento del ciclo hidrológico y atmosférico. Por eso el conocimiento de la extensión y de la evolución de la cobertura boscosa es muy importante, especialmente para los modelos del cambio global.

Es conveniente saber que en cada región, la vegetación presenta una apariencia propia (fisonomía) derivada de la interacción de elementos y factores de diferente naturaleza, por ejemplo: la temperatura, precipitación, evaporación, afectados por la altitud, latitud relieve y sustrato, que al interactuar sus efectos marca las características del paisaje. Por tal motivo un estudio de la cubierta vegetal implica indispensablemente un análisis de los factores del medio, enfatizando los topográficos, climáticos edáficos y geológicos (Rzedowski, 1966).

Gracias a las imágenes tomadas por sensores instalados en satélites, que registran periódicamente extensas áreas de la superficie de la tierra, tenemos información que nos

permite evaluar y cuantificar los recursos disponibles y su dinámica (Holben y Justice 1980). El procesamiento digital de esta información optimiza los tiempos y permite presentar de manera gráfica y digital resultados de los análisis efectuados, así como integrar esta información con la obtención de la cartografía y levantamientos terrestres. No solo nos permiten conocer el estado actual de los recursos, sino que al contar con información de años anteriores (por lo menos de hasta la década de los años 70's) podemos cuantificar los cambios en estos a través del tiempo (series de tiempo) y además poder modelar los procesos del cambio y establecer el comportamiento a futuro de los mismos.

Las imágenes de satélite como insumos en el apoyo del monitoreo del cambio de la cobertura terrestre, tienen un mejor desempeño al utilizarse dentro de ambientes y Sistemas de Información Geográfica, lo que permite la utilización de cartografía digital de diversos temas (topografía, planimetría, geología, edafología, pendientes, altitud, etc.), permitiendo que los análisis puedan correlacionar el cambio de las cubiertas vegetales con fenómenos naturales o de origen antropogénico.

El Consejo Nacional para la Biodiversidad (CONABIO), ha identificado a San Antonio Peña Nevada (CONABIO #069) como Región Terrestre Prioritaria para la Conservación y dentro de esta existen tipos de vegetación poco representados en el país y en la región, con una biodiversidad y endemismo altos. Se le considera un centro importante de origen y diversificación natural para la flora alpina. Por su ubicación geográfica algunas de las especies de aves y mamíferos alcanzan su distribución extrema (tanto norteña como sureña), dando con ello una gran diversidad.

## **HIPÓTESIS**

- a) Debido a los procesos ecológicos naturales y antropogénico, la cubierta vegetal de la Sierra San Antonio Peña Nevada ha sufrido cambios en su extensión y en su ubicación espacial.
- b) Existe una tendencia a la fragmentación de los hábitats a través del tiempo.
- c) Los procesos de transformación difieren entre los tipos de vegetación.

## **OBJETIVOS DEL TRABAJO**

### 3.1. Objetivo General

Conocer la dinámica y los procesos de cambio de los tipos de vegetación en San Antonio Peña Nevada, Zaragoza, N.L.

### 3.2. Objetivos Específicos

- Identificar y localizar geográficamente los cambios en la cubierta vegetal en la sierra San Antonio Peña Nevada, Zaragoza N. L.
- Análisis de ecología del paisaje y fragmentación del área.
- Determinación y descripción de los tipos de vegetación.
- Obtención de índices ecológicos de las comunidades (Diversidad, Diversidad máxima, Equitatividad, Dominancia).

## ANTECEDENTES

A continuación se mencionan algunos antecedentes clave para comprender la situación actual de las comunidades vegetales, principalmente de la región y de la zona de estudio. Al mismo tiempo se presentan antecedentes sobre trabajos de Percepción Remota (PR), Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Fragmentación de Hábitat y Ecología del Paisaje.

### 4.1. Vegetación

Las principales áreas de distribución de bosques de pino y bosques de encino en México se desarrollan en las cadenas montañosas; los encinos constituyen la vegetación dominante de la Sierra Madre Oriental (Müller, 1939; Rzedowski, 1978; Challenger, 1998).

Se calcula que el total de bosques en México es de unos 41 millones de hectáreas esto es el 20.5% de la superficie del país, de las cuales el 5.5% corresponde a bosques de encino y el 17.7% de bosques de pino y bosques mixtos de pino – encino; el 1.3% restante son bosques donde dominan otras coníferas como *Abies*, *Juniperus*, *Pseudotsuga*, *Picea* y *Cupressus* (Rzedowski, 1978; Challenger, 1998).

Los primeros trabajos sobre vegetación sobre la zona de estudio, mencionan que en el área de Peña Nevada se desarrollan hábitats típicos de zonas templadas, en especial bosques de pino, bosque de encino y bosque mixto. Resaltan la presencia de bosques húmedos subalpinos y de tipos climáticos alpinos, circunscritos a los picos más altos del estado como El Potosí y Peña Nevada (Müller, 1939; Leopold, 1950; Rojas, 1965; McDonald, 1993; McDonald, 1998; Challenger, 1998).

Leopold (1950), considera al bosque de oyamel o de *Abies* de México como uno de los componentes del bosque boreal debido a las similitudes florísticas, faunísticas, fisonómicas y ecológicas con las grandes masas forestales que cubren las porciones septentrionales de Norteamérica y de Eurasia, conocidas también con el nombre de “taiga”, parte de la región florística más extensa del mundo, la región Circumboreal (Takhtajan, 1986) y de los cuales debieron derivarse cuando esos bosques tuvieron una distribución más meridional en el pasado geológico

Rzedowski (1978), menciona que estas semejanzas son prueba clara de que, al menos un buen número de los elementos de los bosques mexicanos de *Abies* tuvo su origen a partir de biota que arribaron por el norte, probablemente en épocas en que el clima favorecía su expansión y migración; pero señala que existen una serie de diferencias nada despreciables con respecto a los bosques de Canadá y Siberia. Las mayores divergencias entre los bosques de *Abies* de México y los de latitudes superiores residen en las condiciones climáticas, a las que están sometidos los unos a los otros. La consecuencia más notable de esta disparidad climática es la que se manifiesta a través del comportamiento fenológico de las comunidades circumboreales, que se mantienen latentes durante muchos, debido a las bajas temperaturas y la nieve, en México el bosque de *Abies* prácticamente no interrumpe sus actividades de fotosíntesis, absorción y transpiración, solo sufre una disminución durante los periodos más frío y más secos del año. Siempre o casi siempre hay verdor en los niveles inferiores de la comunidad y el periodo de floración de muchas especies corresponde precisamente a los meses de diciembre, enero y febrero. Es posible que las intensas oscilaciones diurnas de la temperatura, propias del clima de las montañas intertropicales compensen en parte la falta de inviernos continuos y crudos y expliquen la presencia de estos bosques en condiciones climáticas tan esencialmente diferentes.

En México el número de especies de Oyamel varía: Martínez (1953) reconoce 8 especies de *Abies*, 5 variedades; la SARH (1994) reconoce solo 4 y Nieto de Pascual *et al.* (1995) reconoce 9 especies. Los bosques de Oyamel son estructuralmente distintos a los bosques de pino o de encino por presentar condiciones ecológicas diferentes (Challenger, 1998). Rzedowski (1978) menciona que estos bosques tienen mucha similitud con los bosques boreales de *Abies* (Taigas), que se distribuyen en las tierras septentrionales de Eurasia y Norteamérica. Se desarrollan generalmente entre los 2400 y 3600 msnm como fragmentos aislados o como masas mayores en las laderas de barlovento. En las zonas donde se desarrollan se reportan precipitaciones de 1000 mm anuales en promedio y con humedad atmosférica alta. El rango de temperaturas en que se desarrollan oscila entre los 7 y 15°C como media anual. No soportan las marcadas sequías estacionales e la mayoría de las regiones montañosas del país. Prefiere las laderas con pendientes de entre el 20 al 65% (Rzedowski, 1978; Sánchez-Velásquez, 1991). Se estima

que la superficie total ocupada por esta comunidad es de apenas 0.16% de la superficie total del país (Flores *et al.*, 1971).

Generalmente estas comunidades son relativamente altas, el estrato arbóreo alcanza alturas de entre 20 y 30 metros, alcanzando en algunos lugares hasta 50 metros (Rzedowski, 1978). Frecuentemente domina una especie en su dosel, aunque al norte de México es común encontrar esté asociada con varios géneros como *Quercus*, *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Picea*, *Juniperus* y *Cupressus* (Rzedowski, 1978; Challenger, 1998).

Madrigal (1967), establece para el bosque de oyamel del Valle de México, que después de la destrucción del bosque clímax, pasa a una fase inicial de gramíneas amacolladas (*Festuca*, *Stipa* y *Muhlenbergia*) le sigue una de arbustos, en la cual dominan *Baccharis conferta*, *Juniperus monticola* o *Senecio cinerarioides*, o bien *Quercus* spp., *Arbutus* spp., *Arctostaphylos arguta* y *Salix cana*. Posteriormente se presenta un bosque de *Quercus* spp., seguido por uno de *Pinus* y *Alnus*, para restablecer finalmente el bosque de *Abies*.

Se destacan también los bosques aciculifolios o bosques de pino con *Pinus* - *Pseudotsuga* - *Abies*, los cuales ocupan las partes más elevadas de la Sierra Madre Oriental, principalmente en las montañas de mayor altura (Rojas, 1965; McDonald, 1993; McDonald, 1998; Challenger, 1998). Estas comunidades arbórea se establece en cañadas húmedas de Nuevo León por arriba de los 2,000 a 3,500 msnm, cuyos elementos dominantes alcanzan más de 35 m. de altura (Martínez, 1939; González, 1974; Rzedowski, 1978). La fisonomía más notable son hojas de forma de agujas planas no muy largas. Este bosque se establece sobre suelos profundos y ricos en material húmico, derivados de rocas calizas o cenizas volcánicas, con una precipitación de 1,000 a 1,500 mm. anuales y temperatura media anual entre 7° y 15° C, la oscilación diurna de la temperatura tiene un promedio anual de 11 a 16° C. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificado por García (1964) se presentan en el tipo "Cw" (González, 1974; Rzedowski, 1978). Dentro de estas comunidades se encuentran aproximadamente 12 especies de coníferas (Capó, 1972), de estas se puede mencionar a *Picea martinezii*, especie endémica para el estado (Patterson, 1988). Otras especies importantes de este tipo de vegetación son *Pinus hartwegii*, *Pinus strobiformis* (=ayacahuite), *Abies vejarii*, *A. religiosa*,

*Pseudotsuga menziesii* (McDonald, 1998). Rzedowski (1978) menciona a esta área como una de las dos importantes dentro de la distribución de *Abies* en la Sierra Madre Oriental. En cañadas húmedas y protegidas también se puede distribuir *Liquidambar styraciflua*, especie asociada a comunidades de Bosque Mesófilo de Montaña.

México es considerado como un centro de origen y distribución de género *Pinus* y que se considera el centro primario de diversidad género *Quercus* en el hemisferio occidental y la diversidad es muy alta en sus estratos herbáceos y arbustivos (Challenger, 1998).

Price *et al.* (1998) mencionan que el número de especies reconocidas del género *Pinus* es de 111, mientras que para México se estima que existen entre 46 o 47 especies de pinos, que representan el 42% de las especies mundiales (Sánchez, 2008). El mismo autor menciona que alrededor el 24% del total de la flora mexicana se encuentra en las comunidades de bosque de pino y bosque mixto.

Debido a que los géneros *Pinus* y *Quercus* tienen una enorme tolerancia a una amplia condición climática es posible encontrar comunidades de estas especies fuera de su condición normal de comunidades de montaña; ya que es posible observar bosques de pino tropicales, como el caso de *Pinus caribaea* en Quintana Roo casi al nivel del mar en comparación con su rango altitudinal más alto que es 4100 msnm., o bosques de encino como *Quercus oleoides* en el golfo de México a nivel del mar y *Q. virginiana* en el noreste del país a menos de 500 metros sobre el nivel del mar, comparado con los 3100 msnm el cual es su rango altitudinal superior (Perry, 1991; Farjon y Styles, 1997; Challenger, 1998).

Dependiendo de las condiciones climáticas, los elementos de los bosques de pino alcanzan alturas de entre 8 y 25 metros y en algunos lugares hasta 40 metros. Pueden presentar masas casi puras de una sola especie como los de *Pinus patula* o *P. hartwegii* o bien estar asociados a los géneros *Abies*, *Pseudotsuga*, *Cupressus*, *Picea*, *Juniperus*, *Quercus*, *Alnus*, *Populus*, *Juglands*, *Platanus*, y *Fraxinus*. A grandes altitudes el sotobosque es dominado por pastos principalmente del género *Muhlenbergia*, a menores altitudes aumenta la biodiversidad y pueden existir gran cantidad de herbáceas anuales (principalmente de la familia Asteraceae) y arbustos. Cuando el dosel es extremadamente

cerrado y la humedad relativa alta, este sotobosque se ve dominado por una capa compacta de musgos y hepáticas. (Müller, 1939; Rojas, 1965; Rzedowski, 1978; Treviño, 1984; Perry, 1991; Farjon y Styles, 1997; McDonald, 1998; Challenger, 1998). Generalmente no hay lianas ni trepadoras y muy pocas epifitas vasculares dominada por *Tillandsia usneoides*, presentándose en algunas comunidades como una verdadera capa sobre el estrato arbóreo (Rzedowski, 1978).

En la Sierra San Antonio Peña Nevada las partes bajas de la sierra y en general en condiciones más secas se desarrolla un bosque de Pino piñonero (*Pinus cembroides*), bordeando ambas exposiciones y en contacto con comunidades xerófitas de matorral desértico rosetófilo en las exposiciones oeste (Rojas 1965, Treviño 1984). Frecuentemente se encuentra formando asociaciones con *Juniperus* spp., *Quercus* spp., y otros pinos. Otra especie encontrada codominando con *Pinus cembroides* o formando manchones puros en el municipio de Miquihuana, Tamaulipas, muy cerca de la zona de estudio es el *Pinus nelsonii* (Suzán, 1991), los cuales pueden ser diferentes en estructura y composición a los encontrados en San Luis Potosí (Luna-Cavazos, 2008).

En las áreas geográficas en que dominan los climas semiáridos en Nuevo León, se pueden encontrar encinos que solo miden entre 3 y 4 metros de altura. En los lugares más templados, los bosques de encino pueden alcanzar 30 metros, aunque normalmente tienen alturas de entre 15 y 20 metros. Generalmente no domina una sola especie de *Quercus* en estrato arbóreo, sino que se compone de un cúmulo de especies, incluyendo árboles de otros géneros como: *Pinus*, *Abies*, *Pseudotsuga*, *Cupressus*, *Picea*, *Juniperus*, *Populus*, *Juglans*, *Platanus*, y *Fraxinus* y en el subdosel: *Rhus*, *Arbutus*, *Buddleja*, *Crataegus*, *Prunus*, *Sambucus* y *Taxus*. Generalmente tienen un estrato arbustivo bien definido e incluso hasta dos, el cual es muy diverso y dominan los géneros *Rhus*, *Baccharis*, *Eupatorium*, *Salvia*, *Senecio*, *Stipa*, *Bidens*, *Tagetes*, etc. y con un estrato herbáceo muy diverso, dominando especies de la familia Asteraceae, *Castilleja*, *Penstemon*, *Eryngium*, *Bouteloua*, etc. Es común que se encuentre epifitas vasculares, principalmente del género *Tillandsia* como *T. recurvata*, *T. usneoides*, *T. prodigiosa* (Müller, 1939; Rojas, 1965; Rzedowski, 1978; Treviño, 1984; Perry, 1991; Farjon y Styles, 1997; McDonald, 1998; Challenger, 1998; Sariñana, 1999). Otra de las especies de importancia debido a su distribución limitada, aunada a su uso potencial para la extracción de fitoquímicos usados

en medicina, es *Taxus globosa*, la cual se distribuye en las algunas localidades de la Sierra Madre Oriental cercana a la zona de estudio (García-Aranda *et al.*, 2012b) e incluso en el trabajo de García-Aranda *et al.* (2012a) muestran que la Sierra San Antonio Peña Nevada se encuentra en la distribución potencial de esta especie.

En el área de estudio, este tipo de bosque se presenta generalmente en las laderas bajas de esta sierra, limitando con bosques de pino o de pino-encino y con condiciones de chaparral (Rojas, 1965; Treviño, 1984). Se conocen cerca de 23 especies de encinos para en el sur del estado de Nuevo León (Banda, 1974).

Existen comunidades de matorral de latifoliadas perennifolio (denominados chaparrales) que prospera de los 1700 a los 2800 msnm, por lo común de 2 metros de alto, muy denso y difícilmente penetrable, cuya existencia frecuentemente se ve favorecida por incendios, ya que muchos de los arbustos tienen la capacidad de regenerar a partir de sus sistemas radicales. Es un tipo de vegetación que se presenta sobre suelos someros y secos con exposición suroeste, sur y sureste, donde la humedad es proporcionada principalmente por el contacto con las nubes y no es suficiente para la existencia de comunidades boscosas. Se encuentran también como comunidades secundarias en sitios donde la vegetación ha sido destruida, pues en algunas localidades estos matorrales parecen ser francamente secundarios (Rzedowski, 1978). Los géneros representativos son *Arctostaphylos* y *Quercus*. La precipitación media anual varía de 350 a 700 mm. La gran mayoría de los encinares arbustivos en México se desarrollan en áreas que son climáticamente intermedias entre los matorrales propios de clima francamente árido y los bosques de clima subhúmedo, o sea en las áreas limítrofes de climas BS y Cw de la clasificación Köeppen modificada por García (1964). Son de altura variable (desde los 30 cm.), aunque frecuentemente alcancen entre 1 y 2.5 m. Las hojas de las especies dominantes son duras y generalmente pequeñas. Se encuentra asociado con los géneros *Arbutus*, *Juniperus*, *Pinus*, *Agave*, *Yucca*, *Arctostaphylos* y *Berberis* entre otros (Müller, 1939; Rzedowski, 1978; McDonald, 1998).

Otra de las comunidades importantes es la vegetación alpina y subalpina la cual incluye a los zacatales alpinos. Se establecen por arriba del límite altitudinal de la vegetación arbórea de las cumbres más altas, a más de 4000 msnm en el sur y centro y a

más de 3450 msnm en el noreste del país. La aparición de la vegetación alpina y subalpina se remonta al último máximo glacial (Wisconsin) del Pleistoceno hace unos 10,000 años. Experimentaron una expansión de sus límites geográficos, gracias a que la baja de la temperatura global hizo que el límite altitudinal de la vegetación arbórea bajara 1000 metros en las laderas de las montañas. Esto permitió que se formara un corredor de vegetación alpina y subalpina en la Sierra Madre Occidental, con un corredor discontinuo en la Faja Volcánica Transmexicana y una faja aislada en la Sierra Madre del Sur y de dos subregiones muy cercanas entre sí en la Sierra Madre Oriental (sudoeste de Tamaulipas hasta Nuevo León) y una región en la cima del volcán Tacaná en Chiapas (McDonald, 1993). Posterior al Pleistoceno, una vez que la temperatura del planeta se elevó, la mayor parte de la vegetación alpina y subalpina fue desplazada por los bosques de pino y encino, quedando aisladas solo en las partes más altas de las sierras (Rzedowski, 1978; McDonald, 1993; McDonald, 1998).

La vegetación alpina y subalpina distribuye en los picos más altos del Nuevo León como El Potosí, El Coahuilón, La Viga y San Antonio Peña Nevada, compartiendo especies entre sí (Müller, 1939; Rojas, 1965, Beaman y Andresen, 1966; García y González, 1991; McDonald, 1993; McDonald, 1998; Challenger, 1998). Algunas de las especies endémicas encontradas en este tipo de vegetación para la Sierra San Antonio Peña Nevada son *Argemone subalpina*, *Calochortus marcellae*, *Erigeron onofrensis*, *E. wellsii*, *Schoenocaulon sp. nov.*, *Sedum clausenii*, *Sisyrinchium sp. nov.*, *Thelesperma graminiformis*, entre otras, calculándose que un 12% de la flora alpina-subalpina es endémica para este pico (McDonald, 1993; McDonald, 1998; Challenger, 1998). McDonald (1998), menciona que el 12% de la flora alpina y subalpina de la Sierra San Antonio Peña Nevada es endémica a este lugar, porcentaje mucho mayor a los reportados en el suroeste de Estados Unidos, además señala la ausencia de *Pinus culminicola*. El mismo autor señala que los incendios forestales son un importante factor en la persistencia de los chaparrales y la vegetación alpina y subalpina.

Cruz (1969), establece que la pradera de *Potentilla*, propia de los lugares mal drenados dentro de los bosques de oyamel en el Valle de México, pudo haber expandido su área de distribución al destruirse el bosque.

En la parte oeste de la zona de estudio se pueden observar comunidades de matorrales xerófitos como el matorral desértico rosetófilo, este tipo de vegetación está dominado por plantas con hojas agrupadas en forma de roseta y que prevalecen en amplias extensiones de suelos cerriles derivados de rocas sedimentarias ricas en carbonato de calcio. Las especies dominantes de este matorral pueden ser *Agave lechuguilla*, *A. striata*, *Hechtia glomerata*, *Dasylyrion* sp. que forman un aspecto subarborescente espinoso y perennifolio a menudo bastante denso, debido a la reproducción vegetativa de muchos de sus componentes, con frecuente aparición de *Yucca carnerosana* como eminencia e incluyendo otras especies de arbustos como *Parthenium argentatum*, *P. incanum* y diversas cactáceas de tamaño pequeño y mediano. Este tipo de vegetación, se presenta mayormente en regiones con precipitaciones con promedio de 200 a 500 mm (Rzedowski, 1978).

#### 4.1.1. Riqueza y Diversidad

Treviño (1984), en su estudio sobre la vegetación del municipio de General Zaragoza Nuevo León, señala que para la Sierra San Antonio Peña Nevada se identificaron las comunidades de bosque de pino, bosque de encino, bosque de encino – pino, bosque de pino – encino, bosque de *Pseudotsuga - Pinus – Abies*, chaparral y matorral desértico rosetófilo. Para el municipio su estudio arrojó un total de 65 familias, 171 géneros y 324 especies.

Hinton y Hinton (1995), reportan un total de 751 especies, 381 géneros y 88 familias para Zaragoza. Una consulta a la base de datos del herbario “*Herbarium of Geo. B. Hinton*” realizada por Hinton (2006), arrojó un total de 93 familias, 343 géneros y 659 especies para el mismo municipio, de las cuales 52 familias, 121 géneros y 161 especies están presentes en la zona de la Sierra San Antonio Peña Nevada.

Valdez (2002), realiza un trabajo sobre el desarrollo de estrategias para la preservación de la diversidad florística del municipio de Santiago, N. L., en el que analiza la diversidad florística en el mencionado municipio, encontrando que de las comunidades vegetales templadas, el bosque mixto es la que presenta la mayor riqueza con 114 especies,

seguida por el bosque de encino con 90 especies. El resto de las comunidades puede observarse en la Tabla 1.

Tabla 1. Riqueza florística encontrada en el municipio de Santiago Nuevo León.

Comunidad	Familias (89)		Géneros (260)		Especies (375)	
	#	%	#	%	#	%
Bosque de <i>Pseudotsuga-Pinus-Abies</i>	19	9.7	30	6.71	38	7.90
Bosque de <i>Pinus cembroides</i>	22	11.34	63	14.09	75	15.59
Bosque de <i>Pinus-Quercus</i>	44	22.68	112	25.05	114	23.70
Chaparral	24	12.37	44	9.84	50	10.39
Bosque de <i>Quercus</i>	43	22.16	91	20.35	90	18.71

Fuente: Valdez, 2002

Alanís (2004), registra para el estado de Nuevo León un listado preliminar de plantas vasculares para la Sierra Madre Oriental de 111 familias y 1064 especies.

Sánchez-González *et al.* (2006), registran para los bosques maduros de *Abies religiosa* del Cerro Tláloc en el estado de México, una riqueza de 44 familias, 94 géneros y 137 especies de plantas vasculares, siendo Asteraceae, Poaceae, Scrophulariaceae, Geraniaceae, Onagraceae, Pinaceae, Lamiaceae y Rosaceae las familias con mayor número de géneros.

Encina-Domínguez *et al.* (2008), menciona que para los bosques de *Abies vejarii* de la Sierra Zapalinamé en el estado de Coahuila, registraron un total de 37 familias, 60 género y 73 especies. Menciona además que las familias con mayor riqueza son: Asteraceae (15 especies), Poaceae (5), Pinaceae (4), y Lamiaceae (4); los géneros con más especies son: *Senecio* (4), *Ageratina* (4), *Quercus* (3), *Salvia* (3), *Pinus* (2), *Arenaria* (2) y *Euphorbia* (2).

Villarreal y Estrada (2008), registran un total de 158 familias, 1,031 géneros y 3,175 especies y 109 taxa infraespecíficos de plantas vasculares del estado de Nuevo León, para dar un total de 3,284 taxas, mientras que Velazco (2009), reporta un total de 157 familias, 910 géneros y 2,903 especies para el estado, mencionando que pudieran llegar a encontrarse hasta 3,350 especies

Arriaga (2009) menciona que los tipos de vegetación natural en el norte de México que registran mayor riqueza de especies son los bosques de encino (2,522 especies), selva baja caducifolia (2,405 especies), bosque de pino (1,988 especies), bosque de pino-encino (1,924 especies), matorral submontano (1,824 especies), chaparral (1,562 especies) y matorral desértico micrófilo (1,525 especies). Señala también que Otros tipos de vegetación como el matorral sarcocaulé, el bosque de encino-pino, matorral desértico rosetófilo y pastizales naturales tienen más de 1,000 especies.

Cuevas-Guzmán *et al.* (2011), mencionan que para los bosques de *Abies* de Jalisco registraron un total de 64 especies, 47 géneros y 35 familias, siendo Asteraceae, Pinaceae y Fagaceae las familias más diversas y los géneros *Quercus*, *Pinus* y *Abies* los de mayor riqueza en especies.

Flores *et al.* (2012) reportan para la Sierra Madre Oriental un total de 1,858 especies de plantas vasculares, distribuidas en 537 géneros y 64 familias, en un análisis de los registros (8,240 registros) de diversas colecciones biológicas. Mencionan además, que para el municipio de Zaragoza se reportan un total de 623 especies de plantas vasculares, que representan el 26% del total estatal.

Martínez (2013), registra un total de 119 especies, 92 géneros, 50 familias y 4 divisiones asociadas a los bosques de *Abies guatemalensis* en 10 localidades del occidente de Guatemala, de las cuales 19 familias representan el 74% de la flora registrada, siendo las familias Asteraceae, Poaceae, Rosaceae, Lamiaceae, Apiaceae y Solanaceae las más numerosas.

Como ejemplos de trabajos que incorporan algún índice de diversidad para las comunidades templadas, tenemos las presentadas en la Tabla 2.

#### 4.2. Deforestación y Amenazas a la Vegetación

El problema de la pérdida de los hábitats deriva principalmente de la deforestación de la cobertura primaria en México. Para el año 1988 se calculó una pérdida de 615,000 ha, para el año 2000 la cifra alcanzó los 1'076,000 de ha y para el año 2005 bajo hasta alcanzar las 348,000 ha anuales. Al 2007 se había transformado alrededor del 29% de la cobertura de vegetación primaria de México, esto es el 27% de los bosques templados,

40% de los bosques mesófilos, 42% de las selvas y 10% de los matorrales. Entre los años 2002 y 2007 se calculó la pérdida de 175,000 ha anuales de selvas, poco menos de 7,000 ha anuales de bosques templados, 136,000 ha anuales de matorrales xerófilos y 84,000 ha anuales de pastizales (SEMARNAT, 2009).

Franco *et al.* (2006) mencionan una tasa de deforestación para el Nevado de Toluca de -0.48% (156.02 ha. de pérdida anual) entre los años 1972 y 2000. Señalan una tasa de deforestación de 0.15% anual para el bosque de oyamel para el mismo periodo, mientras que para el bosque de pino fue de -1.27 % anual y para encino de -0.027% anual. Pinedo *et al.* (2007) mencionan la tasa de deforestación en 2 localidades de la Sierra Madre Occidental: para Basogachi presenta una tasa de -2.06% anual, mientras que San Juanito presenta una tasa de -2.40% anual; ambas localidades en el estado de Chihuahua.

Los ecosistemas forestales son afectados por diversos factores, que inciden en su degradación y deforestación; los principales son (SEMARNAP, 2000):

- Cambios de uso del suelo
- Talas clandestinas
- Plagas y enfermedades forestales
- Incremento demográfico
- Incendios forestales

Se piensa que el bosque de pino y bosque de encino son una de las comunidades que más han sido afectadas desde que existen poblaciones humanas más o menos sedentarias en México, por lo que desde hace mucho tiempo que se vienen destruyendo esos bosques en enormes áreas de su distribución natural, con el fin de establecimiento de áreas agrícolas y/o pecuarias (Rzedowski, 1978; Gómez-Pompa, 1985). Otra de las actividades que afecta a estas comunidades es la actividad minera, que se remonta desde el tiempo de la colonia (Challenger, 1998). Las principales causas de deforestación, después de los desmontes para fines agropecuarios, son las explotaciones forestales intensivas o extensivas y los incendios forestales naturales o provocados (Rzedowski, 1978; Toledo, 1988; Challenger, 1998).

Tabla 2. Comparación de valores de índices de diversidad para diversas comunidades templadas en México.

Comunidad	Índice de Shannon-Weaver	Fuente
Bosque de <i>Quercus</i> spp - <i>Pinus cooperi</i>		
Arbustivo	1.99	
Arbóreo	1.96	
Bosque de <i>Quercus rugosa</i> - <i>Quercus</i> spp - <i>Pinus</i> spp.		
Arbustivo	2.26	
Arbóreo	1.60	
Bosque de <i>Quercus eduardii</i> - <i>Quercus</i> spp - <i>Pinus chihuahuana</i>		
Arbustivo	1.33	
Arbóreo	1.78	
Bosque de <i>Pinus lumholtzii</i> - <i>Quercus eduardii</i>		
Arbustivo	1.20	
Arbóreo	1.66	
Bosque de <i>Pseudotsuga</i> sp. - <i>Quercus</i> spp - <i>Pinus</i> spp.		González-Elizondo <i>et al.</i> , 1993
Arbustivo	1.48	Michilia, Durango
Arbóreo	1.72	
Bosque de <i>Quercus</i> spp - <i>Pinus</i> spp		
Arbustivo	1.81	
Arbóreo	0.98	
Bosque de <i>Quercus</i> spp - <i>Pinus cembroides</i>		
Arbustivo	0.98	
Arbóreo	1.53	
Bosque de <i>Pinus teocote</i> - <i>Pinus</i> spp - <i>Quercus</i> spp.		
Arbustivo	1.57	
Arbóreo	1.73	
Bosque de <i>Pinus lumholtzii</i> - <i>Quercus urbanii</i> - <i>Quercus rugosa</i>		
Arbustivo	1.72	
Arbóreo	1.88	
Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> – <i>Abies religiosa</i>	0.80	
Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> – <i>Abies religiosa</i> – <i>A. firmifolia</i>	0.47	
Bosque de <i>Abies religiosa</i> – <i>Quercus laurina</i> – <i>Pinus - pseudostrobus</i>	1.79	Navarro <i>et al.</i> 1999
Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> – <i>Abies religiosa</i>	0.52	Nevado de Colima, Colima y Jalisco
Bosque de Pino	0.989	
Bosque de Pino - Encino	0.199	
Bosque de Oyamel	0.689	
Bosque de Táscate	0.772	Sariñana, 1999
Bosque de Encino	1.570	Nuevo León
Bosque de Encino – Pino	1.517	(solo para estrato fisonómicamente dominante)
Bosque de Encino	1.22	
Bosque de Encino	1.885	
Chaparral	2.076	
Bosque de Pino - Encino	1.48	Baca, 2000
		Chipinque, San Pedro Garza García, N.L
Bosque de Encino	1.889	Valdez, 2002
Bosque de Pino - Encino	1.151	Santiago, N.L.
Bosque de Pino - Encino	1.84	
Bosque de Encino - Pino	1.68	Villavicencio <i>et al.</i> 2004
Bosque de Encino	1.57	Sierra de Quila, Jalisco
Bosque de <i>Pinus cembroides</i>	0.4711 – 0.3225	Carrillo, 2009
		Tlaxcala

Otro de los factores que ponen en peligro a las masas boscosas, principalmente la de coníferas y encinos, son las plagas forestales de descortezadores y barrenadores, los cuales pueden ocasionar grandes pérdidas anuales (Moreno, 1970; Ruiz *et al.*, 1997; Flores y Sánchez, 1998; SEMARNAT, 2009). El monitoreo que la SEMARNAT (2002) realiza en las zonas forestales del país muestra que en el 2001 fueron afectadas 15,219 ha por algún tipo de plaga, superficie que rebasa las 250 000 ha si se considera todo el periodo entre 1990 y 2001 (Figura 1). Entre 1990 y 2008, las plagas forestales afectaron en promedio 33,480 ha anuales (Figura 2). Clasificando a las plagas en animales y vegetales, y según la parte del árbol que atacan la mayor parte de esta extensión fue afectada por descortezadores, seguido por muérdagos y defoliosos (SEMARNAT, 2009).

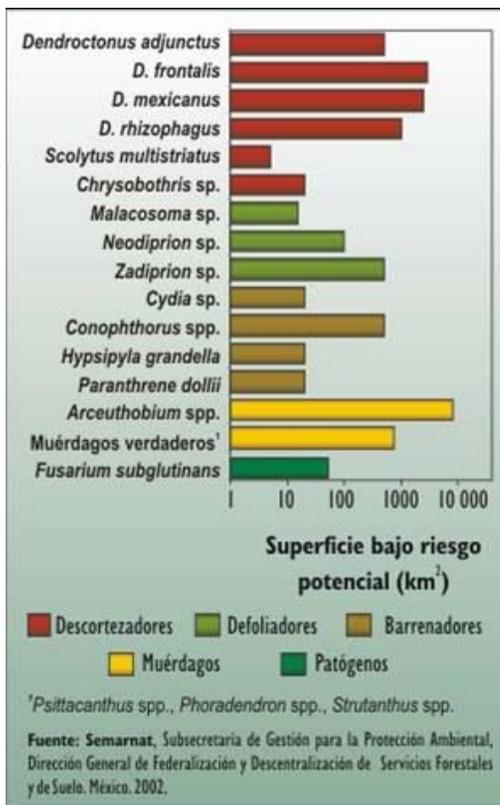


Figura 1. Superficie bajo riesgo potencial de ataque por las principales plagas forestales en México (2001).

### Superficie afectada por plagas y enfermedades forestales, 1990 - 2008



Figura 2 Superficie afectada por diferentes plagas forestales en México período 1990-2008 (SEMARNAT, 2009).

En el periodo de 1986 a 1988, *Fusarium subglutinans* afectó 3,160 ha de *Pinus douglasiana* en Nayarit y los hongos pudridores *Heterobasidium annosum* y *Armillaria mellea* afectaron cerca de 2,000 ha. distribuida en forma de pequeños manchones. En cambio *Arceuthobium* y *Phoradendron* afectaron 49,378 ha. en el periodo de 1986-1987, principalmente en los estados de Aguascalientes y Nayarit (Rodríguez, 1996).

Según Hansen y Lewis (2003), algunas de las principales plagas de coníferas en México son la enfermedad de raíz causada por *Rhizinia*; el muérdago enano, el chancro resinoso, el hongo azulado asociado a los insectos descortezadores, roya de los conos y el marchitamiento de los pinos.

#### 4.3. Incendios Forestales y la Vegetación

Aunque los incendios forestales no son la principal causa de deforestación en México; se pierden más de 209,000 ha anuales en poco más de 8,000 eventos, variando mucho entre año; el mayor porcentaje de vegetación incendiada corresponde, generalmente, a pastos naturales y arbustos, seguidos por vegetación arbolada (SEMARNAT, 2009). En el año 1998 se contabilizaron 14,445 incendios forestales, mientras que para el 2007 solo 1,736 eventos (Figura 3), con una superficie afectada de 183,552 ha a diferencia del año 1998 en el cual la cifra de superficie afectada se elevó hasta las 850,000 ha (Figura 4), al

parecer relacionados con los años secos y el fenómeno del Niño (Rodríguez, 1996; SEMARNAP, 2000; Rodríguez, *et al.*, 2002). Nuevo León fue uno de los estados más afectados del norte de la república, con 28,155 ha afectando principalmente las sierras del sur del estado, como el cerro El Potosí y la sierra San Antonio Peña Nevada. El área total siniestrada por incendios forestales en el año 1998 en el área de estudio fue de 5,494.32 ha., cifra que representa 19.51% de 28,155 ha afectada por incendios forestales a nivel estatal en ese año (SEMARNAP, 2000; Treviño *et al.*, 2000).

Yocom *et al.* (2010), menciona que el régimen de incendios forestales era muy frecuente en Peña Nevada hasta antes de 1929, posterior a esta fecha, el periodo entre incendios se ha alargado. Mencionan también que este cambio en el régimen de incendios puede deberse al cambio de tenencia de la tierra, esto es la creación de los ejidos, aunado con los programas de control de incendios y al cambio uso del suelo, al incrementarse la ganadería.

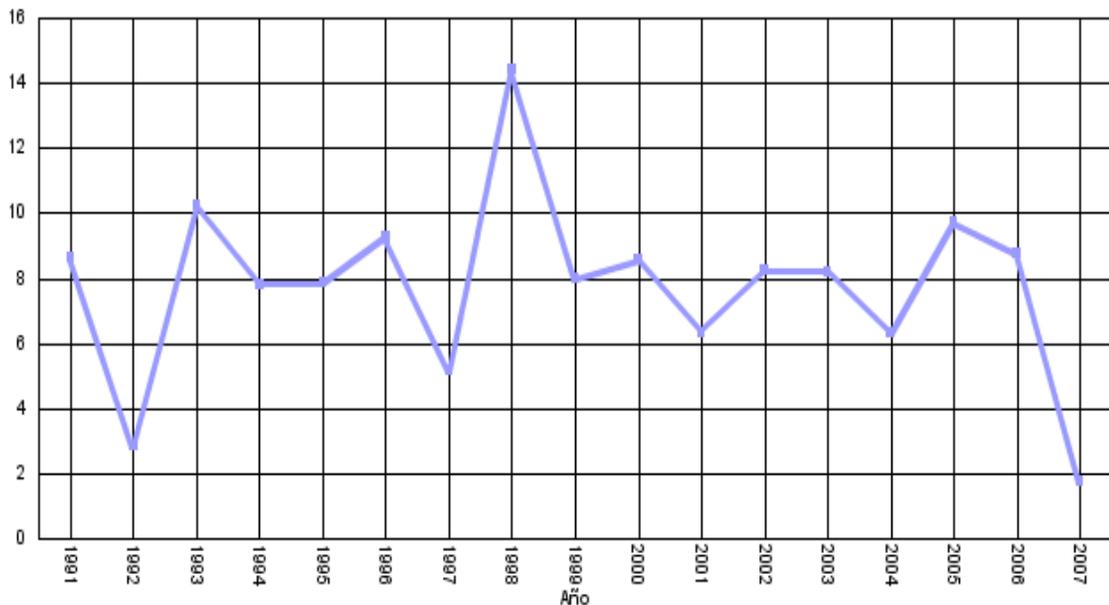


Figura 3 Número de Incendios Forestales anuales en México (SEMARNAT, 2010).

## Incendios y superficie afectada en México, 1991 - 2009

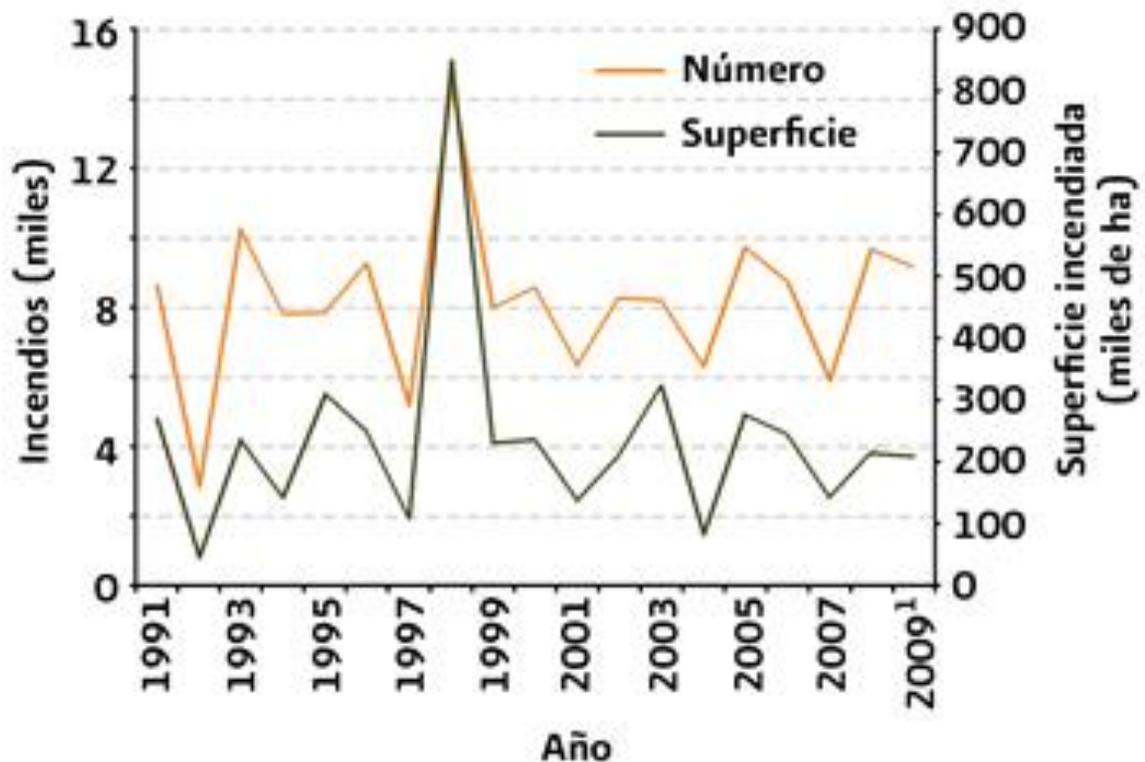


Figura 4 Superficie afectada en México por Incendios Forestales (SEMARNAT, 2009).

Los daños más dramáticos provocados por los incendios forestales son (SEMARNAP, 2000):

- Destrucción de volúmenes de madera Impactando negativamente la economía de los propietarios y del país.
- Al destruirse la vegetación, el suelo queda expuesto a la erosión por el viento y la lluvia.
- Al no haber vegetación, el agua de lluvia no es retenida, lo que evita su filtración al subsuelo y la formación de los mantos freáticos (agua subterránea).
- Se destruye el hábitat de la fauna silvestre exponiéndola al ataque de otros depredadores.

- El producto de la combustión de la vegetación genera humos que contienen carbono y otros elementos nocivos al medio ambiente, lo que incrementa el efecto invernadero en la atmósfera terrestre.

Al quemarse la vegetación se eliminan las plantas que generan oxígeno, afectando también el clima del lugar.

Los efectos de los fuegos a las comunidades vegetales varían en función de su composición específica y sus características ecológicas. La perturbación intensa por incendios de bosques de encino, con especies como *Quercus affinis*, *Q. glaucescens* y *Q. peduncularis* produce una drástica degradación de los suelos (Pennington y Sarukhán, 1968).

Las plantas han desarrollado adaptaciones que les permiten “escapar” o sobrevivir a los fuegos. Algunas especies exhiben dormancia estacional y/o protección a los meristemas. Algunas son geófitas y sobreviven a las temporadas de incendios como bulbos subterráneos (eje. Familia Iridaceae, Liliaceae, Amaryllidaceae y Orquidiaceae). La corteza gruesa aislante, de algunos pinos como *Pinus ponderosa*, *P. patula* y *P. hartwegii*, al igual que de *Pseudotsuga menziesii*, los protegen del daño ocasionado por incendios forestales, debido a que protege el *cambium* vascular de la planta de las temperaturas letales (Martin, 1973; Rodríguez, 1996), también presentan conos serótinos que requieren de altas temperaturas para abrirse (Rebertus *et al.*, 1989; Williams y Johnson, 1990; Perry, 1991; Rodríguez, 1996; Peña y Bonfil, 2003). Otro factor importante es el enraizamiento profundo, el cual reduce la posibilidad de que las altas temperaturas alcancen las raíces. De esta forma aunque la parte aérea muera, la raíz sobrevive y puede desarrollar rebrotes, como en el caso de los géneros *Juglands* y *Quercus* y en menor grado *P. hartwegii*, mientras que otras especies usan una estrategia de baja densidad de arbolado, lo que abate el peligro de incendios de copa y además genera una menor cantidad de combustible, tal es el caso de *Pinus ponderosa* y *P. hartwegii* (Rodríguez, 1996; Zavala, 2000).

Existen plantas en las que sus semillas pueden permanecer viables por 200 o 300 años como el género *Ceanothus*. Algunas tienen semillas livianas fácilmente transportadas por el viento, que les permite recolonizar una zona incendiada, como *Pinus teocote* y *P. patula*

(Rodríguez, 1996). La germinación de algunas especies es inducida por el calor de los incendios forestales, tal es el caso de los géneros *Lupinus*, *Arctostaphylos*, *Rhus* y *Ceanothus* (Pijil, 1982; Kimmins, 1987; Vickery, 1987; Kauffman, 1990; Márquez *et al.*, 2005) otras especies se ven favorecidas por incendios forestales recurrentes como *Quercus microphylla*, *Q. frutex*, *Q. magnoliifolia*, *Q. liebmanii*, *Nolina parvifolia*, *Brahea dulcis*, *Smallanthus uvedalius*, *Heliopsis parvifolia*, *Cologania pallida*, y *Opuntia robusta* (Rzedowski, 1978; Johnson *et al.*, 2002; Peña y Bonfil, 200; Encina *et al.*, 2009). Posiblemente en la región de Pachuca Hidalgo el encino *Quercus mexicana* se vea favorecido también por incendios forestales. En régimen de incendios frecuentes existen especies perdurables, capaces de rebrotar cuando son juveniles e intolerantes y solo se pueden establecer después de incendios, como *Populus tremuloides* (Rodríguez, 1996).

Algunas comunidades de bosques dominadas por *P. teocote* y *P. hartwegii* son secundarias de bosques más mesófilos pero menos resistente al fuego, con especies como *Abies religiosa*, *Cupressus lindleyi*, *Pinus ayacahuite* y *P. pseudostrobus* (Rzedowski, 1978); incluso algunas asociaciones de *Pinus*, *Abies* y *Pseudotsuga* han sido remplazadas por comunidades de *Quercus*, *Juniperus* y *Alnus* (Rzedowski, Vela y Madrigal, 1977). Gentry (1957) y Rzedowski *et al.* (1977), mencionan que algunos bosques de *Pinus cembroides* son considerados clímax mantenidos por fuego. En cambio Perry (1991) menciona que algunas comunidades de *Pinus* raras y amenazadas como las de *Pinus culminicola*, *P. pinceana*, *P. johannis* y *P. nelsoni* presentan como principal amenaza el fuego, el pastoreo y su uso como combustible. En caso de *Pinus culminicola* es extremo, los incendios forestales han reducido su distribución en el Cerro El Potosí, Galeana N. L., de 106 ha en 1966 (Beaman y Andresen, 1966) a solo 30 ha en 1999 (Jiménez *et al.*, 1999).

Las principales amenazas para la vegetación alpina y subalpina son los incendios forestales naturales o provocados, así como el pisoteo excesivo por el ganado a las personas, la actividad pecuaria extensiva, y por presentarse en los picos más altos, el uso de las áreas para el establecimiento de instalaciones de comunicación, por ende la presencia humana permanente en el área (McDonald, 1993; Challenger, 1998).

Los principales factores de cambio en la comunidad de matorral desértico rosetófilo son la extracción de especies forestales no maderables como la lechuguilla (*Agave*

*lechuguilla*) y candelilla (*Euphorbia antisiphilitica*) y los incendios forestales provocados para favorecer el rebrote de gramíneas y de herbáceas para el pastoreo de ganado caprino principalmente y el mismo sobrepastoreo (Challenger, 1998).

#### 4.4. Percepción Remota, Análisis Digital de Imágenes y Sistemas de Información Geográfica.

##### 4.4.1. Percepción Remota

El uso de imágenes de satélite para el monitoreo de la cubierta terrestre se remonta ya a más de 50 años. Las primeras fotografías tomadas desde el espacio fueron obtenidas por Alan B. Sephard en 1961 y desde ese momento se vislumbró el gran potencial de estos medios para la observación de la superficie terrestre y de los fenómenos que en esta ocurren. Posteriormente, el uso de satélites artificiales equipados con sensores diseñados para la observación de la superficie terrestre, el desarrollo de software y hardware diseñado para la manipulación de esta información y la creciente preocupación de los científicos en los cambios ambientales, propicio un crecimiento en el uso e investigación de la información proveniente de sensores remotos, llegando el momento actual a una fase de crecimiento y desarrollo en el uso de esta herramienta para el monitoreo ambiental (Curran, 1985; Chuvieco, 1990 y 2002).

La percepción remota se define como las técnicas de obtención de información acerca de un objeto o fenómeno, sin entrar en contacto físico con él, especialmente relacionados con el estudio cartográfico y el uso de aparatos que obtienen imágenes en diversas longitudes de onda del espectro electromagnético como fotografía aérea, imágenes de satélite, imágenes de radar, etc. (Chuvieco, 1990).

##### 4.4.1.1. Procesamiento Digital de Imágenes

El procesamiento de imágenes consiste en manipular los valores de reflectancia en tres etapas interrelacionadas: El pre-proceso, que implica las correcciones radiométricas y geométricas, el Realce o mejoramiento y la Clasificación. Una parte importante del pre procesamiento es la georreferenciación o asignación de coordenadas a la imagen. Este proceso es de singular importancia en el contexto de un sistema de información, dado que las coordenadas asignadas a la imagen son el medio de comunicación con el resto de la

información espacial que integra el sistema. El realce de imágenes está compuesto por la aplicación de una serie de técnicas para mejorar la apariencia visual de la imagen y así facilitar en buena medida la interpretación visual de la imagen y la posterior toma de muestras para la clasificación espectral, uno de los procesos de realce más común es el filtraje utilizando la moda. También es posible realizar operaciones aritméticas entre las bandas. Sumas, restas y cocientes son utilizados comúnmente para la obtención de información específica, por ejemplo los índices de vegetación (Richards, 1986; Chuvieco, 1990; Richards, 1993; Campbell, 1996; Chuvieco, 1996; Lillesand y Kiefer, 1999; Richards y Jia, 1999; Chuvieco, 2002; Carnevale *et al.*, 2007; Showengerdt, 2007; Horning *et al.*, 2010). Entre los índices para detectar vegetación y sus cambios más utilizados se encuentra el índice de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI) que está directamente relacionado con la capacidad fotosintética y, por tanto, con la absorción de energía por la cobertura arbórea (Rouse *et al.*, 1973; Gates, 1980; Sellers, 1985, Campbell, 1996; Tucker y Sellers, 1986; Zarco-Tejada *et al.*; 1999; Chuvieco, 2002; Ferreira *et al.*, 2010; Horning *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2010; Yoshioka *et al.*, 2012), el índice de vegetación de la diferencia normalizada del colegio de postgraduados (NDVICp) que se aproxima a la dinámica de la mezcla de suelo-vegetación (Paz *et al.*, 2007; Paz-Pellat *et al.*, 2008 y Paz-Pellat *et al.*, 2012), el índice de vegetación realzada (EVI) que reduce el efecto de los contaminantes en la atmósfera, del suelo, humedad y nieve; este índice es más sensible a la variación de la vegetación densa que el NDVI (Huete *et al.*, 2002; Ferreira *et al.*, 2010; Horning *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2010). El índice de vegetación ajustada al suelo (SAVI), que incluye además el factor suelo que afecta principalmente en trabajos en zonas áridas (Huete, 1988; Huete *et al.*, 1997; Chuvieco, 2002; Horning *et al.*, 2010).

La clasificación multiespectral consiste básicamente en el agrupamiento de objetos con respuestas espectrales similares. Una clasificación multiespectral implica la segmentación del paisaje con base en las firmas espectrales de los elementos que constituyen su cobertura, medida en "n" bandas espectrales. Esta extracción de información temática es comúnmente el objetivo central cuando se analizan imágenes de satélite para estudios del ambiente (típicamente clasificaciones del uso actual del suelo). Los conceptos centrales a este nivel son aquellos de "clase espectral" y "clase

informativa". La confusión entre ambos está en la raíz de una gran cantidad de fracasos en el uso de estas tecnologías. Una clase espectral se define, estadísticamente, en un espacio multidimensional (es decir, multiespectral) en términos de media y varianza de un conjunto de celdas espectralmente similares correspondiente a objetos identificados antes o después del muestreo realizado por el intérprete (debe advertirse que no se indica: correspondiente a un objeto cuya respuesta espectral es homogénea). Una clase informativa resulta del etiquetamiento que el intérprete realiza acerca de los objetos en la superficie, con base a criterios del tipo de las claves de fotointerpretación (tono, patrón, textura, sombreado, moteado, forma, sitio, situación). Una clasificación espectral puede realizarse tanto de manera manual como automática, asistida por computadora (generalmente referidas como clasificación visual y digital, respectivamente). En el ámbito digital y de acuerdo a la forma en que se construyan las clases espectrales, pueden realizarse clasificaciones SUPERVISADAS y NO SUPERVISADAS, o una combinación de ambas, denominada híbrida y una nueva tendencia entre los clasificadores es por Contexto o Contextual en donde intervienen los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales nos proporcionan una información adicional y nos lleva a un refinamiento de la clasificación. Cuando se combinan datos espectrales con otro tipo de información complementaria como un SIG, el potencial de la aplicación de los datos satelitarios se extiende notablemente. De la misma manera se mejora considerablemente la calidad de los productos finales, en especial la exactitud de clasificadores espectrales (Richards, 1986; Shrestha, 1989; Chuvieco, 1990; Richards, 1993; Lillesand y Kiefer, 1999; Chuvieco, 2002; Showengerdt, 2007; Horning *et al.*, 2010).

#### 4.4.1.2. Usos de la Percepción Remota

Una de las áreas que fue altamente beneficiada fue el monitoreo y cartografía de la cubierta vegetal y los fenómenos que en ella ocurren. Los trabajos en la cartografía de vegetación han sido realizados en todo el mundo, desde selvas (Baltaxe, 1980; Trejo y Hernández, 1996; Díaz *et al.*, 2001; Miranda *et al.*, 2007; Vela *et al.*, 2007; García y Mas, 2008; Colditz *et al.*, 2010; Ibarra y Galindo, 2010; Mas y Flamenco, 2010), pasando por bosques de coníferas y latifoliadas (Carneiro, 1978; Lozano, 1981; Velásquez, 1992; Treviño, 1992; Fiorella y Ripple, 1993; Treviño, 1994; García, 1996; García *et al.*, 1999;

Solís *et al.*, 2006; Moreno, 2007; Vela *et al.*, 2007; Vega *et al.*, 2008; Colditz *et al.*, 2010), matorrales y pastizales (Graetz y Gentle, 1982; McDaniel y Hass, 1982; Treviño, 1992; Bonifaz y Gómez, 1996; Saiz *et al.*, 1996; Hill *et al.*, 1999; Vela *et al.*, 2007; Colditz *et al.*, 2010; Moreno, 2010a); humedales y cuerpos de agua (McFeeters, 1996; Carrera y de la Fuente, 2003; Baker *et al.*, 2006; Carrera *et al.*, 2007a y b; Carrera *et al.*, 2010; Xu, 2005; Lacaux *et al.*, 2007; Marina *et al.*, 2010; Moreno, 2010; Ontiveros *et al.*, 2010; Ovando *et al.*, 2010); Rullán-Silva *et al.* (2011), la región Sierra de Tabasco; concluyendo en ellos que es una herramienta eficaz en la clasificación de la vegetación y otras cubiertas terrestres.

Otro uso de las imágenes multiespectrales de satélite es el cambio multitemporal o cambio de uso del suelo que sufre la vegetación por procesos antropogénicos o naturales, como los trabajos realizados por Correa (1996), en Hualahuises; N. L., Mas *et al.* (1996), en comunidades forestales de Veracruz, Oaxaca y Puebla; Trejo y Hernández (1996), en comunidades selváticas en Morelos, Treviño (1992), en Iturbide N. L.; Treviño *et al.* (1996), en Linares N. L.; Lonard *et al.* (2000), en Texas; Senay y Elliott (2000), en Oklahoma; Díaz *et al.* (2001), en selvas de la Reserva de la Biosfera de Calakmul en Campeche; Franco *et al.* (2006), en el Nevado de Toluca; Carnevale *et al.* (2007), en la Cuña Boscosa Santafesina en Argentina; Dupuy *et al.* (2007), en comunidades rurales en el noreste de Quintana Roo; Moreno (2007), en comunidades de bosque templado en Zaragoza, Nuevo León; Platas *et al.* (2007), en la cuenca del Río San Juan en Nuevo León, México; Vela *et al.* (2007) y Vela y Lozano (2007), en la región de Cuenca de Burgos Cuenca de Burgos Tamaulipas y Nuevo León; Evangelista *et al.* (2010) en zonas cafetaleras de la sierra Norte de Puebla; Mas y Flamenco (2010), en comunidades selváticas del Ocote, Chiapas; Figueroa-Jáuregui *et al.* (2011) en la cuenca de San Cristóbal de las Casas, Chiapas; Villegas *et al.* (2011) en comunidades templadas del pico de Orizaba, en Veracruz; Moreno *et al.* (2012 y 2013), en matorrales de la Cuenca de Burgos Tamaulipas y Nuevo León; Hernandez *et al.* (2013) para el análisis de la deforestación y deterioro en selvas de Uxpanapa Veracruz. Demostrando lo anterior que el uso de imágenes de satélite y el análisis digital de imágenes es una herramienta importante dentro del monitoreo de la vegetación en el mundo.

Un uso relacionado con la percepción remota y el cambio de uso del suelo, el cambio climático y la mitigación del efecto invernadero, son los trabajos de captura de carbono (Zapata y Anaya, 2011), como los trabajos de De Jong (2001) en Chiapas, Márquez (2007) en la región de Tlaxco Tlaxcala, Aguirre-Salado *et al.* (2009) en bosques de *Pinus patula* en Hidalgo, Moreno y García (2013) en la comunidades templadas en la Sierra Madre Oriental, Peralta-Rivero *et al.* (2013) en Riberalta Amazonía Boliviana.

#### 4.4.2. Los Sistema de Información Geográfica

Un SIG, en su concepción actual, es un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, el manejo, la manipulación, el análisis, el modelado y el despliegue de datos espacialmente referenciados (georeferenciados) para la solución de los complejos problemas del manejo y planeamiento territorial (Rhind, 1989).

El objetivo principal de un SIG es el de ayudar y asistir durante las actividades de toma de decisiones espaciales, para el manejo y conservación efectiva de los recursos terrestres. El conocimiento básico sobre la localización, cantidad y disponibilidad de los recursos naturales es indispensable para la planificación más racional, el desarrollo y la explotación inteligente de los recursos. Dado que mucho de los parámetros ecológicos pueden ser georeferenciados y cartografiados, pues estos no son más que actividades o sucesos que ocurren en espacio físico y tiempo restringido, la implementación de un SIG es una alternativa lógica para el tratamiento de problemas de tomas de decisión (Valenzuela, 1989; Guevara; 1991 y1993).

El uso de SIG en el análisis de los fenómenos que en la cubierta vegetal y los hábitats ocurren, ayuda a tener un mejor panorama de estos, lo anterior por la fácil integración y manipulación de gran cantidad de información temática, ecológica y fisiográfica de las áreas de estudio, el análisis de la misma y el modelamiento de fenómenos, aunada con la capacidad de actualizar e incluso mejorar la información entrada al sistema (Díaz, 1992; Enkerlin *et al.*, 1997; Horning, *et al.*; 2010).

Esta herramienta ha sido utilizada para la evaluación y manejo de recursos naturales, protección de áreas con diversidad, propuestas de áreas naturales protegidas, análisis de fragmentación de hábitats, impacto de incendios forestales, zonificación ecológica,

desarrollo urbano, agricultura, etc. (Scott *et al.* 1993, Treviño 1994, Lewis 1995, Conroy y Noon 1996, García *et al.* 1999, Varma *et al.* 2000; Campagna, 2006; Pierce y Clay, 2007; Jain, 2009; Horning, *et al.*; 2010).

El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), ligados a las clasificaciones digitales de imágenes de satélites y la incorporación de datos alfanuméricos, han sido usados para mejorar los trabajos sobre vegetación. El uso de estas herramientas para auxiliar las clasificaciones tradicionales ha sido llamado “clasificación contextual” (Shrestha, 1989; Chuvieco, 1990; Chuvieco, 1996; Schowengerdt, 2007; Horning, *et al.*; 2010) y en los últimos años ha sido usada por diversos autores para eliminar o minimizar problemas asociados a las condiciones fisiográficas, ecológicas e incluso espectrales, como la confusión de clases añadiendo “bandas auxiliares” (modelos digitales de elevación, pendientes, exposición, componentes principales, índices de vegetación, etc.), que ayudan a aumentar la separabilidad de las mismas (Chuvieco, 1990; Treviño, 1992; González, 1995; Campbell, 1996; Fahsi *et al.* 2000; Chuvieco, 2002; Schowengerdt, 2007; Horning, *et al.*; 2010), así como análisis multicriterio y árboles de decisiones utilizados en una fase de postproceso que ayudan a resolver problemas de separabilidad de clases (Malczewski, 1999; Eastman, 2006).

#### 4.5. Ecología del Paisaje y Fragmentación del hábitat

El paisaje es un área o terreno que contiene un mosaico de fragmentos (“parches”) o de elementos del paisaje (McGarigal y Marks; 1995). La ecología del paisaje tiene como objetivo el de combinar la geografía y la ecología, esto es relaciona las estructuras espaciales, objeto de la geografía, con los procesos ecológicos, tomando como paisaje a la traducción espacial del ecosistema (Troll, 1939; Richard, 1975; Burel y Baudry, 2002). Entonces, la ecología del paisaje envuelve el estudio de los patrones del paisaje, la interacción de los fragmentos o “parches” dentro del mosaico del paisaje y como estos patrones e interacciones cambian con el tiempo; envuelve la aplicación de estos principios en la formulación y resolución de los problemas del mundo real. Considera el desarrollo y dinámica de la heterogeneidad espacial y sus efectos en los procesos ecológicos (Risser *et al.*, 1984; McGarigal y Marks; 1995; O’Neill *et al.*, 1997; Neel *et al.* 2004; Cushman *et al.*, 2008).

A un conjunto de manchas se le denomina mosaico y la disposición espacial del mosaico y corredores constituyen el patrón paisajístico. Sirve para diferenciar o comparar dos paisajes desde el punto de vista estructural (Burel y Baudry, 2002).

El análisis de los patrones paisajísticos o patrones del paisaje envuelve cuatro tipos básicos de datos espaciales (Greig-Smith, 1983; Forman, 1995; Dale, 1999; McGarigal, 2002):

- Patrones espaciales puntuales: Representan colecciones de entidades las cuales sus posiciones espaciales son el interés principal, al igual que cualquier dato particular cuantitativo o cualitativo. Como ejemplo tenemos los árboles de un “stand” que están georeferenciados individualmente.
- Patrones de redes lineales: Representan colecciones lineares de elementos que interceptan entre sí, formando una red. Tenemos por ejemplo los arroyos o la vegetación riparia de una cuenca.
- Patrones de superficies: Representan medidas cuantitativas que varían continuamente a través del paisaje; que no tienen fronteras explícitas (los fragmentos no están delineados). Tenemos como ejemplo la altura del terreno, la concentración de nutrientes en el suelo, etc.
- Patrones categóricos (temáticos, coropléticos): Representan mosaicos de categorías discretas. Desde una perspectiva ecológica, representan fragmentos de áreas discretas con características ambientales homogéneas en una escala particular. Los límites de los fragmentos están definidos por discontinuidades bruscas. Como ejemplo tenemos un mapa de la cubierta vegetal o mapas edafológicos.

Específicamente, la ecología del paisaje se centra en 4 características del paisaje (Forman y Godron, 1986):

- Composición: Envuelve la caracterización genética de las poblaciones, identidad y abundancia de especies en el ecosistema, y los diferentes tipos de comunidades presentes.

- Estructura: la relación espacial entre los diferentes ecosistemas o elementos presentes; más específicamente la distribución de energía, materia y especies en relación con el tamaño, forma, número, tipo y configuración de los ecosistemas. Envuelve la variedad de fragmentos o “parches” de hábitats y sus patrones (el tamaño y arreglo de los fragmentos o ecosistemas), incluyendo la secuencia de charcos en una corriente o las capas verticales de la vegetación.
- Función: La interacción entre los elementos espaciales, esto es, los flujos de energía, materiales y especies entre los componentes de los sistemas. Envuelve los procesos climáticos, geológicos, hidrológicos, ecológicos y evolucionarios, como la dispersión de semillas o el flujo de genes.
- Cambio: La alteración en la estructura y función de los mosaicos ecológicos en el tiempo. Envuelve el continuo estado de flujo presente en el ecosistema.

El paisaje consiste en tres componentes principales, la matriz, el fragmento o “parche” y los corredores (Forman y Godron, 1986; McGarigal y Marks; 1995; Burel y Baudry, 2002) (Figura 5):

- Matriz: El paisaje está constituido por varios tipos de “parches” o elementos del paisaje; la matriz es el componente que domina en este, el más extenso y conectado y tiene el rol dominante en la funcionalidad del paisaje.
- Fragmento o “parche”: Áreas superficiales no lineares que difieren del paisaje que los rodea. Son unidades del terreno o hábitats que son heterogéneos cuando se comparan con el total. Se incluye cuatro tipos diferentes:
- De disturbio: los cuales pueden ser naturales o artificiales y son el resultado de varias actividades incluyendo agricultura, forestería, urbanización, y clima. Si se les deja solos eventualmente cambian hasta que se combinan con la matriz.
- Remanentes: que son fragmentos de los hábitats originales, resultado de la alteración del paisaje por parte de los seres humanos. Estos son más ecológicamente estables y persistentes que los “parches” de disturbio.

- De recursos ambientales: los cuales ocurren por acción de una condición ambiental como los humedales o pantanos, vegetaciones edáficas, crestas, etc.
- Introducidos: aquellos resultados de la introducción por parte de los humanos, de especies exóticas, o por la reorganización de especies nativas
- Corredores: Son tiras, franjas o cinturones de hábitat que conectan fragmentos mayores. Sirven como caminos o conductos por los que los organismos se desplazan de un fragmento a otro. Se pueden catalogar de la misma forma que los parches como: de disturbio, remanentes, de recursos naturales e introducidos.

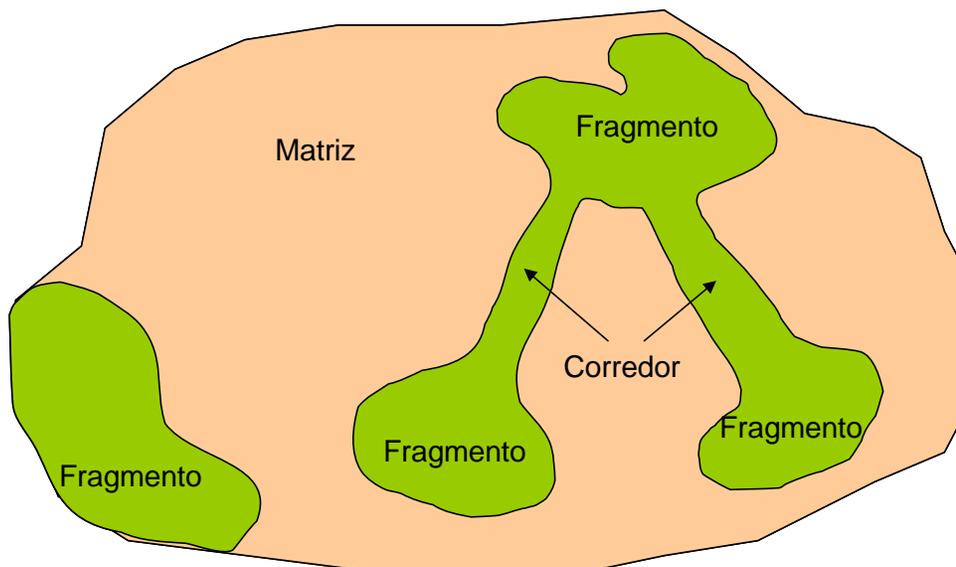


Figura 5 Componentes del paisaje.

Los patrones detectados en cualquier mosaico están en función a la escala, y el concepto ecológico de escala espacial abarca la extensión y la finura o grano (Forman y Godron, 1986; Turner *et al.*, 1989; Wiens, 1989; Frohn, 1998; Chuvieco, 2002). La extensión es el área que se abarca en una investigación o el área del paisaje incluida dentro de un límite. Desde el punto de vista estadístico, la extensión espacial en una investigación es el área definida de una población que se desea muestrear. La finura o el grano es el tamaño de las unidades individuales de observación. La finura o el grano y la extensión definen el límite inferior y superior de la resolución del estudio a realizar. Desde el punto de vista de la estadística, no se puede extrapolar más allá de la población muestreada y no

se puede inferir diferencias en objetos más pequeños que la unidad experimental, esto que en el evalúo de los patrones del paisaje no podemos detectar patrones más allá de la extensión ni por debajo de la finura o el grano (Wiens, 1989). Lo ideal es definir la extensión y finura de un estudio centrado en las características ecológicas del fenómeno o de la especie objeto del estudio, esto es si tenemos una especie que responde o percibe cambios en hábitats de 1 m<sup>2</sup> debemos definir como nuestra finura o grano por lo menos la misma área, por arriba de esa área el estudio tal vez carezca de significado (Kolasa y Rollo, 1991; McGarigal y Marks; 1995; Gurrutxaga y Lozano, 2008).

El uso del término “Métricas del Paisaje” se refiere exclusivamente a los índices y estadísticas desarrolladas para mapas categóricos y están enfocadas a la caracterización de las propiedades geométricas y espaciales de los patrones categóricos representados en los mapas en una simple escala (McGarigal, 2002).

Hay por lo menos dos diferentes perspectivas en los patrones de los mapas categóricos que influyen el desarrollo de las métricas del paisaje y tienen una importante implicación para escoger e interpretar las métricas individualmente y estas son (McArthur y Wilson, 1967; Forman, 1995; With, 1999; McGarigal, 2002):

- El modelo de la Isla Biogeográfica: En este modelo el énfasis en un solo tipo de fragmento. Los parches disjuntos son vistos como una analogía de islas embebidas en el océano, esto es en una matriz ecológica inhóspita o neutral. Solo se toma en cuenta a la isla dentro del análisis de los patrones ecológicos y por lo tanto sus métricas no toman en cuenta a la matriz. La mayor ventaja de este modelo, estriba en su simplicidad y su desventaja se encuentra en que asume que la matriz es uniforme, lo que en la mayoría de los casos no es así.
- El modelo del mosaico del paisaje: en este modelo el paisaje es visto como un complejo espacial, un ensamble heterogéneo complejo de tipos de fragmentos, que no pueden ser simplemente categorizados en elementos discretos como parches, matriz y corredores. La mayor ventaja de este modelo es que es una representación más realista de cómo los organismos perciben e interactúan con los patrones del paisaje. La desventaja radica en

que este modelo requiere un entendimiento detallado de cómo el organismo interactúa con los patrones del paisaje.

Comúnmente las métricas del paisaje pueden ser definidas en tres niveles (McGarigal, 2002; Botequilha *et al.*, 2006; Vila *et al.*, 2006):

- Nivel fragmento o parche: Las métricas son definidas para fragmentos individuales y caracterizan el carácter espacial y el contexto del fragmento.
- Nivel clase: Las métricas son integradas sobre todos los fragmentos de un tipo.
- Nivel paisaje: Las métricas son integradas sobre todos los fragmentos o clases en toda la extensión.

Las métricas a nivel clase representan la distribución y la pauta espaciales dentro de un paisaje de un solo tipo de fragmento; mientras que, los índices del paisaje representan la pauta espacial del mosaico entero del paisaje. Así, aunque muchos de los índices tienen a contrapartes en los niveles de la clase y el paisaje, sus interpretaciones pueden ser algo diferentes. La mayor parte de los índices de la clase se pueden interpretar como índices de fragmentación porque ellos miden la fragmentación de un particular de tipo parche; mientras que, la mayor parte de los índices del paisaje se pueden interpretar más anchamente como índices de heterogeneidad de paisaje porque ellos miden la estructura general del paisaje. De ahí, es importante interpretar cada índice en una manera apropiada a su escala ya sea a nivel de parche, clase o paisaje (McGarigal y Marks, 1999; Botequilha *et al.*, 2006; Vila *et al.*, 2006).

Las métricas de patrones espaciales: métrica de Contagio (Contagion), Dominancia (basadas en la teoría de la información) y la Dimensión Fractal (basada en la geometría fractal) han sido utilizadas extensamente en la ecología del paisaje a nivel comunidad (Krummel *et al.*, 1987; O'Neill *et al.*, 1988; Turner y Gardner, 1991; Milne, 1991; Wickham y Riitters, 1995; Chuvieco, 2002).

La Dominancia ha sido utilizada como medida de la diversidad del paisaje, para determinar la equitatividad de la proporción de los tipos de cubierta del paisaje (O'Neill *et al.*, 1988). Una alta dominancia indica que uno o más tipos de cobertura terrestre tienen

mayor proporción en el paisaje. Una dominancia baja indica que las coberturas terrestres tienen igual proporción (Frohn, 1998). La métrica de Contagio ha sido utilizada en el análisis de ecosistemas para cuantificar la cantidad de agregación o fragmentación del paisaje (O'Neill *et al.*, 1988); también se ha usado para observar los efectos de esta en los procesos de dispersión de la vegetación, el movimiento animal y la fragmentación de hábitats (Turner y Ruscher, 1988; Turner, 1989, 1990a, 1990b, Graham *et al.*, 1991; Gustafson y Parker, 1992; Li y Reynolds, 1993). La Dimensión Fractal ha sido usada en el análisis de ecosistemas para cuantificar la complejidad de la forma de los fragmentos en el paisaje (Kummel *et al.*, 1987, O'Neill *et al.*, 1988; De Cola, 1989 y Lam, 1990). También ha sido usada para medir el grado de disturbio de una comunidad ocasionado por el hombre, con la premisa de que los límites naturales de la vegetación son más complejos en su forma que los límites resultados de las actividades humanas, como los límites de áreas agrícolas, zonas urbanas, etc.; esto es, cuando el disturbio causado por el hombre se incrementa, la Dimensión fractal del paisaje disminuye (Kummel *et al.*, 1987, O'Neill *et al.*, 1988; Turner y Ruscher, 1988; De Cola, 1989).

Frohn (1998) y Chuvieco (2002); mencionan que es importante considerar el tamaño de píxel usado a la hora de realizar trabajos sobre fragmentación, utilizando archivos raster, pues las métricas se ven influenciadas por el tamaño del mismo. Sugiere que antes de realizar el cálculo de las métricas se homogenice el tamaño del píxel, para evitar los problemas ocasionados por la resolución espacial. Además Frohn (1998), propone 2 nuevas métricas que no son influenciadas por el tamaño del píxel: Parches por unidad (Patch Per Unit ó PPU) la que mide el grado de fragmentación en un paisaje y métrica del Píxel Cuadrado (Square Píxel metric ó SqP).

Dentro de los fenómenos de cambio de la cobertura vegetal, la fragmentación del hábitat es una de las más importantes, ya que es un fenómeno que afecta a muchas especies y contribuye a la pérdida regional y global de la diversidad (Harris, 1984; Saunders *et al.*, 1991).

La fragmentación es el procesos que ocurre a lo largo de un “continuo”, en donde en una área que inicialmente fue toda de un tipo (como ejemplo un bosque), que eventualmente decrece hasta que quedan fragmentos o “parches” aislados (Forman y

Godron, 1986; McGarical y Marks, 1995; Gurrutxaga y Lozano, 2008). Burel y Baudry (2002) definen a la fragmentación como un fenómeno espacial que conduce a una modificación no correlacionada de diversos parámetros descriptivos de la estructura espacial (Figura 6).

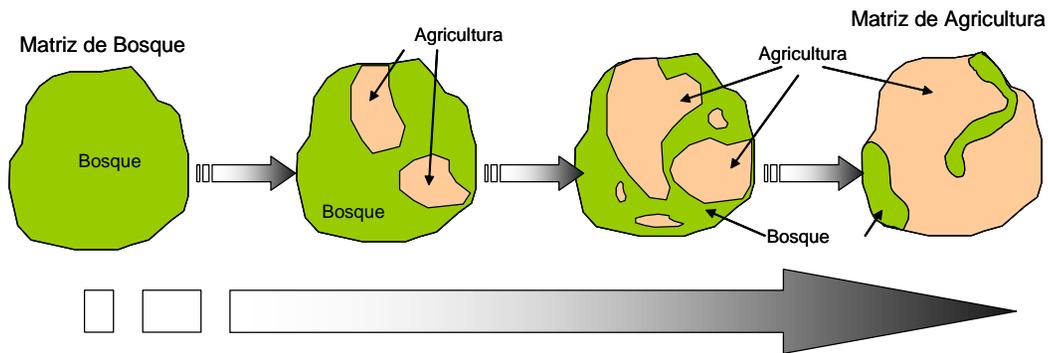


Figura 6 Proceso de fragmentación.

Davidson (1998) opina que la fragmentación produce muchos cambios cuantificables en el paisaje, entre los más importantes se encuentran la reducción del área del hábitat, se incrementa el borde, se reduce el área interior (core area), aumenta el aislamiento de los fragmentos y se incrementa el número de los fragmentos.

El proceso de fragmentación puede tener efectos positivos y negativos sobre las especies. Los efectos positivos son el incremento en la diversidad de hábitats, creando una benéfica yuxtaposición de hábitats, incrementando el borde, lo cual favorece a las especies de fauna silvestre generalistas como el venado cola blanca, el mapache, tlacuache, codorniz, etc. Entre los efectos negativos tenemos la pérdida del hábitat, los fragmentos pequeños favorecen la extinción local o el aislamiento de especies, los fragmentos dejan de estar conectados, impidiendo el traslado de las especies de un lugar a otro, el aumento del borde reduce el hábitat núcleo para especies no generalistas (McGarical y Marks; 1995; Bissonette y Storch, 2002; Burel y Baudry, 2002; Baguette y Schtichzelle, 2003). De hecho, la riqueza, abundancia y el movimiento de las especies de vertebrados está en función de la variación local de los recursos, de la cantidad, estructura, composición, forma, tamaño y perímetro del “parche” de la vegetación (MacArthur y MacArthur, 1961; Willson, 1974; Cody, 1985; Lamberson *et al.*, 1993; Rosenberg *et al.*, 1997; Hugie y Grand, 1998; Botequilha *et al.*, 2006; Gurrutxaga y Lozano, 2008, Pincheira-Ulbrich *et*

*al.*, 2009). También se ha notado que el número de especies que residen en un fragmento se incrementan al aumentar el tamaño del fragmento. Arriaga (2009) menciona que el nivel global el cambio de uso de suelo es una de las mayores amenazas a la biodiversidad.

En cuanto a trabajos sobre cambios de cobertura, fragmentación y el gradiente espacial, vertical y temporal en el mundo tenemos los realizados por O'Neill *et al.* (1988), en diversas áreas del este de Estados Unidos, Simpson *et al.* (1994), en Ohio central, Estados Unidos; Frohn (1998), en las selvas tropicales de Rondonia y Ouro Preto Brasil, en los bosques de Washington D.C. y La Sierra Nevada en Estados Unidos; Coppedge *et al.* (2001), que muestra la dinámica de los tipos de cobertura en pastizales de Oklahoma usando fotografía aérea de diversos años; Gkaraveliet *et al.* (2001), en los bosques de Snowdonia Nacional Park en North Wales Inglaterra; Luck y Wu (2002), en el área metropolitana de Phoenix Arizona en Estados Unidos, observando los patrones de la fragmentación urbana; Stanfield *et al.* (2002), en Oregón Estados Unidos, analizando los patrones de la estructura del paisaje en áreas de propietarios particulares, o los de Freeman *et al.* (2003), en las praderas de depósitos en el río Wisconsin en Estados Unidos; Ivars y Vega-García (2008), en la ordenación de rodales forestales en Cerdeña, España, para el manejo y planificación territorial; o los trabajos de Botequilha y Ahern (2002), Botequilha *et al.* (2006), Dibari (2007), Aguilera (2010), que estudian los patrones de ocupación humana en diversas partes del mundo. En cuanto a trabajos sobre cambios de cobertura y/o fragmentación en México tenemos los realizados por Cortina *et al.* (1999), en los estados de Campeche y Quintana Roo, Mas (2000), en la Laguna de Términos en Campeche; Bocco *et al.* (2001) y Ramírez (2001) en Michoacán; Salazar *et al.* (2004) en la Sierra Madrigal en Tabasco; García *et al.* (2005) en Chetumal Quintana Roo, Franco *et al.* (2006) en el Nevado de Toluca; Reyes *et al.* (2005) en San Luis Potosí, Rosete *et al.* (2008), en la península de Baja California; López y Plata (2009) en la zona metropolitana de la Ciudad de México; Pineda *et al.* (2009) en el estado de México, Mas y Flamenco (2011), modelando los cambios en el uso del suelo en la reserva de la Biosfera Selva El Ocote en Chiapas; Moreno *et al.* (2012) midiendo la fragmentación de los ecosistemas en la Cuenca de Burgos en el noreste de México, Zepeda *et al.* (2012) en las Ciénegas de Lerma en el valle de Toluca, los cuales concluyen (tanto los estudios nacionales como internacionales) que los hábitats naturales se encuentran en regresión en las áreas

estudiadas, disminuyendo los tamaños de los fragmentos y el número de estos en muchos casos. Frohn (1998) menciona además que los cambios no solo se dan temporalmente si no en gradientes espaciales y verticales, esto es que afecta tanto en su estructura espacial (colindancias, dirección, vecindad) como en su distribución con relación a la altura con respecto al nivel del mar. Vila *et al.* (2006) concluyen que los métodos cuantitativos en ecología del paisaje, informan sobre las características morfológicas del paisaje y aportan información clave sobre las condiciones y procesos ecológicos. Kent (2007), Gurrutxaga y Lozano (2008), Guevara (2009), Moreno (2010) y Moreno *et al.* (2012 y 2013), mencionan que el estudio de los patrones espaciales, la fragmentación y los cambios en la estructura y composición del paisaje son una herramienta adecuada como para comprender la dinámica de la zona de estudio y en el apoyo a la toma de decisiones de manejo de la tierra y la planificación territorial.

Bogert *et al.* (2004) menciona que mediante un procedimiento de árbol de decisión, el que compara el número de fragmentos de cubierta terrestre presentes dentro de cada clase entre los dos períodos de tiempo con los cambios en las áreas y perímetros, se puede establecer una serie de 10 procesos de transformación del paisaje los cuales son deformación, cambio, perforación, encogimiento, aumento, desgaste, agregación, creación, disección, y fragmentación, de los cuales deformación, perforación, desgaste, disección, y fragmentación envuelven una degradación de las cubiertas del paisaje.

Antonio-Némiga *et al.* (2008), mencionan que para la subcuenca del Río Pílon, comunidades más afectadas por la fragmentación en su forma y tamaño son el bosque de oyamel, bosque de encino, huizachal, matorral submontano, bosque de pino, y que existe un proceso marcado, aunque no generalizado, de fragmentación forestal en la subcuenca. Señalan que la media al vecino más cercano (MNN) para el bosque de oyamel fue para el año 1974 de 183.1 m., mientras que para el 2000 se obtuvo 228.6 m.; para el bosque de pino la MNN para 1974 fue de 155.9 y para 2000 de 143.6; el bosque mixto para el año 1974 obtuvo 168.0 m y para 2000 de 204.4 m., por último señalan que para el matorral desértico rosetófilo el MNN para 1974 fue de 202.6 m. y para 2000 de 382.6 m.

Guevara (2009) realiza un análisis de fragmentación en el anticlinorio de Arteaga (Coahuila y Nuevo León), en parte de la Sierra Madre Oriental, mencionando que la

densidad de borde del paisaje fue de 142.39 m/ha., mientras que el tamaño medio del fragmento fue de 0.91 ha. con una desviación estándar de 28.95 ha. El índice de forma media es de 1.32 y el índice de yuxtaposición de 70.49%. El índice de diversidad de Shannon fue de 1.91 con una equitatividad de 0.80. A nivel de clase reporta que el tamaño medio del fragmento para el bosque de pino fue de 1.28 ha. con una densidad de borde (ED) de 34.66 m/ha., mientras que para el bosque de encino fue de 0.30 ha. y una ED 11.76 m/ha., para el bosque mixto de 0.13 ha. y una ED de 0.52 m/ha., para el bosque de pino-oyamel fue de 0.41 ha. con ED de 3.37 m/ha. y para el matorral rosetófilo de 0.29 ha con ED de 7.95. El índice de forma media (MSI) para el bosque de pino es de 1.32 y el índice de yuxtaposición (IJI) de 66.50%, para el bosque de encino el MSI fue de 1.26 con un IJI de 74.08%; el MSI del bosque mixto fue de 1.15 con un IJI de 31.35%; el bosque de pino-oyamel obtuvo un MSI de 1.18 con un IJI de 26.13% y el matorral rosetófilo un MSI de 1.23 con un IJI de 48.30%.

## MATERIALES Y MÉTODO

### 5.1. Localización geográfica y extensión del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada geográficamente dentro los 23° 52' 12" y 23° 40' 12" de Latitud Norte y 99° 57' 00" a los 99° 39' 36" de Longitud Oeste, ocupando aproximadamente 209.57 Km<sup>2</sup> de sierras y cañadas, dentro del municipio de General Zaragoza, N.L., a veinticinco kilómetros al sur de Zaragoza (CETENAL 1979, 1980). Únicamente se trabajó sobre la parte de Nuevo León, del polígono proporcionado por el Consejo Nacional para la Biodiversidad (CONABIO), identificado como Región Prioritaria para la Conservación (RTP-86). Comprende desde los 2200 a los 3540 msnm.

La altitud máxima es representada por el Picacho San Onofre. Limita al sur por el límite del estado con Tamaulipas (Figura 7, Figura 8 y Figura 9).



Figura 7 Sierra San Antonio Peña Nevada, Zaragoza Nuevo León

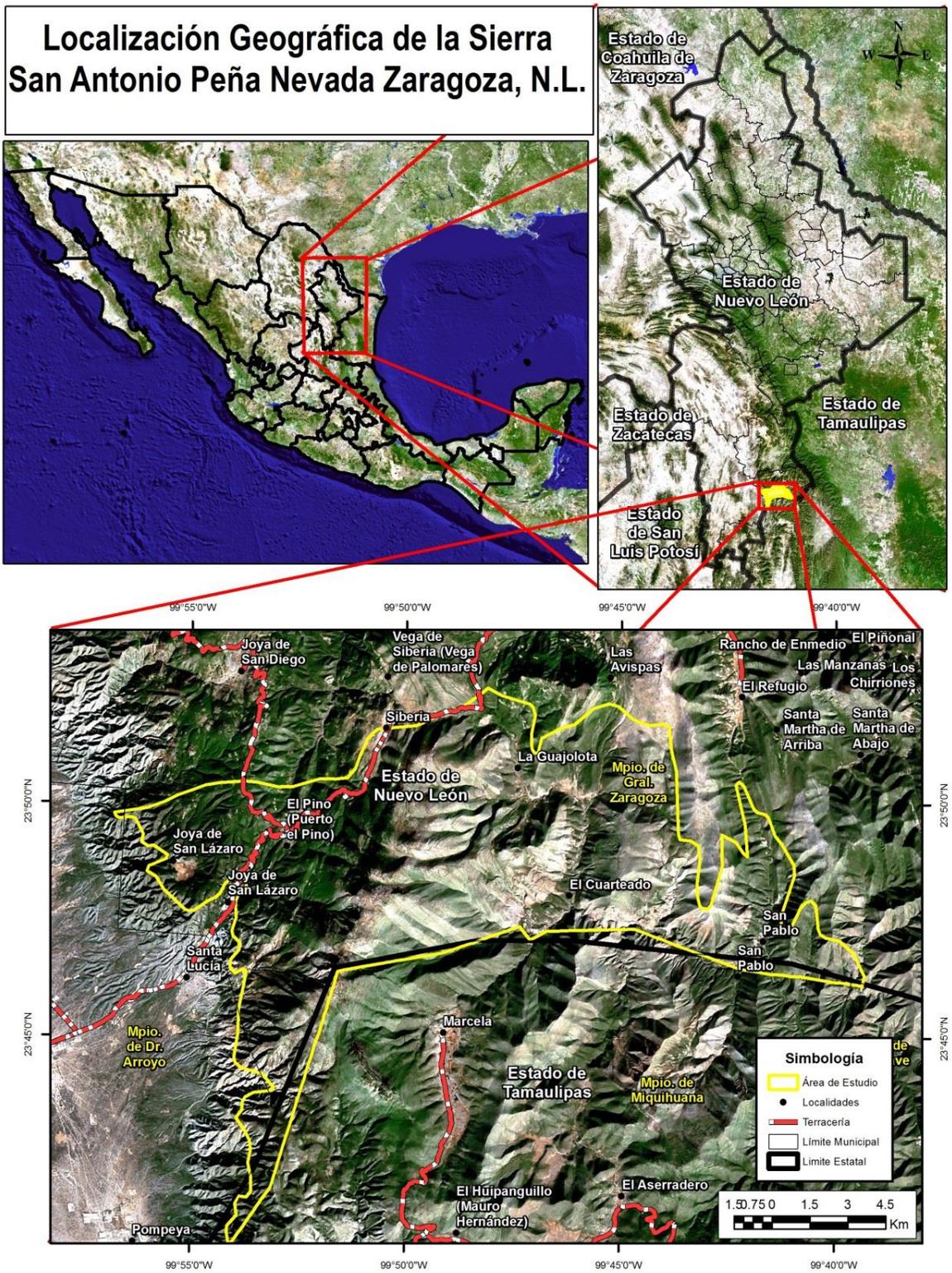


Figura 8 Localización del área de estudio.

El área de influencia de San Antonio Peña Nevada incluye 4 localidades, cuya información socioeconómica se describe a continuación:

De la información socioeconómica disponible, solo tres poblados registran más de 100 habitantes y presentan las siguientes características:

La Encantada cuenta con 222 habitantes y un promedio 5.53 ocupantes por vivienda, con una proporción aproximada del 51.8% de población masculina y el 48.2% de población femenina, de ésta población el 19.4% se encuentra entre los 6 y 14 años y sabe leer y escribir; el 50.9% se encuentra en el rango de 15 años y más y es alfabeta, y el 15.7% cuenta con primaria completa, y sólo el 12.1% tiene instrucción pos-primaria.

De la población total de la localidad el 27.9% es económicamente activa, de la cual 96.8% se encuentra ocupada; de ésta última el 42.8% está en el sector primario, el 35.5% en el secundario, y un 11.3% en el terciario; con respecto a la población económicamente inactiva ésta corresponde al 31.9%.

Referente a las vivienda en ésta localidad se reportan 38 viviendas reportadas, de las cuales 92.1% tiene energía eléctrica y el 89.4% agua entubada, y sólo el 15.78% cuenta con drenaje sanitario. Los materiales en las paredes y techos de la mayoría de las viviendas es diferente a láminas de asbesto, cartón o metálica; y el piso en el 15.8% es diferente a la tierra.

La localidad de Joya de San Diego cuenta con 239 habitantes y, se registra una proporción aproximada de 41.1% de población femenina y el 58.9% de masculina, por otra parte de menciona que el 23.4% se encuentra entre los 6 y 14 años y sabe leer y escribir; el 47.7% de la población con 15 años y más es alfabeta, y el 8.8% tiene primaria completa, mientras que sólo un 4.1% tiene instrucción pos-primaria.

El 31.0% es población económicamente activa, la cual está ocupada en su totalidad; de ésta el 96.0% se encuentra en el sector primario, y un 2.75% en el terciario; la población económicamente inactiva es el 30.1% de los habitantes.

De la totalidad de las 51 viviendas reportadas, el 86.3% tienen el servicio de energía eléctrica, careciendo de agua entubada y drenaje sanitario, la relación de viviendas habitadas y número de ocupantes da un promedio de 5.78 ocupantes por vivienda.

En la localidad de Siberia existen 237 habitantes, con un promedio de 4.64 ocupantes por vivienda, con una proporción de 47.7% de mujeres y el 52.3% representado por hombres, los habitantes que se encuentran entre los 6 y 14 años que saben leer y escribir son el 19.4% de la totalidad, el 46.8% se tienen 15 años y más y son alfabetas, mientras que sólo el 20.25% de la población tienen primaria completa y el 7.6% instrucción pos-primaria.

El 32.5% de la población es económicamente activa, la cual está ocupada en su totalidad; de ésta el 92.2 % labora en el sector primario, y un 6.5% en el terciario; la población económicamente inactiva es el 28.7% de los habitantes.

Con respecto a las viviendas de las 50 que se reportan, el 96.0% cuenta con energía eléctrica, y carecen de agua entubada y drenaje sanitario. La totalidad de las viviendas de la localidad tienen materiales en sus paredes y techos diferentes a láminas de asbesto, cartón o metálicas.

#### Poblados con menos de 100 habitantes

Las Avispas es una localidad que cuenta con 84 habitantes y una proporción del 48.8% de población femenina y un 51.1% de población masculina; referente a la educación, un 41.6% está en los 15 años y más que es alfabeto, y un 6.0% con instrucción pos-primaria.

De las 15 viviendas reportadas, todas carecen de energía eléctrica, y el 86.7% tienen agua entubada y sólo el 6.7% cuenta con drenaje sanitario, la relación de viviendas habitadas y número de ocupantes da un promedio de 4.7 ocupantes por vivienda.

Referente a las localidades conocidas como Santa Rosa y Joya de San Lázaro, se reportan con dos y una vivienda respectivamente, y se carece información respecto a sus pobladores.

## 5.2. Fisiografía

Fisiográficamente la zona de estudio se localiza en la Provincia Sierra Madre oriental (V), subprovincia de la Gran Sierra Plegada (28), donde domina la morfología de estratos plegados, y el sistema de topografía denominado Sierra Compleja (100-0/07) (INEGI, 1986). Las pendientes son muy variadas desde zonas planas 0 – 5° hasta laderas muy

pronunciadas mayores a  $45^\circ$ . La complejidad de los pliegues originados por la orogenia crea una gran variedad de exposiciones, las cuales reciben diferentes intensidades de iluminación solar durante el día y época del año.

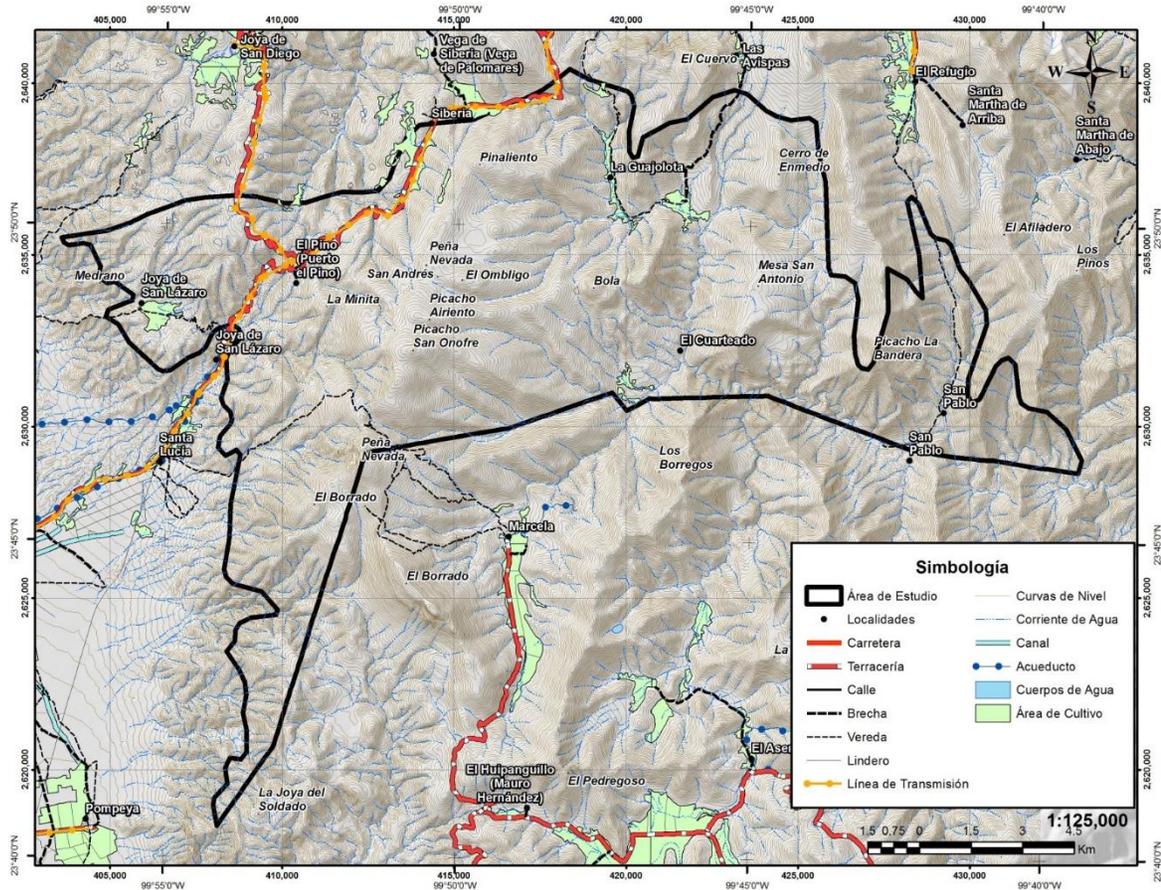


Figura 9 Mapa topográfico del área de estudio.

La Gran Sierra Plegada se inicia al este de Saltillo, Coahuila, se flexiona al sur de Monterrey y se prolonga hacia el sur hasta la altura de Ciudad Valles, San Luís Potosí, abarcando hasta el estado de Tamaulipas. En esta área dominan las capas plegadas de calizas, con prominentes ejes estructurales de anticlinales y sinclinales.

La región flexionada que se encuentra al este de Saltillo y al sur de Monterrey se conoce como Anticlinorio de Arteaga. Una gran falla inversa corre sobre los bordes orientales de la sierra y otras de menor tamaño se extienden más o menos paralelas a aquellas y a los ejes estructurales. Existen afloramientos yesíferos paralelos en el mismo sentido, particularmente del lado occidental de la sierra, y fosforitas. Hacia los bordes

occidentales se presentan algunas fallas normales importantes. Las cumbres generales de la sierra sobrepasan el margen de los 2000 msnm. y llegan a más de 3500 msnm. en la sierra del Potosí y en una cumbre al norte de Miquihuana, Tamaulipas. El área cubierta dentro de Nuevo León incluye los municipios de General Zaragoza, Iturbide, Rayones, Santa Catarina, y Santiago; partes de Allende, Aramberri, Galeana, García, Guadalupe, Juárez, Linares, Montemorelos y Monterrey; cubriendo una superficie total de 8,808.45 Km<sup>2</sup>. En el municipio de Gral. Zaragoza se localiza el cerro de San Antonio Peña Nevada, que es la segunda cumbre más alta de Nuevo León después del Cerro El Potosí (3710 msnm); siendo el cerro el picacho San Onofre, con 3,540 el pico más alto de la sierra (Figura 10).

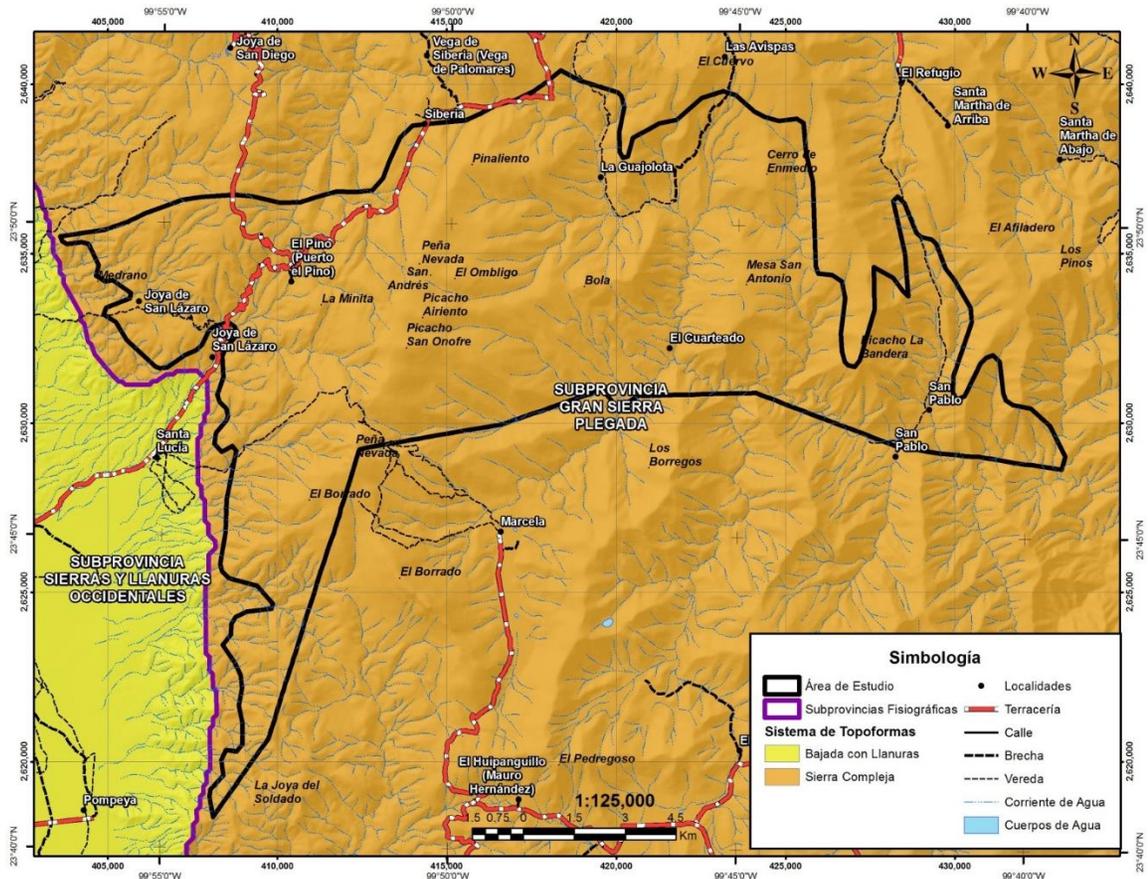


Figura 10 Mapa Fisiográfico del área de estudio.

### 5.3. Geología

La morfología de la Sierra Madre Oriental es el resultado de intensos plegamientos acompañados de fallamientos y fenómenos de erosión, está constituida por rocas calcáreas de origen marino, que afloran en la mayor parte de la zona de estudio cuyos principales tipos de roca son (INEGI, 1986) Tabla 3:

Tabla 3 Geología del área de estudio.

Litología	Cronoestratigrafía
Caliza	Cretácico superior (Ki)
Caliza - lutita	Jurásico inferior (Js)
Lutita - arenisca	Jurásico (Js)
Lutita	Cretácico(Ks)
Brecha sedimentaria	Terciario superior (Ts)
Conglomerado	Cuaternario (Q)
Yeso	Jurásico (Js)

Fuente:  
INEGI. 1986. Carta Geológica F14A-2 Cd. Victoria. Escala 1:250 000.

La roca dominante es la Caliza, ocupando el 88.76 % del área de estudio, esto es 18,602 ha., seguida muy de lejos por la Lutita con tan solo 6.74% del área total y con solo 1,413 ha. (Tabla 4). La roca Caliza se encuentra en toda la sierra, con excepción del piedemonte del Cerro Bola, al centro de la zona de estudio, en el cual dominan las lutitas y conglomerados. En los valles cercanos a Joya de San Lázaro, además de la depresión de Joya de San Lázaro y en el Valle de Santa Rosa se encuentran depósitos aluviales, al igual que pequeñas áreas de areniscas y conglomerado. Se observan depósitos de yesos en la vertiente oriental de Joyas de San Lázaro y en la vertiente occidental de la Sierra San Antonio Peña Nevada. Existe un estrato de Caliza-Lutita en la parte media de la Sierra San Antonio Peña Nevada, en su vertiente occidental, cruzando de suroeste a noreste (Figura 11).

Tabla 4 Litología del área de estudio.

Litología	Área (m <sup>2</sup> )	Hectáreas
Aluvial	2'021,705.8360	202.170584
Arenisca-Conglomerado	898,517.5300	89.851753
Caliza	186'017,591.1950	18,601.7591
Caliza-Lutita	2'433,120.3370	243.312034
Conglomerado	3'364,843.4620	336.484346
Lutita	14'128,095.7470	1,412.80957
Yeso	709,294.3430	70.9294343

Fuente:

CETENAL. 1977. Carta Geológica F14A17 Zaragoza. Escala 1:50 000.

CETENAL. 1977. Carta Geológica F14A18 Casas Reales. Escala 1:50 000.

CETENAL. 1975. Carta Geológica F14A27 Miquihuana. Escala 1:50 000.

Las áreas mostradas corresponden solo a las áreas dentro del polígono del área de estudio.

Estas son producto de análisis SIG.

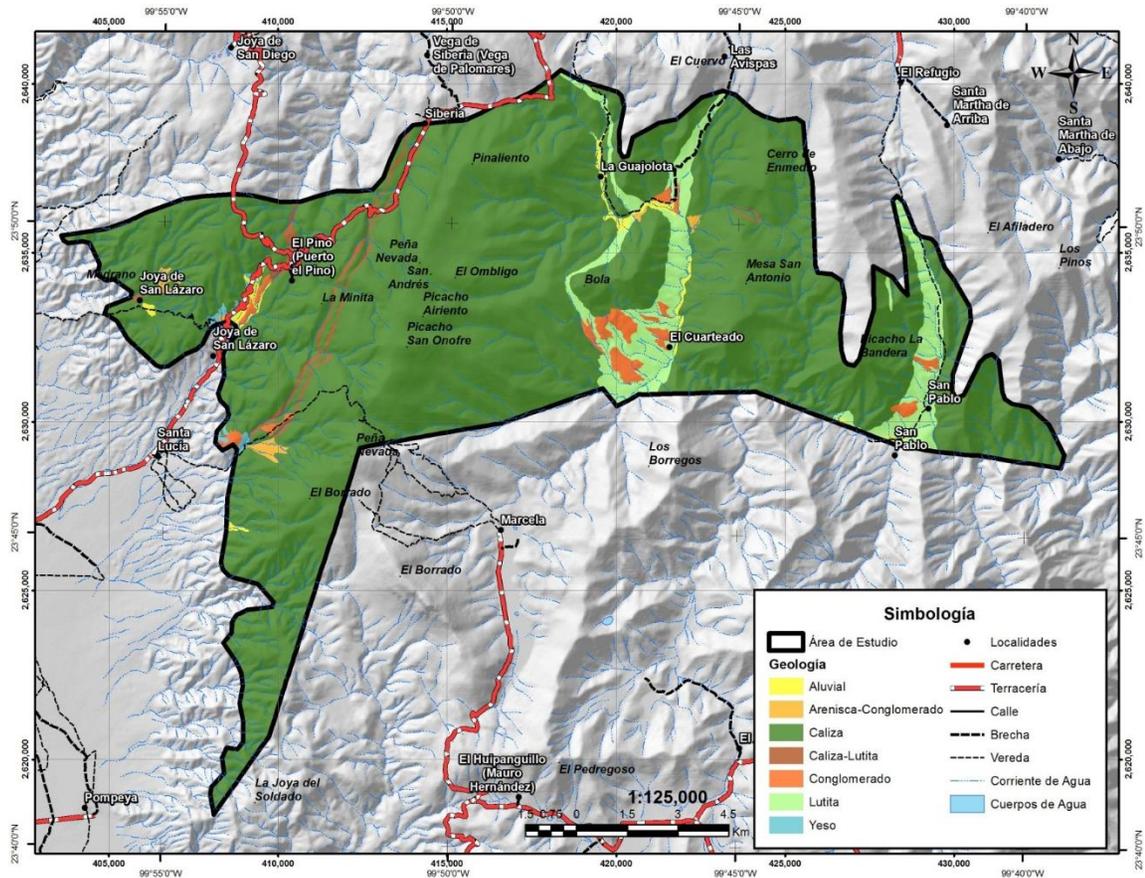


Figura 11 Geología de la Sierra San Antonio Peña Nevada.

A continuación se describen las características de las rocas encontradas en la zona de estudio:

### 5.3.1. Rocas sedimentarias de origen mecánico

Este grupo de sedimentos se encuentra formado por la acción de los fenómenos de erosión sobre las rocas preexistentes y se encuentra dividido de acuerdo al tamaño de las partículas compuestas, de guijarros, arenas, arcillas y limos. Estos grupos se dividen en grados, los cuales describen con mayor precisión una variedad de tamaños de partícula. Generalmente estos sedimentos contienen partículas de varios grados diferentes dando lugar diferentes tipos de rocas.

#### 5.3.1.1. Conglomerado

Unidad clástica de origen continental construido por clastos de caliza, pedernal, arenisca y rocas volcánicas, con grado de redondez de subanguloso y subredondeado fuertemente comentadas, donde los clastos tienen dimensiones de entre 5 y 40 cm. Esta unidad sobreyase en forma discordante a rocas Cretácicas. Su morfología se presenta desde cerros, lomas alargadas ligeramente alargadas hasta remanentes aislados o bien rellenando los valles intermontanos.

#### 5.3.1.2. Areniscas

Esta unidad corresponde a un sedimento arenoso que después de una compactación natural continua se convierte en una roca relativamente dura. Estas rocas presentan una textura que de acuerdo al tamaño de sus granos que pueden ir desde areniscas de grano muy fino (0.006 mm) hasta areniscas de grano muy grueso (2 mm). Los diferentes tipos pueden nombrarse de acuerdo al material que no sea precisamente cuarzo, pudiendo encontrar areniscas silicosas, areniscas calcáreas, areniscas ferruginosas, etc.

#### 5.3.1.3. Lutita

Esta roca corresponde a sedimentos lodosos compuestos de pequeños minerales de arcilla del orden de 0.002 mm de diámetro a menos, se encuentra compactada y posee una estructura laminada excelente en virtud de la cual son físciles y se rompen fácilmente en fragmentos de lados paralelos, siendo esta laminación paralela a los planos de estratificación. Químicamente la lutita está caracterizada por un alto contenido de

aluminio y también, por lo general, es rica en potasio. Esta roca la encontramos formando unidades puras o en asociación con Calizas o Areniscas dentro del área de estudio.

### 5.3.2. Rocas Sedimentarias de origen químico y bioquímico

Tipos de sedimentos que son originados por organismos que secretan cal, carbonato de calcio o sílice. Otras rocas por procesos de evaporación o transformación gradual de materia orgánica dando lugar a la formación de diferentes tipos de rocas.

#### 5.3.2.1. Caliza

Este tipo de roca se forma al precipitarse las sales de carbonato y consolidarse o sea por precipitación química y en la mayoría de las cuales se forma por la acumulación de esqueletos o de conchas calcáreas. Las calizas se pueden distinguir de acuerdo a su ambiente de depósito, al tamaño de grano, al contenido fosilífero, según su textura y por la presencia de material terrígeno.

#### 5.3.2.2. Yeso

Es un mineral frecuente en las rocas sedimentarias y uno de los principales componentes de las evaporitas. Presenta un aspecto desde masas, sacaroide, cristalizado, en láminas o de aspecto fibroso. Su dureza es baja y corresponde a un sulfato hidratado y es utilizado en la industria de la construcción.

### 5.3.3. Suelos de acuerdo a su origen

Estos materiales son formados en la superficie de manera in situ y han sido el resultado de la alteración de las rocas por agentes erosivos tales como: el viento y el agua.

#### 5.3.4. Suelos aluviales

Consiste en material fino como limo y arcilla y material grueso como arena y grava los cuales han sido transportados por el agua y que son depositados en la planicie de inundación. Este suelo por lo general es muy poroso y compresible, sobre todo si es rico en arcilla, y permeable si está compuesto principalmente de limo, arena o grava.

## 5.4. Edafología

Edafológicamente el área de estudio es representado en su mayoría por Litosoles, esto en toda la sierra y áreas de mayor pendiente se asocian a Rendzinas y Regosol calcárico de clase textural media. En las partes bajas encontramos suelos representados por Feozem calcárico asociado a Rendzina de textura media con fase física gravosa (zonas de abanicos aluviales). También en regiones bajas de los cañones y laderas bajas encontramos Litosoles asociados a Luvisol cálcico y Castañozem cálcico de clase textural media en algunas ocasiones con fase física petrocálcica. Otro tipo de suelo distribuido en la zona es el Xerosol háplico Tabla 5 y Tabla 6.

Tabla 5 Tipos de suelo dominantes en el área de estudio.

Tipo de suelo dominante	Área (m <sup>2</sup> )	Hectáreas
Feozem	9'689,786.6470	968.9787
Litosol	178'763,655.6120	17,876.3656
Luvisol	4'510,644.1250	451.0644
Rendzina	16'503,869.6140	1,650.3870
Xerosol	105,212.4580	10.5212

Fuente:

CETENAL. 1978. Carta Edafológica F14A17 Zaragoza. Escala 1:50 000.

CETENAL. 1978. Carta Edafológica F14A18 Casas Reales. Escala 1:50 000.

CETENAL. 1975. Carta Edafológica F14A27 Miquihuana. Escala 1:50 000.

Las áreas mostradas corresponden solo a las áreas dentro del polígono del área de estudio.

Estas Son producto de análisis SIG.

### 5.4.1. Tipos de Suelo

A continuación se mencionan las características de los principales suelos presentes en el área de estudio:

#### 5.4.1.1. Feozem

El tipo de suelo denominado Feozem tiene su localización en varias condiciones climáticas, pero en el estado solo se encuentran en zonas semiáridas, así como en diversos tipos de terrenos, desde planos a muy montañosos. Son capaces de presentar casi cualquier tipo de vegetación.

Tabla 6 Edafología del área de estudio.

Suelos	Área (m <sup>2</sup> )	Hectáreas
Litosol con rendzina y con textura media	151'152,710.5040	15,115.2711
Litosol con regosol calcárico y con textura fina	14'357,752.4210	1,435.7752
Rendzina con textura media y fase física lítica	9'942,058.2940	994.2058
Litosol con textura media	6'675,155.4060	667.5155
Litosol con luvisol crómico y rendzina con textura fina	4'338,897.1830	433.8897
Feozem lúvico con textura media	2'838,854.9580	283.8855
Feozem calcárico con textura media y fase física gravosa	2'555,515.3340	255.5515
Feozem calcárico con rendzina y con textura media y fase física gravosa	2'413,326.1700	241.3326
Luvisol crómico con textura fina y fase física lítica profunda	1'950,810.8890	195.0811
Rendzina con textura media y fase física petrocálcica	1'927,697.2490	192.7697
Luvisol crómico con feozem lúvico y con textura fina	1'787,936.2630	178.7936
Rendzina con litosol y con textura media	1'459,164.5780	145.9165
Feozem lúvico con textura media y fase física gravosa	1'053,752.9600	105.3753
Rendzina con litosol y con textura media y fase física petrocálcica	992,502.9400	99.2503
Rendzina con litosol y con textura fina y fase física lítica	964,051.5660	96.4052
Rendzina con feozem calcárico y con textura media y fase física lítica	891,170.9260	89.1171
Luvisol crómico con textura fina	739,646.2750	73.9646
Litosol con regosol éutrico y con textura media	690,386.2950	69.0386
Feozem calcárico textura media	649,462.7580	64.9463
Litosol con feozem háplico y con textura media	643,315.0470	64.3315
Litosol con rendzina y con textura media y fase física petrocálcica	642,595.4390	64.2595
Rendzina con feozem calcárico y con textura media y fase física petrocálcica	327,224.0610	32.7224
Litosol con luvisol crómico y con textura fina	156,043.6930	15.6044
Feozem lúvico con textura fina	141,572.6730	14.1573
Litosol con rendzina y luvisol crómico con textura media y fase física	106,799.6240	10.6800
Xerosol háplico con rendzina y con textura media y fase física petrocálcica	105,212.4580	10.5212
Feozem lúvico con litosol y con textura fina y fase física lítica profunda	37,301.7940	3.7302
Luvisol crómico con textura fina y fase física lítica	32,250.6980	3.2251

Fuente:

CETENAL. 1978. Carta Edafológica F14A17 Zaragoza. Escala 1:50 000.

CETENAL. 1978. Carta Edafológica F14A18 Casas Reales. Escala 1:50 000.

CETENAL. 1975. Carta Edafológica F14A27 Miquihuana. Escala 1:50 000.

Las áreas mostradas corresponden solo a las áreas dentro del polígono del área de estudio. Estas Son producto de análisis SIG.

La característica distintiva de este suelo es una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes y no presentan capas ricas en cal, que es lo que lo hace

diferente de los Chernozem y Castañozem. Son suelos muy abundantes en nuestro país y se utilizan en función de factores climáticos, relieve y algunas condiciones del suelo.

Los Feozem profundos y localizados en terrenos planos se utilizan en agricultura de riego y temporal, con altos rendimientos. Los menos profundos situados en laderas y pendientes tienen rendimientos bajos y son muy susceptibles a erosionarse. Sin embargo pueden utilizarse para el pastoreo o la ganadería con resultados aceptables. Su símbolo es (H) y se localizan dos subunidades de Feozem en el área de estudio:

Feozem calcáreo: se distingue por tener cal en todos sus horizontes. Cuando son profundos y planos son los más fértiles y productivos, ya sea en agricultura o ganadería. La susceptibilidad a la erosión varía en función del tipo de terreno. Su símbolo (Hc).

Feozem lúvico: presenta en el subsuelo una capa de acumulación de arcilla. Algunos de estos suelos pueden ser algo más estériles y ácidos que la mayoría de los Feozem. Se presentan muchas veces con vegetación de bosque o selva. Pueden ser agrícolas o forestales, en función de su profundidad, el relieve del terreno, etc. Son de moderada a alta susceptibilidad a la erosión. Su símbolo (Hl).

#### 5.4.1.2. Litosol

Este tipo de suelo se localiza en todos los climas con diversos tipos de vegetación. Tienen en promedio menos de 10 cm de profundidad hasta la roca. Están presentes en todas las Sierras y Cerros, en proporciones variables en laderas, y barrancas, así como en lomeríos o algunos terrenos planos.

Sus características varían mucho dependiendo del material que lo forma. Los podemos encontrar asociados a Rendzinas – un poco más profundos y oscuros- o bien a suelos claros, profundos y de textura media – Regosoles calcáricos.

Pueden ser fértiles o estériles, arenosos o arcillosos. Su susceptibilidad a la erosión depende de la zona en donde se localice (topografía y del mismo suelo), y puede ser desde moderada hasta muy alta.

Su uso depende de la vegetación que lo cubre. En bosques es forestal, cuando presentan matorrales o pastizales se puede llevar a cabo algún pastoreo más o menos limitado, y en algunos casos se usan con rendimientos variables para la agricultura. Este

uso está condicionado a la presencia de suficiente agua y se ve limitado por el peligro de la erosión que siempre existe. No tiene subunidades, y su símbolo es (I).

#### 5.4.1.3. Luvisol

Se localizan en zonas templadas, aunque en ocasiones se pueden encontrar en climas algo más secos. Su vegetación es de bosque. Tienen un enriquecimiento de arcilla en el subsuelo, pero son más fértiles y menos ácidos que estos. Son frecuentemente rojos o claros, aunque también presentan tonos pardos o grises que no llegan a ser muy oscuros.

Son utilizados en la agricultura con rendimientos moderados. Con pastizales inducidos pueden dar muy buenos rendimientos en la ganadería y en lo forestal dan rendimientos sobresalientes.

Son suelos altamente susceptibles a la erosión y en nuestro país muchos Luvisoles se hallan erosionados debido al uso agrícola y pecuario que se ha hecho en ellos sin tomar las debidas precauciones para evitar este fenómeno. Su símbolo es (L). En el área de estudio se encuentra una subunidades de Luvisol: Luvisol crómico: presentan colores rojos o amarillentos en el subsuelo, de fertilidad moderada. Su símbolo es (Lc).

#### 5.4.1.4. Rendzina

El siguiente tipo de suelo como unidad fundamental son las Rendzinas. Estos llevan un nombre polaco que se da a los suelos poco profundos y pegajosos que se presentan sobre las rocas calizas. Estos suelos se presentan en climas templados con lluvias moderadas; su vegetación natural es de matorral o bosque.

Se caracterizan por presentar una capa superficial abundante en humus y muy fértil que subyace sobre roca caliza. Cuando se encuentran en llanos o lomas suaves se utilizan para sembrar con buenos rendimientos; y maíz, con rendimientos bajos. No son muy profundos y generalmente son arcillosos.

Si se desmontan se pueden utilizar en la ganadería con rendimientos de bajos o moderados, pero con gran susceptibilidad a la erosión en las laderas y lomas con cierta pendiente. El uso forestal de estos suelos depende de la vegetación que presentan. Su

disponibilidad a la erosión en forma general, es moderada; no tienen subunidades. Su símbolo es (E).

#### 5.4.1.5. Xerosol

El Xerosol se distribuye en las zonas áridas y semiáridas del centro y norte del municipio, su vegetación natural son los matorrales y pastizales.

Tienen una capa superficial de color clara y muy pobre en humus; debajo de ellas puede haber un subsuelo rico en arcillas, o muy semejante a la capa superficial; a cierta profundidad muchas veces presentan manchas, polvo, o aglomeraciones de cal y cristales de yeso o caliche, de mayor o menor dureza; a veces son salinos. Su utilización agrícola está restringida, en muchas ocasiones al riego. La agricultura de temporal en estos suelos es insegura y de bajos rendimientos, a diferencia de la de riego que es de alto rendimiento debido a su alta fertilidad, esto en la región suroeste de la entidad.

El uso pecuario adquiere importancia en ellos, en donde se cría ganado bovino y caprino con rendimiento en función de la vegetación; se llevan también a cabo la explotación de matorrales, cuando existe vegetación forestal de recolección como la lechuguilla o la candelilla.

Son suelos con baja susceptibilidad a la erosión excepto cuando se localizan en pendientes o sobre caliche o tepetate. Su símbolo es (X). En el área de estudio se encuentra un subtipo de Xerosol: Xerosol háplico y su símbolo es (Xh).

#### 5.4.1.6. Regosol

Son suelos que se pueden localizar en muy distintos climas y con diversos tipos de vegetación. Se caracterizan por no presentar capas distintas. En general son claros y se parecen bastante a la roca que los subyace, cuando no son profundos. Se encuentran en mayor o menor grado en las laderas, muchas veces acompañados de litosoles y de afloramiento de roca o tepetate.

Frecuentemente son someros, de fertilidad variable y con uso agrícola condicionado a su profundidad y al hecho de que no presentan pedregosidad en sus diferentes estratos.

En las sierras son utilizados frecuentemente para un uso pecuario y forestal, con resultados variables, en función con la vegetación que exista en el lugar.

Son de susceptibilidad variable a la erosión, su símbolo es (R). En el área de estudio se localizan una subunidad: Regosol calcárico: ricos en cal, son los más fértiles de los regosoles. Su símbolo es (Rc).

#### 5.4.2. Clase textural

Otra característica edáfica es la clase textural, y se refiere a las partículas de diferentes tamaños, contenidas en los 30 cm superficiales del suelo y que en las cartas edafológicas editadas por INEGI aparecen marcadas con los números 1, 2 ó 3.

El número 1 representa a suelos de textura gruesa que en la superficie son arenosos, lo que puede ser causa de poca retención de agua o nutrientes en los mismos.

El número 2 se refiere a suelos con textura media semejante a los limos de los ríos, y es la textura con menos problemas de drenaje, erosión y fertilidad.

El número 3 representa a suelos arcillosos (de textura fina) que tienen mal drenaje, poca porosidad, son duros al secarse, se inundan y presentan problemas a la labranza. Para el caso de la zona de estudio, los suelos presentan en un 100% alguna clase textural, donde predomina la clase media con un alrededor del 94.51%; y en un menor porcentaje la fina (2.72%), y la gruesa con un 2.77% aproximadamente.

#### 5.4.3. Fases físicas

Las fases físicas del terreno señalan la presencia de fragmentos de roca y materiales cementados, los cuales impiden o limitan el uso agrícola del suelo o el empleo de maquinaria agrícola entre otros aspectos. Se pueden dividir en dos tipos: superficiales y de profundidad.

##### 5.4.3.1. Superficiales

Incluyen una fase en el área de estudio:

Fase gravosa. Presenta gravas (piedras menores de 7.5 cm de largo) en la superficie del terreno o cerca de ella.

### 5.4.3.2. De Profundidad

Tiene capas duras que se encuentran a cierta profundidad y limitan la capacidad del suelo para prácticas agrológicas, entre otras. Se dividen a su vez en someras, que son aquellas que se encuentran a menos de 50 cm de profundidad y profundas, que están entre .50 y 1m de profundidad.

Las fases físicas de profundidad, a su vez se dividen en:

Fase lítica (somera) y lítica profunda: Capa de roca dura y continua o un conjunto de trozos de roca muy abundantes que impiden la penetración de raíces.

Fase petrocálcica (somera) y petrocálcica profunda: Se refiere a la presencia de caliche duro, es una capa cementada y endurecida con carbonatos.

La distribución de los tipos de suelos de San Antonio Peña Nevada pueden observarse en la Figura 12.

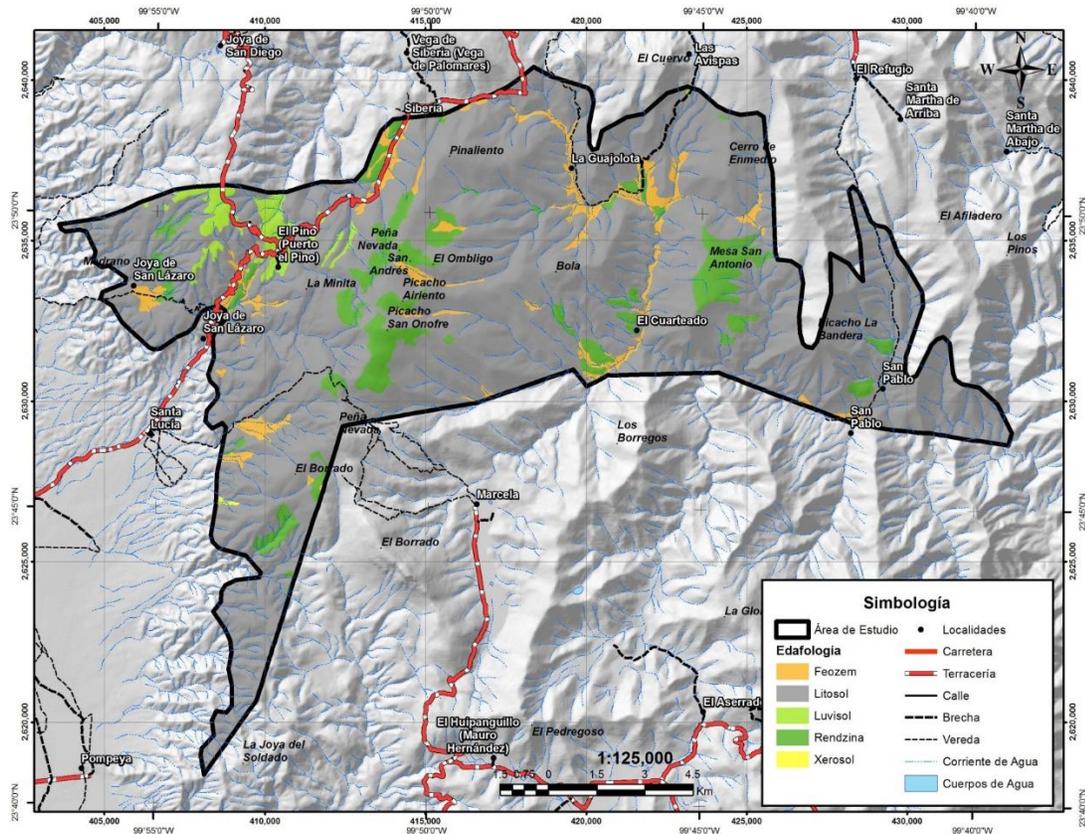


Figura 12 Edafología de la Sierra San Antonio Peña Nevada.

## 5.5. Climatología

La temperatura media anual oscila de 16° a 18° C (Templado), y la precipitación media anual desde 400 a 1000 mm, esto genera condiciones climáticas caracterizadas en los tipos de climas Subhúmedos (INEGI, 1986).

En la parte oeste de la zona de estudio predominan los climas Seco (BS<sub>0</sub>), Secos templados, con un porcentaje de precipitación invernal mayor de 18% y verano cálido; Seco (B), Semiseco templado, con un porcentaje de lluvia invernal mayor a 18%, con verano cálido y el clima Templados (C), Subhúmedo con lluvia escasas todo el año, con un porcentaje de lluvia invernal mayor al 18%. Presenta precipitaciones que van desde los 400 a los 600 mm totales anuales.

La parte central se caracteriza por poseer climas Semifrío (C(E)), Subhúmedo con lluvia en verano, con un porcentaje de lluvia invernal menor a 10.2; con una precipitación total anual de entre 800 y 1000 mm.

La zona este se observan climas Templados (C), Subhúmedos con lluvia en verano, con porcentaje de lluvia invernal de entre 5-10.2%, Semifrío C(E), Subhúmedo con lluvia en verano, y con porcentaje de lluvia invernal de entre 5-10.2%, Templados ((A)C), Semicálidos Subhúmedos con lluvia en verano, y con porcentaje de lluvia invernal de 10.2%,

La temperatura media anual oscila de 12° a 22°C, y la precipitación media anual desde 200 a 800 mm generando condiciones climáticas caracterizadas en los siguientes tipos de climas (INEGI, 1986).

El Clima dominante es el Templado subhúmedo con lluvias en verano (C(w2)) con 8,069.50 ha dentro de la zona de estudio, seguido del clima Semifrío subhúmedo con lluvias en verano (C(E)(w1)(x)), con 4,907.93 ha (Tabla 7 y Figura 13.).

Tabla 7 Climas presentes en el área de estudio.

Clave	Tipo	Grupo	Área (m <sup>2</sup> )	Hectáreas
C(w2)	Templados C, Subhúmedos con lluvia en verano, % lluvia (5-10.2)	Templado	80'695,007.690	8,069.50
C(E)(w1)(x')	Semifrío C(E), Subhúmedo con lluvia en verano, % lluvia > 10.2	Templado	49'079,310.052	4,907.93

Clave	Tipo	Grupo	Área (m <sup>2</sup> )	Hectáreas
Cx'	Templados C, Subhúmedos con lluvia escasas todo el año, % lluvia > 18	Templado	32'545,202.326	3,254.52
BS1kx'	Seco B, Semiseco templado, % lluvia > 18 verano cálido	Seco	19'621,474.244	1,962.15
C(w1)	Templados C, Subhúmedos con lluvia en verano, % lluvia (5-10.2)	Templado	18'378,963.058	1,837.90
BS0kx'	Seco BS0, Secos templados, % lluvia > 18 verano cálido	Seco	8'141,695.260	814.17
C(E)(w2)	Semifrío C(E), Subhúmedo con lluvia en verano, % lluvia (5-10.2)	Templado	1'066,794.397	106.68
(A)C(w0)	Templados (A)C, Semicálidos Subhúmedos con lluvia en verano, % lluvia (5-10.2)	Templado	44,721.423	4.47

Fuente: INEGI. 1986. Carta Climas México, Escala 1:1 000 000.

Las áreas mostradas corresponden solo a las áreas dentro del polígono del área de estudio. Estas Son producto de análisis SIG.

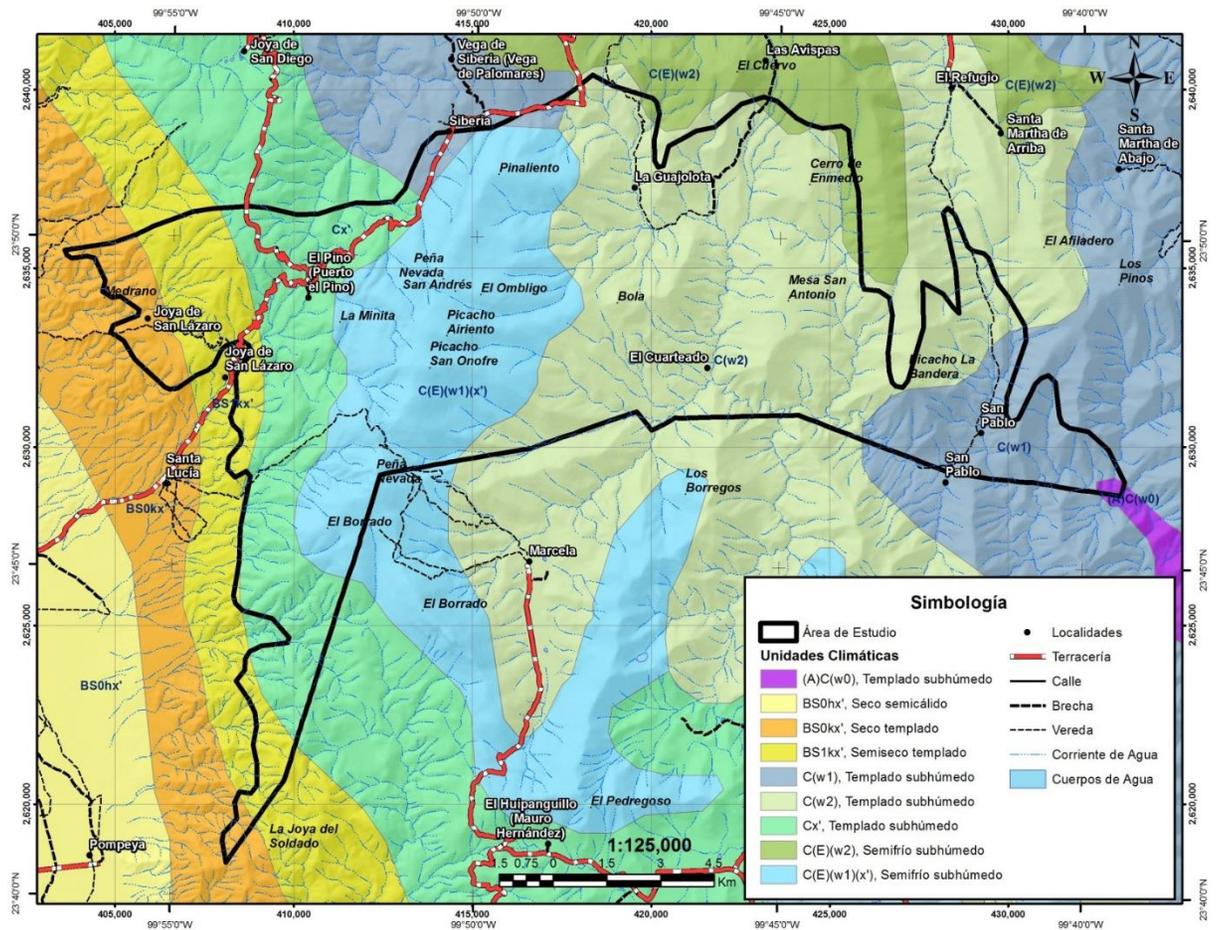


Figura 13 Mapa de climas del área de estudio.

## 5.6. Vegetación

El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1981, 1990) adapta de diferentes autores a su propio sistema de clasificación 55 tipos de vegetación, con 10 fisonomías para matorrales xerófilos, creando así una clasificación definida a partir de los aspectos ecológicos, fenológicos y florísticos.

Durante la década de los setenta la Secretaria de Programación y Presupuesto mediante la Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática (hoy INEGI) desarrolló trabajos cartográficos del uso del suelo y vegetación donde esta incluida la distribución de la vegetación, a escala 1: 50000 (cartas F14A17 Zaragoza, F14A18 Casas Reales y F14A27 Miquihuana), editadas en diversos años, señalan para el área de estudio los tipos de vegetación listados en la Tabla 8.

Tabla 8 Tipos de vegetación presentes en el área de estudio

Tipo de vegetación	Fisonomía
Matorral Desértico Rosetófilo	Crasi-rosulifolio espinoso
Matorral Desértico Micrófilo	Inerme Subinerme
Chaparral	
Pastizal Natural	
Pastizal Inducido	
Bosque de Oyamel	
Bosque de Pino	
Bosque de Encino	
Bosque de Pino-encino	
Bosque de Encino-pino	
Bosque de otros (cedro, enebro, etc.)	

Fuente:  
CETENAL. 1978. Carta Uso del Suelo y Vegetación F14A17 Zaragoza. Escala 1:50 000.  
CETENAL. 1977. Carta Uso del Suelo y Vegetación F14A18 Casas Reales. Escala 1:50 000.  
CETENAL. 1977. Carta Uso del Suelo y Vegetación F14A27 Miquihuana. Escala 1:50 000.  
Las áreas mostradas corresponden solo a las áreas dentro del polígono del área de estudio.  
Estas Son producto de análisis SIG.

## 5.7. Hidrología

### 5.7.1. Hidrología superficial

El área de San Antonio Peña Nevada se ubica en las regiones hidrológicas: RH25 San Fernando – Soto La Marina, en la cuenca Río Soto la Marina, esta ocupa el 4.02% de la superficie estatal. RH26 Pánuco en la cuenca del Río Tamesí, ocupando el 0.74 % de la superficie estatal y la RH37 El Salado en la cuenca Sierra Madre ocupando el 4.78% de la superficie estatal (Tabla 9).

Tabla 9 Hidrología Superficial del Estado de Nuevo León

Región	Cuenca	% de la superficie estatal
Bravo-Conchos	R. Bravo-Matamoros-Reynosa	1.72
	R. Bravo-San Juan	32.91
	R. Bravo-Sosa	5.76
	P. Falcón-R. Salado	20.63
	R. Bravo-Nuevo Laredo	2.64
San Fernando-Soto La Marina	R. Soto La Marina	4.02
	R. San Fernando	13.40
	La Tula	< 0.01
Pánuco	R. Tamesí	0.74
	Sierra Madre Oriental	12.58
El Salado	Matehuala	0.38
	P. San José-Los Pilares y Otras	0.44
	Sierra Madre	4.78

FUENTE: INEGI. 1985. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1:1 000 000  
Las áreas mostradas corresponden solo a las áreas dentro del polígono del área de estudio. Estas Son producto de análisis SIG.

Dentro de la zona de estudio, la cuenca Río Tamesí perteneciente a la Región Hidrológica Panuco se extiende en un total de 12,377.13 ha, seguida por la cuenca Sierra Madre, perteneciente a la Región hidrológica El Salado, con 7,725.37 ha (Tabla 10). En la zona escurre el Río San Pablo, en la vertiente este de la Sierra San Antonio Peña Nevada, el cual cruza de norte a sur pasando por los poblados de Santa Rosa, Ojo de Agua, San Pablo hasta llegar a Tamaulipas, y se le unen los arroyos el Rosario y la Guitarra (Figura 14).

Tabla 10 Regiones hidrológicas, y cuencas presentes en el área de estudio

Región	Clave	Cuenca	Hectáreas
San Fernando - Soto la Marina	RH25	Río Soto La Marina	854.81
Panuco	RH26	Río Tamesí	12,377.13
El Salado	RH37	Sierra Madre	7,725.37

FUENTE: INEGI. 1985. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1:1 000 000.

Las áreas mostradas corresponden solo a las áreas dentro del polígono del área de estudio. Estas Son producto de análisis SIG.

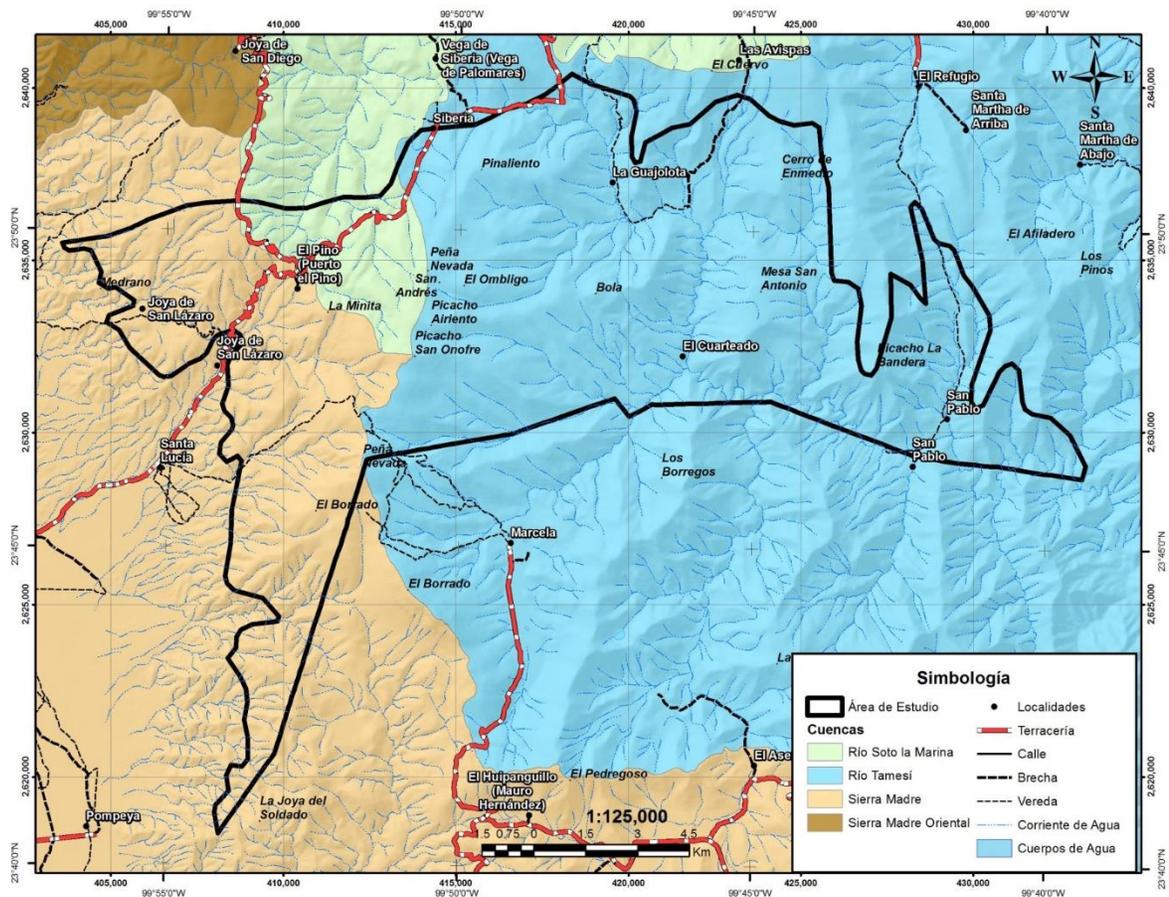


Figura 14 Hidrología superficial del área de estudio.

## 5.8. Materiales, Datos y Equipo Utilizados

La metodología empleada para el desarrollo de este estudio consistió prácticamente en dos fases: una de gabinete que es el procesamiento digital de las imágenes de satélite, la formación de un Sistema de Información Geográfica y el análisis de fragmentación de hábitat y otra fase de campo, en donde se efectuaron observaciones y el levantamiento de información.

Para el presente trabajo se utilizaron 3 secciones de imágenes del satélite LANDSAT de 3 diferentes fechas para abarcar un total de 21 años: 1986, 1996 y 2007 (Tabla 11). Las imágenes fueron proporcionadas por el Dr. Eduardo Treviño (1996) y ECOCARTMEX (1986 y 2007). En la fase de cómputo se utilizó una estación de trabajo con doble monitor de 22", Dual Core Dúo de 1.8 MHz, con 6 GB de Memoria RAM y 1.5 TB de espacio en disco duro. El software utilizado para el procesado y análisis digital de las imágenes de satélite fue ERDAS IMAGINE 9.1. Esta fase se realizó en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del departamento de Ornitología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León y en las instalaciones de la ECOCARTMEX.

Tabla 11 Imágenes LANDSAT usadas en el presente trabajo.

Fecha	Sensor	Tamaño de píxel	Path & Row
14 de Marzo de 1986	Mapeador Temático	25 metros	(WRS2) 027-044
26 de Abril de 1996	Mapeador Temático	25 metros	(WRS2) 027-044
20 de Febrero de 2007	Mapeador Temático	25 metros	(WRS2) 027-044

Para la elaboración del Sistema de Información Geográfica se utilizaron las cartas de Uso del Suelo y Vegetación a escalas 1:250 000 y 1:50 000, como referencia para la evaluación de las clasificaciones realizadas, además de cartografía topográfica, geológica y edafológica a escala 1:50 000 del área de estudio (Cartas F14A17, Zaragoza y F14A27 Miquihuana). Todas las cartas se digitalizaron para formar una Base de Datos Geográfica en ARCGIS 9.2. Otro insumo utilizado fue un Modelo Digital de Elevación (MDE) generado a partir de curvas e nivel de escala 1:50000. También se utilizó el polígono de

la Región Terrestre Prioritaria 86 (RTP86) de CONABIO, únicamente utilizando la porción del polígono que se encuentra dentro del estado de Nuevo León.

En el levantamiento de información de campo se emplearon diversos materiales para la medición de los elementos vegetales tales como: Clinómetro Suunto modelo PM5/1520 para medir altura de árboles de más de 5 metros, flexómetro metálico de 5 metros, cinta métrica de fibra de vidrio con carrete abierto y capacidad de medición de 30 metros marca Keson, para medición de cobertura aérea y circunferencia a la altura del pecho, así como distancia entre puntos de muestreo, tránsito de bolsillo marca Brunton para medición de rumbos y pendientes del terreno, así como tijeras de podar, garrocha extensible de 5 metros para corte de muestras botánicas, prensas botánicas, cordel, estacas de fibra de vidrio, estacas de madera, bolsas plásticas y de papel, etc.

Además, toda la información proveniente de los levantamientos de campo fueron referenciados, mediante un receptor del sistema de posicionamiento global (GPS por sus siglas en inglés), marca MAGELLAN modelo 315.

#### 5.9. Procesamiento Digital de Imágenes de Satélite

Los procesamientos realizados a las imágenes de satélite fueron de tipo digital, estos comprenden la corrección geométrica y radiométrica, así como algunos realces y mejoramientos que facilitaron los análisis y observaciones, al igual que la extracción de la información.

##### 5.9.1. Corrección Geométrica

Las imágenes de satélite fueron rectificadas a la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 14, elipsoide de Clarke 1866 y datum horizontal Norteamericano de 1927 ó NAD27.

Se utilizó el software ERDAS IMAGINE 9.1 y los menús de Image Geometric Correction\Landsat Model Properties, utilizando un Modelo Digital de Elevación (MDE), derivado de curvas de nivel de los archivos digitales de las cartas topográficas 1:50,000 de INEGI y utilizando los valores de proyección antes mencionados.

### 5.9.2. Extracción de Áreas de Interés.

Una imagen completa comprende una matriz de datos que cubren una superficie total de 185 km<sup>2</sup> de información contenida en siete bandas en TM y cuatro en MSS (rangos de longitud de onda del espectro electromagnético), de manera que para facilitar su manejo fue necesario generar subescenas, (fracciones de la imagen completa) que comprendieran únicamente el área de estudio

Una vez rectificadas y proyectadas las imágenes se extrajeron subescenas del contorno de la Región Terrestre Prioritaria 86 (RTP-86) de la CONABIO, la cual fue seccionada con referencia al contorno del Estado de Nuevo León, de cada imagen procesada, obteniéndose imágenes nuevas que solo contienen la información de la imagen LANDSAT para el polígono de la sección de Nuevo León de la Región Terrestre Prioritaria.

Al mismo tiempo se creó una máscara o área de interés (polígono usado para extraer información de una imagen) de las áreas cubiertas por nubes de la imagen de 1973: Este polígono fue utilizado para extraer información de la misma zona, sin nubes, de la imagen de 1976. Posteriormente el recorte de las áreas de interés de 1976 fue fusionado con la imagen de 1973, obteniéndose una imagen sin nubes.

### 5.9.3. Clasificación Supervisada

La clasificación multiespectral consiste básicamente en el agrupamiento de objetos con respuestas espectrales similares. Una clasificación multiespectral implica la segmentación del paisaje con base en las firmas espectrales de los elementos que constituyen su cobertura, medida en  $n$  bandas espectrales. Esta extracción de información temática es comúnmente el objetivo central cuando se analizan imágenes de satélite para estudios del ambiente (típicamente clasificaciones del uso actual del suelo).

Los conceptos centrales a este nivel son aquellos de "clase espectral" y "clase informativa". La confusión entre ambos está en la raíz de una gran cantidad de fracasos en el uso de estas tecnologías.

Una clase espectral se define, estadísticamente, en un espacio multidimensional (es decir, multiespectral) en términos de media y varianza de un conjunto de celdas

espectralmente similares correspondiente a objetos identificados antes o después del muestreo realizado por el intérprete (debe advertirse que no se indica: correspondiente a un objeto cuya respuesta espectral es homogénea). Una clase informativa resulta del etiquetamiento que el intérprete realiza acerca de los objetos en la superficie, con base a criterios del tipo de las claves de fotointerpretación (tono, patrón, textura, sombreado, moteado, forma, sitio, situación).

Una clasificación espectral puede realizarse tanto de manera manual como automática, asistida por computadora (generalmente referidas como clasificación visual y digital, respectivamente). En el ámbito digital y de acuerdo a la forma en que se construyan las clases espectrales, pueden realizarse clasificaciones SUPERVISADAS y NO SUPERVISADAS, o una combinación de ambas, denominada. El método para la clasificación de la imagen utilizado en este trabajo fue de Clasificación Supervisada, en donde se requiere de un conocimiento *a priori* de las clases más comunes presentes en el área a clasificar, generando sobre la imagen áreas de entrenamiento (áreas muestra), éstas son grupos de píxeles que representan áreas reconocibles del terreno.

Los niveles de clasificación de los tipos de cobertura terrestre en el área de estudio, fueron establecidos *a priori* en base a la información de la cartografía de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1:50,000 y 1:250,000 del INEGI y en su clasificación de vegetación (INEGI, 1981; INEGI, 1990), además de visitas de exploración del área de estudio (Tabla 12).

El proceso de clasificación supervisada seguido en este trabajo puede dividirse en los siguientes subprocesos:

- Realce de las imágenes de satélite.
- Selección de los campos de entrenamiento y extracción de firmas espectrales.
- Análisis de firmas espectrales.
- Clasificación de las imágenes.
- Evaluación de Clasificaciones.
- Post- clasificación.

Tabla 12 Niveles de Clasificación de los tipos de cobertura en la Sierra San Antonio Peña Nevada.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
1 Terrenos abiertos	11 Áreas de cultivo	111 Cultivos de Temporal
	12 Pastizales	121 Pastizal Inducido
	13 Pradera del altura	131 Pradera Subalpina
	14 Áreas abiertas	141 Suelo Desnudo (áreas incendiadas)
2 Matorrales	21 Matorral	211 Matorral Desértico Rosetófilo
	22 Chaparrales	221 Chaparral
3 Bosques	31 Coníferas	311 Pino
		312 Oyamel
	32 Latifoliadas	321 Encino
	33 Mixtos	331 Encino – Pino, Pino - Encino

#### 5.9.3.1. Realces de las imágenes de satélite.

El realce de la imagen consiste en técnicas que permiten mejorar el contraste aumentando la calidad de la información, para ello se corrieron procesos que redistribuyeron la información con valores de dos desviaciones estándar, eliminando los valores de cero.

Se procedió a realizar un despliegues en falso color, con diversas combinaciones de bandas en salida Rojo, Verde o Azul (RGB por sus siglas en inglés), entre las más usadas 432, 542 y 754, con el propósito de reconocer los tipos de vegetación presentes y compararlos con los tipos de vegetación reportados en la carta Uso del Suelo y Vegetación, en las escalas ya mencionadas, además de la información de la visita preliminar a campo (Richards, 1993).

#### 5.9.3.2. Selección de campos de entrenamiento y extracción de las firmas espectrales.

El sistema de cómputo debe ser entrenado para reconocer patrones de datos. El entrenamiento es el proceso de definir los criterios por los cuales serán reconocidos estos patrones (Hord, 1982). Esto se logra mediante la selección de campos de entrenamientos. Estas áreas de entrenamiento son zonas donde las características de respuesta visual de los objetos de la superficie terrestre, junto con las características fisiográficas y su localización geográfica, representen, áreas homogéneas de información, con la misma clase informacional o tipo de vegetación o uso del suelo, en este caso (Figura 15). De los

campos de entrenamiento se extraen las firmas espectrales de los objetos presentes en la imagen. Las seleccionadas para este estudio corresponden tanto a observaciones en campo, los muestreos de vegetación realizados, así como a como a zonas reconocidas en la imagen y utilizando fuentes alternativas de información, como la cartografía existente del lugar. Para comprobar la calidad de cada firma espectral detectada se obtuvieron parámetros estadísticos de los valores de reflectancia expresados en valores de gris para las cinco bandas que componen la subescena. A cada firma espectral se le asignó un nombre clave según el tipo de vegetación o cobertura sobre el terreno. Una vez detectadas las firmas espectrales se realizó un análisis de las mismas con el objeto de verificar su separabilidad estadística.

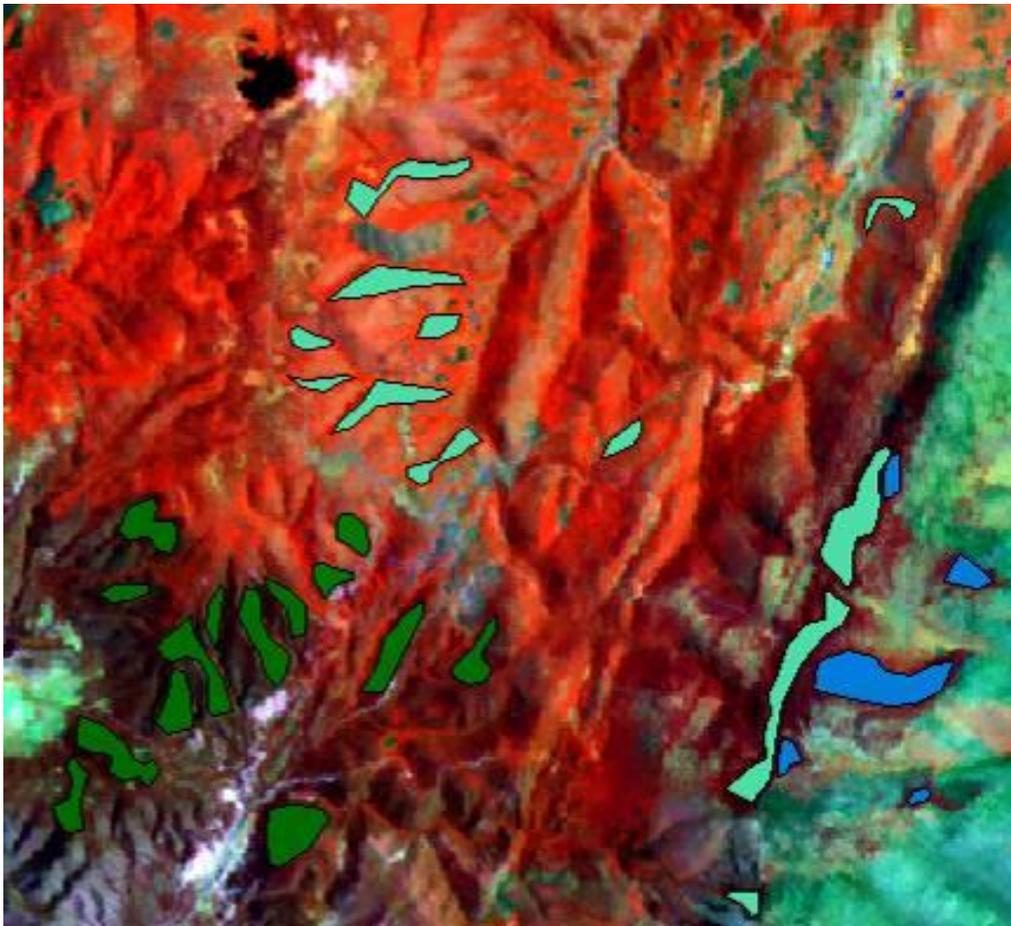


Figura 15 Ejemplificación de campos de entrenamiento, los polígonos de cada color representan una clase.

### 5.9.3.3. Análisis de Firmas espectrales.

El resultado de los campos de entrenamiento es un conjunto de firmas que definen una muestra de entrenamiento o conglomerado. Cada firma corresponde a una clase y se usa con una regla de decisión para asignar los píxeles del archivo de la imagen de satélite a una clase. Las firmas espectrales registradas fueron analizadas para comprobar su validez estadística, mediante un algoritmo que mide la separabilidad de las firmas, utilizando la ecuación de Divergencia Transformada ó DT (Swain y Davis, 1978). Según Jensen (1996), la divergencia transformada da un decrecimiento exponencial ponderado con el incremento de la distancia entre las clases. La escala de valores del modelo está en el rango de 0 a 2.000. Como regla general, se estima que un resultado mayor a 1.900 representa una separabilidad de clases buena; con valores entre 1.900 y 1.700 la separabilidad de clases es moderadamente buena y con un valor por debajo de 1.700 la separabilidad es baja. En el presente trabajo se consideró que firmas espectrales con al menos un valor de separabilidad de 1.700 son aceptables.

Cuando una firma espectral no tenía el nivel de separabilidad mínimo requerido se procedió a modificar los campos de entrenamiento (modificando el contorno, anexando nuevas áreas a las clases, definiendo mejor el polígono, etc.) para posteriormente correr de nuevo el algoritmo de separabilidad hasta obtener el grado de de separabilidad requerido.

### 5.9.3.4. Clasificación de las Imágenes.

Posteriormente al análisis de las firmas espectrales, el siguiente paso fue la clasificación de los datos. Cada píxel fue analizado independientemente en base a una regla de decisión ó algoritmo, para el proceso de clasificación de la imagen se utilizó el Clasificador Bayesiano de Máxima Verosimilitud, que asume que el comportamiento en los histogramas de datos de las firmas espectrales tiene una distribución normal, la regla de decisión se basa en calcular la probabilidad de que un píxel pertenezca a una clase en particular, teniendo un conocimiento a priori de que las probabilidades no son iguales para todas las clases reconocidas. El resultado es un documento de formato “raster” o de rejilla que contiene las clases correspondientes a las firmas espectrales, con las que alimentamos al modelo.

#### 5.9.4. Evaluación de clasificaciones o evaluación de la exactitud.

La evaluación de la exactitud es un término general para comparar la clasificación con información geográfica que se asume verdadera, con el fin de determinar la veracidad del proceso de clasificación. Como no es práctico comprobar la exactitud de cada píxel de la imagen clasificada en reconocimiento de campo, se utiliza un conjunto de píxeles de referencia. Estos píxeles de referencia son puntos de la imagen clasificada para los cuales se conocen los valores reales. Para este trabajo se usaron como píxeles de referencia para la imagen del año 2007, polígonos diferentes a los usados para la clasificación, elaborados con datos obtenidos de campo en las visita de muestreo de la vegetación. Para las imágenes de las fechas restantes se usaron los polígonos de entrenamiento, por tratarse de una clasificación retrospectiva, siendo estos polígonos generalmente digitalizados en zonas donde la vegetación permanecía de una fecha a otra y que en campo correspondió al mismo tipo de vegetación en el año 2007 y apoyados además en la información cartográfica y bibliográfica de la zona de estudio.

El siguiente paso será generar una matriz de Confusión o de Exactitud, para observar el grado de precisión alcanzado en la clasificación. Se crea para comparar la imagen clasificada con los datos de referencia. Esta matriz es simplemente una lista de valores de clase para los píxeles en el archivo de la imagen clasificada y los valores de clase para los píxeles de referencia (píxeles de los campos de entrenamiento y los datos de verificación de campo). El reporte de la exactitud calcula las estadísticas de los porcentajes de precisión, basados sobre los resultados de la matriz de error.

Se obtiene además el Coeficiente Kappa también llamada KHAT o Índice Kappa de Acuerdos – KIA, (Rosenfield *et al.*, 1986; Carstensen, 1987), el cual expresa la reducción proporcional en el error generado por un proceso de clasificación, comparando con el error de una clasificación completamente al azar (Congalton, 1991). El valor 0 indica que no existe correlación y el valor 1 indica una correlación perfecta. Por ejemplo un valor de 0.95 implica que el proceso de clasificación está evitando el 95% de los errores de una clasificación completamente al azar. Para este trabajo, se consideran buenas clasificaciones aquellas que obtuvieran por lo menos el 85% de precisión global.

## 5.10. Análisis Multitemporal

Los archivos resultantes de las clasificaciones fueron comparados entre sí para estimar el cambio por tipo de vegetación y la tasa de cambio en el período de diferencia entre las imágenes. Este proceso se llevó a cabo mediante el módulo Land Change Modeler (LCM) de IDRIS ANDES®. El primer paso consistió en una tabulación cruzada en la que las categorías de una imagen fueron comparadas con las de otra mediante una tabla de doble entrada. En esta tabla apareció recogido el número de celdas de cada combinación posible así como una o dos posibles medidas de asociación entre ambas imágenes. El módulo Land Change Modeler de IDRIS ANDES® genera de forma automática mapas temáticos de persistencias y cambios. Se obtuvo además el cambio neto, el cual muestra el resultado de tomar las áreas de cubierta de terreno anteriores, agregar las ganancias y luego sustraer las pérdidas.

Se calculó la tasa de cambio anual por cobertura vegetal o uso del suelo, que es el porcentaje de superficie remanente que es removida cada año, expresándose en porcentaje anual y se calcula con la siguiente ecuación (modificada de Nascimento, 1991, y Mas *et al.*, 1996):

$$T = -1(100-100(A_2 / A_1)^{1/n})$$

En donde:

T = Tasa de cambio anual (porcentaje)

A<sub>1</sub>= Superficie a la fecha 1

A<sub>2</sub>= Superficie a la fecha 2

n= Número de años entre las dos fechas

Además se calculó la probabilidad de transición de una etapa a otra, mediante un modelo Markoviano. Este tipo de modelo es de tipo probabilístico, por lo que los valores resultantes se encuentran entre 0 y 1. El modelo utilizado fue el de Caswell (2001) y el cálculo de las probabilidades de transición de un tipo de vegetación o uso del suelo a otro se obtuvo por medio de la siguiente ecuación:

$$a_{ij} = \frac{P_i^{(t+1)}}{P_j^{(t)}}$$

En donde:

$a_{ij}$ = Probabilidad de cambio.

$p_j$ = Superficie total del estado j en un tiempo precedente (t).

$p_i$ = Superficie total del estado j que se transformó en el estado i al tiempo siguiente (t+1).

### 5.11. Análisis de la ecología del paisaje y la fragmentación del hábitat

Con ayuda de la extensión para ArcGis Patch Analyst versión 5.1 (Rempel *et al.*, 2012), se realizó el análisis de los patrones espaciales para cuantificar la estructura del escenario o de los hábitat encontrados dentro de la zona de estudio. Lo anterior con el propósito de observar el grado de fragmentación de los “fragmento o parches de vegetación” que existen y analizar su estructura y su influencia en sus características ecológicas. Se procedió a convertir las clasificaciones de las imágenes de satélite (formato raster) a archivos vector para poder complementar los análisis de fragmentación, ya que algunos análisis son implementados únicamente para este formato. Las métricas a usadas se pueden observar en la Tabla 13.

#### 5.11.1. Definición de Métricas

Las métricas o métricos son aquellos descriptores matemáticos que describen un paisaje. Se dividen en categorías según el tipo de dato analizado:

- Métricas de área: las cuales miden el área de paisaje, clase o fragmento. Cuantifican la composición del paisaje y no su configuración.
- Métricas de variabilidad, tamaño y densidad del fragmento: estas métricas miden el tamaño, densidad y variación en los fragmentos en el paisaje. Son consideradas como representación de la configuración del paisaje.

- Métricas de borde: miden la cantidad de borde o el grado de contraste del borde a nivel de fragmento, clase o paisaje. Son consideradas como representación de la configuración del paisaje.
- Métricas de Forma: cuantifican la configuración del paisaje en términos de la complejidad de la forma del fragmento.
- Métricas de Contagio: representan el espaciamiento de los fragmentos y la yuxtaposición a nivel de clase o paisaje. Son consideradas como representación de la configuración del paisaje. Además algunas miden las distancias de los fragmentos más cercanos de la misma clase de, basados en la distancia de los bordes.
- Métricas de diversidad: miden la diversidad a nivel de paisaje. Cuantifica la configuración del paisaje.

Tabla 13 Métricas usadas para el análisis de ecología del paisaje y fragmentación de hábitat.

Escala	Métrica (unidades)
Métricas de área:	Área total del paisaje (ha) TA
	Área de Clase (ha) CA
Métricas de variabilidad, tamaño y densidad del fragmento:	Numero de fragmento NP
	Media de tamaño del fragmento (ha) MPS
	Desviación estándar del tamaño de parche (ha) PSSD
Métricas de borde:	Total de borde (m) TE
	Densidad de borde (m/ha) ED
	Media de borde del fragmento (m) MPE
Métricas de forma:	Índice de forma media MSI
	Media de la dimensión fractal del fragmento MPFD
	Media de la dimensión fractal ponderada por el área AWMPFD
Métricas de contagio:	Media de la distancia al vecino más cercano (m) MNN
	Índice de yuxtaposición y espaciamiento IJI
	Índice de proximidad media MPI
Métricas de diversidad: (Solo para paisaje)	Índice de diversidad de Shannon
	Índice de equitatividad de Shannon

Las métricas utilizadas en este proyecto fueron obtenidas de McGarigal y Marks (1995); Frohn (1998); McGarigal (2002) y Rempel y Carr (2003).

#### 5.11.1.1. Métricas de área:

**Área Total del Paisaje (TA):** Suma de las áreas de todos los fragmentos en el paisaje, en ha.

$$TA = A \left( \frac{1}{10,000} \right)$$

En donde: A= Total de área (m<sup>2</sup>) del paisaje

**Área de Clase (CA):** Suma de las áreas de todos los fragmentos pertenecientes a una clase, en ha.

$$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left( \frac{1}{10,000} \right)$$

En donde:

$a_{ij}$  = Área (m<sup>2</sup>) del fragmento ij

j = Fragmento

i = Clase o tipo del fragmento

#### 5.11.1.2. Métricas de variabilidad, tamaño y densidad del fragmento:

**Número de Fragmentos o Parches: (NP):** Número total de fragmentos por paisaje si el análisis es por paisaje o número de fragmentos por clase si el análisis es por clase.

NP =  $n_i$  (para clases)

NP = N (para paisaje)

En donde:

$n_i$  = Número de fragmentos en el paisaje o clase i

N = Número total de fragmentos en el paisaje, excluyendo cualquier fragmento de fondo o valor nulo

i = Clase o tipo del fragmento

**Media del Tamaño del Fragmento (MPS):** Promedio del tamaño del fragmento en ha. Se usa para análisis a nivel de clases o paisaje.

$$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \left( \frac{1}{10,000} \right) \quad (\text{para clases}) \quad MPS = \frac{A}{N} \left( \frac{1}{10,000} \right) \quad (\text{para paisaje})$$

En donde:

$a_{ij}$  = Área (m<sup>2</sup>) del fragmento ij

$n_i$  = Número de fragmentos en el paisaje o clase i

$N$  = Número total de fragmentos en el paisaje, excluyendo cualquier fragmento de fondo o valor nulo

$A$  = Total de área (m<sup>2</sup>) del paisaje

$j$  = Fragmento

$i$  = Clase

#### 5.11.1.3. Métricas de borde:

**Total de Borde (TE):** Suma del perímetro de los fragmentos expresado en metros. Se usa para análisis a nivel de clases o paisaje.

$$TE = \sum_{k=1}^{m'} e_{ik} \quad (\text{para clase}) \quad TE = E \quad (\text{para paisaje})$$

En donde:

$m'$  = Número de tipos de fragmentos (clases) presentes en el paisaje incluyendo el borde si está presente.

$E$  = Longitud total (m) del borde en el paisaje

$k$  = Número de clases o tipos del fragmento

$e_{ik}$  = Longitud total (m) de borde en el paisaje entre tipos de fragmentos (clases) i y k

$i$  = Clase

**Densidad de Borde (ED):** Densidad de borde por clase o paisaje en metros por hectárea.

$$ED = \frac{\sum_{k=1}^{m'} e_{ik}}{A} (10,000) \quad (\text{para clases}) \quad ED = \frac{E}{A} (10,000) \quad (\text{para paisaje})$$

En donde:

A = Área total del paisaje (m<sup>2</sup>)

E = Longitud total (m) del borde en el paisaje

m' = Número de tipos de fragmentos (clases) presentes en el paisaje incluyendo el borde si está presente

k= Número de clases o tipos del fragmento

e<sub>ik</sub> = Longitud total (m) de borde en el paisaje entre tipos de fragmentos (clases) i y k

i = Clase

**Media de Borde del Fragmento (MPE):** Promedio del total de borde por fragmento, expresado en metros por fragmento. Se aplica al nivel de clase o del paisaje.

$$MPE = TE / NP$$

En donde:

TE = Total de borde (m)

NP = Número de de fragmentos (por clases o paisaje)

#### 5.11.1.4. Métricas de forma:

**Índice de Forma Media (MSI):** Mide la complejidad de la forma de los fragmentos. Representa la suma del perímetro (m) del fragmento, dividido por la raíz cuadrada del área del fragmento (ha) de cada fragmento de la correspondiente clase. MSI es igual a 1 cuando todos los fragmentos de una clase son circulares (en vectores) o cuadrados (en raster). Entre más irregular, más se incrementa el MSI.

Para clases:

$$MSI = \frac{\sum_{j=1}^n \left( \frac{.25p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right)}{n_i}$$

Para paisaje:

$$MSI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \frac{.25p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right)}{N}$$

En donde:

$a_{ij}$  = Área (m<sup>2</sup>) del fragmento ij

$n_{ij}$  = Número de fragmentos en el paisaje o clase ij

$n = n_i$  = Número de fragmentos en el paisaje o clase i

$N$  = Número total de fragmentos en el paisaje, excluyendo cualquier fragmento de fondo o valor nulo

$p_{ij}$  = Perímetro del fragmento ij

$m$  = Número de tipos de fragmento (clases) presentes en el paisaje, excluyendo el borde del paisaje si está presente

$j$  = Fragmento

$i$  = Clase

**Media de la Dimensión Fractal del Fragmento (MPFD):** Es otra medida de la complejidad de la forma del fragmento. Se aproxima a 1 cuando la forma del fragmento tiene perímetros simples, como círculos y cuadrados, y se aproxima a 2 cuando la forma es más compleja.

Para clases:

$$MPFD = \frac{\sum_{j=1}^n \left( \frac{2.1n (.25p_{ij})}{\ln a_{ij}} \right)}{n_i}$$

Para paisaje:

$$MPFD = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \frac{2 \ln(.25p_{ij})}{\ln a_{ij}} \right)}{N}$$

En donde:

$a_{ij}$  = Área (m<sup>2</sup>) del fragmento ij

$n_{ij}$  = Número de fragmentos en el paisaje o clase ij

$n = n_i$  = Número de fragmentos en el paisaje o clase i

$p_{ij}$  = Perímetro del fragmento ij

$N$  = Número total de fragmentos en el paisaje, excluyendo cualquier fragmento de fondo o valor nulo

$m$  = Número de tipos de fragmento (clases) presentes en el paisaje, excluyendo el borde del paisaje si está presente

$j$  = Fragmento

$i$  = Clase

$\ln$  = logaritmo natural

**Media de la Dimensión Fractal Ponderada por el Área (AWMPFD):** Mide la complejidad de los fragmentos ajustada por el tamaño de su forma. Es igual al MPFD con la adición de que el área ponderada de cada fragmento individual es aplicada a cada fragmento. Debido a que grandes fragmentos tienden a ser más complejos de los fragmentos pequeños, esta métrica tiene el efecto de determinar la complejidad del fragmento independientemente de su tamaño. Se aproxima a 1 cuando la forma del fragmento tiene perímetros simples, como círculos y cuadrados, y se aproxima a 2 cuando la forma es más compleja.

Para clases:

$$AWMPFD = \sum_{j=1}^n \left[ \left( \frac{2 \ln(.25p_{ij})}{\ln a_{ij}} \right) \left( \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right]$$

Para paisaje:

$$WMPFD = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \left( \frac{2 \ln(.25 p_{ij})}{\ln a_{ij}} \right) \left( \frac{a_{ij}}{A} \right) \right]$$

En donde:

A = Área total del paisaje (m<sup>2</sup>)

a<sub>ij</sub> = Área (m<sup>2</sup>) del fragmento ij

n<sub>ij</sub> = Número de fragmentos en el paisaje o clase ij

n = n<sub>i</sub> = Número de fragmentos en el paisaje o clase i

p<sub>ij</sub> = Perímetro del fragmento ij

m = Número de tipos de fragmento (clases) presentes en el paisaje, excluyendo el borde del paisaje si está presente

j = Fragmento

i = Clase

ln = logaritmo natural

#### 5.11.1.5. Métricas de contagio:

**Media de la Distancia al Vecino más Cercano (MNN):** Mide el aislamiento de los fragmentos. Es la distancia (m) media de un fragmento individual al fragmento de la misma clase más cercano (borde a borde).

$$MNN = \frac{\sum_{j=1}^{n'} h_{1j}}{n'_i} \quad (\text{para clases}) \qquad MNN = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n'} h_{1j}}{N'} \quad (\text{para paisaje})$$

En donde:

h<sub>ij</sub> = Distancia (m) desde el fragmento ij al fragmento de la misma clase más cercano, basado en la distancia del borde a borde.

n' = n'<sub>i</sub> = Número de fragmentos en el paisaje de cada clase i que tienen un vecino cercano

$N'$  = Número total de fragmentos en el paisaje que tiene un vecino cercano

$j$  = Fragmento

$i$  = Clase

**Índice de Yuxtaposición y Espaciamiento (IJI):** Mide la adyacencia entre fragmentos. Se aproxima a 0 cuando la distribución de las adyacencias de los fragmentos se vuelve desigual y se aproxima a 100 cuando todos los tipos de fragmentos tienen la misma adyacencia. La medida del espaciamiento requiere que el paisaje tenga como mínimo 3 clases. A nivel de clase, mide el espaciamiento relativo de cada clase y a nivel del paisaje mide el espaciamiento de cada fragmento en el paisaje.

$$IJI = \frac{-\sum_{k=1}^{m'} \left[ \left( \frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^{m'} e_{ik}} \right) \ln \left( \frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^{m'} e_{ik}} \right) \right]}{\ln(m' - 1)} \quad (100) \quad \text{(para clases)}$$

$$IJI = \frac{-\sum_{i=1}^{m'} \sum_{k=i+1}^{m'} \left[ \left( \frac{e_{ik}}{E} \right) \cdot \ln \left( \frac{e_{ik}}{E} \right) \right]}{\ln(1/2 [m' (m' - 1)])} \quad (100) \quad \text{(para paisaje)}$$

En donde:

$m'$  = Número de tipos de fragmentos (clases) presentes en el paisaje incluyendo el borde del paisaje si está presente

$k$  = Número de clases o tipos del fragmento

$e_{ik}$  = Longitud total (m) de borde en el paisaje entre tipos de fragmentos (clases)  $i$  y  $K$

$E$  = Longitud total (m) del borde en el paisaje

$j$  = Fragmento

$i$  = Clase

$\ln$  = logaritmo natural

**Índice de Proximidad Media (MPI):** Mide el grado de aislamiento y fragmentación de un parche. Usa la estadística del vecino más cercano. Adquiere el valor de 0 cuando un

tipo de fragmento no tiene un vecino del mismo tipo, en un área específica de búsqueda (el valor predeterminado es 1, 000,000 m).

$$MPI = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2}}{n_i} \quad (\text{para clases}) \quad MPI = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2}}{N} \quad (\text{para paisaje})$$

En donde:

$a_{ijs}$  = Área (m<sup>2</sup>) del fragmento ijs con su vecino especificado (m) del fragmento ij

$h_{ijs}$  = Distancia (m) entre el fragmento ijs y el fragmento ij, basado en la distancia de bode a borde

$n = n_i$  = Número de fragmentos en el paisaje o clase i

j = Fragmento

i = Clase

s = fragmentos con vecino especificado

m = Número de tipos de fragmento (clases) presentes en el paisaje, excluyendo el borde del paisaje si está presente

#### 5.11.1.6. Métricas de diversidad:

**Índice de Diversidad de Shannon (SHDI):** Solo es utilizado a nivel de paisaje y muestra la diversidad relativa de fragmentos. Un valor igual a 0 muestra que solo existe un fragmento en el paisaje. El valor se incrementa cuando el número de fragmentos o la distribución proporcional de las clases se incrementan.

$$SHDI = -\sum_{i=1}^m (P_i \cdot \ln P_i)$$

En donde:

$P_i$  = Proporción de paisaje ocupado por el fragmento tipo (clase) i

i = Clase

m = Número de tipos de fragmento (clases) presentes en el paisaje, excluyendo el borde del paisaje si está presente

ln = logaritmo natural

**Índice de Equitatividad de Shannon (SHEI):** Mide la distribución y abundancia de los fragmentos. El índice toma valores de 0 cuando se observa una distribución baja de fragmentos y se aproxima a 1 cuando la distribución de los fragmentos se vuelve más equitativa. Solo se utiliza a nivel paisaje.

$$SHEI = \frac{-\sum_{i=1}^m (P_i \cdot \ln P_i)}{\ln m}$$

En donde:

$P_i$  = Proporción de paisaje ocupado por el fragmento tipo (clase)  $i$

$i$  = Clase

$m$  = Número de tipos de fragmento (clases) presentes en el paisaje, excluyendo el borde del paisaje si está presente

ln = logaritmo natural

#### 5.11.2. Índice de Fragmentación:

Los Índices de Fragmentación miden la fragmentación del paisaje o las clases utilizando principalmente las relaciones existentes entre el número de fragmentos y el área total del paisaje o de la clase.

**Parches por Unidad (PPU):** Mide el grado de fragmentación de los parches en un paisaje o en una clase. Cuando el paisaje o la clase se vuelven más fragmentados, el PPU se incrementa. Esta métrica es menos sensible a la resolución espacial de la capa a estudiar (Frohn, 1998). Solo se puede utilizar en archivos raster.

$$PPU = NP/(n \cdot \lambda)$$

En donde:

NP = Número de fragmentos

$n$  = número total de píxeles en el área de estudio a nivel paisaje o el número total de píxeles a nivel clase.

$\lambda$ = Constante que expresa en área de cada píxel en kilómetros cuadrados (en este caso es igual a 0.0008125).

### 5.11.3. Procesos espaciales en la transformación del paisaje.

Para la detección, tipificación y medición de los procesos espaciales en la transformación del paisaje se utilizó el módulo El módulo Land Change Modeler de IDRIS ANDES®, en especial el panel de Análisis del Diseño del Paisaje y Procesos de Cambios (Landscape Pattern and Change Process Analysis Panel). Este panel permite analizar el diseño del paisaje o los procesos de un mapa de cubierta terrestre. Se utilizó la opción Change Process, el cual compara el primer mapa de cubierta terrestre con el segundo y mide la naturaleza del cambio en cuestión dentro de cada clase de cubierta terrestre. Esto se realiza con un procedimiento de árbol de decisión (Bogaert *et al.*, 2004) que compara el número de parches de cubierta terrestre presentes dentro de cada clase entre los dos períodos de tiempo con los cambios en las áreas y perímetros. El resultado es en forma de un mapa donde a cada clase de cubierta terrestre se le asigna la categoría de cambio que esté experimentando. La interpretación de las categorías es la siguiente:

- Deformation (Deformación): la forma está cambiando.
- Shift (Cambio): la posición está cambiando.
- Perforation (Perforación): el número de parches es constante pero el área está decreciendo.
- Shrinkage (Encogimiento): el área y el perímetro están decreciendo pero el número de parches es constante.
- Enlargement (Aumento): el número de parches es constante pero el área está creciendo.
- Attrition (Desgaste): el número de parches y el área están decreciendo.
- Aggregation (Unión, agregación): el número de parches está decreciendo pero el área es constante o está creciendo.
- Creation (Creación): el número de parches y el área están creciendo.
- Dissection (Disección): el número de parches está creciendo pero el área está decreciendo.
- Fragmentation (Fragmentación): el número de parches está creciendo y el área está decreciendo fuertemente.

## 5.12. Análisis de la vegetación

### 5.12.1. Muestreo

Una vez terminada la clasificación de la imagen de año 2007 se procedió a marcar los puntos de verificación y cuadrantes de muestreo, apoyados en esta clasificación de la vegetación, tomando en cuenta la homogeneidad de la vegetación, la accesibilidad y el tiempo de duración del proyecto. Se realizaron un total de 51 líneas para el análisis cuantitativo de las comunidades de bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de encino, bosque mixto y chaparral, debido a que estas conforman más del 95% del área de estudio.

El método que se utilizó para los muestreos de vegetación fue el de puntos en cuadrante o “point-quarter sampling” (Franco *et al.*, 1989; Brower *et al.*, 1990). En cada área de muestreo se tendió una línea de 180 metros, con muestreo a cada 20 metros (10 puntos por línea). La zona que rodea a cada punto de muestreo se dividió en 4 partes iguales o cuadrantes. Se midió la distancia (en centímetros) de la planta más cercana al punto de muestreo, haciendo una medición por cada estrato muestreado, para cada cuadrante (Figura 16).

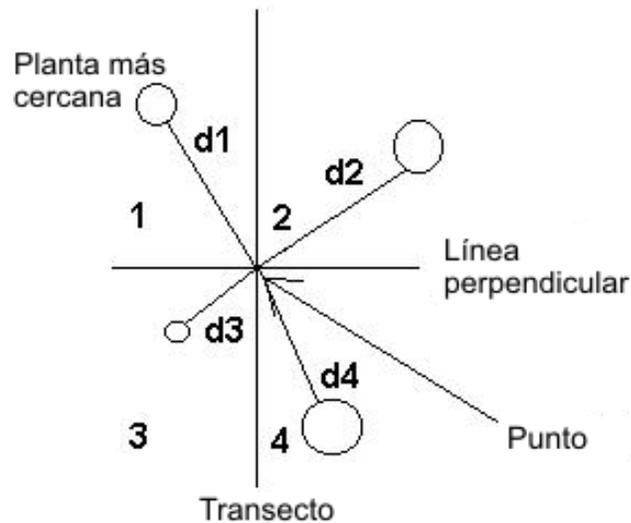


Figura 16 Método de puntos en cuadrante.

Se tomaron medidas de dos diámetros (cm.), el diámetro mayor y el perpendicular a este de cada planta, para obtener la cobertura foliar de cada individuo ( $C_f$ ), al igual que la altura del ejemplar con un clinómetro Suunto modelo PM5/1520 para medir altura de

árboles de más de 5 metros y un flexómetro metálico de 5 metros para medir la altura de árboles y arbustos de menos de 5 metros (en centímetros para los estratos bajo y medio, y en metros para el estrato alto). Diéguez *et al.*, 2003.

Otros datos que fueron tomados son: pedregosidad, pendiente, exposición del punto de verificación, coordenadas del punto, altitud, disturbio, erosión y uso de la tierra. Se obtuvieron las coordenadas de los puntos de colecta, por medio de un Goeposicionador (GPS). Independientes de los puntos de verificación, se recorrió la zona sistemáticamente para la colecta de ejemplares. Se utilizó el sistema taxonómico propuesto por Mickel y Smith (2004) para helechos y The Angiosper Phylogeny Group APG III (2009) para monocotiledóneas y dicotiledóneas y para la revisión de la validez del nombre taxonómico o sinonimia fue utilizada la base de datos de The Plant List Versión 1 (2010), The International Plant Names Index (2012), y el International Code of Botanical Nomenclature (Vienna Code, 2006). Los ejemplares colectados fueron depositados en el laboratorio de botánica y de ecología en espera de ser incorporados al herbario de la Facultad de Ciencias Biológicas.

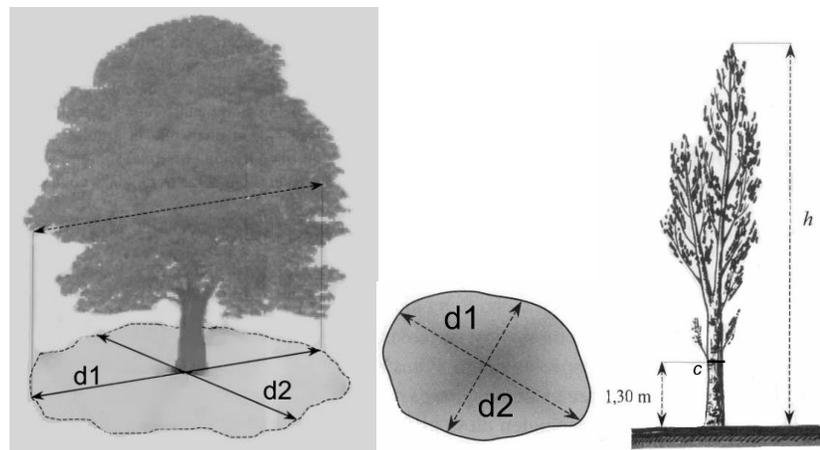


Figura 17 Medida tomadas a las plantas: d1 diámetro mayor, d2 diámetro perpendicular o menor,  $h$  altura.

Las especies endémicas y su estatus de protección fueron determinadas de acuerdo a la norma oficial vigente NOM-059-SEMARNAT 2010.

### 5.12.2. Parámetros de la comunidad

Los datos colectados fueron tratados con las siguientes ecuaciones para obtener los parámetros de la comunidad (Brower *et al.*, 1990):

$$\bar{A} = (\sum di / \sum n)^2$$

Donde  $\bar{A}$  es el área media utilizada,  $\sum di$  es la sumatoria de las distancias de los organismos, de todas las especies al punto central del cuadrante y  $\sum n$  es la sumatoria de todos los organismos, de todas las especies.

También se obtuvieron: Densidad total ( $TD$ ), densidad absoluta por especie ( $D$ ) y relativa ( $Rd$ ):

$$TD = u / \bar{A} \quad Rdi = ni / \sum n$$

$$Di = (ni / \sum n) (u / \bar{A}) = (Rdi / TD)$$

Donde  $u$  es la unidad de área utilizada ( $1=m^2$ ),  $Rdi$  es la densidad relativa de la especie  $i$ ,  $ni$  es el número total de individuos contados de la especie  $i$  y  $\sum n$  es la sumatoria de todos los organismos, de todas las especies,  $Di$  es la densidad absoluta de la especie  $i$ .

Frecuencia ( $F$ ), frecuencia relativa ( $Rf$ ):

$$Fi = ji / k \quad Rfi = fi / \sum f$$

Donde  $Fi$  es la frecuencia de la especie  $i$ ,  $ji$  es el número de muestras en las que la especie  $i$  ocurre,  $k$  es el número total de muestras tomadas,  $Rfi$  es la frecuencia relativa de la especie  $i$  y  $\sum f$  es la sumatoria de todas las frecuencias de todas las especies.

Cobertura ( $C$ ) y cobertura relativa ( $Rc$ ):

$$Ci = (ai) (Di) / ni \quad Rci = Ci / \sum C$$

Donde  $Ci$  es la cobertura de la especie  $i$ ,  $ai$  es la suma de la cobertura foliar de la especie  $i$ ,  $Di$  es la densidad absoluta de la especie  $i$ ,  $ni$  es el número total de individuos

contados de la especie  $i$ ,  $R_{ci}$  es la cobertura relativa de la especie  $i$  y  $\Sigma C$  es la sumatoria de todas las coberturas de todas las especies.

La cobertura ( $C_f$ ) foliar de cada individuo fue determinada con la fórmula del área de una elipse:

$$C_f = \pi \left( \frac{d_1 d_2}{4} \right)$$

Donde  $d_1$  es igual al diámetro mayor y  $d_2$  es igual al diámetro menor (Figura 17).

También se obtuvo el Valor de Importancia ( $IV$ ):

$$IV_i = R_{di} + R_{fi} + R_{ci}$$

Donde  $IV_i$  es el Valor de Importancia de la especie  $i$ .

### 5.12.3. Diversidad

Se determinaron el índice de diversidad de las comunidades con la ecuación de Shannon-Weaver. La diversidad ( $H'$ ), diversidad máxima ( $H'_{max}$ ), equitatividad ( $J'$ ) y dominancia ( $I-J'$ ) con los índices de Shannon-Weaver se obtuvieron con las siguientes ecuaciones (Brower et al. 1990; Franco et al. 1991):

$$H' = - \sum p_i \ln p_i \quad H'_{max} = \ln S \quad J' = H' / H'_{max}$$

Donde  $p_i$  es la proporción del número de individuos de la especie  $i$  con respecto al total ( $n_i / N_t$ ),  $S$  es el número de especies.

La diversidad entre comunidades obtenidas con el Índice de Shannon-Weaver se comparó entre sí mediante una  $t$  de Student para determinar si estas fueron iguales o diferentes. Para esto se calculó la varianza del Índice de Shannon-Weaver ( $Var H'$ ) mediante la siguiente ecuación (Magurran, 1988):

$$Var H' = \frac{\sum p_i (\ln p_i)^2 - (\sum p_i \ln p_i)^2}{N} - \frac{S-1}{2N^2}$$

Donde  $p_i$  es la proporción del número de individuos de la especie  $i$  con respecto al total ( $n_i / N_t$ ),  $S$  es el número de especies y  $N$  es el número de individuos.

El cálculo de la  $t$  se realizó con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{H'_1 - H'_2}{(Var H'_1 - Var H'_2)^{1/2}}$$

Donde  $H'_1$  y  $H'_2$  son la diversidad calculada mediante el Índice de Shannon-Weaver para las comunidades 1 y 2 respectivamente,  $Var H'_1$  y  $Var H'_2$  es la varianza calculada para las comunidades o líneas 1 y 2 respectivamente.

Los grados de libertad ( $df$ ) fueron calculados con la siguiente ecuación:

$$df = \frac{(Var H'_1 + Var H'_2)^2}{\left[ \frac{(Var H'_1)^2}{N_1} \right] + \left[ \frac{(Var H'_2)^2}{N_2} \right]}$$

Donde  $Var H'_1$  y  $Var H'_2$  es la varianza calculada para las comunidades 1 y 2 respectivamente,  $N_1$  y  $N_2$  es el número de individuos comunidades o líneas 1 y 2 respectivamente.

#### 5.12.4. Similitud entre comunidades

Una vez realizado el inventario florístico (incluyendo la información dentro y fuera de las líneas de muestreo, así como los recorridos de exploración, análisis de presencia / ausencia), se procedió a realizar un análisis para observar su similitud entre comunidades, mediante el coeficiente de Jaccard ( $CC_j$ , Brower *et al.*, 1990):

$$CC_j = c / s_1 + s_2 - c \quad \text{o su equivalente} \quad CC_j = c / S$$

Donde  $s_1$  es el número de especies en la comunidad o muestra 1,  $s_2$  es el número de especies en la comunidad o muestra 2,  $c$  es el número de especies en ambas comunidades o muestras.

Se utilizó el método de aglomeración de Average Linkage, especialmente el Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean UPGMA (Ott, 1983). Además se realizó un dendrograma con los datos obtenidos, para observar gráficamente la similitud entre las comunidades.

## RESULTADOS

### 6.1. Procesamiento Digital de Imágenes de Satélite

#### 6.1.1. Clasificación Supervisada

La clasificación supervisada de la imagen LANDSAT TM (Tabla 14, Figura 18), del año 1986 arrojó 9 coberturas; 7 fueron tipos de vegetación natural y 2 usos del suelo. La clasificación mostró que la cobertura con mayor área para esa época fue el bosque de pino con 48.79% de la superficie total del área de estudio, seguido del chaparral con el 33.67%.

El resto de las coberturas muestran una superficie menor al 10% cada una. El bosque de oyamel representó el 7.60% del área de estudio, seguido del bosque de encino con un 4.06% y por la agricultura de temporal con 2.12%. El pastizal inducido representó el 1.26% seguido del matorral desértico rosetófilo con el 1.12%, la pradera subalpina con el 0.76% del área de estudio y por último el bosque mixto con el 0.61%.

Tabla 14 Coberturas del suelo y áreas de la clasificación supervisada de la imagen LANDSAT TM del año 1986.

TIPO DE VEGETACIÓN	ÁREA (Ha)	%
Bosque Mixto	128.75	0.61
Pradera Subalpina	159.31	0.76
Matorral Desértico Rosetófilo	235.75	1.12
Pastizal Inducido	264.81	1.26
Agricultura de Temporal	444.69	2.12
Bosque de Encino	850.00	4.06
Bosque de Oyamel	1593.06	7.60
Chaparral	7056.44	33.67
Bosque de Pino	10226.25	48.79
Total	20959.06	100.00

Para el año 1996, clasificación supervisada de la imagen LANDSAT TM (Tabla 15, Figura 19) arrojó 10 coberturas: 7 fueron tipos de vegetación natural, 2 usos del suelo y una cobertura tipo sustrato. Las primeras 9 clases se repitieron para este año. La clasificación

mostró que la cobertura con mayor área para esa época fue el bosque de pino con 40.20% de la superficie total del área de estudio, seguido de chaparral con el 38.79%.

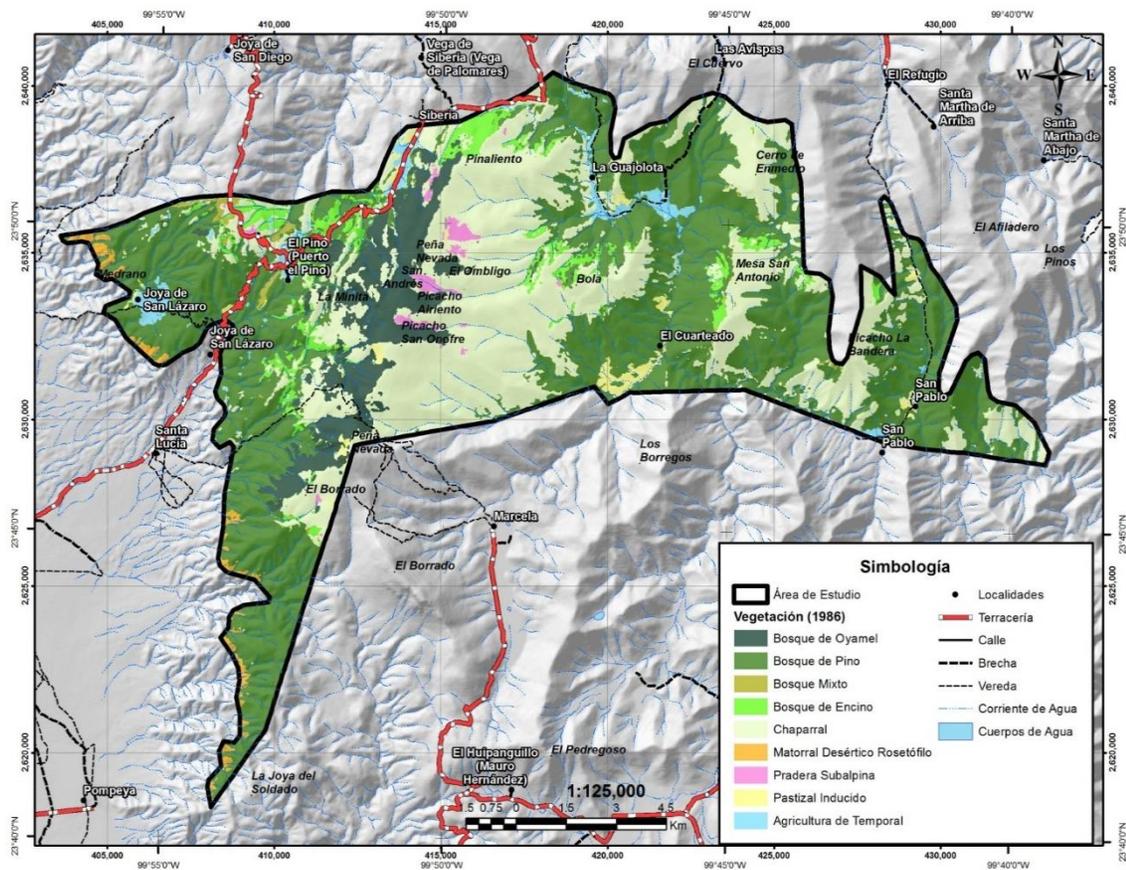


Figura 18 Mapa de vegetación resultado de la clasificación supervisada de la imagen LANDSAT TM de 1986.

El resto de las coberturas muestran una superficie menor al 10% cada una. El área desnuda, correspondiente al suelo desnudo o sustrato representó el 8.04%. El bosque de oyamel con el 5.58% del área de estudio, el bosque de encino representó el 2.44%, seguido de la agricultura de temporal con el 1.75%, el matorral desértico rosetófilo con el 1.40%, el pastizal inducido con 0.76%, la pradera subalpina con el 0.58% y por último por el bosque mixto con un 0.46% del área de estudio (Tabla 15). La nueva clase que se presentó en el año 1996 (suelo o sustrato) es el resultado de incendios forestales.

Tabla 15 Coberturas del suelo y áreas de la clasificación supervisada de la imagen LANDSAT TM del año 1996.

TIPO DE VEGETACIÓN	ÁREA (Ha)	%
Bosque Mixto	95.81	0.46
Pradera Subalpina	121.00	0.58
Pastizal Inducido	159.31	0.76
Matorral Desértico Rosetófilo	294.31	1.40
Agricultura de Temporal	366.31	1.75
Bosque de Encino	511.44	2.44
Bosque de Oyamel	1169.50	5.58
Suelo	1685.19	8.04
Chaparral	8130.31	38.79
Bosque de Pino	8425.88	40.20
Total	20959.06	100.00

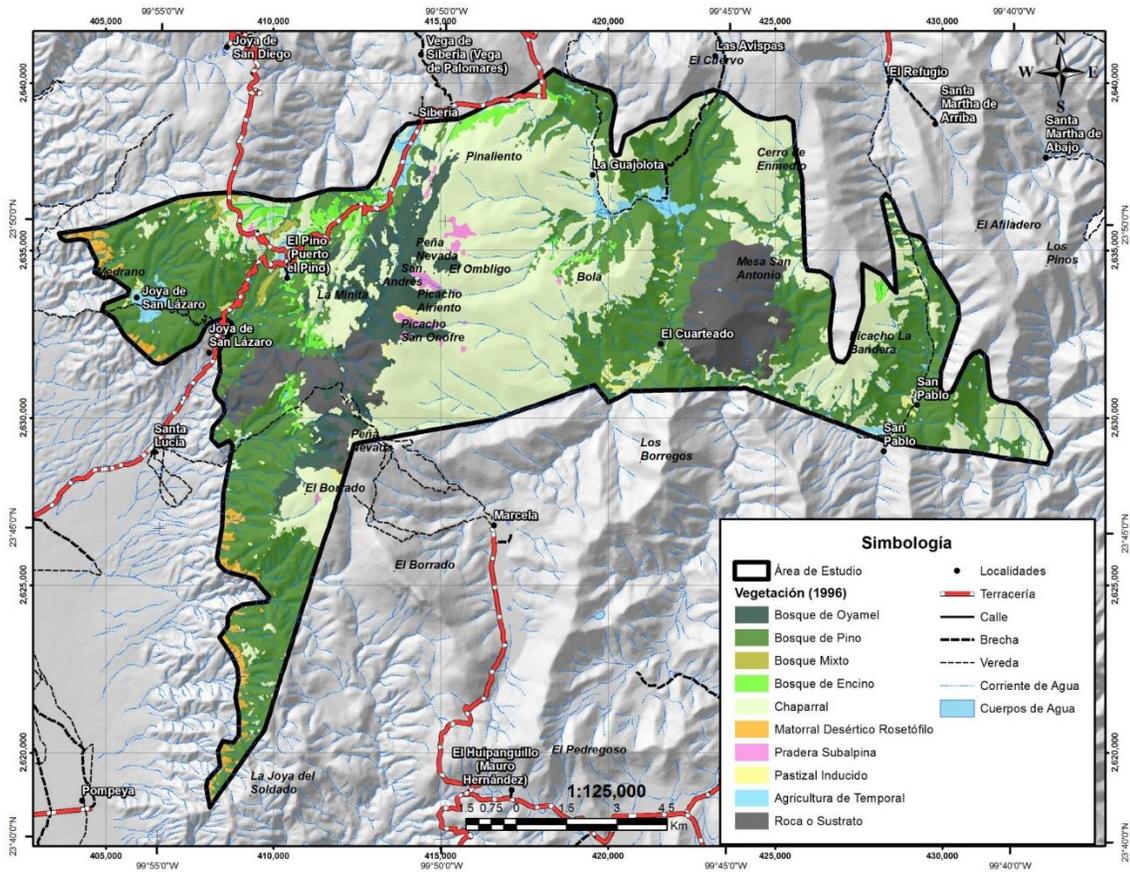


Figura 19 Mapa de vegetación resultado de la clasificación supervisada de la imagen LANDSAT TM de 1996.

Por último, la clasificación supervisada de la imagen LANDSAT TM (Figura 20) de 2007 arrojó 9 coberturas: 7 son tipos de vegetación natural y 2 usos del suelo. Se mantienen las mismas 9 clases que se observaron en el año 1986. La clasificación mostró

que la cobertura con mayor área para esa época fue con chaparral 59.71% de la superficie total del área de estudio, seguido del bosque de pino con el 27.73%. El resto de las coberturas mostraron una superficie menor al 5% cada una. El pastizal inducido representó el 3.75%, seguido muy de cerca por el bosque de oyamel con el 3.42% del área de estudio, la agricultura de temporal con el 1.87%, el bosque de encino con el 1.49%, el matorral desértico rosetófilo con el 1.28%, la pradera subalpina con el 0.40% y por último el bosque mixto con un 0.38%, del área de estudio (Tabla 16).

Tabla 16 Coberturas del suelo y áreas de la clasificación supervisada de la imagen LANDSAT TM del año 2007.

TIPO DE VEGETACIÓN	ÁREA (Ha)	%
Bosque Mixto	80.00	0.38
Pradera Subalpina	83.44	0.40
Matorral Desértico Rosetófilo	267.81	1.28
Bosque de Encino	311.50	1.49
Agricultura de Temporal	392.94	1.87
Bosque de Oyamel	717.25	3.42
Pastizal Inducido	779.25	3.72
Bosque de Pino	5812.56	27.73
Chaparral	12514.31	59.71
Total	20959.06	100.00

## 6.2. Análisis Multitemporal

Los resultados de las clasificaciones fueron comparados entre sí para estimar el cambio por tipo de vegetación y la tasa de cambio en el período de diferencia entre las imágenes. Como se observa en la Tabla 17, el área del bosque de oyamel tiende a disminuir, pasando desde las 1,593.06 ha. en el año 1986 a tan solo 392.94 ha. en el año 2007. La tasa global de cambio para este bosque (1986 – 2007) es de 3.73 % de pérdida anual de su cobertura.

El bosque de pino, al igual que el bosque de oyamel, disminuyó su área de cobertura, pasando de las 10,226.25 ha. en 1986 a tan solo 5,812.56 ha. en el año 2007, representando una tasa global de cambio de -2.65% anual. En cuanto al bosque mixto obtuvo una tasa global de cambio de -2.24% anual, pasando de las 128.75 ha. en 1986 a las 80.00 ha. en

el año 2007. Con una tasa global de cambio de -4.67% anual, el bosque de encino paso de 850.00 ha. en el año 1986 a 311.50 ha. en el año 2007.

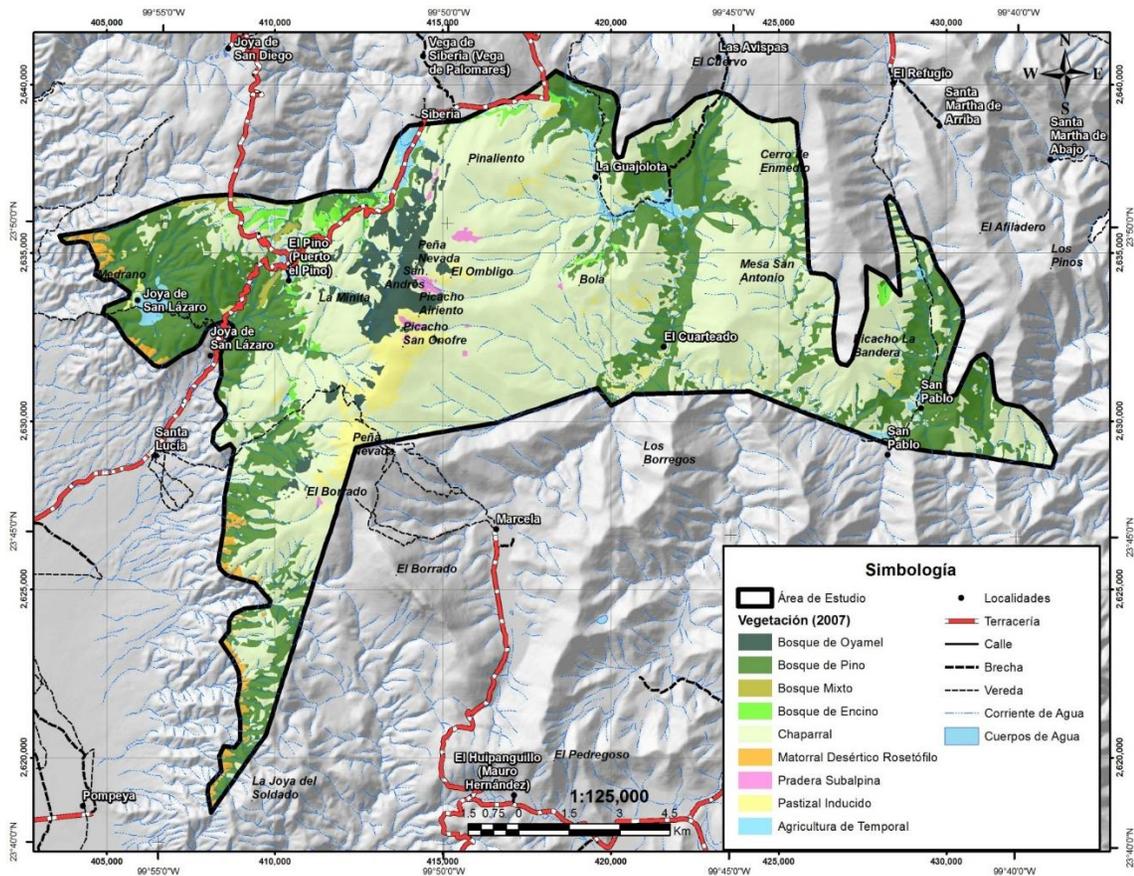


Figura 20 Mapa de vegetación resultado de la clasificación supervisada de la imagen LANDSAT TM de 2007.

Tabla 17 Área para cada tipo de vegetación y año analizado

TIPO DE VEGETACIÓN	ÁREA POR TIPO DE VEGETACIÓN Y AÑO (HA)		
	1986	1996	2007
Agricultura de Temporal	444.69	366.31	392.94
Bosque de Encino	850.00	511.44	311.50
Bosque de Oyamel	1593.06	1169.50	717.25
Bosque de Pino	10226.25	8425.88	5812.56
Bosque Mixto	128.75	95.81	80.00
Chaparral	7056.44	8130.31	12514.31
Matorral Desértico Rosetófilo	235.75	294.31	267.81
Pastizal Inducido	264.81	159.31	779.25
Pradera Subalpina	159.31	121.00	83.44
Suelo o sustrato	0	1685.50	0

La pradera subalpina (-3.03% de cambio anual), presento la tendencia a la disminución de sus áreas en forma global (Figura 21).

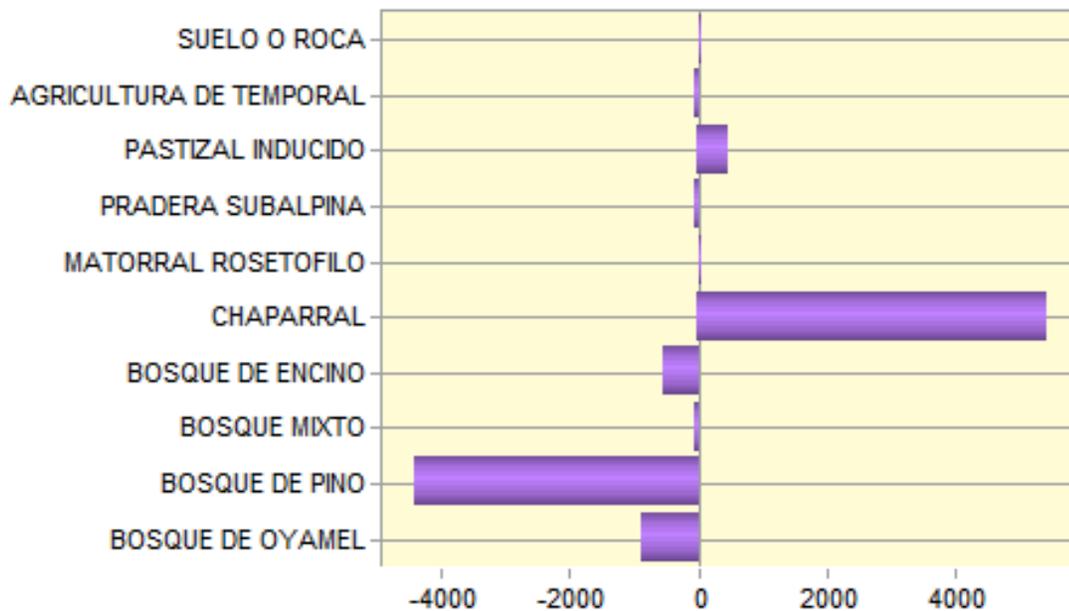


Figura 21 Cambio neto en ha para el periodo 1986 - 2007.

El caso del suelo o sustrato es especial, puesto que en el área de estudio solo en el año 1996 se pudo observar esta clase, debido a los incendios forestales sufridos en la zona. En el año 1996 se perdió un total de 1,685.50 ha., que representaron el 8.04% del área de estudio.

El análisis de la tasa de cambio anual por cobertura vegetal o uso del suelo, resultado de las áreas obtenidas en la clasificación digital se muestran en la Tabla 18.

Se observó que en general las coberturas vegetales tienden a la pérdida de su área cubierta. Las cubiertas con tendencia disminuir son el bosque de pino, bosque de oyamel, bosque mixto y bosque de encino. Otras en cambio, aumentaron a lo largo del tiempo como por ejemplo el chaparral y el pastizal inducido, mientras que otras aparentemente se mantuvieron estables como la agricultura de temporal, la pradera subalpina, y el matorral desértico rosetófilo ( Figura 22).

Tabla 18 Tasa de Cambio anual por clase (% anual).

TIPO DE VEGETACIÓN	TASA DE CAMBIO ANUAL (% Anual)		
	1986-1996	1996-2007	Global 1986-2007
Bosque de Oyamel	-3.04	-4.35	-3.73
Bosque de Pino	-1.92	-3.32	-2.65
Bosque Mixto	-2.91	-1.63	-2.24
Bosque de Encino	-4.95	-4.41	-4.67
Chaparral	1.43	4.00	2.77
Matorral Desértico Rosetófilo	2.24	-0.85	0.61
Pradera Subalpina	-2.71	-3.32	-3.03
Pastizal Inducido	-4.95	15.52	5.27
Agricultura de Temporal	-1.92	0.64	-0.59
Suelo o sustrato		100.00	-100.00

Los valores negativos indican pérdida de cobertura, los valores positivos indican ganancia de cobertura. El periodo analizado es de 21 años.

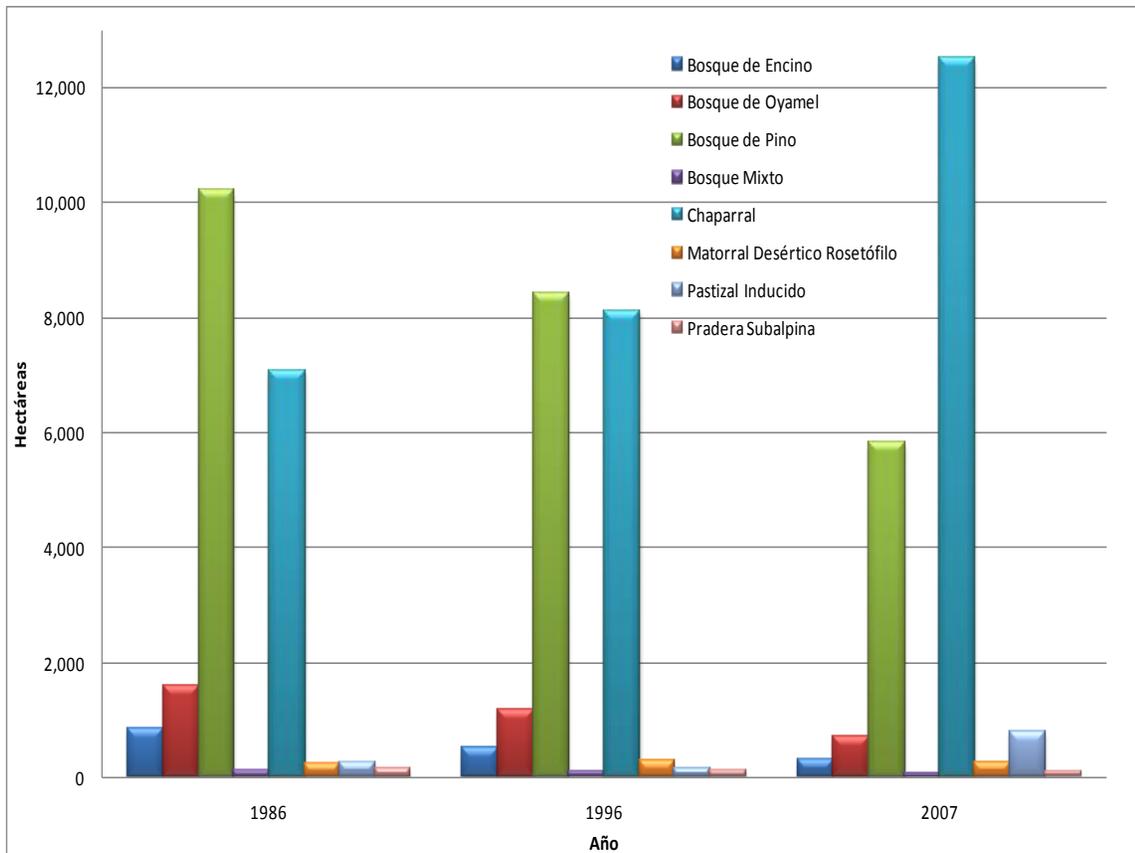


Figura 22 Área por tipo de vegetación o uso del suelo a través del tiempo (1986, 1996, 2007).

En la Tabla 19 se muestra en los renglones el tipo de comunidad o uso en el año 1986 y en las columnas la información correspondiente al año 1996, observando el cambio o persistencia de cada uso o tipo de vegetación en comparación entre los años. Entre los cambios más importantes se observó el paso de 147.750 ha. de bosque de oyamel a chaparral y 109.938 ha. a bosque de pino. El bosque de pino cambió 1,188.50 ha. a chaparral y 97.25 ha. a bosque de encino. El caso de bosque mixto 28.83 ha. se transformaron chaparral. En el bosque de encino se modificaron 343.563 ha. a chaparral. El chaparral cambió 128.813 ha. a bosque de pino. Se transformaron 64.438 ha. de pastizal inducido a chaparral y 44.313 a bosque de pino. En cuanto a la agricultura de temporal 101 ha. pasaron a chaparral (Figura 23).

Tabla 19 Análisis de cruce de tablas de áreas entre los años 1986 y 1996 por tipo de vegetación.

VEGETACIÓN	ÁREA (Ha)										
	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino	Bosque Mixto	Bosque de Encino	Chaparral	Rosetófilo	Matorral Desértico	Pradera Subalpina	Pastizal Inducido	Agricultura de Temporal	Total 1986
1986 \ 1996											
Bosque de Oyamel	1151.313	109.938	0.500	1.438	147.750	0.000	6.125	1.750	0.500	173.750	
Bosque de Pino	5.750	8091.875	8.375	97.250	1188.500	69.563	0.000	11.125	13.125	740.688	
Bosque Mixto	0.000	3.375	81.813	4.188	28.813	0.000	0.000	0.000	0.063	10.500	
Bosque de Encino	0.000	7.875	2.313	395.250	343.563	0.000	0.000	0.000	0.813	100.188	
Chaparral	12.375	128.813	0.000	12.875	6206.125	0.000	5.438	35.188	29.563	626.063	
Matorral Desértico Rosetófilo	0.000	10.813	0.000	0.000	0.188	224.750	0.000	0.000	0.000	0.000	
Pradera Subalpina	0.063	0.000	0.000	0.000	49.938	0.000	107.875	1.438	0.000	0.000	
Pastizal Inducido	0.000	44.313	0.000	0.000	64.438	0.000	1.563	100.250	23.000	31.250	
Agricultura de Temporal	0.000	28.875	2.813	0.438	101.000	0.000	0.000	9.563	299.250	2.750	
Total 1996	1169.500	8425.875	95.813	511.438	8130.313	294.313	121.000	159.313	366.313	1685.188	

Datos en renglones pertenecen al año 1986.  
 Datos en columna pertenecen a 1996.

En la Tabla 20 se observa el porcentaje de pérdida o persistencia de la vegetación o uso del suelo para el periodo 1986 a 1996. Este análisis mostró que el bosque de oyamel, bosque de pino, chaparral y el matorral desértico rosetófilo conservaron más del 70% de su área de cobertura; mientras que el bosque mixto, la pradera subalpina y la agricultura

de temporal entre el 60 y 70% de su área de cobertura, en cambio el bosque de encino y el pastizal inducido menos del 50% de su área de cobertura.

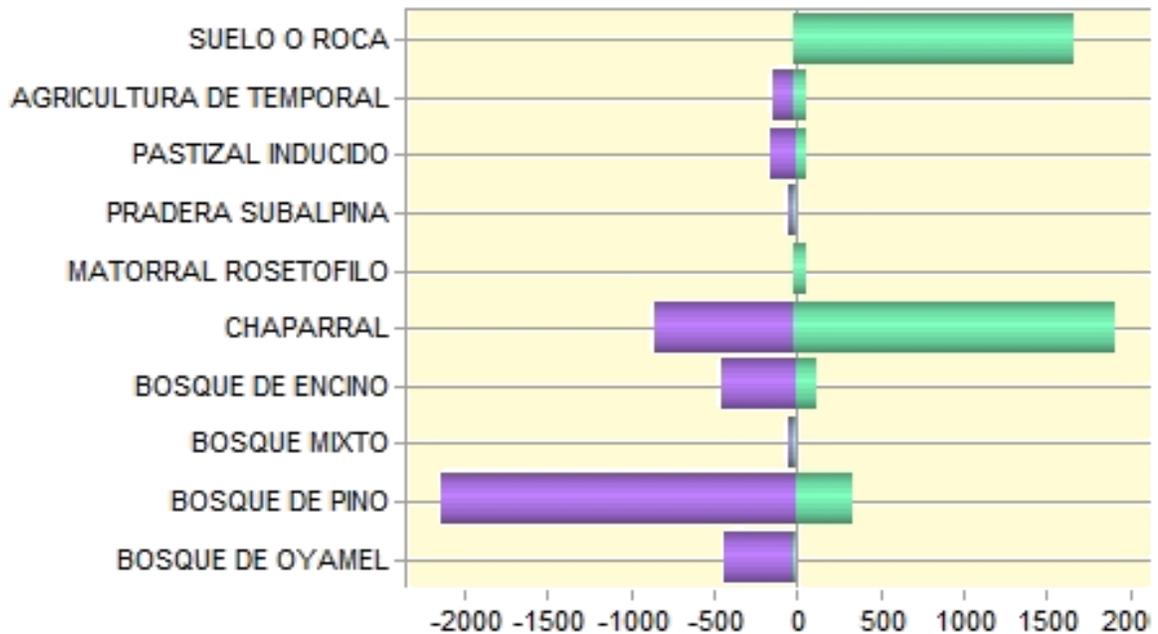


Figura 23 Ganancias y pérdida por tipo de vegetación y uso del suelo en ha para el periodo 1986-1996.

En la Tabla 21 tenemos el modelo Markoviano para el periodo 1986 a 1996. Este modelo mostró la probabilidad de cambio de cada tipo de vegetación a otro; entre mayor sea el valor, mayor la posibilidad de persistencia o cambio, según sea el caso. Muestra que la cobertura con mayor probabilidad de persistencia como tal fue el matorral desértico rosetófilo (0.9487) seguido del chaparral (0.8660) y el bosque de pino (0.7665), mientras que el pastizal inducido (0.2712) y el bosque de encino (0.3732) obtuvieron la menor probabilidad. Los valores más altos de probabilidad de cambio hacia otra cobertura fueron coincidentes hacia el chaparral y/o el sustrato o suelo con valores hacia la primera cobertura mayores al 0.1 y menores del 0.5 (con excepción del matorral rosetófilo con valor de 0.0001) y hacia el sustrato o suelo de valores entre 0.07 y el 0.13 para las coberturas de bosques templados y para pastizal inducido, coincidiendo con la distribución de estas coberturas en las zonas de incendios forestales entre estos periodos (Figura 24).

Tabla 20 Porcentaje de persistencia o cambio en el periodo 1986 y 1996 por tipo de vegetación.

VEGETACIÓN	Porcentaje									
	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino	Bosque Mixto	Bosque de Encino	Chaparral	Matorral Desértico Rosetófilo	Pradera Subalpina	Pastizal Inducido	Agricultura de Temporal	Suelo o Sustrato
Bosque de Oyamel	<b>72.270</b>	6.901	0.031	0.090	9.275	0.000	0.384	0.110	0.031	10.907
Bosque de Pino	0.056	<b>79.128</b>	0.082	0.951	11.622	0.680	0.000	0.109	0.128	7.243
Bosque Mixto	0.000	2.621	<b>63.544</b>	3.252	22.379	0.000	0.000	0.000	0.049	8.155
Bosque de Encino	0.000	0.926	0.272	<b>46.500</b>	40.419	0.000	0.000	0.000	0.096	11.787
Chaparral	0.175	1.825	0.000	0.182	<b>87.950</b>	0.000	0.077	0.499	0.419	8.872
Matorral Desértico Rosetófilo	0.000	4.586	0.000	0.000	0.080	<b>95.334</b>	0.000	0.000	0.000	0.000
Pradera Subalpina	0.039	0.000	0.000	0.000	31.346	0.000	<b>67.713</b>	0.902	0.000	0.000
Pastizal Inducido	0.000	16.734	0.000	0.000	24.333	0.000	0.590	<b>37.857</b>	8.685	11.801
Agricultura de Temporal	0.000	6.493	0.632	0.098	22.713	0.000	0.000	2.150	<b>67.294</b>	0.618

**Suma de los renglones da el 100%. Número en negritas marca la persistencia del tipo de vegetación o uso.**

Tabla 21 Modelo Markoviano de cambio de uso del suelo para el periodo de 1986 a 1996 (10 años).

VEGETACIÓN	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino	Bosque Mixto	Bosque de Encino	Chaparral	Matorral Desértico Rosetófilo	Pradera Subalpina	Pastizal Inducido	Agricultura de Temporal	Suelo o Sustrato
Bosque de Oyamel	0.6871	0.0802	0.0004	0.001	0.1043	0	0.0046	0.0012	0.0003	0.121
Bosque de Pino	0.0006	0.7665	0.001	0.0114	0.1309	0.0076	0	0.0012	0.0014	0.0793
Bosque Mixto	0	0.0301	0.5821	0.0397	0.2585	0	0	0	0.0003	0.0892
Bosque de Encino	0	0.0097	0.0033	0.3732	0.4808	0	0	0	0.0008	0.1322
Chaparral	0.002	0.0205	0	0.0021	0.866	0	0.0009	0.0059	0.0048	0.0977
Matorral Desértico Rosetófilo	0	0.0513	0	0	0.0001	0.9487	0	0	0	0
Pradera Subalpina	0.0003	0	0	0	0.3565	0	0.6325	0.0106	0	0
Pastizal Inducido	0	0.1996	0	0	0.2837	0	0.0071	0.2712	0.1049	0.1335
Agricultura de Temporal	0	0.0752	0.0076	0.001	0.2604	0	0	0.0259	0.6273	0.0027

1986-1996

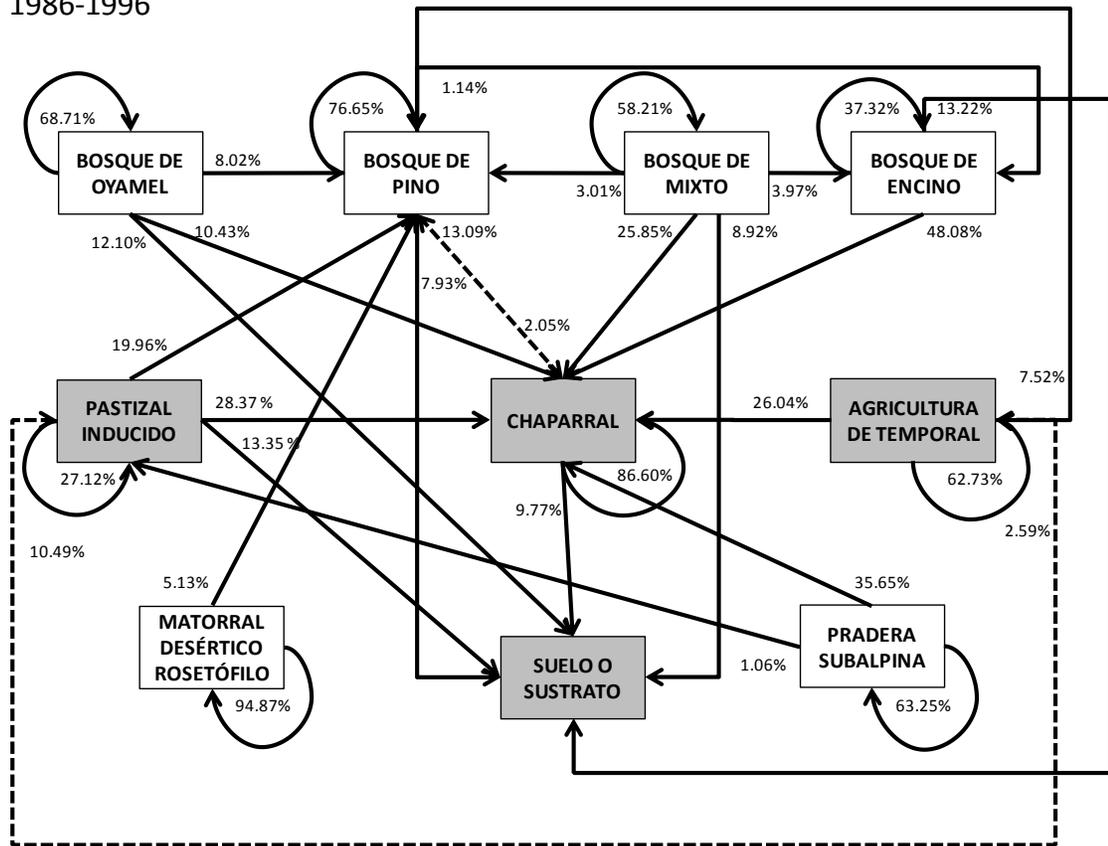


Figura 24 Diagrama del modelo de Markoviano de probabilidad de persistencia o cambio para el periodo 1986-1996. Las líneas punteadas indican cambio en ambas direcciones, cuadros con color indican cubiertas secundarias o de origen antrópico.

En la Tabla 22 se muestra en los renglones el tipo de comunidad o uso en el año 1996 y en las columnas la información correspondiente al año 2007. Entre los cambios más importantes se tuvo las 321.438 ha. de bosque de oyamel a chaparral. Pasaron 2,624.125 ha. de bosque de pino a chaparral. El bosque mixto permaneció prácticamente sin cambio, con solo 16.563 ha. que se convirtieron a chaparral. El bosque de encino cambió 206.438 ha. a chaparral. Un total de 329.8134 ha. de chaparral se transformaron a pastizal inducido. Se perdieron 26.750 ha. de matorral desértico rosetófilo, pasando a chaparral. La pradera subalpina cambió 44 ha. a chaparral. El pastizal inducido dio paso a 55.750 ha. a chaparral. La agricultura de temporal cambió 70 ha. a chaparral. Las zonas desnudas cambiaron 1,534.313 ha. a chaparral. Básicamente todos los procesos de cambio de este periodo se encuentran relacionados con el chaparral, debido a que esta es una comunidad producto

de los incendios forestales acontecidos en la región en los años 1996, 1998 y 2000 (Figura 25).

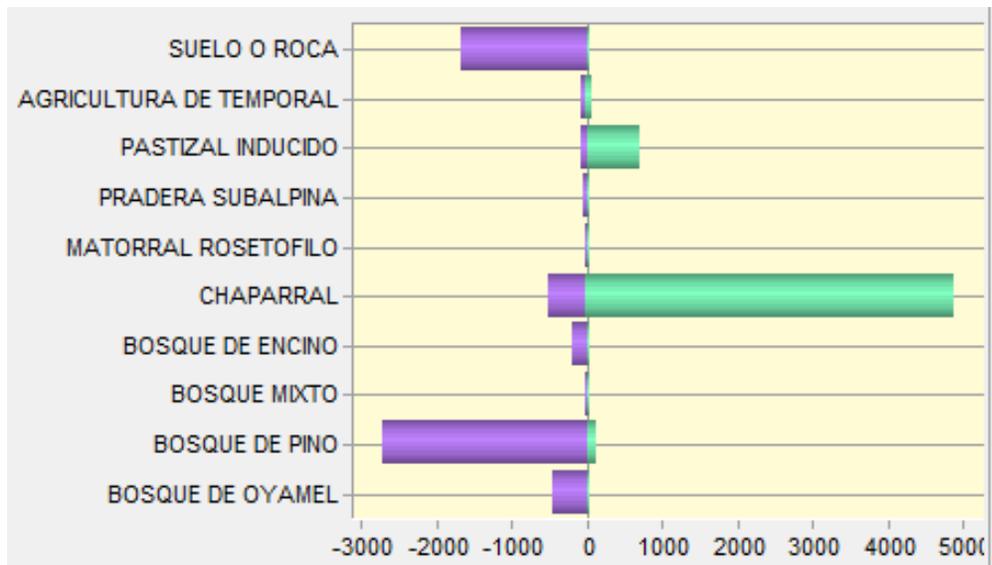


Figura 25 Ganancias y pérdida por tipo de vegetación y uso del suelo en ha para el periodo 1996-2007.

Tabla 22 Análisis de cruce de tablas de áreas entre los años 1996 y 2007 por tipo de vegetación.

VEGETACIÓN	ÁREA (Ha)									
	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino	Bosque Mixto	Bosque de Encino	Chaparral	Matorral Desértico Rosetófilo	Pradera Subalpina	Pastizal Inducido	Agricultura de Temporal	Suelo o Sustrato
Bosque de Oyamel	713.625	0.000	0.000	0.000	321.438	0.000	0.000	134.438	0.000	1169.500
Bosque de Pino	0.000	5707.188	0.750	0.438	2624.125	5.000	0.000	68.188	20.188	8425.875
Bosque Mixto	0.000	0.000	79.250	0.000	16.563	0.000	0.000	0.000	0.000	95.813
Bosque de Encino	0.000	0.063	0.000	303.625	206.438	0.000	0.000	0.000	1.313	511.438
Chaparral	3.625	101.500	0.000	7.438	7614.938	0.063	11.313	329.813	61.625	8130.313
Matorral Desértico Rosetófilo	0.000	1.875	0.000	0.000	26.750	262.750	0.000	2.938	0.000	294.313
Pradera Subalpina	0.000	0.000	0.000	0.000	44.000	0.000	72.125	4.875	0.000	121.000
Pastizal Inducido	0.000	0.750	0.000	0.000	55.750	0.000	0.000	84.563	18.250	159.313
Agricultura de Temporal	0.000	1.188	0.000	0.000	70.000	0.000	0.000	4.438	290.688	366.313
Suelo o Sustrato	0.000	0.000	0.000	0.000	1534.313	0.000	0.000	150.000	0.875	1685.188
<b>Total 2007</b>	<b>717.250</b>	<b>5812.563</b>	<b>80.000</b>	<b>311.500</b>	<b>12514.313</b>	<b>267.813</b>	<b>83.438</b>	<b>779.250</b>	<b>392.938</b>	<b>20959.063</b>

Datos en renglones pertenecen al año 1996.

Datos en columna pertenecen a 2007.

La persistencia en porcentaje muestra que todas las clases a excepción del suelo o sustrato tienen un porcentaje mayor al 50%, sobresaliendo el chaparral con 93.661% y el matorral desértico rosetófilo con 89.276% (Tabla 23).

Tabla 23 Porcentaje de persistencia o cambio en el periodo 1996 y 2007 por tipo de vegetación.

VEGETACIÓN	Porcentaje									
	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino	Bosque Mixto	Bosque de Encino	Chaparral	Matorral Desértico Rosetófilo	Pradera Subalpina	Pastizal Inducido	Agricultura de Temporal	Suelo o Sustrato
Bosque de Oyamel	<b>61.020</b>	0.000	0.000	0.000	27.485	0.000	0.000	11.495	0.000	0.000
Bosque de Pino	0.000	<b>67.734</b>	0.009	0.005	31.144	0.059	0.000	0.809	0.240	0.000
Bosque Mixto	0.000	0.000	<b>82.714</b>	0.000	17.286	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Bosque de Encino	0.000	0.012	0.000	<b>59.367</b>	40.364	0.000	0.000	0.000	0.257	0.000
Chaparral	0.045	1.248	0.000	0.091	<b>93.661</b>	0.001	0.139	4.057	0.758	0.000
Matorral Desértico Rosetófilo	0.000	0.637	0.000	0.000	9.089	<b>89.276</b>	0.000	0.998	0.000	0.000
Pradera Subalpina	0.000	0.000	0.000	0.000	36.364	0.000	<b>59.607</b>	4.029	0.000	0.000
Pastizal Inducido	0.000	0.471	0.000	0.000	34.994	0.000	0.000	<b>53.080</b>	11.455	0.000
Agricultura de Temporal	0.000	0.324	0.000	0.000	19.109	0.000	0.000	1.211	<b>79.355</b>	0.000
Suelo o Sustrato	0.000	0.000	0.000	0.000	91.047	0.000	0.000	8.901	0.052	<b>0.000</b>
<b>Suma de los renglones da el 100%. Número en negritas marca la persistencia del tipo de vegetación o uso.</b>										

En el modelo Markoviano mostrado en la Tabla 24 se presentó la probabilidad de cambio para el período de 1996 a 2007. Se observó que el bosque de oyamel tuvo una probabilidad de permanecer como el mismo tipo de bosque de 63.64% (0.6364), 25.32% (0.2532) de cambiar a chaparral. El bosque de pino tuvo 70.04% (0.7004) de permanecer como tal y 29.01% (0.2901) para pasar a chaparral. El bosque mixto tuvo 84.14% (0.8414) de probabilidades de permanecer sin cambio y el 15.86% de probabilidad de transformarse a chaparral. El bosque de encino tuvo 62.04% (0.6204) de permanecer como tal y 37.73% (0.3773) de cambiar a chaparral. El chaparral tuvo un probabilidad de 94.08% (0.9408) de permanecer como tal y solo el 3.83% (0.0383) de convertirse en pastizal inducido.

El matorral desértico rosetófilo mostró una probabilidad de permanecer como tal del 90.2% (0.9020). Para la pradera subalpina fue de 62.27% (0.6227) y 33.94% (0.3394) de cambiar a chaparral. El pastizal inducido de 55.63% (0.5563), de 32.86% (0.3286) de

transformarse a chaparral y 10.93% de cambio hacia agricultura. La probabilidad de persistencia de la agricultura de temporal fue de 81.00% (0.8100), 17.62% (0.1762) de cambiar a chaparral y 1.10% (0.0110) de pasar a pastizal inducido.

Tabla 24 Modelo Markoviano de cambio de uso del suelo para el periodo de 1996 a 2007 (11 años).

VEGETACIÓN	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino	Bosque Mixto	Bosque de Encino	Chaparral	Matorral Desértico Rosetófilo	Pradera Subalpina	Pastizal Inducido	Agricultura de Temporal	Suelo o Sustrato
Bosque de Oyamel	0.6364	0	0	0	0.2532	0	0	0.1104	0	0
Bosque de Pino	0	0.7004	0.0001	0	0.2901	0.0006	0	0.0068	0.0021	0
Bosque Mixto	0	0	0.8414	0	0.1586	0	0	0	0	0
Bosque de Encino	0	0	0	0.6204	0.3773	0	0	0	0.0023	0
Chaparral	0.0004	0.0116	0	0.0009	0.9408	0	0.0013	0.0383	0.0066	0
Matorral Desértico Rosetófilo	0	0.0059	0	0	0.083	0.902	0	0.0092	0	0
Pradera Subalpina	0	0	0	0	0.3394	0	0.6227	0.0379	0	0
Pastizal Inducido	0	0.0042	0	0	0.3286	0	0	0.5563	0.1093	0.0017
Agricultura de Temporal	0	0.0029	0	0	0.1762	0	0	0.011	0.81	0
Suelo o Sustrato	0	0	0	0	0.9107	0	0	0.0893	0	0

En el caso del suelo o sustrato la probabilidad de permanecer como tal es de 0% con una probabilidad de cambio de 91.07% (0.9107) hacia chaparral y de 8.93% hacia pastizal inducido.

El análisis mostró que las cubiertas con mayor probabilidad de persistencia fueron el chaparral, el bosque mixto, el matorral desértico rosetófilo y la agricultura de temporal, con arriba del 80% de persistencia; mientras que la cubierta con mayor probabilidad de cambio fue el suelo o sustrato con 0% de probabilidad de persistencia. El resto de las clases obtuvieron valores de persistencia mayores al 50% y menores del 80% (Figura 26).

1996-2007

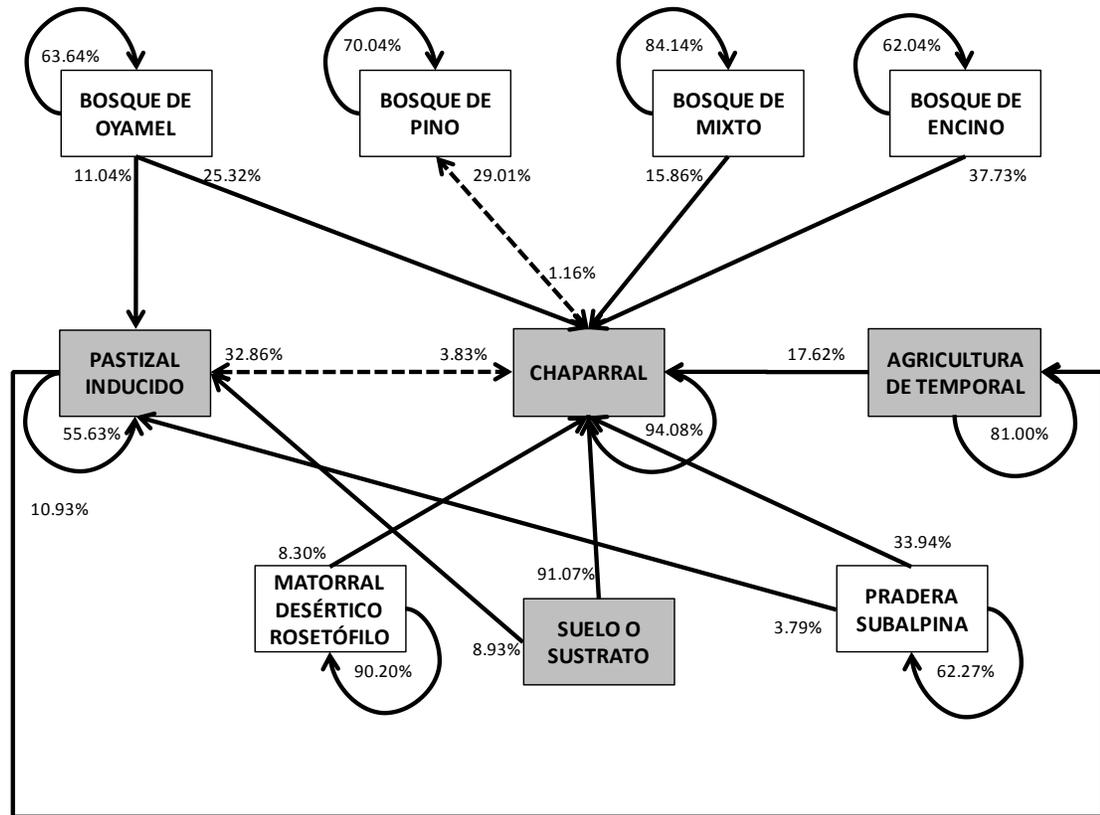


Figura 26 Diagrama del modelo de Markoviano de probabilidad de persistencia o cambio para el periodo 1996-2007. Las líneas punteadas indican cambio en ambas direcciones, cuadros con color indican cubierta secundarias o de origen antrópico.

En el análisis global de 21 años los resultados muestran lo siguiente: entre los principales cambios tenemos 573.063 ha. de bosque de oyamel que cambió a chaparral y 222.188 ha. a pastizal inducido. El bosque de pino cambió 4,408.375 ha. a chaparral. El bosque mixto perdió casi el 50% de su área en el periodo estudiado, pasando 55.438 ha. a chaparral. El bosque de encino cambió 612.063 ha. a chaparral, perdiendo más del 70% de su cobertura. El chaparral cambió 360.688 ha. a pastizal inducido. El matorral desértico rosetófilo prácticamente no cambió, solo siendo un 10.375 ha. a bosque de pino. La pradera subalpina 77.375 ha. a chaparral, esto es más del 50% de su área. El pastizal inducido cambió 100.063 ha. a chaparral y 46.125 ha. a agricultura de temporal. La agricultura de temporal transformó 135.188 ha. a chaparral. Estos resultados muestran que prácticamente todas las clases cedieron terreno al chaparral, creciendo esta clase en área casi un 90% en el 2007, con referencia al año 1986 (Tabla 25y Figura 27).

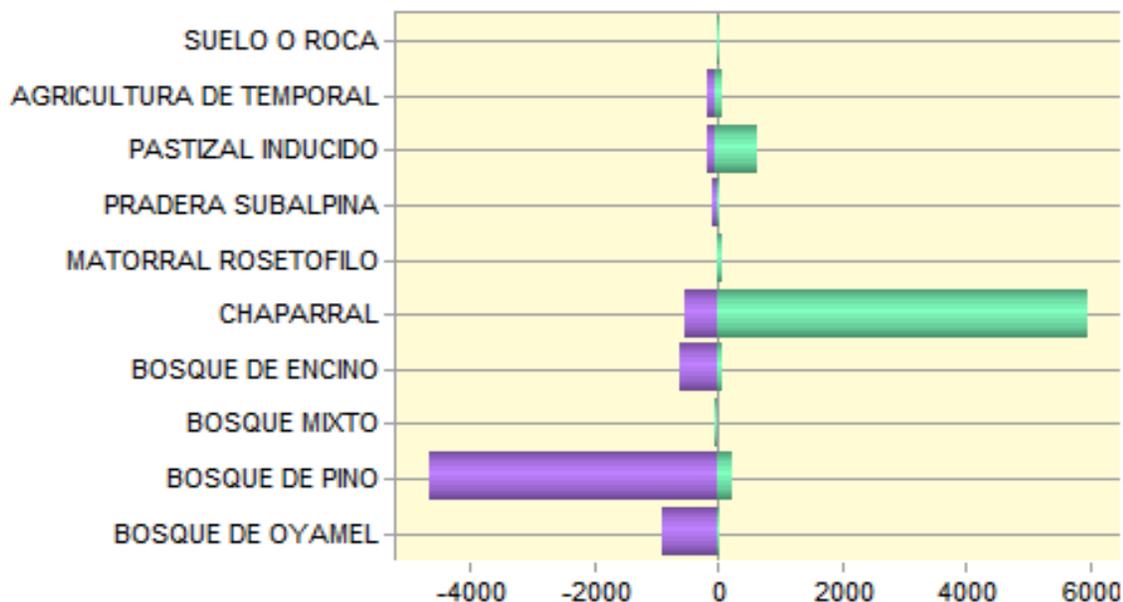


Figura 27 Ganancias y pérdida por tipo de vegetación y uso del suelo en ha para el periodo 1986-2007.

Tabla 25 Análisis de cruce de tablas de áreas entre los años 1986 y 2007 por tipo de vegetación.

VEGETACIÓN	ÁREA (Ha)									
	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino	Bosque Mixto	Bosque de Encino	Chaparral	Matorral Desértico Rosetófilo	Pradera Subalpina	Pastizal Inducido	Agricultura de Temporal	Total 1986
1986 \ 2007										
Bosque de Oyamel	707.688	83.875	0.000	0.938	573.063	0.000	5.125	222.188	0.188	1593.063
Bosque de Pino	0.875	5569.313	7.188	79.563	4408.375	57.313	0.000	78.438	25.188	10226.250
Bosque Mixto	0.000	2.938	67.688	2.688	55.438	0.000	0.000	0.000	0.000	128.750
Bosque de Encino	1.063	8.500	2.313	221.375	612.063	0.000	0.000	1.750	2.938	850.000
Chaparral	7.625	94.875	0.000	6.625	6540.750	0.063	3.563	360.688	42.250	7056.438
Matorral Desértico Rosetófilo	0.000	10.375	0.000	0.000	12.000	210.438	0.000	2.938	0.000	235.750
Pradera Subalpina	0.000	0.000	0.000	0.000	77.375	0.000	74.688	7.250	0.000	159.313
Pastizal Inducido	0.000	21.375	0.000	0.000	100.063	0.000	0.063	97.188	46.125	264.813
Agricultura de Temporal	0.000	21.313	2.813	0.313	135.188	0.000	0.000	8.813	276.250	444.688
Suelo o Sustrato	717.250	5812.563	80.000	311.500	12514.313	267.813	83.438	779.250	392.938	20959.063
Total 2007	707.688	83.875	0.000	0.938	573.063	0.000	5.125	222.188	0.188	1593.063

Datos en renglones pertenecen al año 1986.  
 Datos en columna pertenecen a 2007.

A nivel global, los porcentajes de persistencia cambian drásticamente, ya que solo el chaparral, el matorral desértico rosetófilo y la agricultura de temporal tienen más del 60% de persistencia. El bosque de oyamel, bosque de pino, bosque mixto y pradera subalpina tienen un porcentaje de persistencia de entre 40 y 55%; mientras que el bosque de encino y el pastizal inducido presentan valores menores al 40% (Tabla 26).

Tabla 26 Porcentaje de persistencia o cambio en el periodo 1986 y 2007 por tipo de vegetación.

VEGETACIÓN	Porcentaje								
	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino	Bosque Mixto	Bosque de Encino	Chaparral	Matorral Desértico Rosetófilo	Pradera Subalpina	Pastizal Inducido	Agricultura de Temporal
Bosque de Oyamel	<b>44.423</b>	5.265	0.000	0.059	35.972	0.000	0.322	13.947	0.012
Bosque de Pino	0.009	<b>54.461</b>	0.070	0.778	43.108	0.560	0.000	0.767	0.246
Bosque Mixto	0.000	2.282	<b>52.573</b>	2.087	43.058	0.000	0.000	0.000	0.000
Bosque de Encino	0.125	1.000	0.272	<b>26.044</b>	72.007	0.000	0.000	0.206	0.346
Chaparral	0.108	1.345	0.000	0.094	<b>92.692</b>	0.001	0.050	5.111	0.599
Matorral Desértico Rosetófilo	0.000	4.401	0.000	0.000	5.090	<b>89.263</b>	0.000	1.246	0.000
Pradera Subalpina	0.000	0.000	0.000	0.000	48.568	0.000	<b>46.881</b>	4.551	0.000
Pastizal Inducido	0.000	8.072	0.000	0.000	37.786	0.000	0.024	<b>36.700</b>	17.418
Agricultura de Temporal	0.000	4.793	0.632	0.070	30.401	0.000	0.000	1.982	<b>62.122</b>

Suma de los renglones da el 100%. Número en negritas marca la persistencia del tipo de vegetación o uso.

En el modelo Markoviano (Tabla 27) muestra la probabilidad de cambio para el período de 1986 a 2007. El bosque de oyamel presentó una probabilidad de permanecer como tal de 62.82% (0.6282) y de 20.29% de cambiar a chaparral. El bosque de pino mostró un 53.30% (0.533) de permanencia; 27.9% (0.279) de cambio a chaparral y 9.3% (0.093) a suelo o sustrato. El bosque mixto tuvo 78.3% (0.783) de probabilidad de permanecer sin cambio y 12.6% (0.126) de cambiar a bosque de pino. El bosque de encino mostró 29.2% (0.292) de probabilidad de cambiar a bosque de pino, 36.2% (0.362) de cambiar a chaparral y 20.9% (0.209) de permanecer sin cambio.

El chaparral tuvo un probabilidad de 73% (0.730) de permanecer sin cambio, 10.3% (0.103) de cambiar a bosque de pino y 8.5% (0.085) de cambiar a suelo o sustrato. El matorral desértico rosetófilo tuvo una probabilidad de permanecer como tal del 30.4% (0.304), 27.2% (0.272) de cambiar a bosque de pino y 33.7% (0.337) probabilidad para cambiar a chaparral.

La probabilidad de persistencia de la pradera subalpina fue de 29.1% (0.291) y 61.9% (0.619) de cambiar a chaparral. El pastizal inducido tuvo una probabilidad de persistencia de 10.1% (0.101) y de 67.1% (0.671) de cambiar a chaparral.

Tabla 27 Modelo Markoviano de cambio de uso del suelo para el periodo de 1986 a 2007 (21 años).

VEGETACIÓN	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino	Bosque Mixto	Bosque de Encino	Chaparral	Matorral Desértico Rosetófilo	Pradera Subalpina	Pastizal Inducido	Agricultura de Temporal
Bosque de Oyamel	0.6282	0.0362	0	0.0002	0.2029	0	0.0029	0.1296	0
Bosque de Pino	0	0.7167	0.0006	0.0079	0.27	0.0036	0	0	0.0013
Bosque Mixto	0	0.0164	0.7035	0.0211	0.2587	0	0	0	0.0002
Bosque de Encino	0.0009	0.0053	0.0028	0.4176	0.5704	0	0	0	0.003
Chaparral	0.0007	0.0062	0	0.0007	0.9546	0	0.0003	0.0374	0
Matorral Desértico Rosetófilo	0	0.0274	0	0	0.0173	0.9468	0	0.0084	0
Pradera Subalpina	0	0	0	0	0.3171	0	0.6519	0.0309	0
Pastizal Inducido	0	0.0703	0	0	0.237	0	0.0001	0.5333	0.1591
Agricultura de Temporal	0	0.0353	0.0051	0.0002	0.1715	0	0	0.0099	0.778
Suelo o Sustrato	0.0002	0	0.0005	0.0004	0	0.0002	0	0.9987	0

La probabilidad de persistencia de la agricultura de temporal fue de 14.9% (0.149), 39.5% (0.395) de cambiar a chaparral y 19% (0.190) de cambiar a pastizal inducido (Figura 28).

En el mapa de la Figura 29 se muestra las persistencias explicadas anteriormente de los tipos de vegetación y usos del suelo entre los años 1986 y 2007, mientras que en la Figura 30 se muestran las pérdidas en el mismo período.

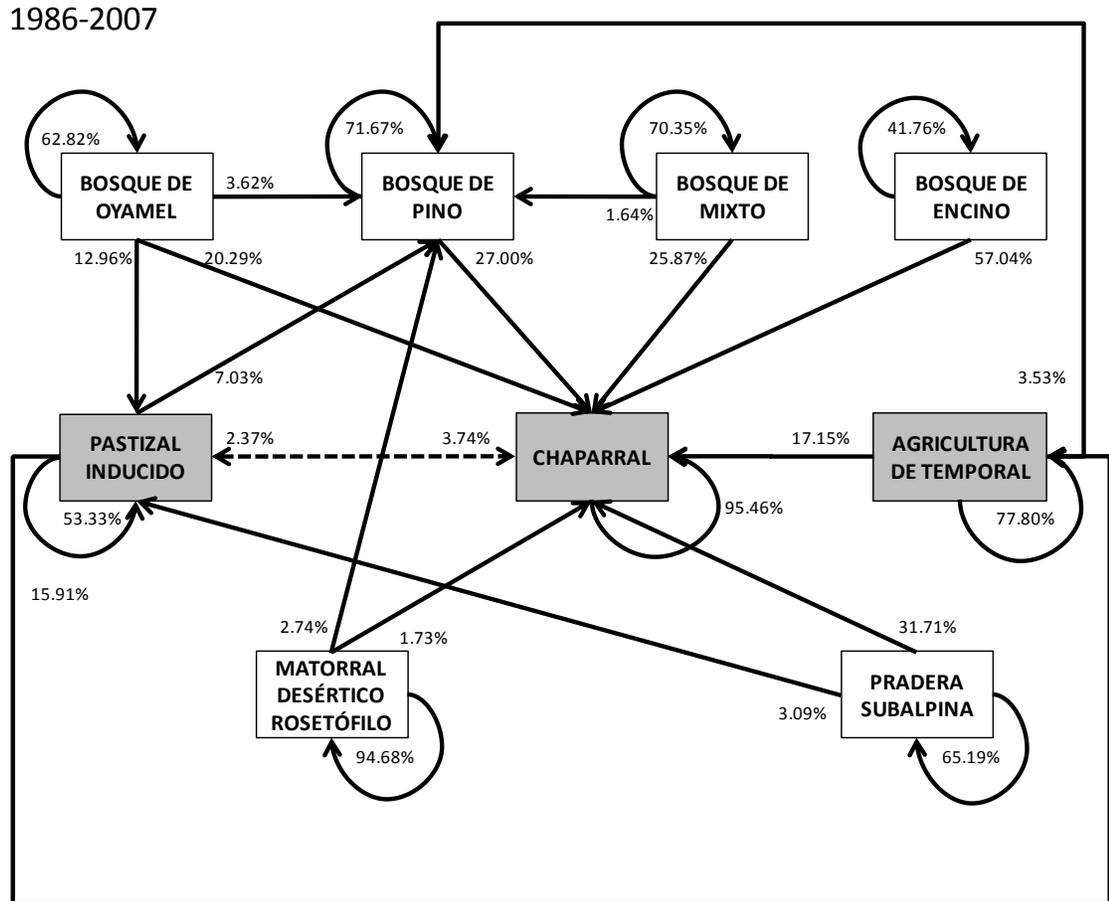


Figura 28 Diagrama del modelo de Markoviano de probabilidad de persistencia o cambio para el periodo 1996-2007. Las líneas punteadas indican cambio en ambas direcciones, cuadros con color indican cubiertas secundarias o de origen antrópico.

## 6.1. Análisis de la fragmentación del hábitat

Con ayuda de la extensión para ArcGis Patch Analyst versión 5.1 (Rempel *et al.*, 2012), se realizó el análisis de los patrones espaciales para cuantificar la estructura del escenario o de los hábitat encontrados dentro de la zona de estudio.

### 6.1.1. Métricas

#### 6.1.1.1. Métricas de área:

El área total del paisaje (TA) calculada fue de 20,959.06 ha., mientras que el área de clase (CA), puede observar en la sección en la Tabla 17.

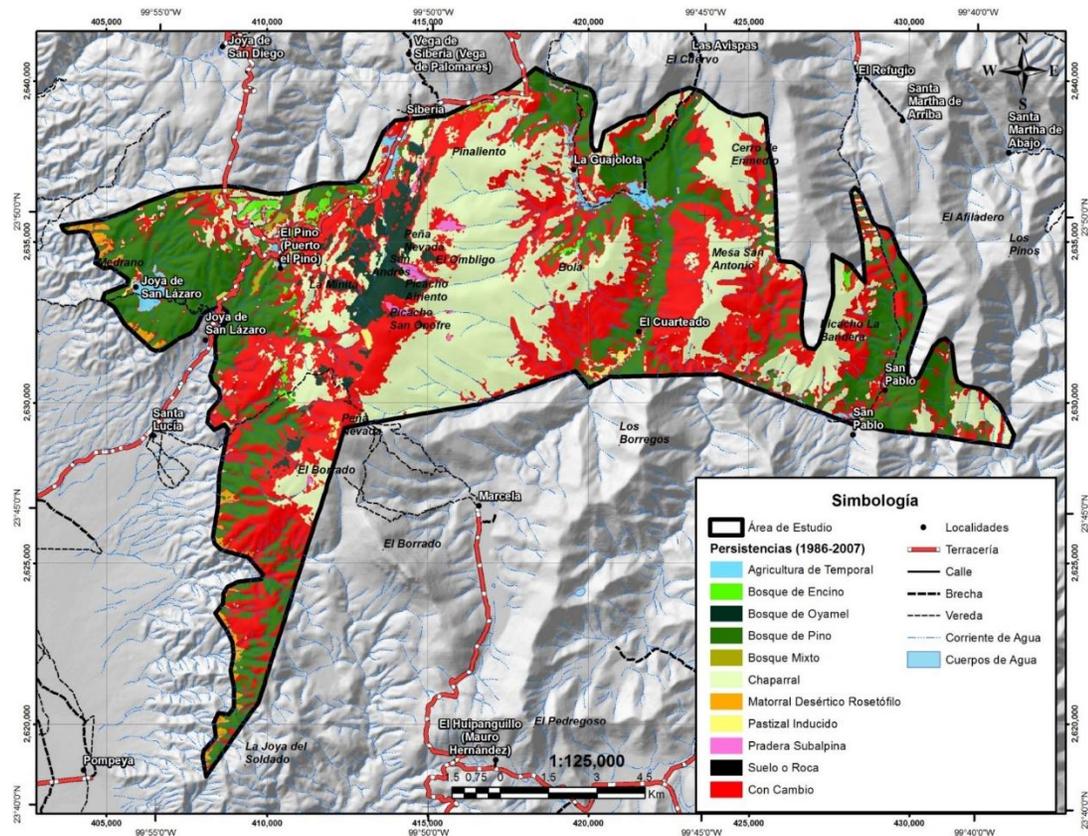


Figura 29 Mapa de persistencias entre los años 1986 y 2007.

#### 6.1.1.1. Métricas de variabilidad, tamaño y densidad del fragmento:

Las métricas de variabilidad, tamaño y densidad del fragmento a nivel de paisaje se observan en la Tabla 28 y a nivel de clase en la Tabla 29. El número de fragmentos en el paisaje tiende a disminuir como lo muestra la Figura 31, lo que nos indica una tendencia a la desaparición de fragmentos y su desviación estándar. En el año 1986 se identificaron 1458 fragmentos, para el año 1996 disminuyó hasta 1193 fragmentos, en 2007 disminuyó a 1128. La desviación estándar del tamaño del fragmento mostró variaciones entre 204.23 ha. para 1986, 198.01 para 1996 y 215.12 ha. para el año 2007. El análisis mostró una tendencia de la desviación estándar del tamaño del fragmento a permanecer cerca de 200 ha.

En el caso de la media del tamaño de fragmento (MPS) tiende a aumentar, pasando de las 14.38 ha. en 1986 hasta 18.58 ha. para el año 2007 (Figura 32), lo que nos indica una unión de fragmentos.

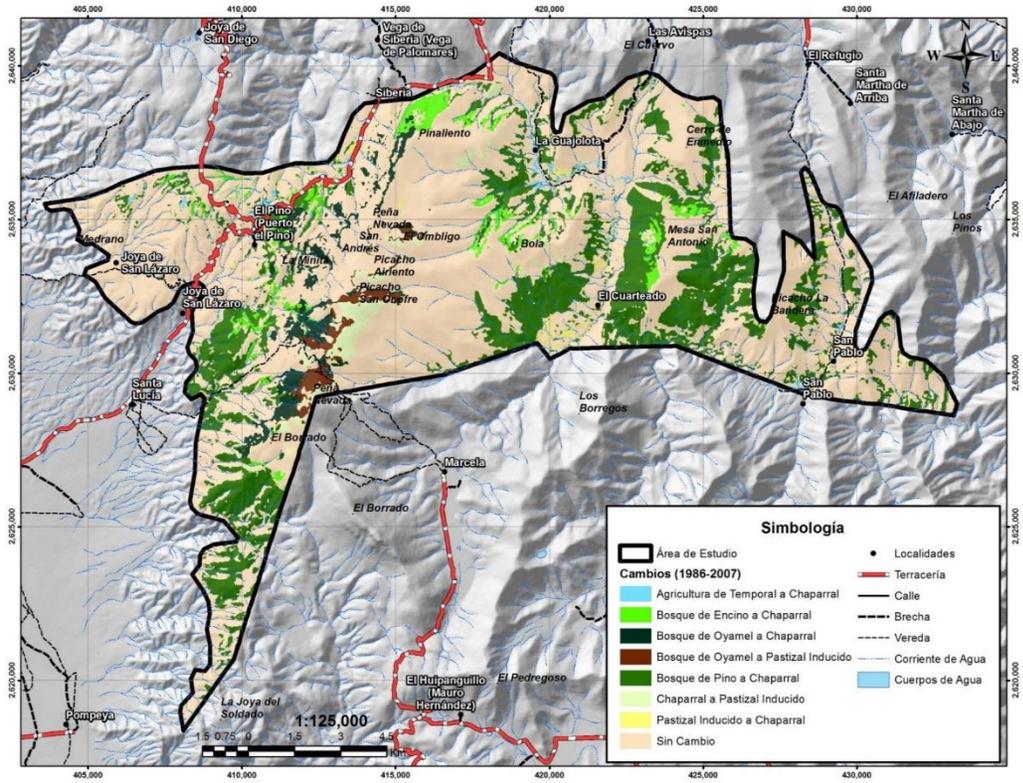


Figura 30 Mapa de cambios entre los años 1986 y 2007.

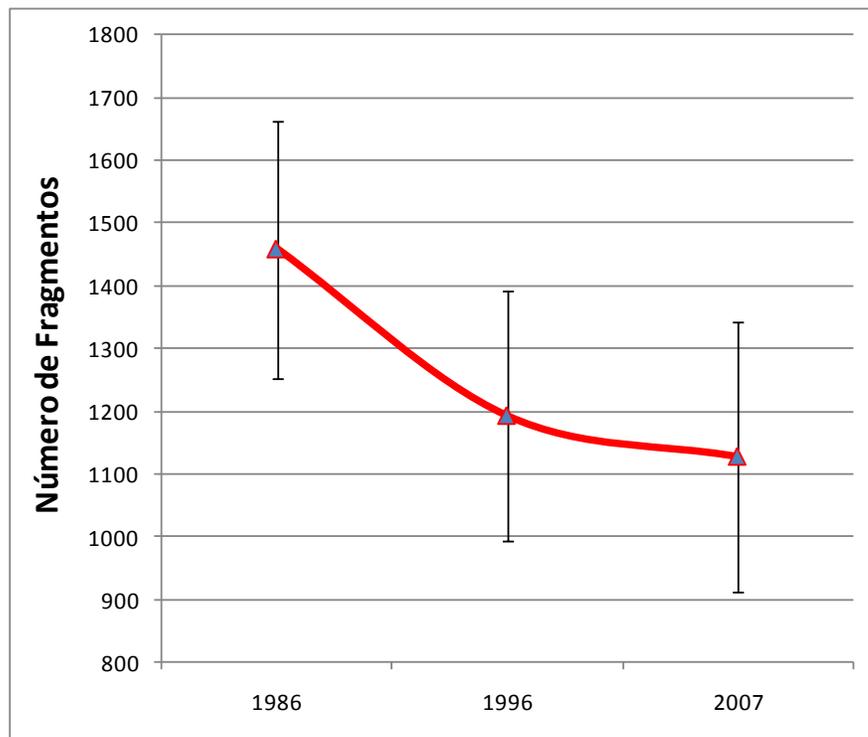


Figura 31 Número de fragmentos a través del tiempo y la desviación estándar del tamaño del fragmento.

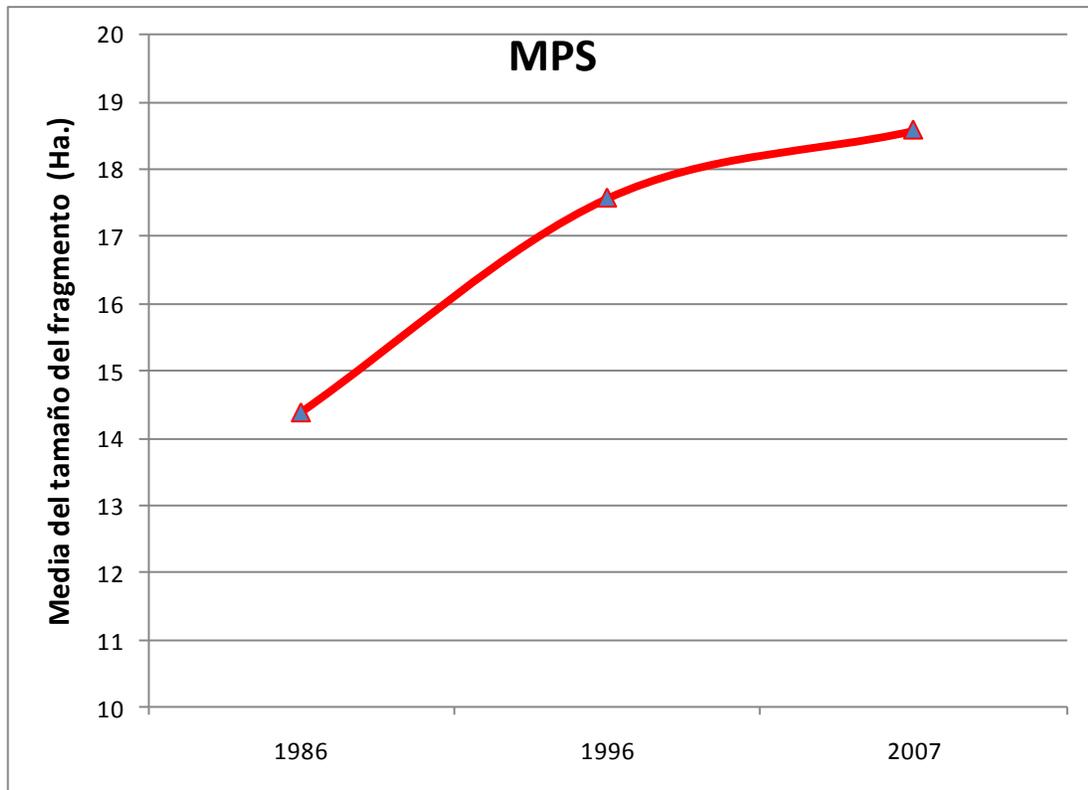


Figura 32 Media del tamaño del fragmento (MPS) a nivel de paisaje.

La tendencia a aumentar el número de fragmentos no se comporta igual a nivel de clases, la cantidad de fragmentos varía a lo largo del tiempo como se observa en la Figura 33. El número de fragmentos (NP) se ve influenciado por los procesos de cambio dentro del área de estudio, principalmente los incendios forestales.

En la Tabla 29 podemos observar que los tipos de vegetación de bosque de oyamel, bosque mixto, bosque de encino, pradera subalpina, chaparral y la agricultura de temporal disminuyeron los números de fragmentos, mientras que el bosque de pino, pastizales inducidos, y las zonas de suelo o sustrato aumentaron sus números de fragmentos (Figura 33). La clase con mayor número de fragmentos fue el chaparral, en el año 1986, con 484 fragmentos, seguido del bosque de pino con 288 fragmentos en el año 2007 y el bosque de encino con 288 fragmentos en el año 1986. Las clases con menor número de fragmentos son las siguientes: bosque mixto con 5 fragmentos en 2007, pradera subalpina con 15 fragmentos en 2007, matorral desértico rosetófilo con 43 fragmentos en 2007, seguido por el bosque de oyamel con 49 fragmentos en el año 2007 y la agricultura de temporal con 53 fragmentos pero en el año 1996.

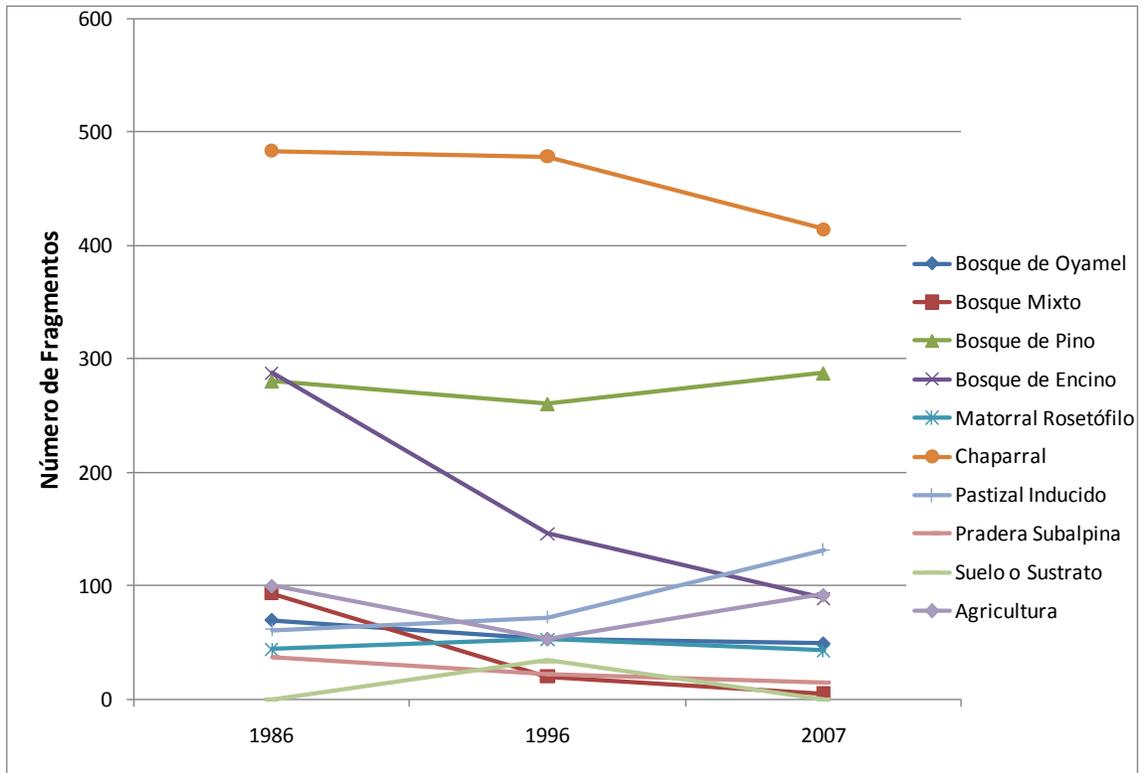


Figura 33 Número de fragmentos (NP) por clase a través del tiempo.

En cuanto a la media del tamaño del fragmento (MPS), el bosque de oyamel y el bosque de pino, disminuyen su tamaño, mientras que el bosque mixto y el chaparral aumentaron marcadamente el tamaño medio de sus fragmentos. El suelo o sustrato tuvo un marcado incremento de su tamaño medio en el año 1996, para luego disminuir. La clase con el mayor MPS fue el suelo o sustrato en el año 1996 con 49.56 ha., seguido por el bosque de pino con 36.39 ha. en 1986, por el chaparral con 30.15 ha. en el año 2007. Entre las clases con menor MPS fueron el bosque mixto con 1.38 ha. en el año 1986, el bosque de encino con 2.95 ha. en el año 1986 (Figura 34).

Para la desviación estándar del tamaño del fragmento (PSSD) tenemos que disminuyó para las clases bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de encino y la pradera subalpina. El chaparral, el bosque mixto, el pastizal inducido y el matorral desértico rosetófilo, aumentaron su PSSD. Los fragmentos con mayor MPS también tienen una mayor PSSD, como es el caso del bosque de pino, el suelo o sustrato y el chaparral, indicándonos una mayor variabilidad entre el tamaño de los fragmentos de la misma clase (Figura 35).

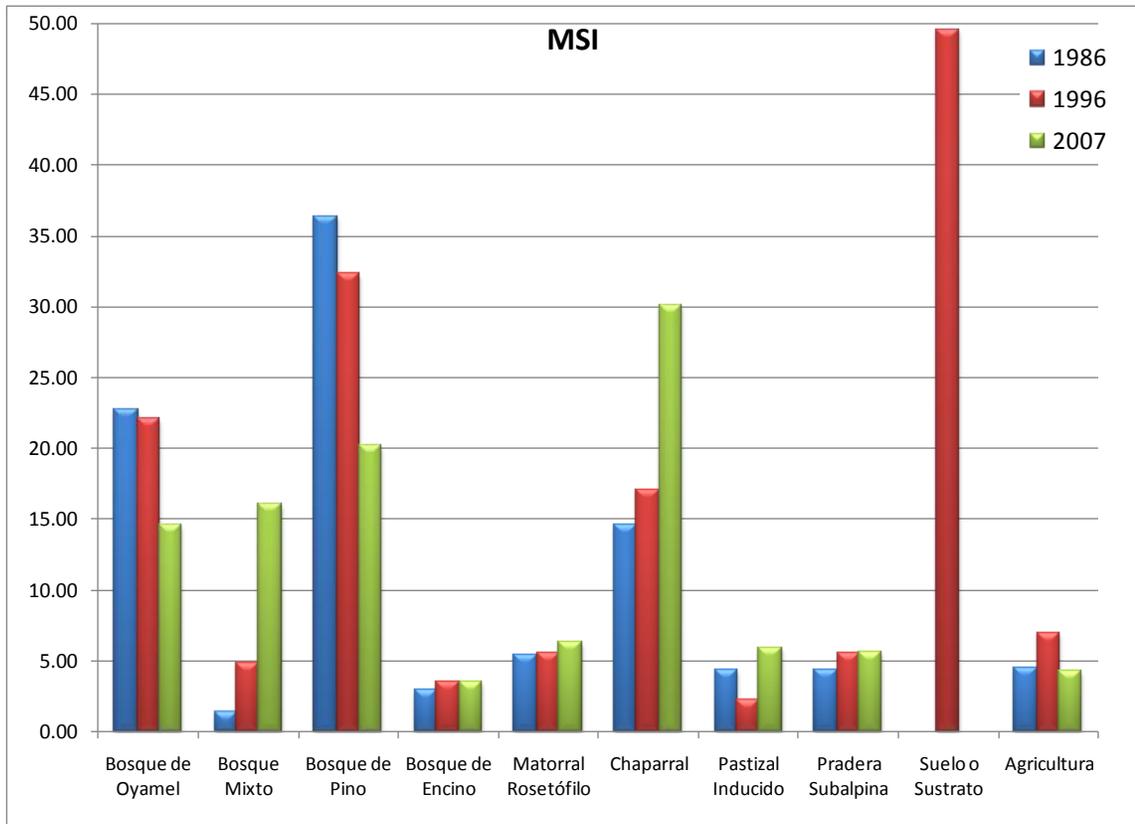


Figura 34 Media del tamaño del fragmento (MPS)

#### 6.1.1.1. Métricas de borde:

Las métricas de borde a nivel de paisaje observan en la Tabla 28 y a nivel de clase en la Tabla 29. El tamaño de borde (TE) a nivel paisaje se mantiene cercano a los 1'120,000 metros ( Figura 36). En cuanto a la densidad de borde (ED) a nivel paisaje se mantiene entre 51 a 56 metros por hectárea. La media del tamaño de borde del fragmento (MPE) a nivel paisaje muestra una tendencia al aumento, pasando de los 800.63 m/fragmento en el año 1986 a 996.72 m/fragmento en el año 2007 (Figura 37 y Figura 38).

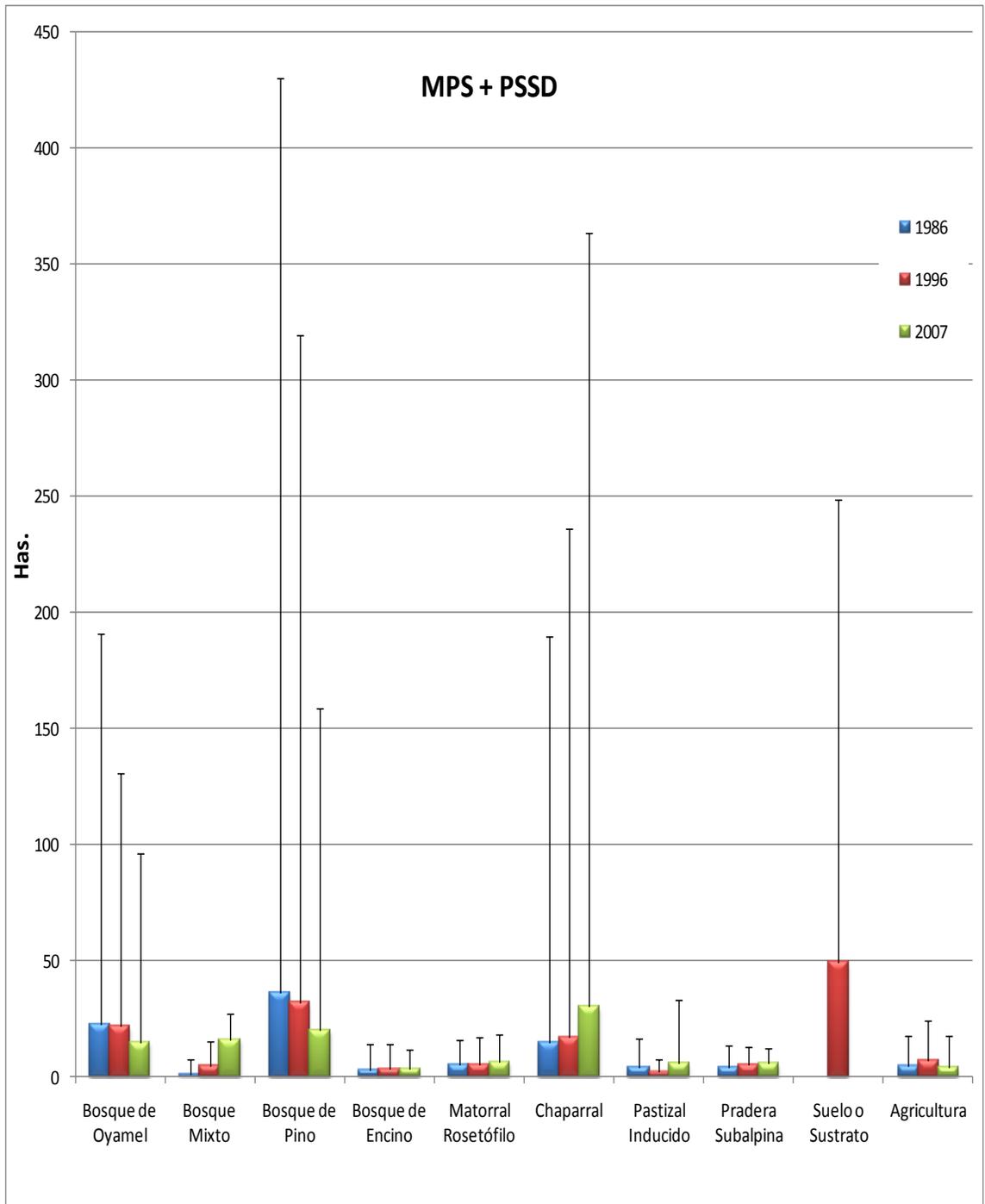


Figura 35 Media del tamaño del fragmento (MPS) en ha y desviación estándar del tamaño del fragmento (PSSD) a nivel clase.

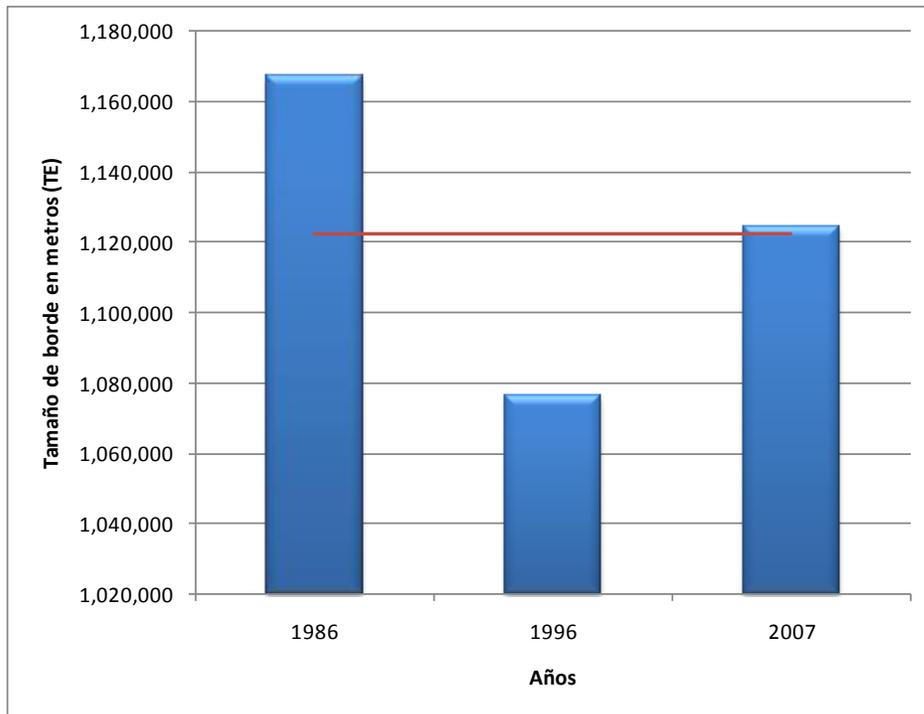


Figura 36 Tamaño de borde (TE) a nivel de paisaje. La línea roja representa la media.

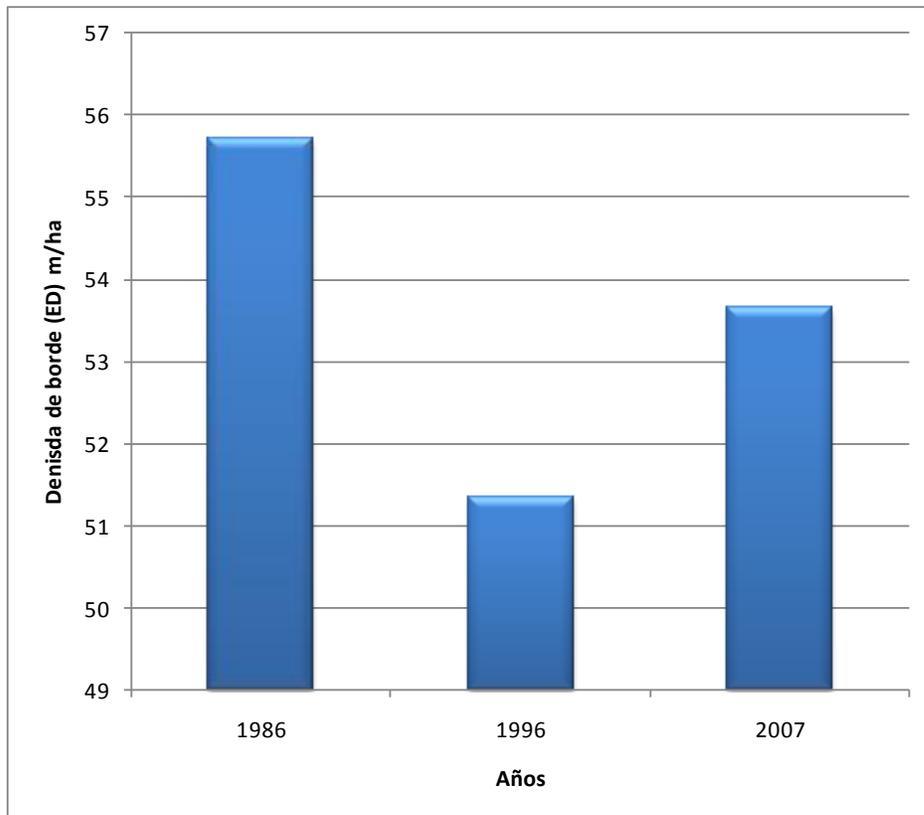


Figura 37 Densidad de borde (ED) a nivel de paisaje.

En el caso de las clases, el TE, ED y MPE varían de una clase a otra (Tabla 29, Figura 39, Figura 40 y Figura 41). Para el bosque de oyamel, la tendencia es a reducir el tamaño de borde, pasando de los 163,550 m en 1986 a 99,200 m en el año 2007. De la misma manera la ED se redujo de 7.80 m/ha en 1986 a 2.22 m/ha en 2007 y la MPE paso de 2,336.43 m/fragmento en 1986 a 2,024.49 m/fragmento en el año 2007. Lo anterior es resultado de la disminución del área total de esta clase.

Para el bosque de pino la tendencia es similar a la de la clase anterior; el TE tiende a disminuir de 761,700 m en el año 1986 a 683,650 m en el año 2007, esto es la pérdida de 78,050 m de borde en un periodo de 21 años. La ED pasa de 36.34 m/ha en 1986 a 32.62 m/ha en 2007. La MPE pasa de 2,710.68 m/fragmento en 1986 a 2,373.78 m/fragmento en 2007.

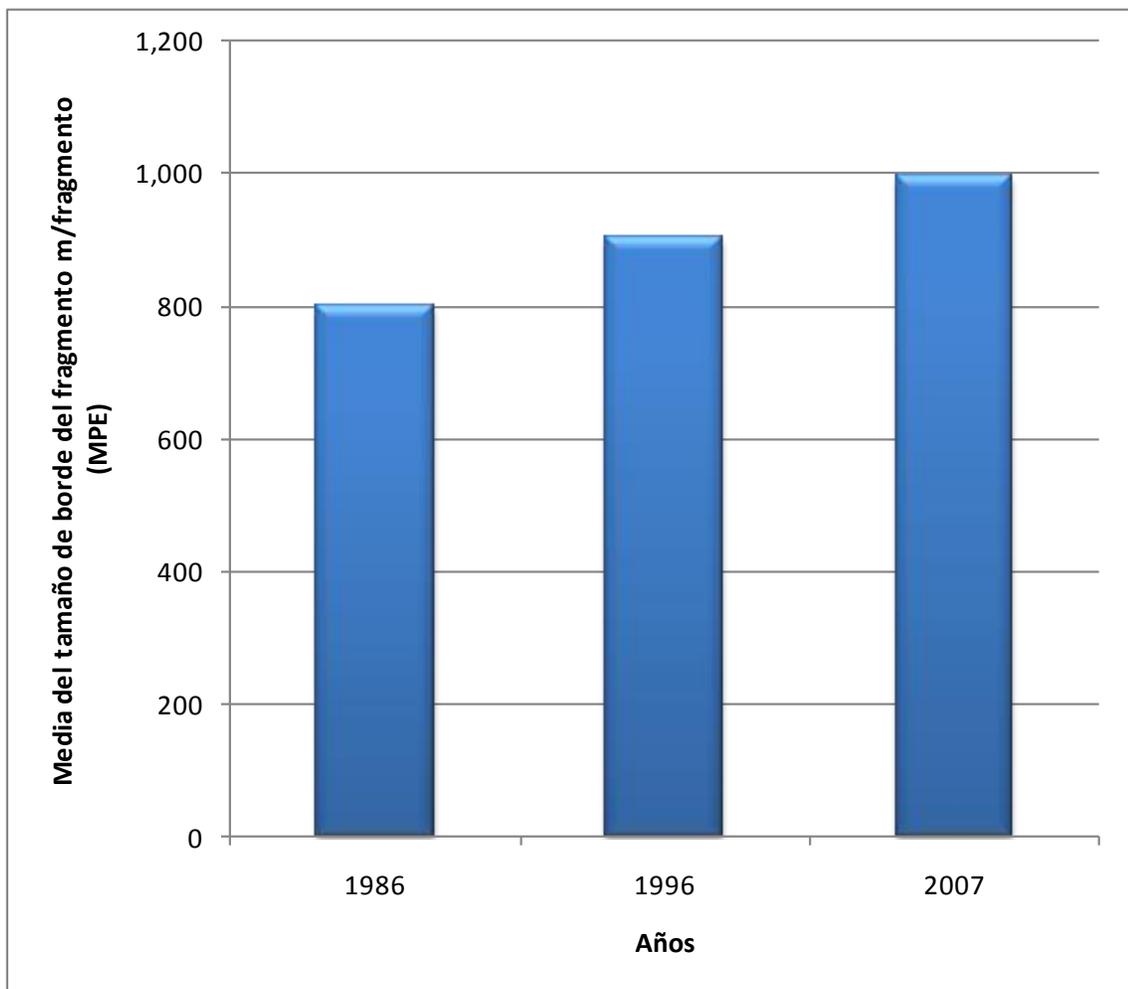


Figura 38 Media del tamaño del borde del fragmento (MPE) a nivel de paisaje.

El bosque mixto presenta un decremento del tamaño de borde de 1986 a 2007, pasando de 46,600m a 15,150 m respectivamente, lo que nos indica un proceso de cambio importante. En cuanto a la ED se observó que sigue el mismo patrón que el TE, decreciendo ente los años 1986 (2.22 m/ha) y 2007 (0.72 m/ha). La MPE no sigue el mismo patrón, sino que crece de 501.08 m/fragmento en 1986 a 3030 en 2007.

La comunidad de bosque de encino presentó un decremento en TE de 1986 (265,100 m) al año 2007 (93,600 m). El patrón se repitió para la ED, bajando de 12.65 m/ha en 1986 a 4.47 m/ha en 2007; en cuanto a la MPE sube de 920.49 m/fragmento en 1986 a 1,051.69 m/fragmento en 2007.

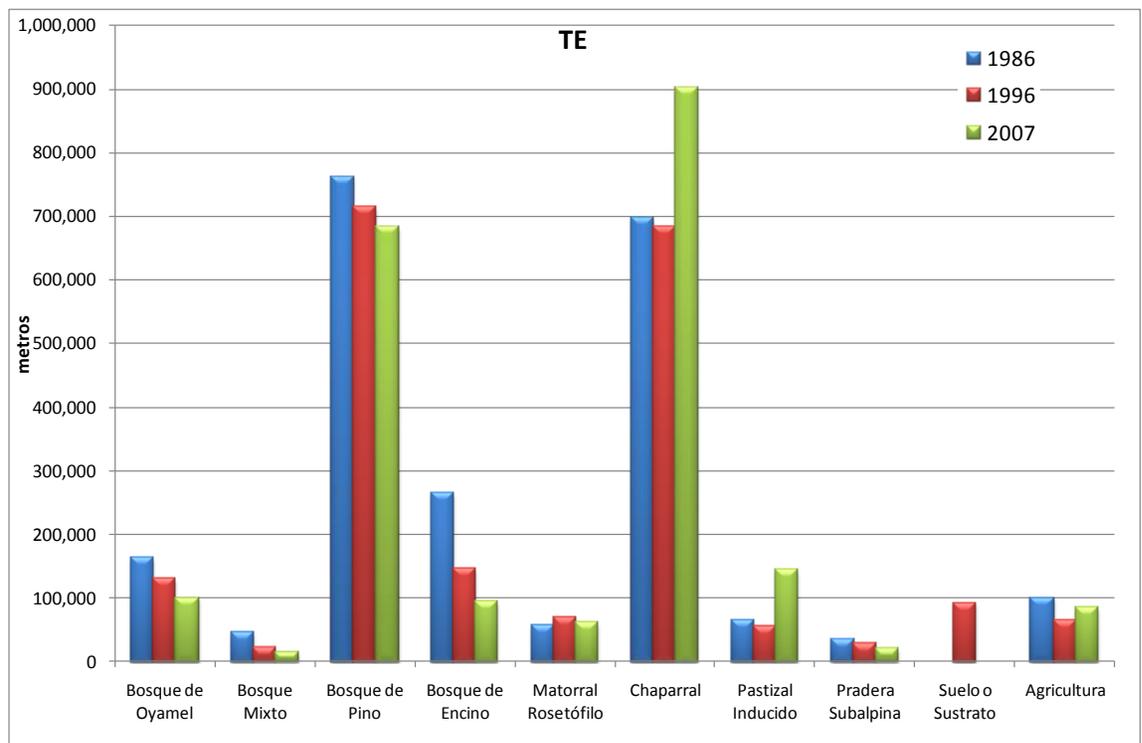


Figura 39 Tamaño de borde (TE) a nivel clase.

El chaparral se comportó diferente a las clases anteriores en el TE, se observó un total de 596,600 m en 1986 a 902,800 m en el año 2007, aumentando 206,200 m en 21 años. Este cambio nos indica el aumento en el tamaño de los fragmentos. La ED baja de 33.24 m/ha en el año 1986 a 43.07 m/ha en 2007. En el año 1986, la MPE tuvo un valor

de 1,439.26 m/fragmento para posteriormente aumentar a 2,175.42 m/fragmento en el año 2007.

La pradera subalpina presentó un TE con cambios importantes a lo largo del periodo de estudio; en el año 1986 de 34,950 m disminuyó a 20,200 m en el año de 2007, esto es un cambio de 14,750 m en 21 años. La ED se comporta de la misma manera que el TE, teniendo su menor valor en el año 1986 con 1.67 m/ha. y disminuyendo a 0.96 m/ha en el año 2007. La MPE aumento desde 944.59 m/fragmento en 1986 hasta 1,346.67 m/fragmento en el año 2007.

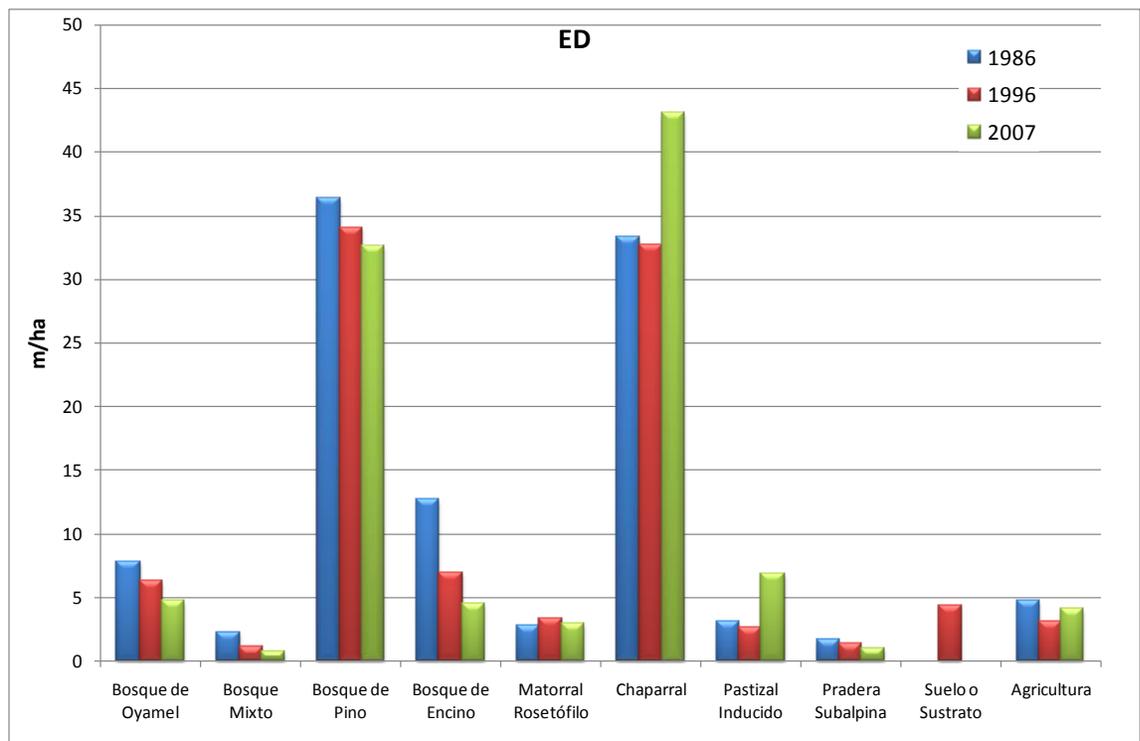


Figura 40 Densidad de borde (ED) a nivel de clase.

Para el matorral desértico rosetófilo el TE aumento, para luego disminuir en el periodo de estudio. En 1986 se encontró 57,750 m de TE, aumentando a 69,450 en el año 1996, para posteriormente disminuir a 62,050 m en 2007. En relación a la ED, esta se mantuvo por debajo de 3.31 m/ha (1996), alcanzando su valor más bajo en el año 1986 con 2.76 m/ha. y llegando a 2.96 en el año 2007. La MPE para el año 1986 fue de 1,312.50 m/fragmento, aumentando hasta alcanzar 1,443.02 m/fragmento en el año 2007.

El TE del pastizal inducido fue sumamente variable a lo largo del tiempo de estudio, disminuyendo y aumentando en este periodo, llegando a su nivel más bajo en el año 1996 con 55,750 m y alcanzando su máximo en el año 2007 con 144,100 m, representando una variación de 88,350 m en un periodo de 10 años, producto del aumento de esta clase, resultado de los incendios forestales de 1998 y 1999 reportados para la zona. De la misma manera, la ED varía desde 3.14 m/ha en 1986 a 2.66 m/ha en 1996 y aumentando a 6.88 m/ha en el año 2007. La variación de la MPE se calculó entre los 774.31 m/fragmento a los 1091.67 m/fragmento.

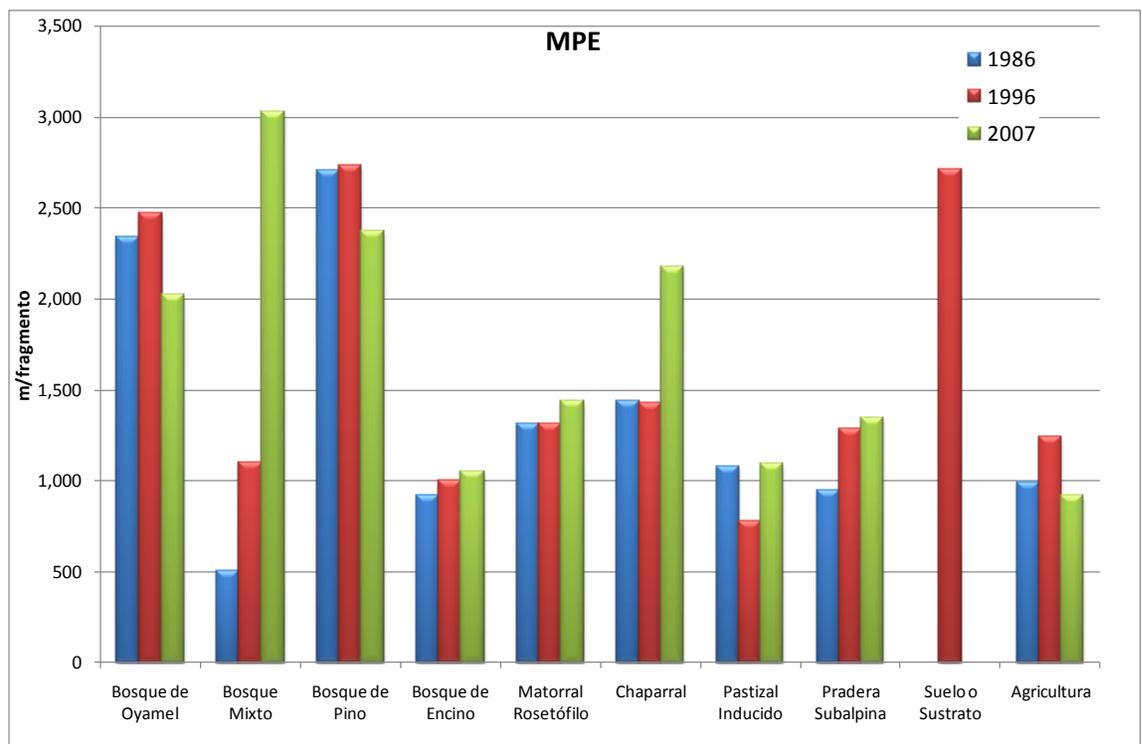


Figura 41 Media del tamaño de borde del fragmento (MPE) a nivel de clase.

La agricultura de temporal tuvo un total de TE de 98,950 m en 1986, disminuyendo hasta 84,250 m en el año 2007. Al igual que él TE, la ED disminuyó de 4.72 m/ha en 1986 a 4.02 m/ha en el año 2007. El MPE varía a lo largo del tiempo, primero aumentando y luego disminuyendo.

### 6.1.1.2. Métricas de forma:

En la Tabla 28 y en la Figura 44 se observan las métricas de forma a nivel de paisaje. El índice de forma media (MSI) mide la complejidad de la forma de los fragmentos. El MSI varía entre 1 (forma circular o cuadrada) en adelante, entre más irregular el fragmento, más se incrementa el MSI. A nivel del paisaje el MSI no muestra una variación importante en el periodo estudiado, con una ligera tendencia a la aumento de la complejidad, con valores de 1.43 en el año 1986 pasando a 1.45 en el año 2007. Estos valores nos indicarían una complejidad media de los fragmentos.

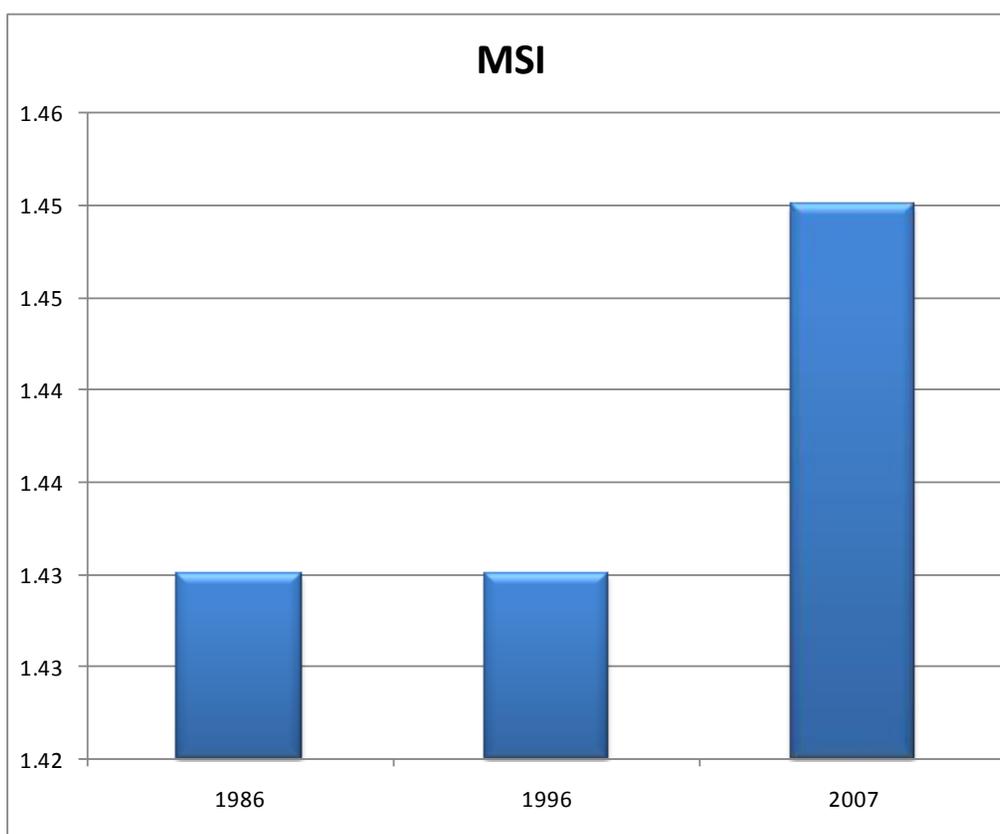


Figura 42 Índice de forma media (MSI) a nivel de paisaje.

En cuanto la media de la dimensión fractal del fragmento (MPFD), que es otra medida de la complejidad de la forma del fragmento (se aproxima a 1 cuando la forma del fragmento tiene perímetros simples, como círculos y cuadrados, y se aproxima a 2 cuando la forma es más compleja), tenemos que a nivel de paisaje los valores fueron similares en todos los años (1.06), indicando una mínima complejidad en los fragmentos. La media de

la dimensión fractal ponderada por el área (AWMPFD), la cual mide la complejidad de los fragmentos ajustada por el tamaño de su forma, mostró una variación mínima en el período analizado. En el año 1986 el valor de AWMPFD fue de 1.22 disminuyendo a 1.20 en 1996 y aumentando a 1.21. Estos valores indican que la complejidad del fragmento se conserva baja.

A diferencia de las métricas anteriores, la Métrica del Píxel Cuadrado (SqP) muestra que la complejidad de los fragmentos a nivel paisaje es alta, variando de 0.950 en 1986 hasta 0.948 en el año 2007 (Figura 43).

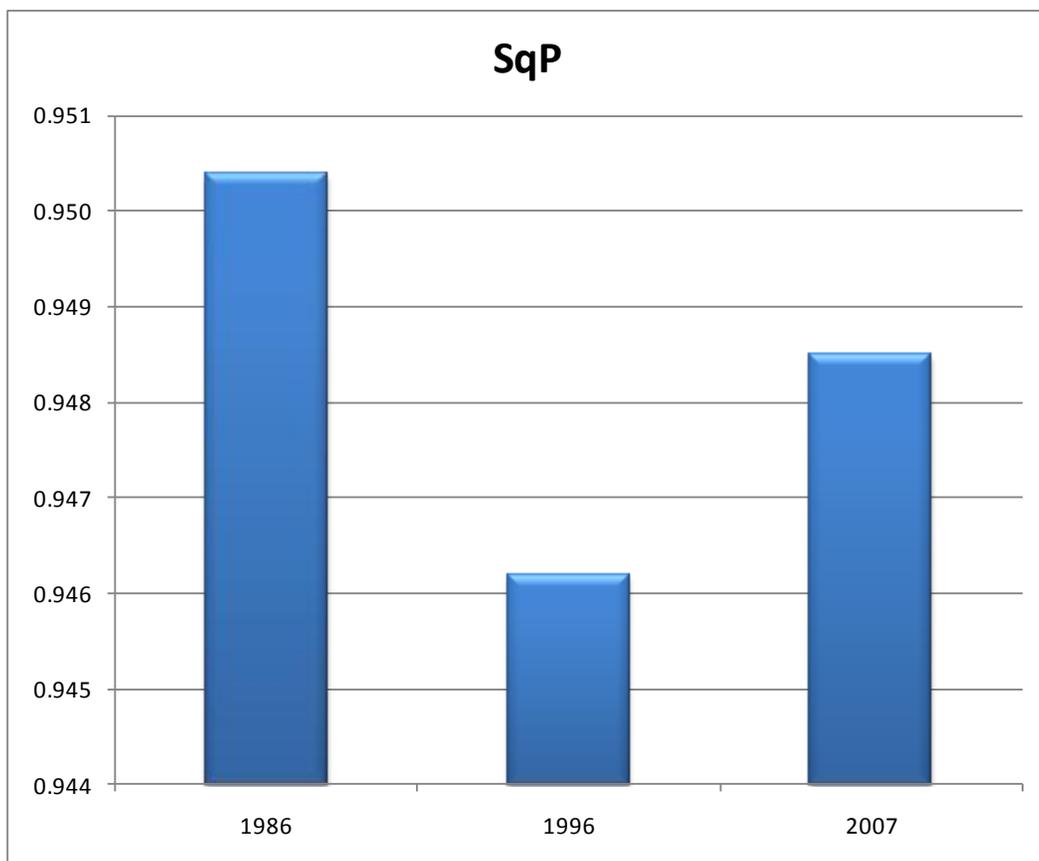


Figura 43 Métrica del píxel Cuadrado (SqP) a nivel de paisaje.

En la Tabla 29 se muestran los valores de MSI, MPFD y AWMPFD a nivel de clase. Para el MSI podemos decir que el valor del indicador tiene fluctuaciones tanto a nivel de año de estudio como a nivel de clase.

En la Figura 44 se observa índice de forma media (MSI) que muestra que las clases con mayor complejidad de forma de fragmentos según este índice, se encontraron en las cubiertas de vegetación templada (bosque mixto, pino y bosque de oyamel, además de la pradera subalpina), y del matorral rosetófilo, mientras que la forma menos compleja se observó en las cubiertas también en los bosques mixtos y de oyamel, seguidos de la pradera subalpina.

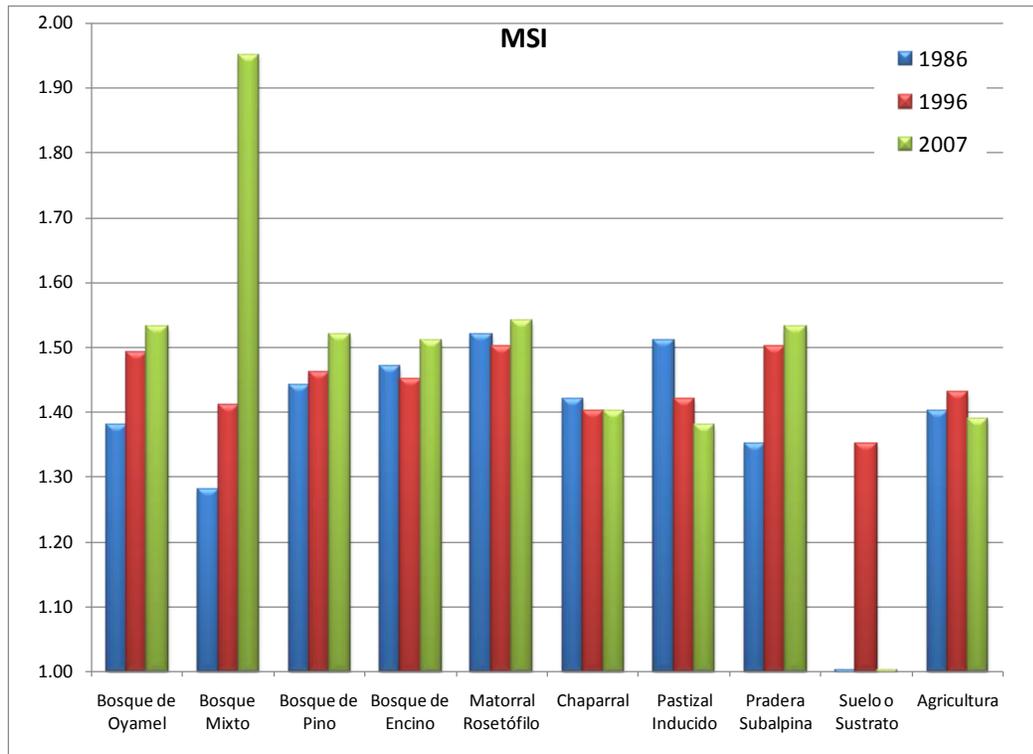


Figura 44 Índice de forma media (MSI) a nivel de clase.

En cuanto la media de la dimensión fractal del fragmento (MPFD), que se muestra en Figura 45, al contrario del MSI muestra que los bosques (mixto, de oyamel y de encino), la pradera subalpina, el matorral rosetófilo y el pastizal inducido registraron los mayores valores, significando que estas clases tuvieron las formas más complejas en la zona de estudio, pero sin llegar a una alta complejidad de formas. La media de la dimensión fractal ponderada por el área (AWMPFD) para las clases (Figura 46) mostró que el valor del índice fluctúa entre 1.10 y 1.25, siendo las clases bosque de oyamel, bosque de pino y chaparral las clases con formas más complejas, mientras que la pradera

subalpina muestra los valores más bajos (1.10) reflejando la formas de fragmentos menos complejas.

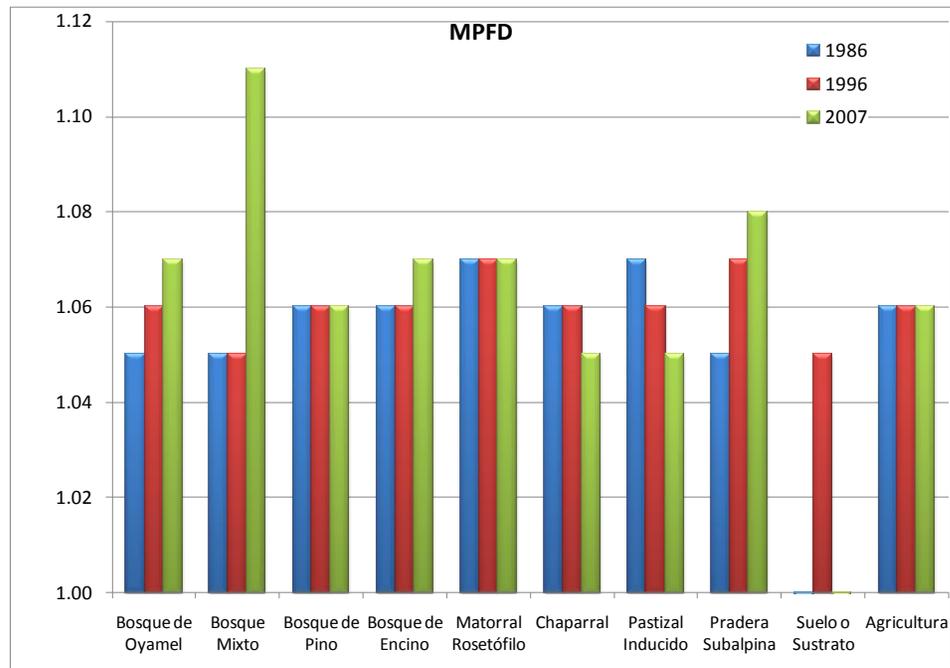


Figura 45 Media de la Dimensión Fractal del Fragmento (MPFD) a nivel de clase.

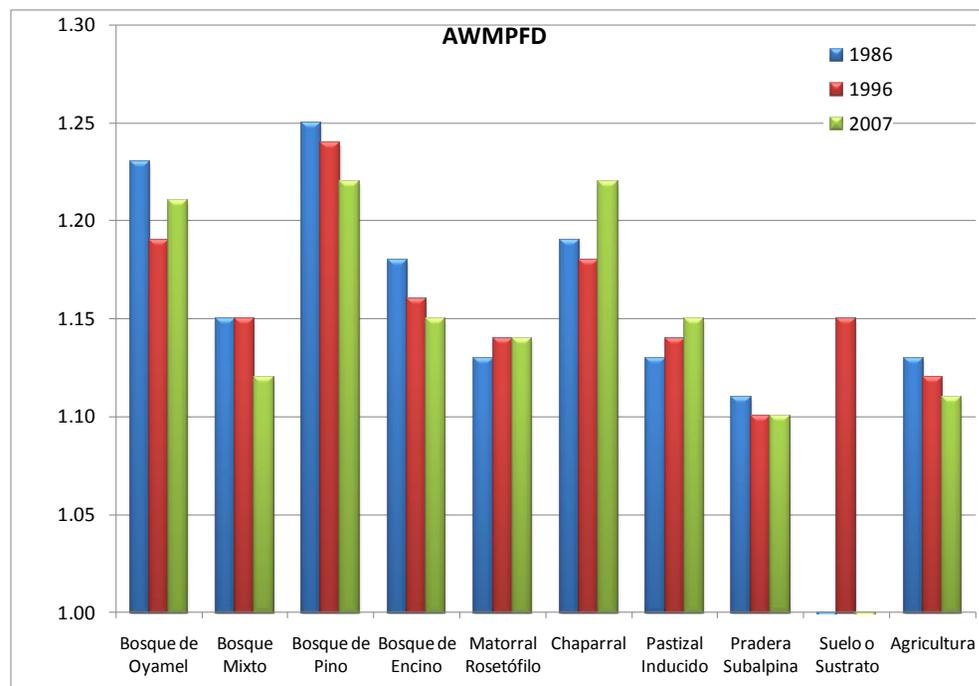


Figura 46 Media de la dimensión fractal ponderada por el área (AWMPFD) a nivel de clases.

### 6.1.1.3. Métricas de contagio:

En la Tabla 28 se pueden observar las métricas de contagio a nivel de paisaje. La media de la distancia al vecino más cercano (MNN) muestra el grado y la tendencia de los fragmentos al agrupamiento: Los valores cercanos a cero muestran un único fragmento, valores bajos muestran agrupamiento y valores altos indican dispersión. A nivel paisaje se observó que la MNN es menor a 140 metros, mientras que 1986, fue de 127.80, para 1996 de 130.70 m, en 2007 la distancia fue de 131.20 m (Figura 47), reflejando una tendencia a la separación de los fragmentos.

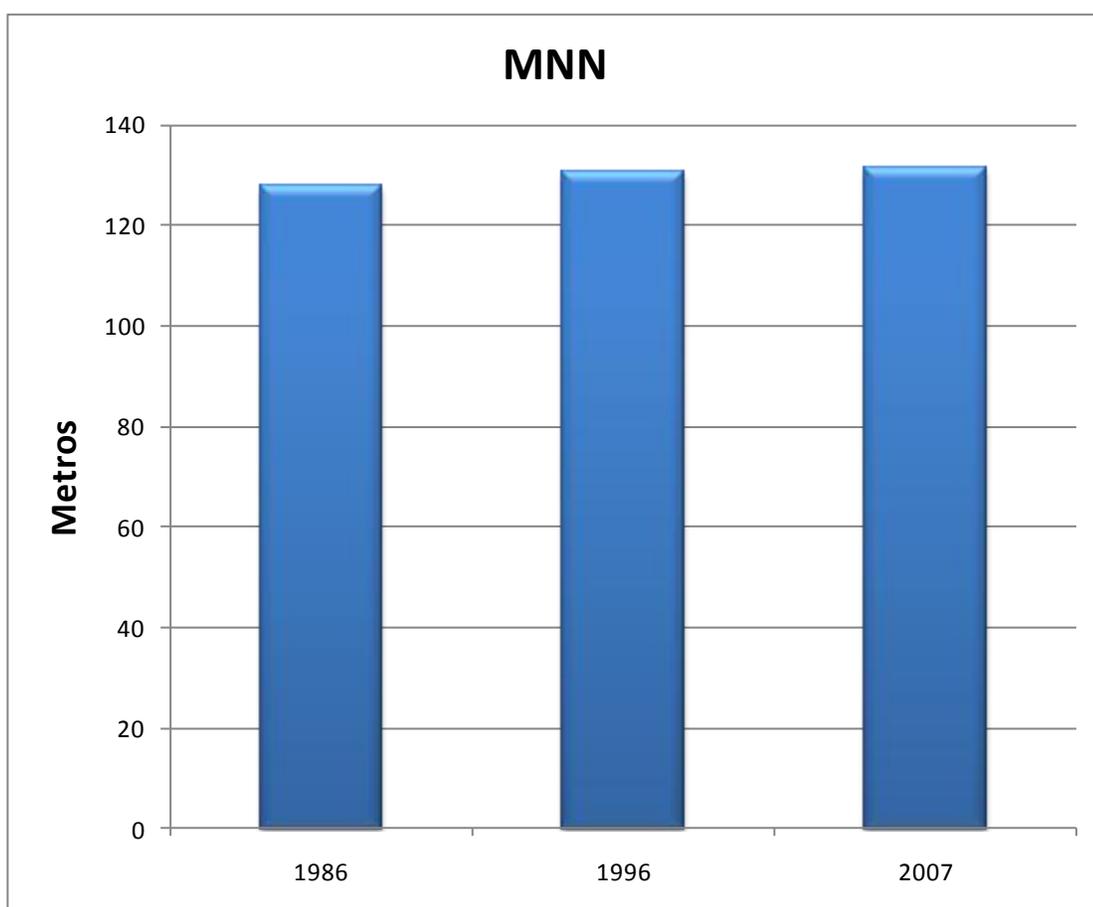


Figura 47 Media de la Distancia al Vecino más Cercano (MNN) a nivel de paisaje.

El Índice de juxtaposición y espaciamiento (IJI) a nivel de paisaje muestra que en el periodo de 1986 a 2007 la abundancia de los fragmentos es uniforme en el área de estudio, con una tendencia al disminuir su abundancia con valores mayores a 50, con un máximo en 1986 de 63.02 y menor en 2007 con 51.14 (Figura 48).

En cuanto al índice de proximidad media (MPI) a nivel paisaje establece que existió una tendencia a aumentar el aislamiento y la fragmentación de los fragmentos para 1996, pasando de 4,612.08 en 1986 a 3,521.82 en 1996. Posteriormente se incrementa el valor hasta alcanzar 5,788.88, mostrando un menor grado de aislamiento y fragmentación de los fragmentos (Figura 49).

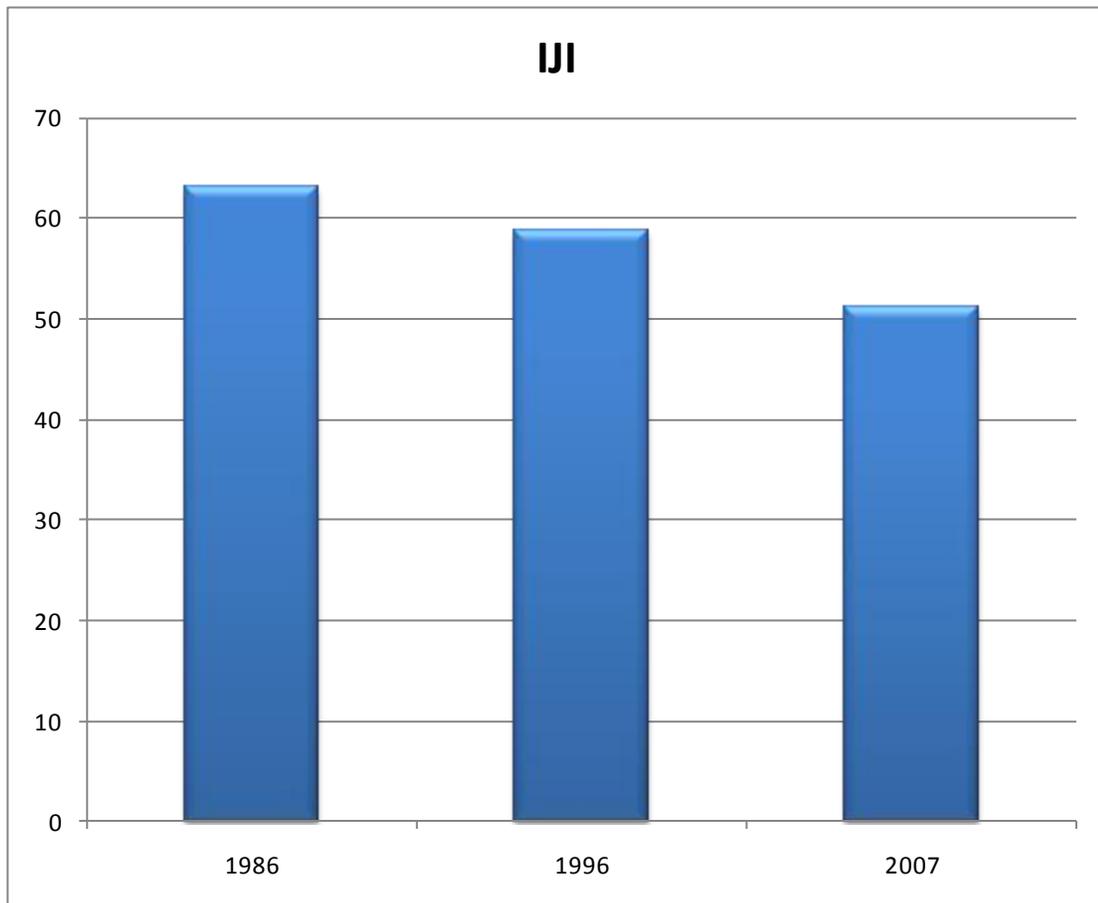


Figura 48 Índice de yuxtaposición y espaciamiento (IJI) a nivel de paisaje.

En la Tabla 29 se muestran los valores de MNN, IJI y MPI a nivel de clase. Para la MNN tenemos que las clases con menor distancia media son el bosque de pino, bosque mixto, bosque de encino y el chaparral, con valores menores a 100 m en promedio entre fragmentos, lo que nos indica una contigüidad en los patrones de distribución de los fragmentos para estas clases. La clase con mayor distancia entre fragmentos es la pradera subalpina con valores mayores a 330 m entre fragmentos, llegando hasta 968.62 m en 2007 indicando una mayor separación entre estos.

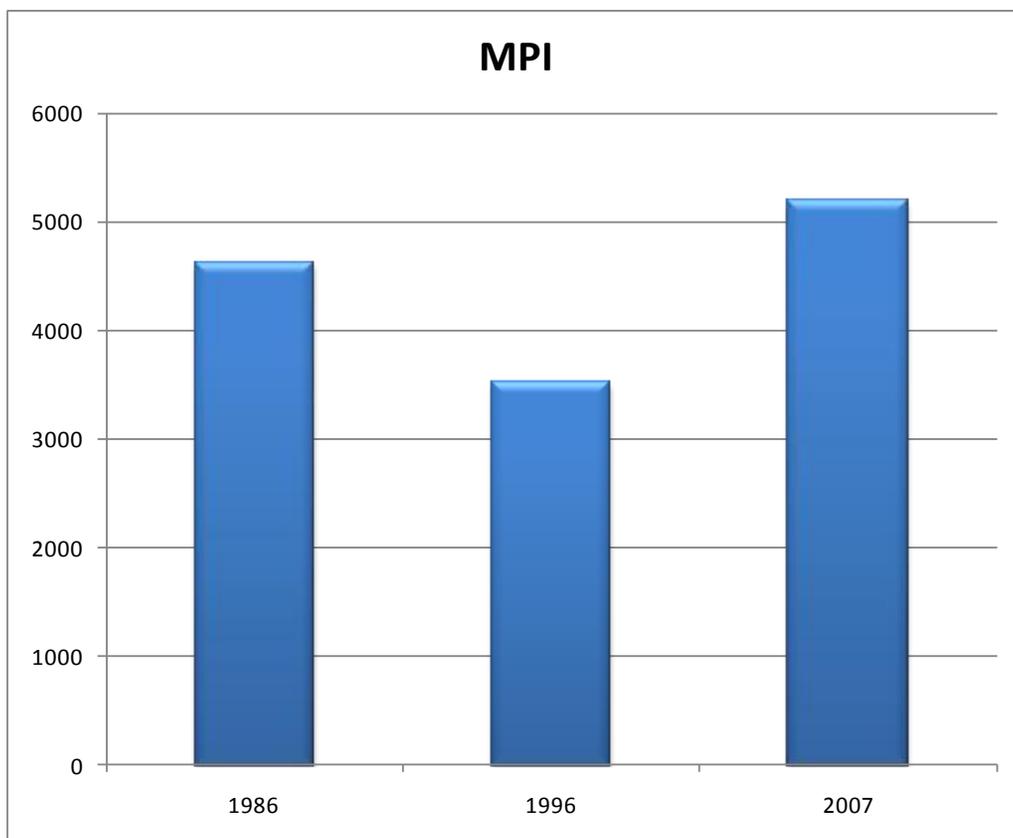


Figura 49 Índice de proximidad media (MPI) a nivel de paisaje.

El resto de las coberturas (bosque de oyamel, matorral desértico rosetófilo, pastizal inducido, agricultura de temporal y suelo o sustrato) presentan distancias medias entre fragmentos mayores a 100 m y menores a 350 m, indicando que los fragmentos están un poco más distantes entre sí, comparados contra las clases del primer grupo. Con relación al tiempo a la evolución de la MNN por clase tenemos que el bosque de pino y el chaparral tuvieron menor variación temporal en sus distancias medias, a diferencia de la pradera subalpina, la cual se fluctuó a lo largo del periodo de análisis (Figura 50).

El IJI a nivel de clase nos indica una variación en la distribución de los fragmentos diferente según la clase. Las clases distribuidas más uniformemente en el paisaje son el chaparral, con valores que van de 66.63 en el año 1986 hasta 63.47 en el año 2007, la pradera subalpina que va desde 25.11 en 1986 a 28.78 en 2007 (Figura 51).

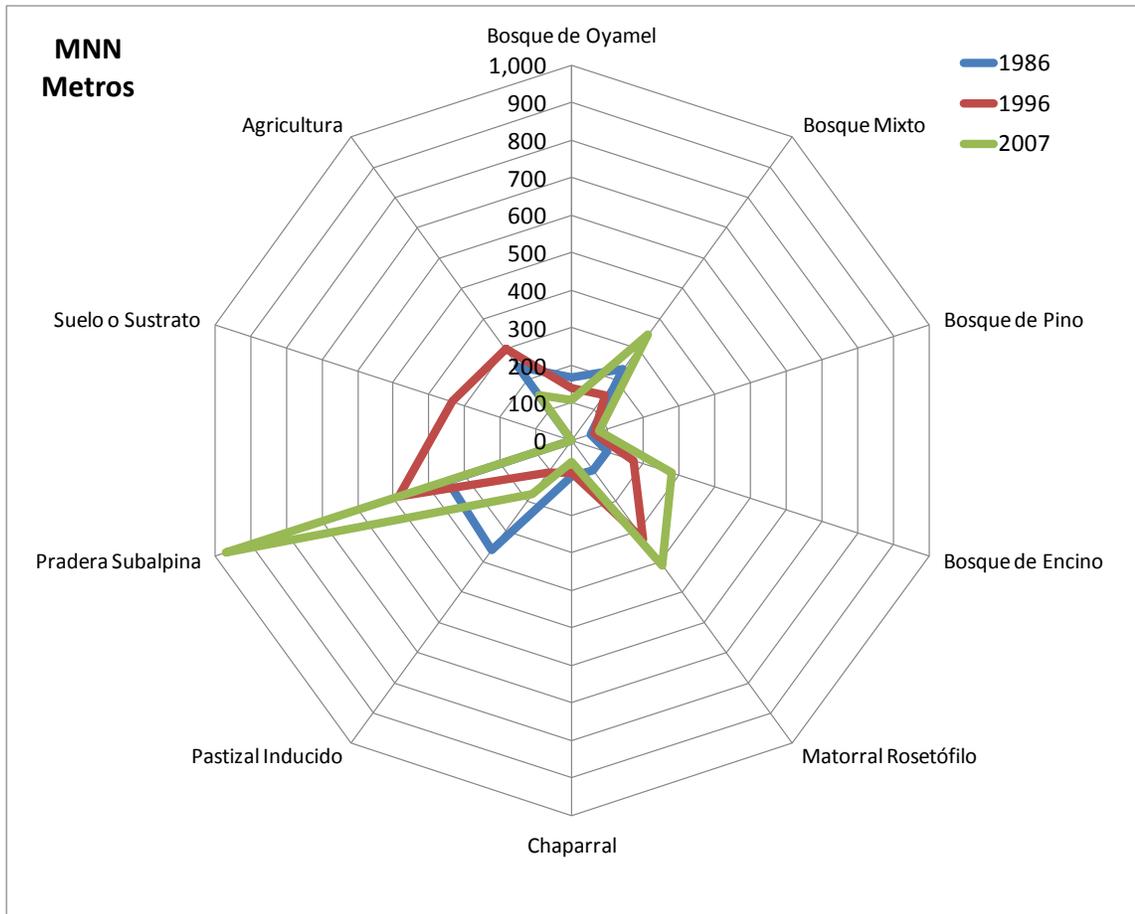


Figura 50 Diagrama radial donde se muestra la media de la distancia al vecino más cercano (MNN) a nivel de clase.

La clase con menor IJI es el matorral rosetófilo con valores que van de 3.22 en 1986 a 28.48 en 2007. La abundancia de los fragmentos de las comunidades primarios disminuyó a lo largo del periodo de análisis.

Para el MPI podemos decir que los valores más bajos del índice se encuentran en las clases de bosque mixto y pradera subalpina, con valores menores a 21, indicando un mayor aislamiento con respecto al resto de las clases. Los valores más bajos de aislamiento se observaron en la clase de pradera subalpina, con valores de 18.22 en 1996, seguido del bosque mixto en 1986 con 20.85.

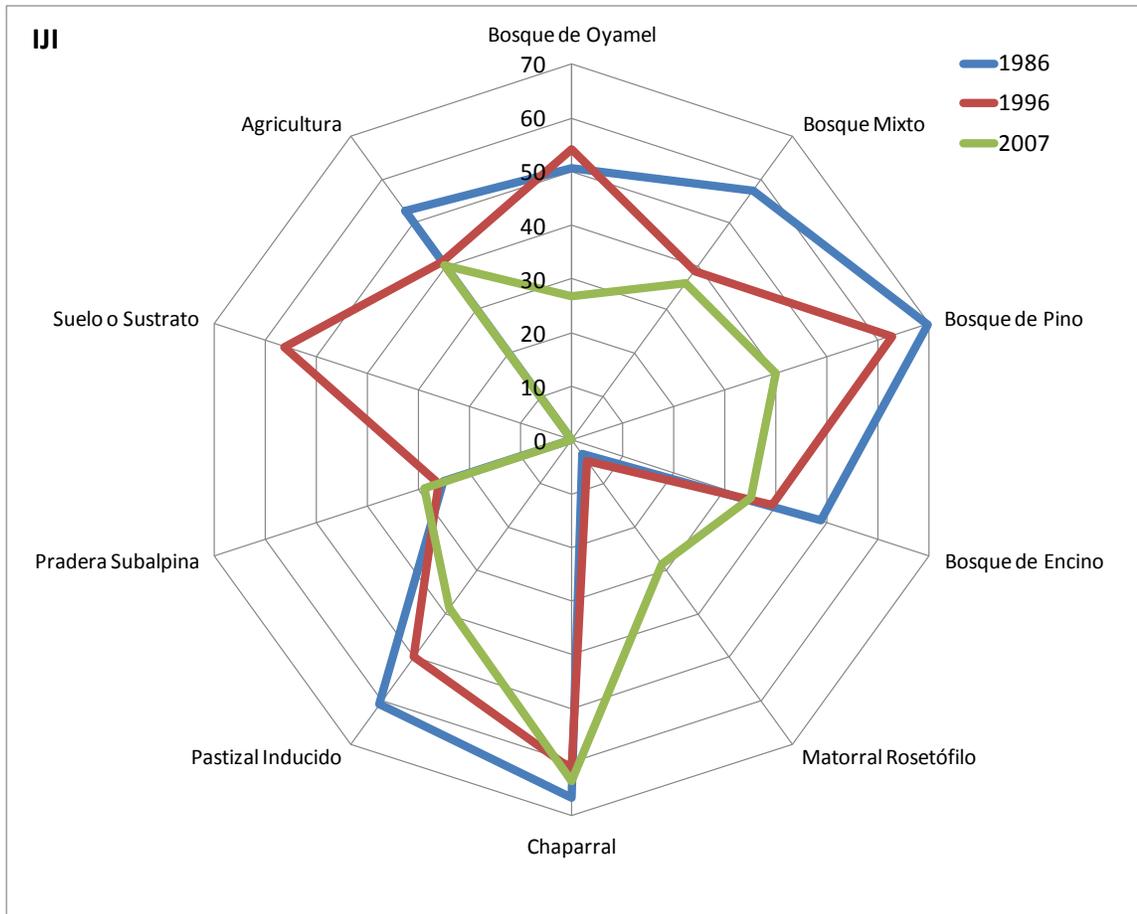


Figura 51 Diagrama radial del índice de yuxtaposición y espaciamento (IJI) a nivel de clase.

Las clases con menor aislamiento fueron el bosque de pino, el suelo o sustrato y el chaparral, con valores superiores a 400, llegando el bosque de pino al valor máximo de 17,050.26 para el año 1986, lo que representa el menor aislamiento en el área de estudio (Figura 52).

En general las comunidades redujeron su MPI, a excepción del bosque mixto, el chaparral, el pastizal inducido y la agricultura, mostrando la tendencia al aislamiento de los fragmentos.

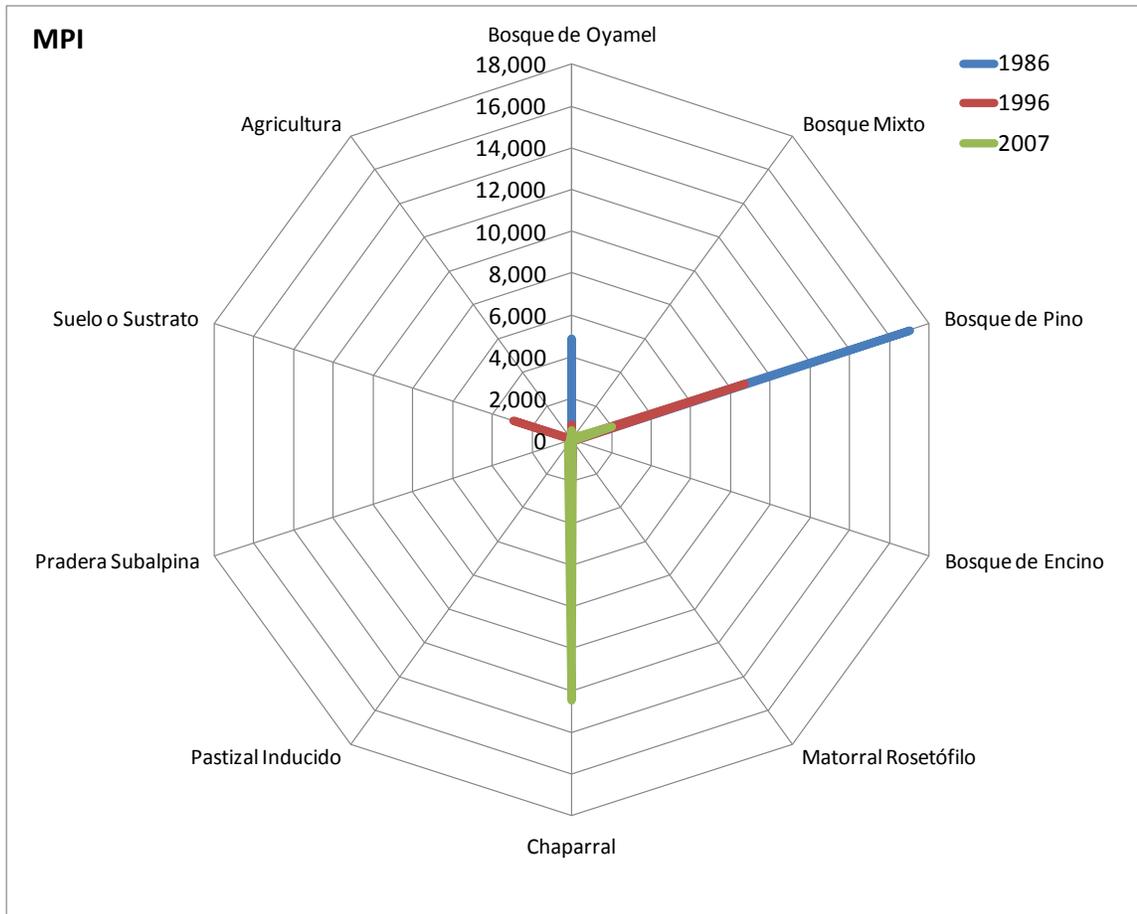


Figura 52 Diagrama radial mostrando el índice de proximidad media (MPI) a nivel de clase.

#### 6.1.1.4. Métricas de diversidad:

En cuanto a las métricas de diversidad (Figura 53) tenemos que para el Índice de diversidad de Shannon (SHDI) se observa en la Tabla 28, una tendencia a disminuir de 1.30 en 1986 a 1.14 para el año. En general presenta una alta diversidad paisajística en el área de estudio, la cual se reduce en el año 2007. Para el Índice de Equitatividad de Shannon (SHEI) tenemos que en general los valores resultantes del análisis son altos, superiores a 0.50, indicando que existe una equitatividad en la distribución de los fragmentos. El máximo valor se obtuvo en los años 1996 con 0.61; el mínimo valor se obtuvo en el año 2007 con un valor de 0.52.

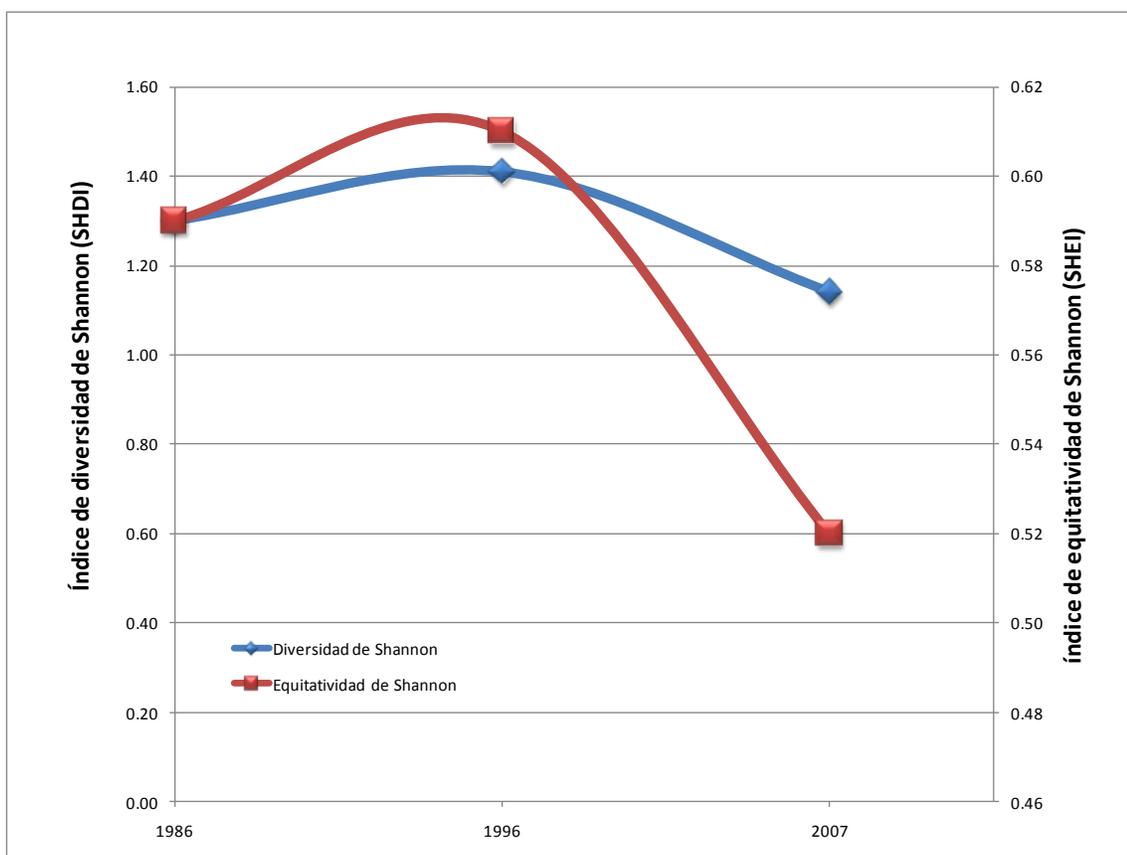


Figura 53 Índices de diversidad y equitatividad de Shannon para el paisaje.

Tabla 28 Métricas del paisaje.

FECHA	MÉTRICAS DE ÁREA		MÉTRICAS DE VARIABILIDAD, TAMAÑO Y DENSIDAD DEL PARCHE			MÉTRICAS DE BORDE			MÉTRICAS DE FORMA			MÉTRICAS DE CONTAGIO			MÉTRICAS DE DIVERSIDAD	
	TA	CA	NP	MPS	PSSD	TE	ED	MPE	MSI	MPFD	AWMPFD	MNN	IJI	MPI	SHDI	SHEI
1986	20959.06	20959.06	1458	14.38	204.23	1167325	55.7	800.63	1.43	1.06	1.22	127.8	63.02	4612.08	1.3	0.72
1996	20959.06	20959.06	1193	17.57	198.01	1076075	51.34	901.99	1.43	1.06	1.2	130.7	58.67	3521.82	1.41	0.75
2007	20959.06	20959.06	1128	18.58	215.12	1124300	53.64	996.72	1.45	1.06	1.21	131.2	51.14	5188.88	1.14	0.63

Tabla 29 Métricas de clases.

FECHA	VEGETACIÓN	MÉTRICAS DE ÁREA		MÉTRICAS DE VARIABILIDAD			MÉTRICAS DE BORDE			MÉTRICAS DE FORMA			MÉTRICAS DE CONTAGIO		
		TA	CA	NP	MPS	PSSD	TE	ED	MPE	MSI	MPFD	AWMPFD	MNN	II	MPI
1986	BA	20959.06	1593.06	70	22.76	168.41	163550	7.8	2336.43	1.38	1.05	1.23	167.1	50.63	4857.07
1996	BA	20959.06	1169.5	53	22.07	108.96	131000	6.25	2471.7	1.49	1.06	1.19	140.18	54.11	776.23
2007	BA	20959.06	717.25	49	14.64	81.91	99200	4.73	2024.49	1.53	1.07	1.21	106.19	26.74	447.26
1986	BM	20959.06	128.75	93	1.38	6.18	46600	2.22	501.08	1.28	1.05	1.15	233.92	57.47	20.85
1996	BM	20959.06	95.81	20	4.79	10.67	21950	1.05	1097.5	1.41	1.05	1.15	148.75	38.98	78.23
2007	BM	20959.06	80	5	16	11.14	15150	0.72	3030	1.95	1.11	1.12	347.68	36.13	169.98
1986	BP	20959.06	10226.25	281	36.39	394.05	761700	36.34	2710.68	1.44	1.06	1.25	53.1	69.62	17050.26
1996	BP	20959.06	8425.88	261	32.28	287.62	714200	34.08	2736.4	1.46	1.06	1.24	62.95	62.58	8728.31
2007	BP	20959.06	5812.56	288	20.18	138.57	683650	32.62	2373.78	1.52	1.06	1.22	77.19	39.93	2039.53
1986	BQ	20959.06	850	288	2.95	11.26	265100	12.65	920.49	1.47	1.06	1.18	98.08	48.69	108.82
1996	BQ	20959.06	511.44	146	3.5	10.82	145300	6.93	995.21	1.45	1.06	1.16	172.83	39.19	108.17
2007	BQ	20959.06	311.5	89	3.5	8.42	93600	4.47	1051.69	1.51	1.07	1.15	281.19	34.96	70.5
1986	MDR	20959.06	235.75	44	5.36	10.45	57750	2.76	1312.5	1.52	1.07	1.13	98.33	3.22	73.49
1996	MDR	20959.06	294.31	53	5.55	11.64	69450	3.31	1310.38	1.5	1.07	1.14	325.12	4.92	92.86
2007	MDR	20959.06	267.81	43	6.23	11.85	62050	2.96	1443.02	1.54	1.07	1.14	411.28	28.48	63.92
1986	ML	20959.06	7056.44	484	14.58	175.47	696600	33.24	1439.26	1.42	1.06	1.19	95.57	66.63	3195.39
1996	ML	20959.06	8130.31	479	16.97	219.12	684600	32.66	1429.23	1.4	1.06	1.18	85.34	61.43	3658.05
2007	ML	20959.06	12514.31	415	30.15	333.23	902800	43.07	2175.42	1.4	1.05	1.22	58.77	63.47	12507.73
1986	PI	20959.06	264.81	61	4.34	12.4	285.64	65850	3.14	1079.51	1.51	1.07	1.13	362.2	60.91
1996	PI	20959.06	159.31	72	2.21	5.34	24119	55750	2.66	774.31	1.42	1.06	1.14	107.71	49.92
2007	PI	20959.06	779.25	132	5.9	27.6	467.52	144100	6.88	1091.67	1.38	1.05	1.15	177.73	38.71
1986	PSA	20959.06	159.31	37	4.31	9.35	217.11	34950	1.67	944.59	1.35	1.05	1.11	347.68	25.11
1996	PSA	20959.06	121	22	5.5	7.45	135.42	28250	1.35	1284.09	1.5	1.07	1.1	483.5	26.12
2007	PSA	20959.06	83.44	15	5.56	6.81	122.38	20200	0.96	1346.67	1.53	1.08	1.1	968.62	28.78
1996	SUELO	20959.06	1685.19	34	49.56	199.49	402.48	92300	4.4	2714.71	1.35	1.05	1.15	335.32	56.27
1966	TA	20959.06	444.69	100	4.45	13.15	295.75	98950	4.72	989.5	1.4	1.06	1.13	242.4	52.69
1996	TA	20959.06	366.31	53	6.91	17.67	255.65	65750	3.14	1240.57	1.43	1.06	1.12	300.35	41.01
2007	TA	20959.06	392.94	92	4.27	13.43	314.44	84250	4.02	915.76	1.39	1.06	1.11	148.76	40.25

BA=, bosque de oyamel, BP=bosque de pino, BM=bosque mixto, BQ=bosque de encino, ML=chaparral, MDR= matorral desértico rosetófilo, PSA= pradera subalpina, PI= pastizal inducido, TA= agricultura de temporal, DV= Sin vegetación aparente (Suelo o sustrato)

### 6.1.1.5. Índices de Fragmentación:

El índice de parches por unidad (PPU) por Km<sup>2</sup> a nivel paisaje mostró para el año 1986 un valor de 1,054.65, bajando posteriormente su valor de fragmentación a 862.96 para el año 1996, llegando a 815.94 en el año 2007 (Figura 54).

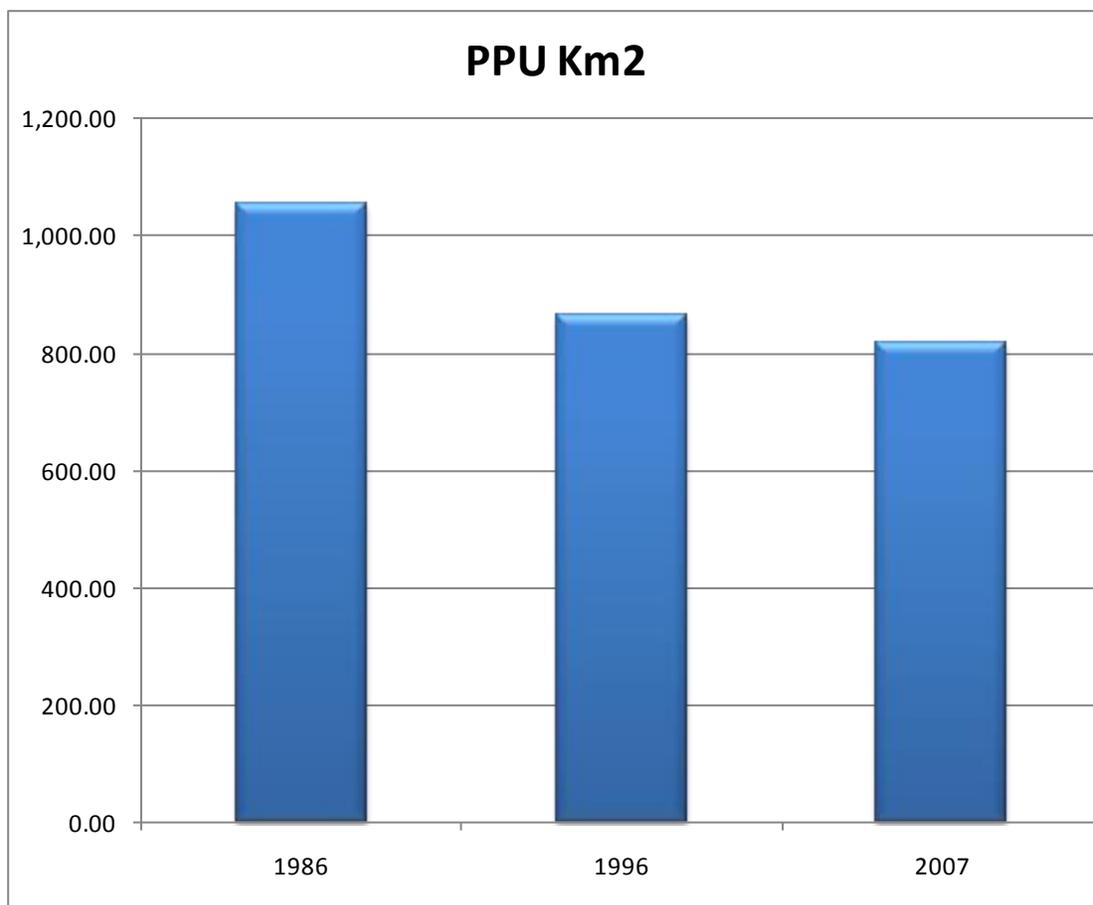


Figura 54 Índice de parches por unidad (PPU) a nivel de paisaje.

A nivel de clase el PPU se comporta diferente para cada una (Figura 55 y Tabla 30). Para el bosque de oyamel la fragmentación tiende a bajar, pasando de 50.635 en el año 1986 a 35.444 en el año 2007. La fragmentación del bosque mixto actúa de forma similar, pero la disminución es más notoria. El índice muestra que disminuyó de 67.272 para el año 1986 a valores de 3.617 para el año 2007.

El bosque de pino mostró los valores de PPU homogéneos, variando de 203.326 en 1986, disminuyendo a 188.795 para 1996 e incrementándose a 208.326 para el 2007. La fragmentación en el bosque de encino se comporta de manera similar al bosque mixto, bajando de 208.326 en el año 1986, a 64.378 en el año 2007. El chaparral presentó un índice de fragmentación menor a de 350.103 para el año 1986 y disminuyendo hasta llegar a 300.192 para el año 2007. El matorral desértico rosetófilo, muestran un patrón de aumento de la fragmentación entre el periodo de 1986 y 1996, posteriormente bajan para

el año 2007 para. Un patrón inverso se observó en la agricultura de temporal y el bosque mixto, primero disminuyendo su fragmentación entre los años de 1986 y 1996, posteriormente subiendo para el año 2007. El pastizal inducido mostró un patrón de aumento en la fragmentación, con valores en 1986 con valores de 44.125, para posteriormente aumentar en 1996 y 2007 con valores de 52.081 y 95.483, respectivamente. Hay que recordar que esta clase junto con la agricultura de temporal, están directamente relacionadas a actividades antropogénicas y el cambio en su dispersión obedece a factores no naturales, especialmente a lo que a la agricultura se refiere. El caso de suelo o sustrato es especial, puesto que esta clase obedece a incendios forestales que pueden estar o no relacionados con la actividad antropogénica.

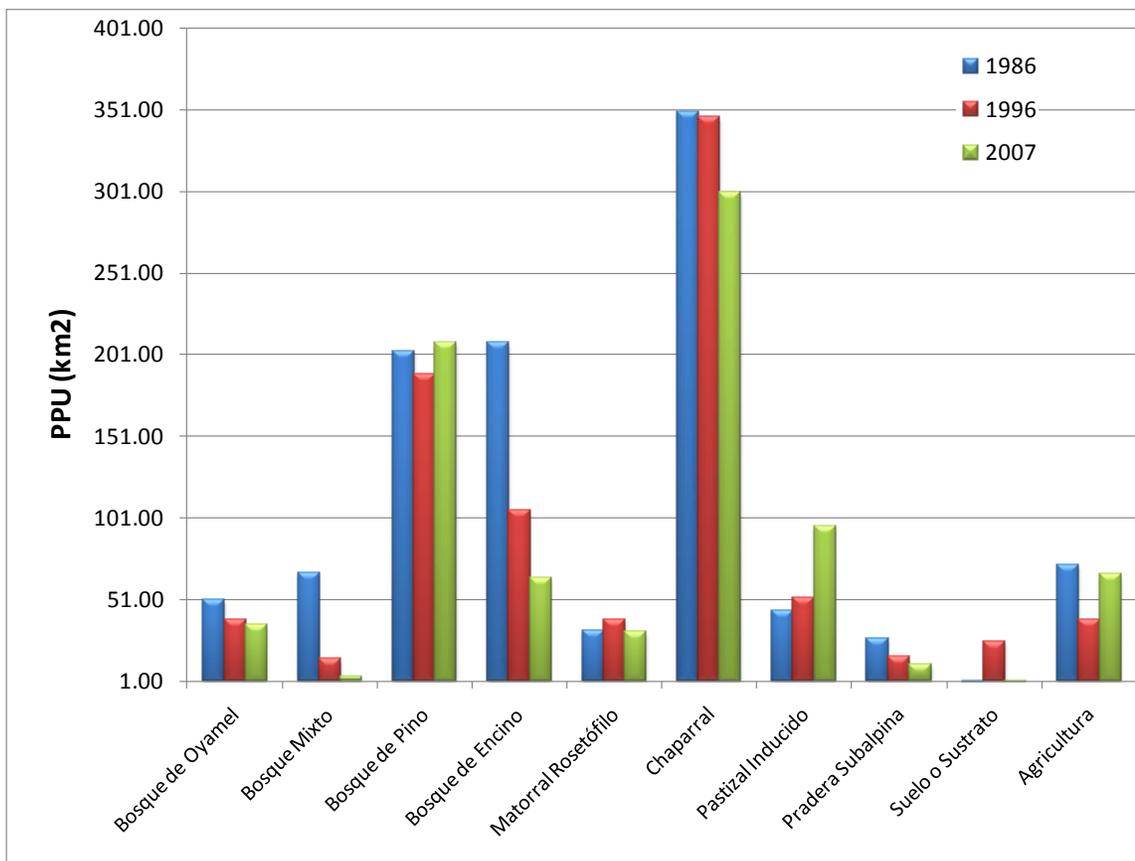


Figura 55 Índice de fragmentación de parches por unidad (PPU) a nivel de clase.

Tabla 30 Índice del parches por unidad (PPU) a nivel de clases.

FECHA	BA	BM	BP	BQ	MDR	ML	PI	PSA	SUELO	TA
1973	50.635	67.272	203.262	208.326	31.828	350.103	44.125	26.764	0.000	72.335
1986	38.338	14.467	188.795	105.610	38.338	346.486	52.081	15.914	24.594	38.338
2007	35.444	3.617	208.326	64.378	31.104	300.192	95.483	10.850	0.000	66.549

BA= bosque de oyamel, BP= bosque de pino, BM= bosque mixto, BQ= bosque de encino, ML= chaparral, MDR= matorral desértico rosetófilo, PSA= pradera subalpina, PI= pastizal inducido, TA= agricultura de temporal, SUELO = Suelo o sustrato.

### 6.1.2. Procesos espaciales en la transformación del paisaje.

El análisis de los procesos espaciales en la transformación del paisaje realizados mediante el módulo Land Change Modeler de IDRIS ANDES® mostraron los siguientes resultados:

VEGETACIÓN	PERIODO		
	1986-1996	1996-2007	1986-2007
Bosque de Oyamel	Desgaste	Desgaste	Desgaste
Bosque de Pino	Desgaste	Disección	Disección
Bosque Mixto	Desgaste	Desgaste	Desgaste
Bosque de Encino	Desgaste	Desgaste	Desgaste
Chaparral	Creación	Agregación	Agregación
Matorral Desértico Rosetófilo	Creación	Desgaste	Desgaste
Pradera Subalpina	Desgaste	Desgaste	Desgaste
Pastizal Inducido	Disección	Creación	Creación
Agricultura de Temporal	Desgaste	Creación	Creación
Suelo o Sustrato	Creación	Desaparición	-----

Los procesos de transformación del tipo desgaste mostraron que el número de parches y el área están decreciendo, como es el caso del bosque de oyamel, el bosque mixto, bosque de encino, matorral desértico rosetófilo y la pradera subalpina. Los procesos unión o agregación mostraron que el número de parches del chaparral está decreciendo pero el área es constante o está aumentando. En cambio, los procesos de creación mostraron que el número de parches y el área de chaparral entre 1986-1996, al igual que los de agricultura y pastizal inducido entre 1996-2007, están creciendo. Por último, los procesos de disección que mostraron que el número de parches del bosque de pino está creciendo pero el área está decreciendo.

## 6.2. Análisis de la vegetación

### 6.2.1. Caracterización ecogeográfica y descripción de las comunidades

San Antonio Peña Nevada está caracterizado por vegetación de tipo templado (bosque de oyamel, bosque de pino, bosque mixto, bosque de encino)). Estas comunidades se localizan entre 2,000 a 3,300 msnm, en un clima templado, Semifrío, subhúmedo con lluvias en verano, con un promedio de precipitación que van de los 600 a los 1,000 mm anuales. Como ya se mencionó anteriormente, para el año 2007 se encontró un total de 7 tipos de vegetación, 2 usos del suelo (Tabla 31 y Figura 20).

Tabla 31 Tipos de vegetación de San Antonio Peña Nevada.

TIPO DE VEGETACIÓN	ÁREA (Ha)	%
Bosque Mixto	80.00	0.38
Pradera Subalpina	83.44	0.40
Matorral Desértico Rosetófilo	267.81	1.28
Bosque de Encino	311.50	1.49
Agricultura de Temporal	392.94	1.87
Bosque de Oyamel	717.25	3.42
Pastizal Inducido	779.25	3.72
Bosque de Pino	5812.56	27.73
Chaparral	12514.31	59.71
Total	20959.06	100.00

Se encontraron un total de 488 especies, representadas en 279 géneros, 74 familias y 17 subespecies. La familia más representada en el área de estudio fue Asteraceae con 43 géneros, 82 especies y 1 subespecie, seguida de la familia Poaceae con 27 géneros y 48 especies, posteriormente la familia Fabaceae con 21 géneros 35 especies y 7 subespecies.

El género con más especies dentro del área de estudios es *Quercus*, con un total de 12 especies, seguido de *Salvia* con 10, *Senecio* y *Agave* con 9 especies, *Stevia* y *Muhlenbergia* con 8, *Euphorbia* y *Dalea* con 7 y *Pinus* con 6. Un total de 33 especies no pudieron ser determinadas por carecer de las estructuras taxonómicas necesarias para su identificación y no fueron contempladas en estas estadísticas. Con relación a la riqueza florística por tipo de vegetación, se encontró que el bosque de pino es la comunidad con mayor número de taxas en el área de estudio, representado por 60 familias, 165 géneros, 252 especies y 9 subespecies (Figura 56). Se encontraron un total de 15 especies con algún

estatus de protección en el área de estudio: 9 especies en protección especial, 4 amenazadas y 2 en peligro (ver anexo A, Tabla 41).

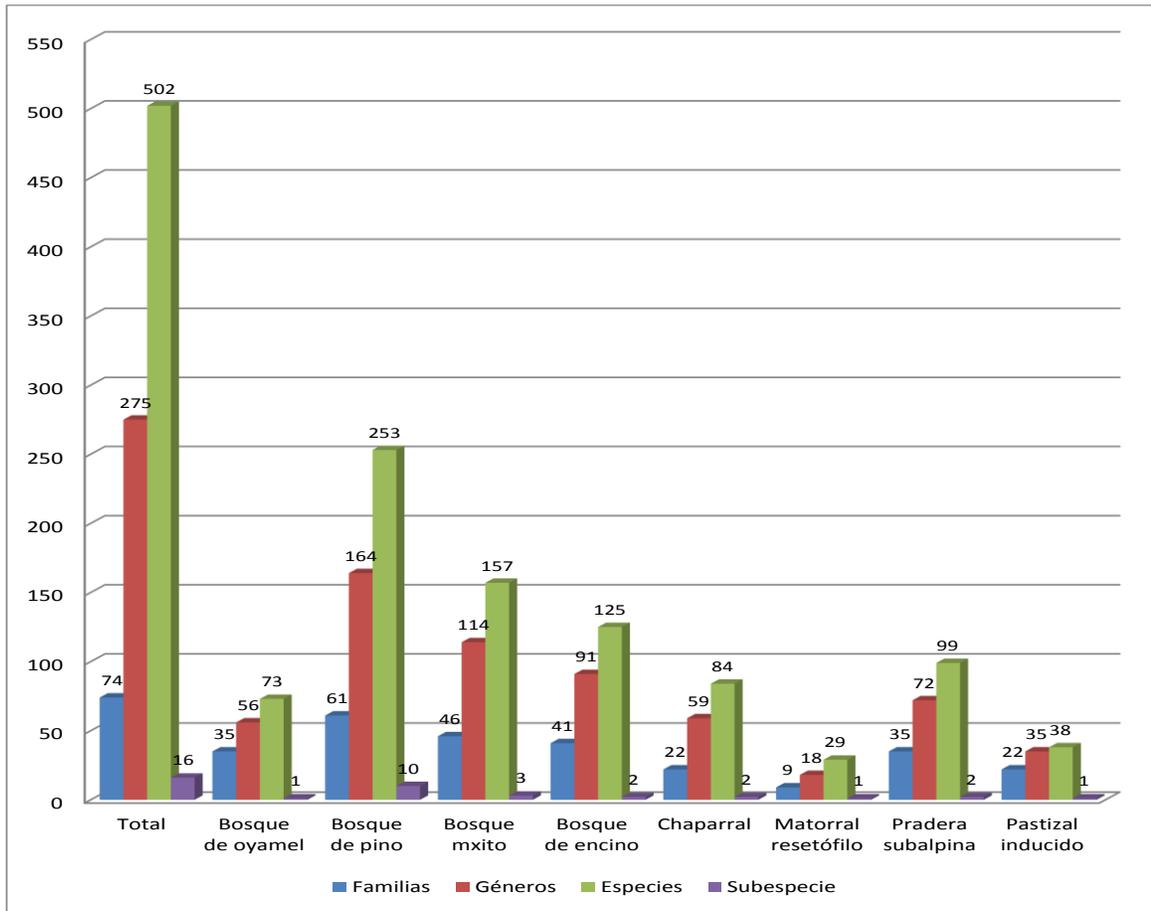


Figura 56 Riqueza florística por tipo de vegetación, en el área de estudio.

Se encontraron también 10 especies endémicas según la NOM-059-SEMARNAT-2010, 36 para el noreste de México y 5 exclusivas para las Sierra San Antonio Peña Nevada (McDonald, 1993). Para las comunidades de bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de encino, bosque mixto y chaparral se realizaron un total de 51 líneas de muestreo (Figura 57).

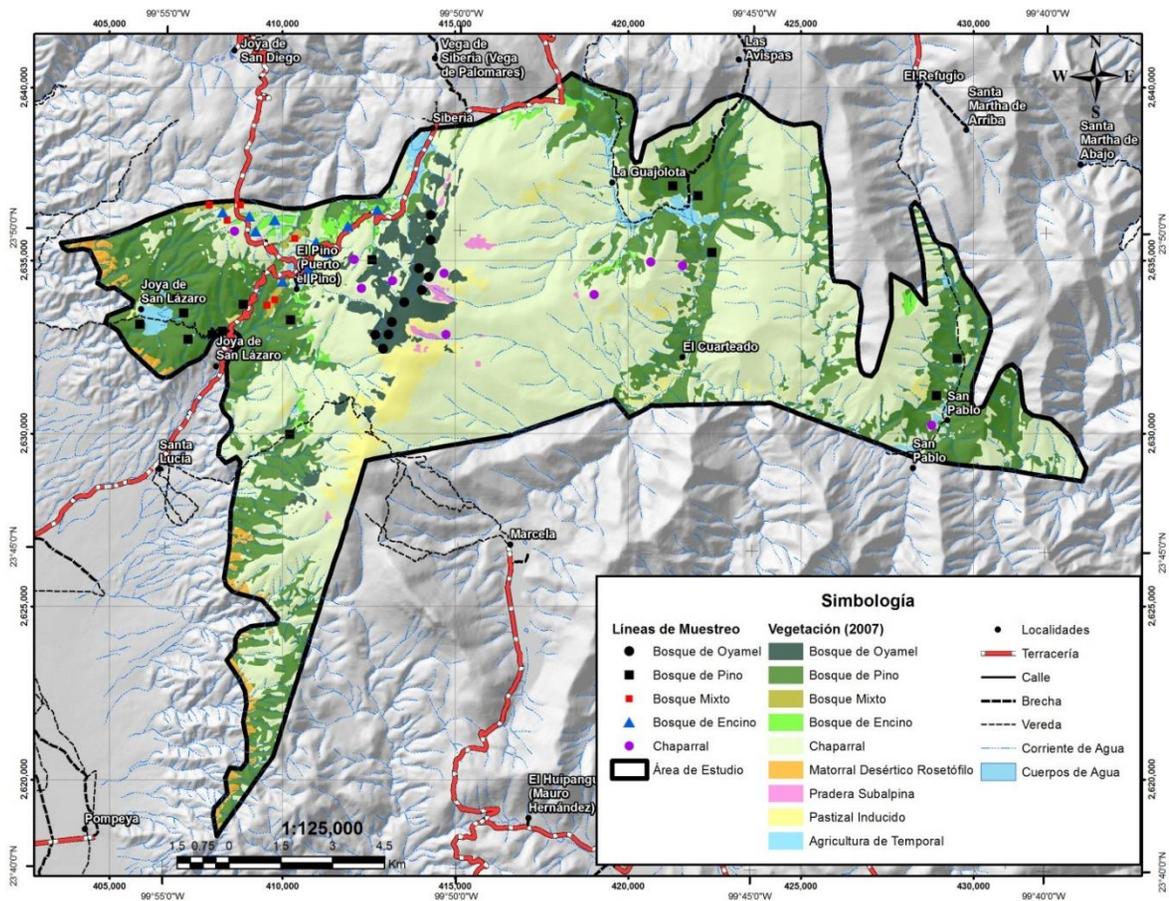


Figura 57 Líneas de muestreo.

### 6.2.1.1. Bosque de Oyamel.

En el área de estudio ocupa un total de 309.96 ha, distribuida en manchones en la parte alta de la Sierra San Antonio Peña Nevada, en exposiciones Noroeste, y en menor grado en exposiciones Norte, y Oeste, entre los 2,800 a los 3,400 msnm con mayor proporción entre los 3,000 y 3,300 msnm, en pendientes entre los 3° y 70° con mayor preferencia a pendientes de entre 10° y 40°, sobre suelos someros calizos (Figura 58), en donde dominan los suelos tipo Litosol y en menor grado Rendzinas (Figura 59).

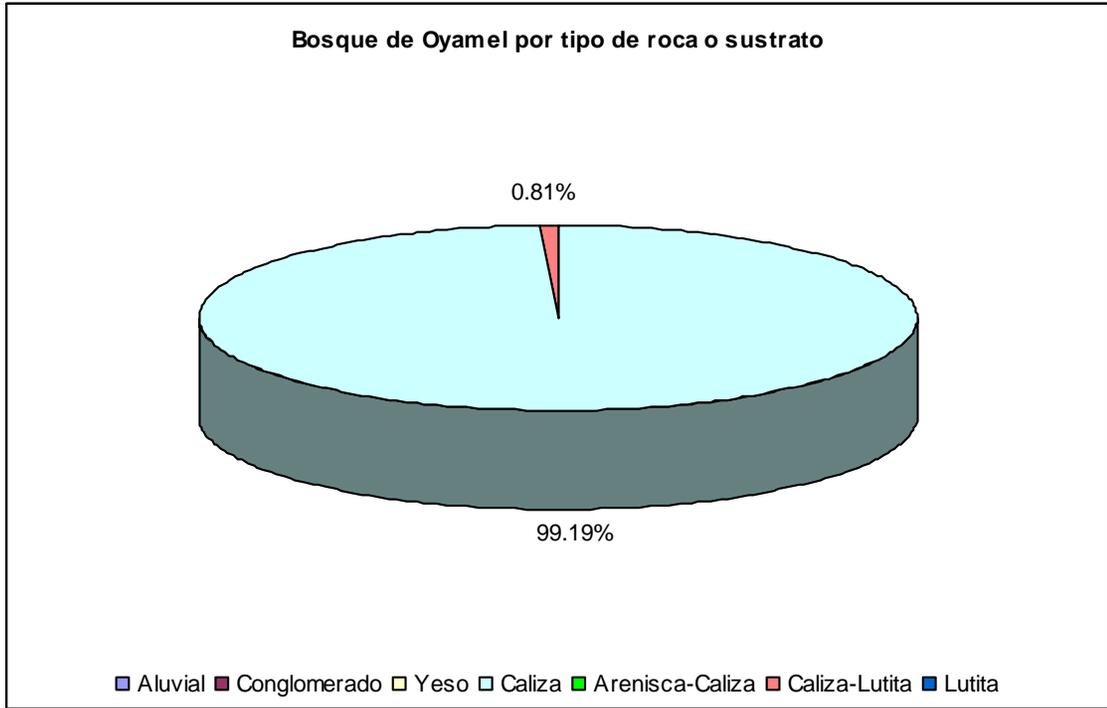


Figura 58 Relación entre la geología y el bosque de oyamel.

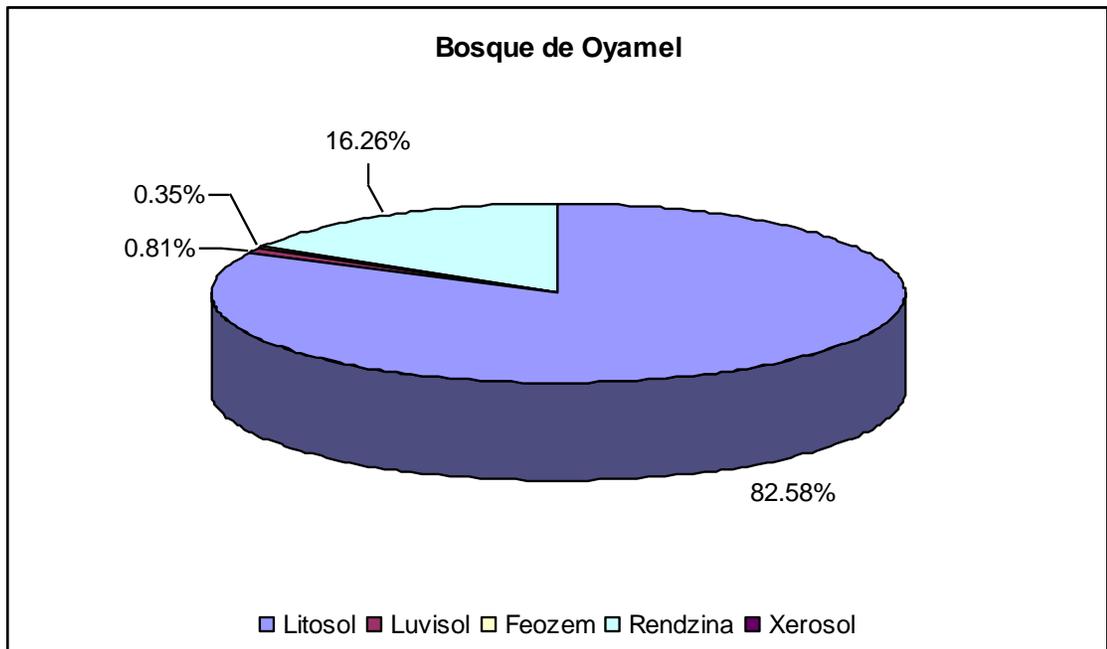


Figura 59 Relación entre la edafología y el bosque de oyamel.

El clima predominante en su zona de distribución es el Templado Semifrío Subhúmedo con lluvias en verano C(E)(w1)(x') (Figura 60), alcanzando precipitaciones que empiezan en los 600 mm hasta los 1000 mm anuales. La temperatura oscila entre los 8 y 12 °C en promedio, pero en la época invernal puede alcanzar los -10°C.

Está conformado por 3 estratos bien definidos, aunque el estrato medio no muestra una cobertura uniforme. El estrato alto está integrado por árboles altos de entre 15 y 30 metros de altura, que forman un dosel cerrado, el cual deja pasar muy poca luz a los estratos medios y bajos. La especie dominante son las coníferas, en especial el oyamel (*Abies vejarii*) con el 59.168% del valor de importancia (IVI %) y el pino (*P. hartwegii* con 12.77% y *Pinus strobiformis* con 10.45%), además de ayarín (*Pseudotsuga menziesii* con 8.92%), básicamente les corresponde a las coníferas el 91.31%.

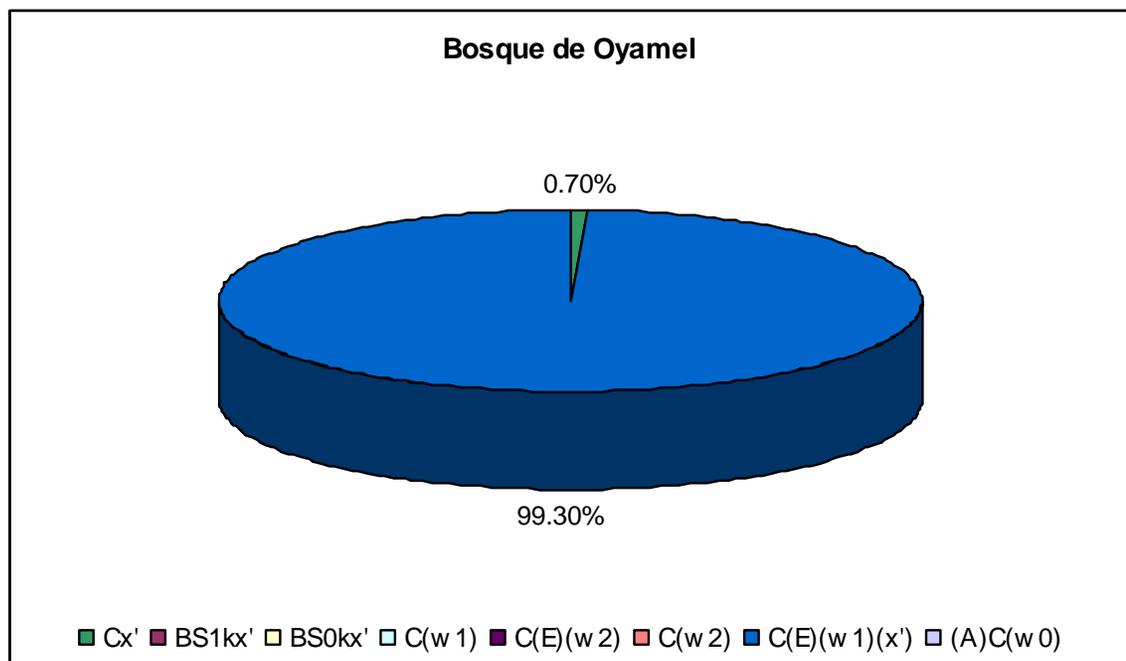


Figura 60 Relación del clima y el bosque de oyamel.

El estrato medio (4-8 metros) está formado por renuevos de estas especies y por algunos árboles bajos, que aprovechan los claros que deja el estrato alto. Algunas de las especies representativas son: renuevos de oyamel (*Abies vejarii*), pino (*P. hartwegii* y *Pinus strobiformis*), además de *Cinnamomum pachypodum*. En algunos casos existe un substrato bajo en el estrato medio (1.5 – 4 metros) y está integrado por algunas especies

de matorral propias de las áreas abiertas que rodean a este bosque. Se observan especies como: *Paxistima myrsinites*, *Ribes nigrum*, *Gymnosperma glutinosum*, *Ceanothus buxifolius*, *Symphoricarpos microphyllus*, *Salix paradoxa*, *Sambucus canadensis* y maguey (*Agave montana*). Básicamente los renuevos de oyamel y *Paxistima myrsinites*, tiene el 47.57% del IVI. El estrato bajo (menor a 0.5 metros) está dominado por especies herbáceas de la familia Asteraceae, en especial por *Packera scalaris*, *S. loratifolius*, *S. toluccanus* y *S. zimapanicus*, *Ageratina saltillensis*, *Bidens ferulifolia*, También se encuentran *Commelina erecta*, *Oxalis debilis* var. *corymbosa*, *Alchemilla procumbens*, *Fragaria mexicana*, *Potentilla leonina*, *Penstemon lanceolatus*, *Paxistima myrsinites*, *Piptochaetium fimbriatum*, *Stipa tenuissima*, *Astragalus legionensis*, *Geranium crenatifolium*, *Salvia greggii*, *Pleopeltis polypodioides*, *Galium aschenbornii* y renuevos de oyamel entre otras.

En sus límites altitudinales inferiores limita con los bosques de encino, bosques mixtos y chaparrales, en las partes altas limita con la pradera subalpina. Esta comunidad ha sido afectada principalmente por incendios forestales (en especial en 1998), por lo que su área de distribución dentro de la sierra se ha visto reducida a unos cuantos manchones en la parte alta, rodeado de chaparrales de origen secundario, producto de los incendios antes mencionados. Cabe señalar que en el límite de contacto entre el bosque de oyamel y las áreas incendiadas es posible ver los troncos de *Abies vejarii* que fueron consumidos por el fuego. Se observó también que algunos ejemplares de *A. vejarii* no murieron sino hasta 2 años después del incendio de 1998, por lo que la composición del estrato arbóreo cambia, dominando en estas zonas el *Pinus hartwegii*, especie más resistente al fuego. En las zonas en donde colinda con la pradera subalpina, es posible observar que elementos de esta penetran en el estrato bajo y se mantiene aprovechando algunos claros dejados por el estrato alto. En las zonas con menor luz, el estrato bajo está ocupado casi enteramente por musgos.

En la Tabla 32, se resumen las características de densidad, cobertura, frecuencia y valor de importancia para el muestreo cuantitativo del bosque de oyamel.

Tabla 32 Valores encontrados en el muestreo cuantitativo del bosque de oyamel.

Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<b>Total Estrato Alto</b>	<b>792.848</b>	<b>1.000</b>	<b>4.255</b>	<b>1.000</b>	<b>16278.340</b>	<b>1.0000</b>	<b>3.000</b>	<b>100.000</b>
<i>Abies vejarii</i>	494.263	0.623	2.080	0.489	10789.504	0.6628	1.775	59.168
<i>Pinus hartwegii</i>	80.352	0.101	0.688	0.162	1956.608	0.1202	0.383	12.771
<i>Pinus strobiformis</i>	63.600	0.080	0.538	0.126	1742.684	0.1071	0.314	10.453
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	89.589	0.113	0.383	0.090	1052.761	0.0647	0.268	8.925
<i>Cinnamomum pachypodium</i>	30.925	0.039	0.367	0.086	483.783	0.0297	0.155	5.163
<i>Salix paradoxa</i>	34.120	0.043	0.200	0.047	253.000	0.0155	0.106	3.519
Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<b>Total Estrato Medio</b>	<b>8845.894</b>	<b>1.000</b>	<b>7.667</b>	<b>1.000</b>	<b>6986.139</b>	<b>1.0000</b>	<b>3.000</b>	<b>100.000</b>
<i>Paxistima myrsinites</i>	4719.200	0.533	0.600	0.078	744.000	0.1065	0.718	23.941
<i>Abies vejarii</i>	1270.724	0.144	1.737	0.227	2367.616	0.3389	0.709	23.637
<i>Ribes nigrum</i>	189.180	0.021	0.925	0.121	1831.600	0.2622	0.404	13.473
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	364.618	0.041	0.550	0.072	1019.527	0.1459	0.259	8.630
<i>Agave montana</i>	480.550	0.054	0.750	0.098	261.485	0.0374	0.190	6.319
<i>Pinus strobiformis</i>	139.475	0.016	1.150	0.150	97.340	0.0139	0.180	5.990
<i>Symphoricarpos microphyllus</i>	588.737	0.067	0.383	0.050	174.837	0.0250	0.142	4.719
<i>Ceanothus buxifolius</i>	331.540	0.037	0.500	0.065	163.260	0.0234	0.126	4.202
<i>Litsea glaucescens</i>	331.540	0.037	0.250	0.033	92.930	0.0133	0.083	2.780
<i>Pinus hartwegii</i>	112.963	0.013	0.344	0.045	94.630	0.0135	0.071	2.374
<i>Salix paradoxa</i>	267.180	0.030	0.150	0.020	23.000	0.0033	0.053	1.769
<i>Cinnamomum pachypodium</i>	40.187	0.005	0.228	0.030	66.915	0.0096	0.044	1.460
<i>Sambucus canadensis</i>	10.000	0.001	0.100	0.013	49.000	0.0070	0.021	0.706
Especie	Densidad Absoluta ind/m <sup>2</sup> (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup>	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<b>Total Estrato Bajo</b>	<b>58.688</b>	<b>1.000</b>	<b>10.973</b>	<b>1.000</b>	<b>1.2332</b>	<b>1.0000</b>	<b>3.000</b>	<b>100.000</b>
<i>Packera scalaris</i>	8.955	0.153	0.650	0.059	0.1334	0.1082	0.320	10.667
<i>Abies vejarii</i>	0.993	0.017	0.266	0.024	0.2877	0.2333	0.274	9.148
<i>Hieracium crepidispermun</i>	0.419	0.007	0.800	0.073	0.1433	0.1162	0.196	6.542
<i>Stipa tenuissima</i>	4.376	0.075	0.400	0.036	0.0451	0.0366	0.148	4.920
<i>Castilleja sp.</i>	1.174	0.020	0.333	0.030	0.1062	0.0861	0.136	4.549
<i>Ageratina saltillensis</i>	4.713	0.080	0.400	0.036	0.0203	0.0165	0.133	4.441
<i>Symphoricarpos microphyllus</i>	0.341	0.006	0.450	0.041	0.1016	0.0824	0.129	4.307
<i>Paxistima myrsinites</i>	1.082	0.018	0.493	0.045	0.0457	0.0371	0.100	3.349
<i>Salvia coccinea</i>	2.946	0.050	0.300	0.027	0.0200	0.0162	0.094	3.125
<i>Senecio sp.</i>	2.357	0.040	0.400	0.036	0.0039	0.0032	0.080	2.659

Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<i>Micromeria sp.</i>	0.321	0.005	0.150	0.014	0.0710	0.0576	0.077	2.557
<i>Antiphytum heliotropioides</i>	0.641	0.011	0.714	0.065	0.0007	0.0006	0.077	2.552
<i>Piptochaetium fimbriatum</i>	2.087	0.036	0.361	0.033	0.0094	0.0076	0.076	2.538
<i>Senecio zimapanicus</i>	1.354	0.023	0.183	0.017	0.0414	0.0336	0.073	2.445
<i>Sisyrinchium schaffneri</i>	2.803	0.048	0.189	0.017	0.0048	0.0039	0.069	2.296
<i>Salvia greggii</i>	1.272	0.022	0.309	0.028	0.0227	0.0184	0.068	2.272
<i>Pleopeltis polypodioides</i>	2.080	0.035	0.261	0.024	0.0009	0.0007	0.060	1.997
<i>Gymnosperma glutinosum</i>	0.745	0.013	0.400	0.036	0.0133	0.0108	0.060	1.997
<i>Litsea novoleontis</i>	0.225	0.004	0.242	0.022	0.0392	0.0318	0.058	1.921
<i>Commelina erecta</i>	2.141	0.036	0.150	0.014	0.0077	0.0062	0.056	1.879
<i>Fragaria mexicana</i>	1.640	0.028	0.252	0.023	0.0051	0.0042	0.055	1.835
<i>Galium aschenbornii</i>	1.441	0.025	0.150	0.014	0.0132	0.0107	0.049	1.631
<b>SOLANACEAE</b>	1.400	0.024	0.200	0.018	0.0068	0.0055	0.048	1.587
<i>Oxalis debilis var. corymbosa</i>	1.133	0.019	0.250	0.023	0.0006	0.0005	0.043	1.419
<i>Senecio toluccanus</i>	0.702	0.012	0.255	0.023	0.0066	0.0054	0.041	1.352
<i>Astragalus legionensis</i>	0.784	0.013	0.250	0.023	0.0037	0.0030	0.039	1.305
<i>Maianthemum stellatum</i>	1.178	0.020	0.100	0.009	0.0112	0.0091	0.038	1.276
<i>Gymnosperma glutinosum</i>	0.635	0.011	0.100	0.009	0.0153	0.0124	0.032	1.078
<i>Arbutus xalapensis</i>	0.080	0.001	0.143	0.013	0.0190	0.0154	0.030	0.995
<i>Geranium crenatifolium</i>	0.750	0.013	0.156	0.014	0.0005	0.0004	0.027	0.913
<i>Commelina erecta</i>	0.880	0.015	0.083	0.008	0.0045	0.0036	0.026	0.874
<i>Lonicera pilosa</i>	0.589	0.010	0.100	0.009	0.0051	0.0041	0.023	0.776
<i>Valeriana clematitidis</i>	0.589	0.010	0.100	0.009	0.0033	0.0027	0.022	0.728
<i>Mandevilla karwinskii</i>	0.589	0.010	0.100	0.009	0.0030	0.0024	0.022	0.719
<i>Stevia sp.</i>	0.589	0.010	0.100	0.009	0.0030	0.0024	0.022	0.719
<i>Lobelia sp.</i>	0.700	0.012	0.100	0.009	0.0002	0.0001	0.021	0.706
<i>Ceanothus buxifolius</i>	0.149	0.003	0.200	0.018	0.0002	0.0002	0.021	0.697
<i>Pellaea atropurpurea</i>	0.589	0.010	0.100	0.009	0.0020	0.0016	0.021	0.692
<i>Carex turbinata</i>	0.546	0.009	0.100	0.009	0.0027	0.0022	0.021	0.686
<i>Valeriana sorbifolia</i>	0.589	0.010	0.100	0.009	0.0014	0.0011	0.020	0.676
<i>Penstemon lanceolatus</i>	0.589	0.010	0.100	0.009	0.0009	0.0007	0.020	0.663
<i>Galium uncinulatum</i>	0.231	0.004	0.167	0.015	0.0008	0.0006	0.020	0.659
<i>Bidens ferulifolia</i>	0.589	0.010	0.100	0.009	0.0002	0.0002	0.019	0.644
<i>Alchemilla procumbens</i>	0.408	0.007	0.134	0.012	0.0002	0.0002	0.019	0.642
<i>Cinnamomum pachypodium</i>	0.293	0.005	0.083	0.008	0.0055	0.0045	0.017	0.568

Los bosques de oyamel se encuentran dominados por elementos con afinidades holárticas o boreales, como *Abies*, *Pseudotsuga*, *Pinus*, *Cupressus*, *Populus*. El estrato medio y bajo tienen elementos con afinidades holárticas o boreales, representada por *Arbutus*, *Arctostaphylos*, *Castilleja*, *Ceanothus*, *Garrya*, *Juglans*, *Penstemon*, *Crataegus*. En esta comunidad se encontraron 7 especies endémicas mencionadas por McDonald, 1993 y 3 por SEMARNAT (2010); 5 especies se encuentran con algún estatus en la NOM-059-SEMARNAT-2010, *Abies vejarii* como amenazada, *Pinus strobiformis*, *Pseudotsuga menziesii* y *Turbinicarpus beguinii* como protección especial y *Litsea glaucescens* que aparece como en peligro de extinción.

#### 6.2.1.2. Bosque de Pino:

Se ubica en las laderas y cañadas bajas de la zona de estudio en todo tipo de exposiciones, principalmente en la oeste y noroeste; entre los 1,700 y los 3,300 msnm, predominando entre los 2,100 y 2,700 msnm, en pendientes cercanas a 0 hasta mayores de 50°, con preferencia entre los 10° y 40°, sobre suelos someros derivados principalmente de calizas (Figura 61), dominando los suelos tipo litosol (Figura 62) y ocupa un total de 3,345.4 ha. Esta comunidad, en su límite altitudinal inferior, limita con matorrales xerófilos, principalmente con matorral desértico rosetófilo. En su límite superior hace ecotono con los bosques mixtos y de encino y en su variante más húmeda tiene contacto con los bosques de oyamel.

Se distribuye en todos los climas del área de estudio (Figura 63), alcanzando precipitaciones que empiezan en los 400 mm hasta 1,000 mm anuales, con mayor preferencia entre los 500 y 1,000 mm anuales. La temperatura oscila entre los 12 y 18 °C en promedio.

Estos bosques presentan tres variantes, dos secas y una húmeda. La primera variante seca en la que domina el *Pinus nelsonii*, se distribuye al oeste del área de estudio, en las inmediaciones de San Lázaro. El bosque tiene una altura promedio de 5 metros, presente específicamente en la ladera sureste de la sierra, en áreas con precipitación inferiores a los 600 mm anuales.

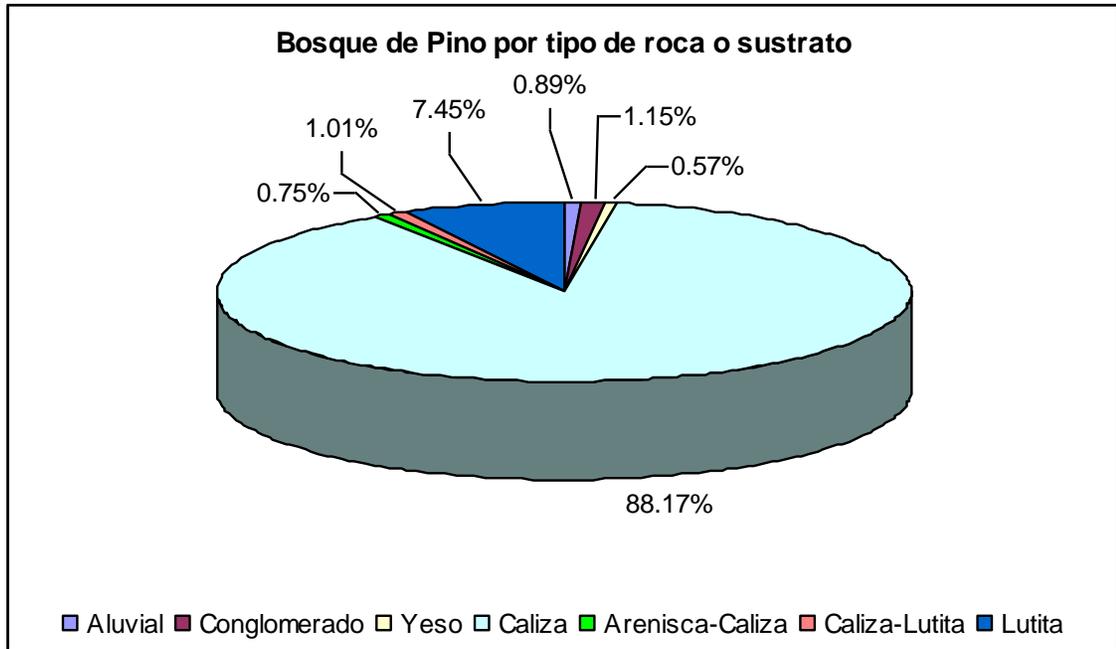


Figura 61 Relación entre la geología y el bosque de pino.

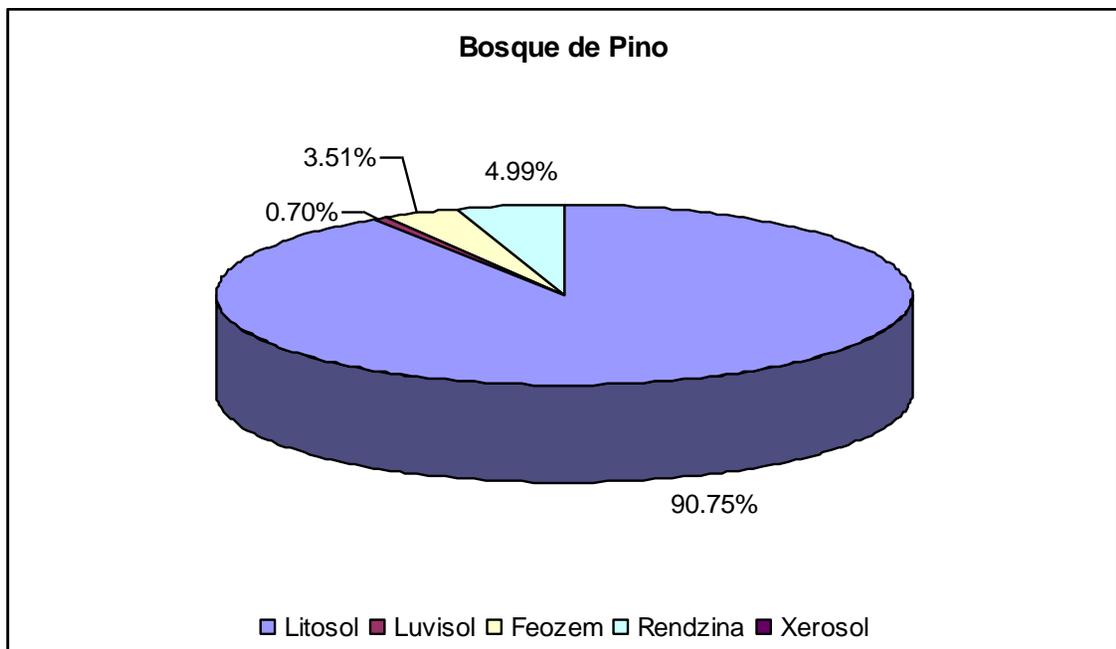


Figura 62 Relación entre la edafología y el bosque de pino.

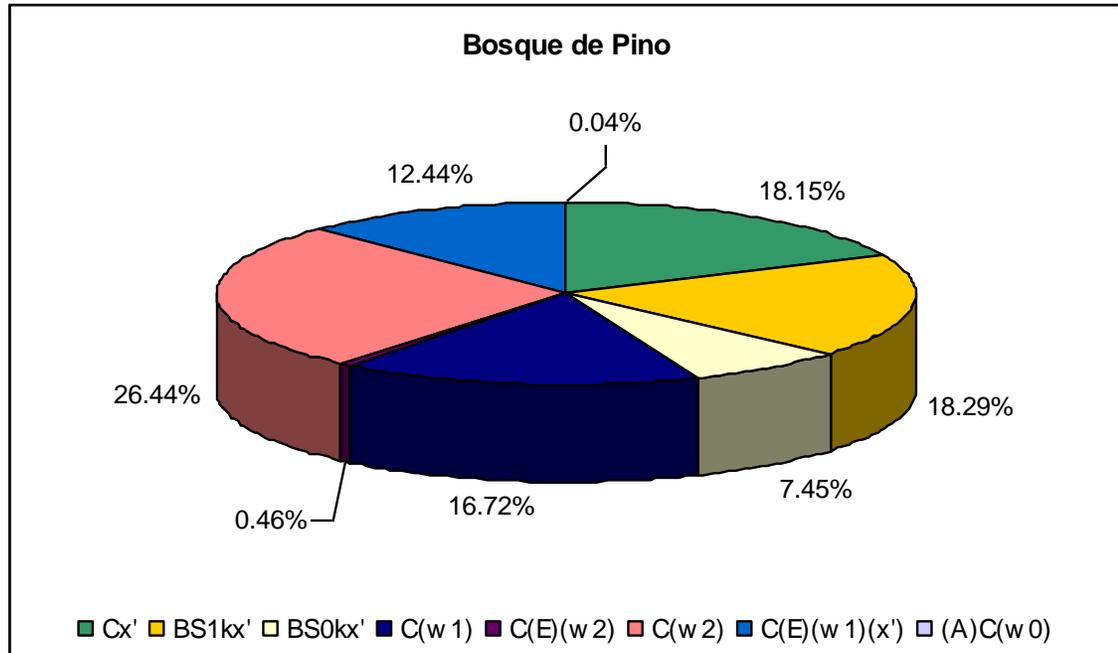


Figura 63 Relación entre el clima y el bosque de pino.

La segunda variante seca se distribuye en todas las laderas bajas de la sierra, por debajo de los 2800 msnm, y en lugares con una precipitación que va de los 500 a los 800 mm anuales. Esta segunda variante está dominada por pino piñonero (*Pinus cembroides*) y el estrato arbóreo tiene una altura promedio de entre 3 y 10 metros. Ambas variantes presentan un estrato medio y bajo bien definido, e incluyen especies que se encuentran en las zonas áridas y semiáridas del altiplano mexicano, específicamente de los matorrales rosetófilos que rodean la sierra en su vertiente occidental, como son: *Forestiera racemosa*, *Rhus virens*, *Gochnatia hypoleuca*, *Krameria cytisoides*, *Pithecellobium elachistophyllum*, *Agave americana*, *A. striata*, *A. asperrima*, *Hechtia glomerata*, entre otras. Se observan algunos elementos asilados de la yuca de carneros (*Yucca carnerosana*).

La tercera variante se distribuye en las laderas altas, por arriba de los 2,600 msnm y llega hasta los 3,400 msnm, principalmente sobre suelos calizos someros, del tipo litosol, y con precipitaciones arriba de los 800 mm a 1,000 mm anuales. Se observan 3 estratos bien definidos; el estrato alto (15 - 25 m) dominado por *Pinus pseudostrobus*, *P. teocote*, *P. strobiformis* y con elementos de *P. hartwegii*, *Prunus serotina*, *Pseudotsuga menziesii* y *Abies vejarii*. El estrato medio compuesto principalmente por renuevos de estas especies

y con arbustos como madroño (*Arbutus xalapensis*), *Garrya ovata*, *Cercocarpus mojadensis*, *Quercus mexicana*, *Q. laeta*, *Juniperus flaccida*, *Sambucus canadensis*, *Garrya wrightii*, *G. ovata*, *Comarostaphylis polifolia*, *Litsea glaucescens*, entre otras. En su estrato bajo existe una combinación de especies propias de los bosques de oyamel, como *Symphoricarpos microphyllus*, *Ageratina* spp., *Senecio toluccanus*, *Fragaria mexicana*, *Stipa tenuissima*, *Carex turbinata*, entre otras especies.

Las condiciones menos perturbadas de esta comunidad se encuentran en las cercanías de San Lázaro y en los alrededores de Joya de San Lázaro; en cambio, en el cañón de Santa Rosa y San Pablo, este bosque se encuentra impactado por incendios forestales principalmente. En la Tabla 33, se resumen las características de densidad, cobertura, frecuencia y valor de importancia para el muestreo cuantitativo del bosque de pino.

En el bosque de pino se observaron elementos de afinidades Boreales u Holárticas dominando el estrato alto, medio y bajo como: *Pinus*, *Juniperus*, *Cupressus*, *Quercus*, *Prunus*, *Arbutus*, *Arctostaphylos*, *Comarostaphylis*, *Castilleja*, *Ceanothus*, *Ribes*, *Garrya*, *Juglans*, *Penstemon*, *Crataegus*. En el estrato medio se observan además elementos de afinidad tropical y subtropical como *Acacia*, *Mimosa*, *Rhus*, *Buddleja*, *Salvia*, *Litsea* y bromeliáceas; elementos de afinidad mexicana-sudamericana como *Gochnatia*, *Piptochaetium* y *Brickellia* de afinidad de las zonas áridas y semiáridas de México como *Agave*, *Bouteloua*, *Dasyllirion*, *Echinocereus*, *Ferocactus*, *Mammillaria*, entre otras, como resultado de compartir su límite altitudinal inferior con los matorrales desérticos rosetófilos. De afinidades cosmopolitas tenemos géneros como *Oxalis*, *Salvia*, *Erigeron*, entre otras. Se encontraron 10 especies endémicas (3 por McDonald, 1993 y 7 por SEMARNAT, 2010) y 12 especies con algún estatus en la NOM 059 SEMARNAT 2010: 9 especies en Protección Especial (*Juniperus monticola* o *Juniperus sabinoides* var. *monticola*, *Comarostaphylis discolor*, *Anticlea virescens*, *Pinus nelsonii*, *Anticlea virescens*, *Ferocactus pilosus*, *Turbincarpus beguinii*, *Coryphantha georgii* y *Echinocactus platyacanthus*), 1 Amenazada (*Dasyllirion longissimum*) y 2 en peligro de extinción (*Pinus nelsonii*, *Litsea glaucescens*) siendo la comunidad con mayor número de especies con algún estatus en la norma mencionada.

Tabla 33 Valores encontrados en el muestreo cuantitativo del bosque de pino.

Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RDi)	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RCi)	IVI	IVI (%)
<b>Total Estrato Alto</b>	<b>1750.487</b>	<b>1.000</b>	<b>5.593</b>	<b>1.000</b>	<b>33555.584</b>	<b>1.0000</b>	<b>3.000</b>	<b>100.000</b>
<i>Pinus cembroides</i>	555.987	0.318	0.771	0.138	10832.011	0.3228	0.778	25.945
<i>Pinus strobiformis</i>	184.920	0.106	0.875	0.156	5979.930	0.1782	0.440	14.676
<i>Quercus laeta</i>	184.920	0.106	0.875	0.156	5534.560	0.1649	0.427	14.234
<i>Pinus nelsonii</i>	311.127	0.178	0.650	0.116	4257.562	0.1269	0.421	14.028
<i>Pinus hartwegii</i>	69.950	0.040	0.363	0.065	3160.155	0.0942	0.199	6.631
<i>Schmaltzia copallinum</i>	82.045	0.047	0.343	0.061	738.352	0.0220	0.130	4.339
<i>Pinus pseudostrobus</i>	71.047	0.041	0.267	0.048	737.130	0.0220	0.110	3.674
<i>Quercus affinis</i>	44.641	0.026	0.300	0.054	369.924	0.0110	0.090	3.005
<i>Gochnatia hypoleuca</i>	28.670	0.016	0.300	0.054	506.360	0.0151	0.085	2.837
<i>Juniperus flaccida</i>	43.119	0.025	0.150	0.027	268.645	0.0080	0.059	1.982
<i>Vauquelinia corymbosa</i> <i>var. heterodon</i>	37.410	0.021	0.100	0.018	349.390	0.0104	0.050	1.655
<i>Rhus virens</i>	35.305	0.020	0.100	0.018	245.935	0.0073	0.045	1.513
<i>Acacia roemeriana</i>	37.410	0.021	0.100	0.018	183.630	0.0055	0.045	1.491
<i>Quercus pungens</i>	25.707	0.015	0.100	0.018	204.820	0.0061	0.039	1.289
<i>Prunus serotina</i>	19.110	0.011	0.100	0.018	109.020	0.0032	0.032	1.068
<i>Quercus pringlei</i>	9.560	0.005	0.100	0.018	51.910	0.0015	0.025	0.830
<i>Sambucus canadensis</i>	9.560	0.005	0.100	0.018	26.250	0.0008	0.024	0.804
Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RDi)	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RCi)	IVI	IVI (%)
<b>Total Estrato Medio</b>	<b>24451.489</b>	<b>1.000</b>	<b>13.826</b>	<b>1.000</b>	<b>17675.092</b>	<b>1.0000</b>	<b>3.000</b>	<b>100.000</b>
<i>Forestiera racemosa</i>	958.725	0.039	0.600	0.043	2408.195	0.1362	0.219	7.295
<i>Quercus saltillensis</i>	2816.210	0.115	0.400	0.029	704.590	0.0399	0.184	6.132
<i>Pinus strobiformis</i>	759.990	0.031	1.000	0.072	1306.640	0.0739	0.177	5.911
<i>Schmaltzia copallinum</i>	891.920	0.036	0.463	0.033	1278.824	0.0724	0.142	4.743
<i>Garrya ovata</i>	639.730	0.026	0.367	0.027	834.837	0.0472	0.100	3.330
<i>Lindleya mespiloides</i>	875.827	0.036	0.371	0.027	645.784	0.0365	0.099	3.307
<i>Juniperus flaccida</i>	920.880	0.038	0.400	0.029	489.340	0.0277	0.094	3.143
<i>Rhus virens</i>	546.090	0.022	0.300	0.022	843.704	0.0477	0.092	3.059
<i>Rhus trilobata</i>	796.668	0.033	0.350	0.025	529.370	0.0300	0.088	2.928
<i>Garrya wrightii</i>	284.430	0.012	0.200	0.014	1051.330	0.0595	0.086	2.853
<i>Comarostaphylis polifolia</i>	957.040	0.039	0.200	0.014	455.140	0.0258	0.079	2.645
<i>Gochnatia hypoleuca</i>	601.071	0.025	0.300	0.022	407.770	0.0231	0.069	2.312
<i>Fendlerella lasiopetala</i>	789.320	0.032	0.400	0.029	77.240	0.0044	0.066	2.186
<i>Pithecellobium elachistophyllum</i>	996.700	0.041	0.200	0.014	180.923	0.0102	0.065	2.182
<i>Pinus pseudostrobus</i>	341.713	0.014	0.433	0.031	274.547	0.0155	0.061	2.028
<i>Agave americana</i>	442.042	0.018	0.200	0.014	496.940	0.0281	0.061	2.022
<i>Amelanchier denticulata</i>	376.040	0.015	0.400	0.029	266.290	0.0151	0.059	1.979
<i>Pinus cembroides</i>	379.468	0.016	0.340	0.025	335.612	0.0190	0.059	1.970

Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<i>Quercus laeta</i>	152.000	0.006	0.375	0.027	321.270	0.0182	0.052	1.717
<i>Arctostaphylos pungens</i>	337.217	0.014	0.233	0.017	337.353	0.0191	0.050	1.658
<i>Stevia tomentella</i>	699.448	0.029	0.240	0.017	54.878	0.0031	0.049	1.636
<i>Sophora secundiflora</i>	417.888	0.017	0.313	0.023	131.708	0.0075	0.047	1.571
<i>Krameria cytisoides</i>	497.760	0.020	0.150	0.011	266.535	0.0151	0.046	1.543
<i>Sp. 1718</i>	426.650	0.017	0.100	0.007	323.380	0.0183	0.043	1.433
<i>Ageratina saltillensis</i>	356.328	0.015	0.200	0.014	237.125	0.0134	0.042	1.415
<i>Quercus affinis</i>	423.093	0.017	0.167	0.012	218.187	0.0123	0.042	1.390
<i>Stevia ovata</i>	323.900	0.013	0.350	0.025	37.200	0.0021	0.041	1.356
<i>Ageratina espinosarum</i>	704.050	0.029	0.100	0.007	79.900	0.0045	0.041	1.352
<i>Agave asperrima</i>	197.687	0.008	0.200	0.014	310.243	0.0176	0.040	1.337
<i>Quercus pungens</i>	271.791	0.011	0.200	0.014	223.349	0.0126	0.038	1.274
<i>Litsea glaucescens</i>	128.730	0.005	0.300	0.022	197.480	0.0112	0.038	1.271
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	114.000	0.005	0.375	0.027	102.470	0.0058	0.038	1.253
<i>Dalia sp.</i>	352.030	0.014	0.100	0.007	260.140	0.0147	0.036	1.212
<i>Cercocarpus mojadensis</i>	212.600	0.009	0.100	0.007	334.330	0.0189	0.035	1.161
<i>Symphoricarpos microphyllus</i>	166.030	0.007	0.100	0.007	331.330	0.0187	0.033	1.092
<i>Vernonia faustiana</i>	432.540	0.018	0.175	0.013	39.758	0.0022	0.033	1.087
<i>Stevia salicifolia</i>	376.040	0.015	0.200	0.014	23.660	0.0013	0.031	1.039
<i>Agave atrovirens</i>	157.760	0.006	0.250	0.018	116.705	0.0066	0.031	1.038
<i>Agave montana</i>	195.330	0.008	0.200	0.014	100.580	0.0057	0.028	0.938
<i>Comarostaphylis discolor</i>	152.180	0.006	0.200	0.014	117.990	0.0067	0.027	0.912
<i>Quercus intricata</i>	180.168	0.007	0.200	0.014	89.020	0.0050	0.027	0.896
<i>Hechtia glomerata</i>	239.260	0.010	0.100	0.007	169.590	0.0096	0.027	0.887
<i>Sp.15</i>	352.030	0.014	0.100	0.007	80.610	0.0046	0.026	0.873
<i>Brickellia veronicifolia</i>	271.438	0.011	0.175	0.013	41.183	0.0023	0.026	0.870
<i>Cercocarpus fothergilloides</i>	239.260	0.010	0.100	0.007	152.220	0.0086	0.026	0.854
<i>Sp.18</i>	352.030	0.014	0.100	0.007	3.060	0.0002	0.022	0.727
<i>Dasyllirion longissimum</i>	64.370	0.003	0.200	0.014	82.860	0.0047	0.022	0.726
<i>Sp. 19</i>	239.260	0.010	0.100	0.007	67.640	0.0038	0.021	0.695
<i>Agave striata var. striata</i>	48.400	0.002	0.200	0.014	53.540	0.0030	0.019	0.649
<i>Chrysactinia truncata</i>	212.600	0.009	0.100	0.007	31.600	0.0018	0.018	0.591
<i>Sp. 9</i>	239.260	0.010	0.100	0.007	2.490	0.0001	0.017	0.572
<i>Thymophylla setifolia</i>	142.220	0.006	0.100	0.007	10.050	0.0006	0.014	0.454
<i>Sambucus canadensis</i>	32.180	0.001	0.100	0.007	75.220	0.0043	0.013	0.427
<i>Quercus pringlei</i>	131.550	0.005	0.100	0.007	2.030	0.0001	0.013	0.424
<i>Pinus nelsonii</i>	92.860	0.004	0.100	0.007	27.154	0.0015	0.013	0.419
<i>Mimosa aculeaticarpa</i>	65.110	0.003	0.100	0.007	22.960	0.0013	0.011	0.373
<i>Pithecellobium elachistophyllum</i>	32.270	0.001	0.100	0.007	2.920	0.0002	0.009	0.291
<i>Wedelia sp.</i>	32.180	0.001	0.100	0.007	1.910	0.0001	0.009	0.289

Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<i>Stevia eupatoria</i>	16.130	0.001	0.100	0.007	6.390	0.0004	0.008	0.275
Especie	Densidad Absoluta ind/m <sup>2</sup> (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup>	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<b>Total Estrato Bajo</b>	<b>127.437</b>	<b>1.000</b>	<b>17.563</b>	<b>1.000</b>	<b>2.417</b>	<b>1.0000</b>	<b>3.000</b>	<b>100.000</b>
<i>Senecio toluccanus</i>	11.98	0.094	0.750	0.043	0.7002	0.2897	0.426	14.213
<i>Agave lechuguilla</i>	3.04	0.024	0.450	0.026	0.3380	0.1398	0.189	6.311
<i>Lycurus phleoides</i>	7.44	0.058	0.700	0.040	0.0147	0.0061	0.104	3.476
<i>Brickellia veronicifolia</i>	4.26	0.033	0.250	0.014	0.0882	0.0365	0.084	2.807
<i>Stipa occidentalis</i>	1.29	0.010	0.350	0.020	0.1308	0.0541	0.084	2.805
<i>Quercus intricata</i>	3.46	0.027	0.240	0.014	0.0655	0.0271	0.068	2.262
<i>Bouteloua uniflora</i>	2.67	0.021	0.533	0.030	0.0349	0.0144	0.066	2.191
<i>Stevia salicifolia</i>	2.10	0.016	0.600	0.034	0.0171	0.0071	0.058	1.924
<i>Stevia purpurea</i>	0.53	0.004	0.200	0.011	0.0972	0.0402	0.056	1.859
<i>Carex turbinata</i>	2.69	0.021	0.350	0.020	0.0350	0.0145	0.056	1.850
<i>Dalea greggii</i>	4.79	0.038	0.250	0.014	0.0072	0.0030	0.055	1.827
<i>Fragaria mexicana</i>	4.79	0.038	0.250	0.014	0.0034	0.0014	0.053	1.774
<i>Stipa tenuissima</i>	3.06	0.024	0.250	0.014	0.0321	0.0133	0.052	1.718
<i>Chrysactinia mexicana</i>	1.65	0.013	0.300	0.017	0.0517	0.0214	0.051	1.713
<i>Stevia eupatoria</i>	1.39	0.011	0.100	0.006	0.0734	0.0304	0.047	1.567
<i>Agave striata var. striata</i>	1.01	0.008	0.100	0.006	0.0774	0.0320	0.046	1.522
<i>Arenaria lycopodioides</i>	3.40	0.027	0.267	0.015	0.0079	0.0033	0.045	1.505
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	1.20	0.009	0.125	0.007	0.0686	0.0284	0.045	1.496
<i>Piptochaetium fimbriatum</i>	2.60	0.020	0.200	0.011	0.0211	0.0087	0.041	1.351
<i>Dyssodia papposa</i>	1.93	0.015	0.200	0.011	0.0304	0.0126	0.039	1.304
<i>Lindleya mespiloides</i>	1.87	0.015	0.250	0.014	0.0242	0.0100	0.039	1.298
<i>Alchemilla procumbens</i>	2.40	0.019	0.250	0.014	0.0113	0.0047	0.038	1.257
<i>Bidens polosa</i>	1.47	0.012	0.200	0.011	0.0346	0.0143	0.037	1.241
<i>Piptochaetium seleri</i>	1.76	0.014	0.371	0.021	0.0018	0.0007	0.036	1.189
<i>Fendlerella lasiopetala</i>	1.07	0.008	0.300	0.017	0.0228	0.0094	0.035	1.165
<i>Acalypha lindheimeri</i>	2.69	0.021	0.150	0.009	0.0084	0.0035	0.033	1.103
<i>Chaptalia madrensis</i>	1.99	0.016	0.222	0.013	0.0082	0.0034	0.032	1.056
<i>Agave atrovirens</i>	2.37	0.019	0.100	0.006	0.0168	0.0070	0.031	1.042
<i>Gymnosperma glutinosum</i>	1.76	0.014	0.200	0.011	0.0143	0.0059	0.031	1.038
<i>Wedelia hispida</i>	0.89	0.007	0.350	0.020	0.0101	0.00418	0.031	1.036
<b>POACEAE</b>	1.66	0.013	0.100	0.006	0.0216	0.0089	0.028	0.921
<i>Chrysactinia mexicana</i>	1.07	0.008	0.200	0.011	0.0183	0.0076	0.027	0.912
<i>Tradescantia crassifolia</i>	1.34	0.011	0.200	0.011	0.0090	0.0037	0.026	0.855
<i>Senna demissa var. demissa</i>	1.22	0.010	0.143	0.008	0.0191	0.0079	0.026	0.854
<i>Galium aschenbornii</i>	1.29	0.010	0.200	0.011	0.0096	0.0040	0.025	0.849
<i>Sp. 41</i>	1.20	0.009	0.125	0.007	0.0198	0.0082	0.025	0.823
<i>Phyllanthus polygonoides</i>	0.12	0.001	0.400	0.023	0.0007	0.0003	0.024	0.799

Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<i>Bouvardia ternifolia</i>	1.28	0.010	0.150	0.009	0.0092	0.0038	0.022	0.745
<i>Phyllanthus polygonoides</i>	1.20	0.009	0.150	0.009	0.0103	0.0043	0.022	0.741
<i>Quercus sp.</i>	0.70	0.005	0.200	0.011	0.0116	0.0048	0.022	0.722
<i>Quercus laeta</i>	1.86	0.015	0.100	0.006	0.0029	0.0012	0.021	0.717
<i>Acourtia aspera</i>	0.70	0.005	0.200	0.011	0.0108	0.0045	0.021	0.711
<i>Sp. 1716</i>	1.66	0.013	0.100	0.006	0.0060	0.0025	0.021	0.705
<i>Dalea frutescens</i>	0.70	0.005	0.200	0.011	0.0067	0.0028	0.020	0.655
<i>Agave americana</i>	0.99	0.008	0.100	0.006	0.0145	0.0060	0.019	0.648
<i>Verbesina longifolia</i>	0.41	0.003	0.150	0.009	0.0175	0.00724	0.019	0.633
<i>Comarostaphylis discolor</i>	0.53	0.004	0.200	0.011	0.0080	0.0033	0.019	0.628
<i>Muhlenbergia dubia</i>	0.53	0.004	0.100	0.006	0.0216	0.0089	0.019	0.627
<i>Symphoricarpos microphyllus</i>	0.67	0.005	0.200	0.011	0.0045	0.0019	0.018	0.615
<i>Thymophylla pentachaeta</i>	0.35	0.003	0.200	0.011	0.0095	0.0039	0.018	0.603
<i>Brickellia sp.</i>	1.20	0.009	0.125	0.007	0.0028	0.0012	0.018	0.590
<i>Polygona panicula</i>	0.50	0.004	0.150	0.009	0.0123	0.0051	0.018	0.584
<i>Rhus virens</i>	1.10	0.009	0.100	0.006	0.0076	0.0032	0.017	0.582
<i>Bidens ferulifolia</i>	1.38	0.011	0.100	0.006	0.0019	0.0008	0.017	0.579
<i>Polygala lindheimeri</i>	0.61	0.005	0.200	0.011	0.0020	0.0008	0.017	0.567
<i>Euphorbia sp.</i>	1.37	0.011	0.100	0.006	0.0014	0.0006	0.017	0.566
<i>Sophora secundiflora</i>	0.67	0.005	0.200	0.011	0.0006	0.0003	0.017	0.564
<i>Quercus pungens</i>	0.85	0.007	0.133	0.008	0.0055	0.0023	0.017	0.551
<i>Krameria cytisoides</i>	0.68	0.005	0.150	0.009	0.0062	0.0026	0.016	0.548
<i>Gochnatia hypoleuca</i>	0.64	0.005	0.150	0.009	0.0062	0.0026	0.016	0.539
<i>Garrya wrightii</i>	0.18	0.001	0.100	0.006	0.0212	0.0088	0.016	0.528
<i>Agave asperrima</i>	0.67	0.005	0.100	0.006	0.0094	0.0039	0.015	0.495
<i>Choisya palmeri</i>	0.61	0.005	0.150	0.009	0.0021	0.0009	0.014	0.474
<i>Mimosa aculeaticarpa</i>	0.64	0.005	0.150	0.009	0.0011	0.0005	0.014	0.469
<i>Portulaca pilosa</i>	0.93	0.007	0.100	0.006	0.0024	0.0010	0.014	0.466
<i>Zephyranthes drummondii</i>	0.93	0.007	0.100	0.006	0.0022	0.0009	0.014	0.464
<i>Schmaltzia copallinum</i>	0.57	0.004	0.133	0.008	0.0040	0.0017	0.014	0.458
<i>Rhus trilobata</i>	0.83	0.007	0.113	0.006	0.0004	0.0002	0.013	0.437
<i>Eryngium sp.</i>	0.83	0.007	0.100	0.006	0.0022	0.0009	0.013	0.436
<i>Chamaecrista greggii</i>	0.18	0.001	0.100	0.006	0.0125	0.0052	0.012	0.409
<i>Ageratina calophylla</i>	0.53	0.004	0.100	0.006	0.0042	0.0017	0.012	0.387
<i>Mandevilla karwinskii</i>	0.36	0.003	0.133	0.008	0.0011	0.0005	0.011	0.361
<i>Houstonia fasciculata</i>	0.33	0.003	0.100	0.006	0.0058	0.0024	0.011	0.356
COMMELINACEAE	0.46	0.004	0.100	0.006	0.0015	0.0006	0.010	0.333
<i>Euphorbia exstipulata</i>	0.50	0.004	0.100	0.006	0.0003	0.0001	0.010	0.326
<i>Stevia tomentosa</i>	0.42	0.003	0.100	0.006	0.0016	0.0007	0.010	0.320
<i>Quercus mexicana</i>	0.46	0.004	0.100	0.006	0.0004	0.0002	0.010	0.318
<i>Asplenium resiliens</i>	0.35	0.003	0.100	0.006	0.0024	0.0010	0.009	0.316

Especie	Densidad Absoluta ind/ha ( <i>Di</i> )	Densidad Relativa ( <i>RD<sub>i</sub></i> )	Frecuencia ( <i>fi</i> )	Frecuencia Relativa ( <i>Rfi</i> )	Cobertura ( <i>Ci</i> ) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa ( <i>RC<sub>i</sub></i> )	IVI	IVI (%)
<i>Quercus saltillensis</i>	0.42	0.003	0.100	0.006	0.0012	0.0005	0.009	0.315
<i>Sp. 101</i>	0.46	0.004	0.100	0.006	0.0000	0.0000	0.009	0.312
<i>Pinus cembroides</i>	0.38	0.003	0.100	0.006	0.0017	0.0007	0.009	0.311
<i>Muhlenbergia emersleyi</i>	0.34	0.003	0.100	0.006	0.0024	0.0010	0.009	0.310
<i>Buddleja cordata subsp. tomentella</i>	0.37	0.003	0.100	0.006	0.0014	0.0006	0.009	0.307
<i>Ageratina espinosarum</i>	0.42	0.003	0.100	0.006	0.0005	0.0002	0.009	0.306
<i>Ceanothus caeruleus</i>	0.18	0.001	0.100	0.006	0.0038	0.0016	0.009	0.289
<i>Pleopeltis polylepis</i>	0.34	0.003	0.100	0.006	0.0005	0.0002	0.009	0.285
<i>Quercus affinis</i>	0.34	0.003	0.100	0.006	0.0003	0.00013	0.008	0.282
<i>Sp. 15</i>	0.34	0.003	0.100	0.006	0.0001	0.00002	0.008	0.278
<i>Thalictrum sp.</i>	0.34	0.003	0.100	0.006	0.00003	0.00001	0.008	0.278
<i>Mandevilla sp.</i>	0.34	0.003	0.100	0.006	0.00001	0.00000	0.008	0.278
<i>Lithospermum viride</i>	0.28	0.002	0.100	0.006	0.0006	0.0003	0.008	0.271
<i>Thalictrum dasycarpum</i>	0.18	0.001	0.100	0.006	0.0024	0.0010	0.008	0.269
<i>Euphorbia brachycera</i>	0.22	0.002	0.100	0.006	0.0007	0.0003	0.008	0.258
<i>Quercus pringlei</i>	0.18	0.001	0.100	0.006	0.0007	0.0003	0.007	0.246
<i>Sp. 81</i>	0.18	0.001	0.100	0.006	0.0007	0.0003	0.007	0.246
<i>Acalypha hederacea</i>	0.18	0.001	0.100	0.006	0.0001	0.00003	0.007	0.238
<i>Sisyrinchium scabrum</i>	0.18	0.001	0.100	0.006	0.00004	0.00002	0.007	0.237

### 6.2.1.3. Bosque de Encino:

En cañadas y laderas bajas con suelos someros y en algunas ocasiones con estratos rocosos aflorando, entre los 1900 y los 3000 metros, con mayor proporción de entre 2400 y 2800 msnm, con pendientes de entre 0° y 60°, con preferencia entre los 10° y 30°, encontramos un bosque con dominancia de encinos (*Quercus* spp.). Representa un total de 1014.48 ha dispersas en toda la sierra, formando pequeños manchones, aprovechando algunas cañadas bien protegidas, en todas las exposiciones, pero con mayor preferencia en suroeste, norte y noroeste. Prefiere zonas con sustrato rocoso calizo y suelos de tipo litosol (Figura 64 y Figura 65).

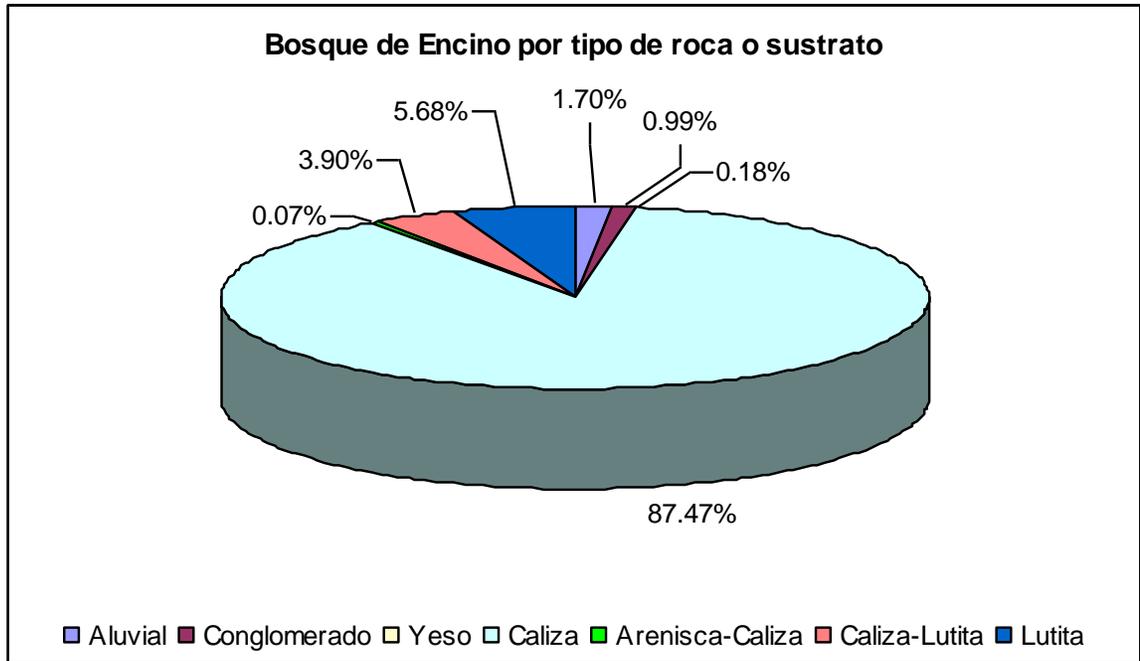


Figura 64 Relación entre la geología y el bosque de encino.

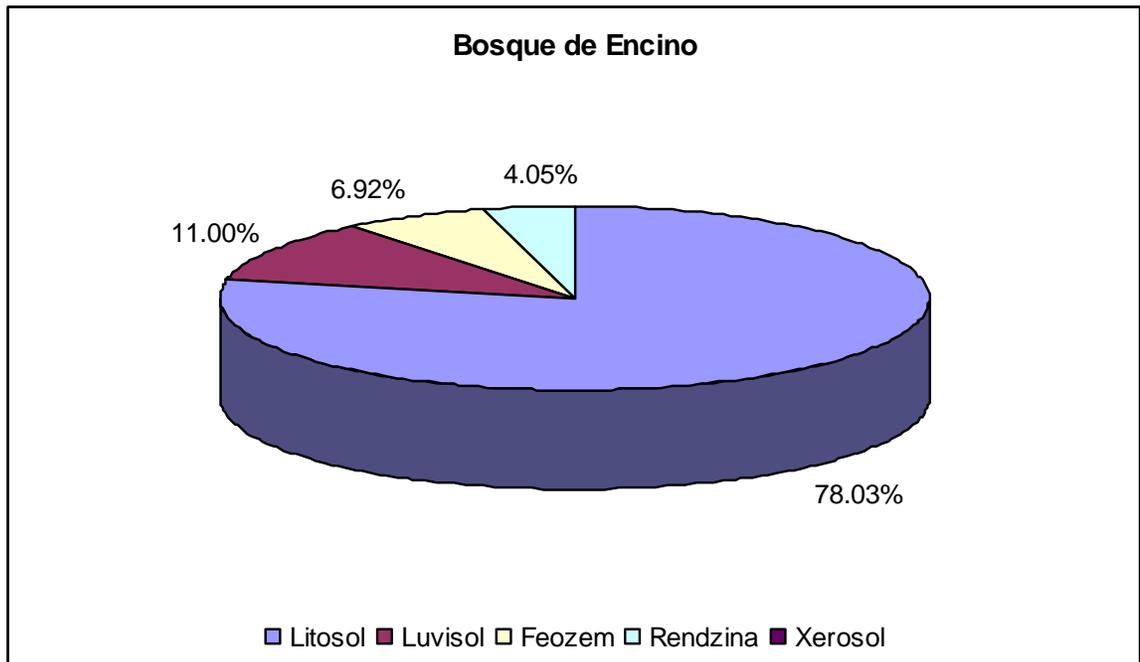


Figura 65 Relación entre la edafología y el bosque de encino.

El clima predominante (Figura 66) en su zona de distribución es el Templado Subhúmedo con lluvias escasas todo el año Cx' y en menor proporción en climas Templado Subhúmedo con lluvias todo el año C(w2), alcanzando precipitaciones que empiezan en los 400 mm hasta 1000 mm anuales, con mayor proporción entre los 600 y 1000 mm anuales. La temperatura oscila entre los 10° y 16 °C en promedio anual, con mayor proporción entre los 12° y 14 °C.

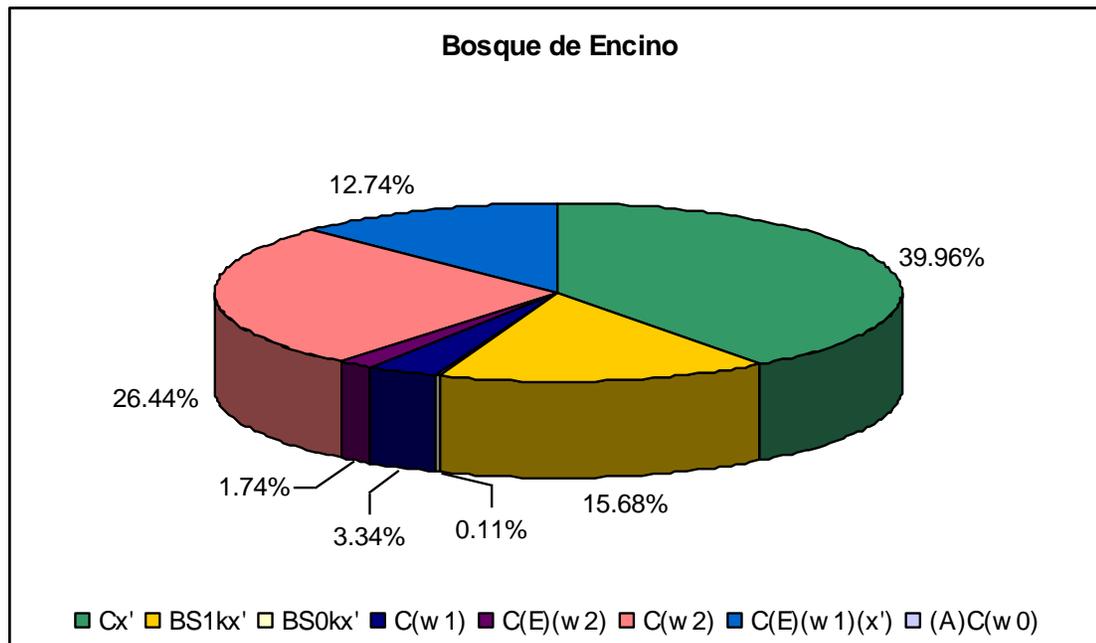


Figura 66 Relación entre el clima y el bosque de encino

La forma estructural del bosque se define básicamente por el estrato arbóreo, que presenta una altura entre 8 y 15 mts., compuesto por especies de “encinos” como *Quercus sideroxyla*, *Q. mexicana*, *Q. polymorpha*, *Q. laeta* y *Q. greggii*, que en conjunto representan el 64.75% del valor de importancia para el estrato alto, además de especies como laurel (*Litsea glaucescens*), capulín (*Prunus serotina*), madroño (*Arbutus xalapensis*) y elementos de *Nolina hibernica*. Presentan un estrato medio poco desarrollado, con especies que se encuentran también en la vegetación en contacto con estos bosques. Este estrato alcanza una altura de entre 1 y 3 metros y con algunos elementos que pueden superar los 5 metros. Algunas de las especies que encontramos en

este estrato son madroño (*Arbutus xalapensis*), junípero mexicano (*Juniperus fláccida*), *Ceanothus buxifolius*, *Cercocarpus macrophyllus*, *Q. sideroxyla*, *Garrya glaberrima*, *G. ovata*, *Ageratina saltillensis*, *A. oreithales*, *Amelanchier denticulata*, *Rhamnus serrata*, entre otras. El estrato bajo (menor a 1 metro), se caracteriza por presentar una capa de hojarasca y materia orgánica alta. Algunas de las especies encontradas son: *Chimaphila umbellata*, *Donnellsmithia ternata*, *Ranunculus peruvianus*, *Erigeron basilobatus*, *Tagetes lucida*, *Senecio zimapanicus*, *S. scalaris*, *Stevia eupatoria*, *Salvia coccinea*, *S. hispanica*, *Galium uncinulatum*, *G. aschenbornii*, entre otras.

En algunas áreas en donde esta comunidades han sido impactadas se pueden observar una reducción de especies en el estrato alto (5 - 7 metros), con una dominancia casi exclusivas de *Quercus mexicana*, *Q. sideroxyla* y *Q. greggii*, además de la incorporación al estrato medio y alto de *Nolina hibernica*. Esta comunidad parece ser un estado muy recuperado de áreas impactadas por incendios forestales, que han pasado el estado sucesional de chaparral a un estado alterado o secundario de bosque de encino. También es posible encontrar áreas en donde esta comunidad es de tipo secundario de bosque de pino u oyamel y se encuentra elementos escasos de ayarín (*Pseudotsuga menziesii*) y *Pinus pseudostrobus*.

En la Tabla 34, se resumen las características de densidad, cobertura, frecuencia y valor de importancia para el muestreo cuantitativo del bosque de encino. Los bosques de encino se observaron elementos de afinidades Boreales u Holárticas: *Quercus*, *Pinus*, *Juniperus*, *Arbutus*, *Arctostaphylos*, *Castilleja*, *Ceanothus*, *Garrya*, *Juglans*, *Crataegus*. Los elementos arbustivos y herbáceos muestran diversas afinidades como por ejemplo de afinidad tropical: *Acacia*, *Mimosa*, *Rhus*, *Buddleja*, *Salvia*, *Litsea* y *Commelina*; de afinidad de las zonas áridas y semiáridas de México como *Agave*, *Bouteloua*, *Opuntia*; de afinidades cosmopolitas como *Oxalis*, *Salvia*, *Erigeron*, entre otras.

Se encontraron 3 especies endémicas para esta comunidad (2 según McDonal, 1993; 1 por SEMARNAT 2010), y una especie con estatus de protección especial en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (*Pseudotsuga menziesii*).

Tabla 34 Valores encontrados en el muestreo cuantitativo del bosque de encino.

Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RDi)	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m2/ha	Cobertura Relativa (RCi)	IVI	IVI (%)
<b>Total Estrato Alto</b>	<b>2423.577</b>	<b>1.000</b>	<b>4.779</b>	<b>1.000</b>	<b>37903.330</b>	<b>1.0000</b>	<b>3.0000</b>	<b>100.0000</b>
<i>Quercus sideroxyla</i>	719.989	0.297	0.857	0.179	10266.950	0.2709	0.7473	24.9107
<i>Quercus greggii</i>	474.820	0.196	0.800	0.167	10841.010	0.2860	0.6493	21.6449
<i>Quercus mexicana</i>	259.723	0.107	0.700	0.146	6639.453	0.1752	0.4288	14.2940
<i>Salix paradoxa</i>	449.190	0.185	0.600	0.126	4441.230	0.1172	0.4281	14.2692
<i>Arbutus xalapensis</i>	93.660	0.039	0.271	0.057	1944.591	0.0513	0.1468	4.8917
<i>Garrya glaberrima</i>	134.445	0.055	0.350	0.073	409.405	0.0108	0.1395	4.6506
<i>Nolina hibernica</i>	89.335	0.037	0.300	0.063	509.875	0.0135	0.1131	3.7698
<i>Quercus laeta</i>	45.760	0.019	0.200	0.042	931.520	0.0246	0.0853	2.8437
<i>Cercocarpus macrophyllus</i>	62.385	0.026	0.200	0.042	586.395	0.0155	0.0831	2.7688
<i>Prunus serotina</i>	39.470	0.016	0.200	0.042	863.010	0.0228	0.0809	2.6969
<i>Litsea glaucescens</i>	30.480	0.013	0.100	0.021	0.690	0.0000	0.0335	1.1174
<i>Juniperus flaccida</i>	14.390	0.006	0.100	0.021	215.810	0.0057	0.0326	1.0853
<i>Quercus polymorpha</i>	9.930	0.004	0.100	0.021	253.390	0.0067	0.0317	1.0570
Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RDi)	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m2/ha	Cobertura Relativa (RCi)	IVI	IVI (%)
<b>Total Estrato Medio</b>	<b>12422.133</b>	<b>1.000</b>	<b>8.059</b>	<b>1.000</b>	<b>6000.258</b>	<b>1.0000</b>	<b>3.0000</b>	<b>100.0000</b>
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	303.861	0.024	0.400	0.050	1718.310	0.2864	0.3605	12.0157
<i>Arbutus xalapensis</i>	1217.565	0.098	0.400	0.050	1107.100	0.1845	0.3322	11.0720
<i>Ageratina saltilensis</i>	1436.664	0.116	0.533	0.066	377.453	0.0629	0.2447	8.1581
<i>Ageratina oreithales</i>	1589.555	0.128	0.400	0.050	377.870	0.0630	0.2406	8.0191
<i>Geranium sp.</i>	294.260	0.024	0.700	0.087	176.950	0.0295	0.1400	4.6681
<i>Garrya glaberrima</i>	696.510	0.056	0.275	0.034	176.115	0.0294	0.1195	3.9849
<i>Amelanchier denticulata</i>	509.270	0.041	0.550	0.068	40.485	0.0067	0.1160	3.8665
<i>Ceanothus buxifolius</i>	201.000	0.016	0.217	0.027	222.700	0.0371	0.0802	2.6721
<i>Quercus mexicana</i>	414.810	0.033	0.300	0.037	38.120	0.0064	0.0770	2.5658
<i>Quercus sideroxyla</i>	220.293	0.018	0.167	0.021	222.930	0.0372	0.0756	2.5193
<i>Rhamnus serrata</i>	304.640	0.025	0.300	0.037	81.630	0.0136	0.0754	2.5119
<i>Juniperus flaccida</i>	207.601	0.017	0.284	0.035	119.115	0.0199	0.0717	2.3915
<i>Dyssodia papposa</i>	203.090	0.016	0.100	0.012	255.370	0.0426	0.0713	2.3773
ACANTHACEAE	316.085	0.025	0.300	0.037	51.130	0.0085	0.0712	2.3731
<i>Amelanchier nervosa</i>	212.890	0.017	0.267	0.033	86.380	0.0144	0.0646	2.1535
<i>Salix paradoxa</i>	142.955	0.012	0.100	0.012	221.570	0.0369	0.0608	2.0281
<i>Castilleja arvensis</i>	101.550	0.008	0.100	0.012	241.460	0.0402	0.0608	2.0275
<i>Lonicera arizonica</i>	203.090	0.016	0.200	0.025	57.430	0.0096	0.0507	1.6913
<i>Garrya wrightii</i>	263.020	0.021	0.100	0.012	99.780	0.0166	0.0502	1.6737

Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<i>Ageratina ligustrina</i>	203.090	0.016	0.200	0.025	52.130	0.0087	0.0499	1.6618
<i>Smilax bona-nox</i>	203.090	0.016	0.200	0.025	18.920	0.0032	0.0443	1.4774
COMPOSITAE	294.260	0.024	0.100	0.012	48.900	0.0081	0.0442	1.4749
<i>Lonicera sp.</i>	263.020	0.021	0.100	0.012	27.520	0.0046	0.0382	1.2723
<i>Galium uncinulatum</i>	294.260	0.024	0.100	0.012	10.680	0.0018	0.0379	1.2626
<i>Galium aschenbornii</i>	294.260	0.024	0.100	0.012	1.480	0.0002	0.0363	1.2115
<i>Erigeron basilobatus</i>	294.260	0.024	0.100	0.012	0.580	0.0001	0.0362	1.2065
<i>Cercocarpus macrophyllus</i>	294.260	0.024	0.100	0.012	0.140	0.0000	0.0361	1.2040
<i>Cuphea cyanea</i>	263.020	0.021	0.100	0.012	10.930	0.0018	0.0354	1.1801
<i>Ribes sp.</i>	111.340	0.009	0.167	0.021	30.440	0.0051	0.0348	1.1586
<i>Zaluzania megacephala</i>	263.020	0.021	0.100	0.012	6.330	0.0011	0.0346	1.1546
<i>Salvia coccinea</i>	189.045	0.015	0.100	0.012	39.415	0.0066	0.0342	1.1399
<i>Schmaltzia copallinum</i>	203.090	0.016	0.100	0.012	2.830	0.0005	0.0292	0.9743
<i>Tagetes lucida</i>	101.550	0.008	0.100	0.012	30.170	0.0050	0.0256	0.8537
Sp. 2082	101.550	0.008	0.100	0.012	10.630	0.0018	0.0224	0.7452
<i>Ranunculus peruvianus</i>	33.990	0.003	0.100	0.012	30.850	0.0051	0.0203	0.6762
<i>Stevia purpurea</i>	84.760	0.007	0.100	0.012	3.975	0.0007	0.0199	0.6632
<i>Salvia hispanica</i>	22.890	0.002	0.100	0.012	1.040	0.0002	0.0144	0.4808
<i>Calamagrostis rosea</i>	22.890	0.002	0.100	0.012	0.910	0.0002	0.0144	0.4801
<i>Garrya ovata</i>	22.890	0.002	0.100	0.012	0.330	0.0001	0.0143	0.4769
<i>Stevia eupatoria</i>	22.890	0.002	0.100	0.012	0.160	0.0000	0.0143	0.4759
Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<b>Total Estrato Bajo</b>	<b>111.733</b>	<b>1.000</b>	<b>8.742</b>	<b>1.000</b>	<b>1.271</b>	<b>1.0000</b>	<b>3.0000</b>	<b>100.0000</b>
<i>Chimaphila umbellata</i>	3.640	0.033	0.20	0.023	0.2457	0.1933	0.2488	8.2931
<i>Donnellsmithia ternata</i>	2.440	0.022	0.23	0.027	0.1782	0.1402	0.1888	6.2925
<i>Ranunculus peruvianus</i>	9.506	0.085	0.50	0.057	0.0475	0.0374	0.1797	5.9888
<i>Polypodium guttatum</i>	10.278	0.092	0.48	0.054	0.0221	0.0174	0.1637	5.4563
<i>Euphorbia sp.</i>	6.004	0.054	0.50	0.057	0.0528	0.0415	0.1524	5.0815
<i>Ageratina saltillensis</i>	4.377	0.039	0.35	0.040	0.0890	0.0701	0.1493	4.9756
<i>Polypodium peruvianus</i>	6.102	0.055	0.37	0.042	0.0487	0.0384	0.1349	4.4971
<i>Erigeron basilobatus</i>	8.769	0.078	0.40	0.046	0.0134	0.0106	0.1348	4.4940
<i>Carex turbinata</i>	4.369	0.039	0.33	0.038	0.0622	0.0489	0.1261	4.2048
<i>Salvia coccinea</i>	3.802	0.034	0.40	0.046	0.0440	0.0346	0.1144	3.8146
<i>Bidens anthriscoides</i>	5.438	0.049	0.40	0.046	0.0146	0.0115	0.1059	3.5304
<i>Stevia purpurea</i>	1.901	0.017	0.20	0.023	0.0801	0.0630	0.1029	3.4297
<i>Ranunculus petiolaris</i>	0.463	0.004	0.20	0.023	0.0673	0.0530	0.0800	2.6662

Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<i>Galium aschenbornii</i>	2.492	0.022	0.28	0.031	0.0281	0.0221	0.0759	2.5296
<i>Agave americana</i>	1.312	0.012	0.10	0.011	0.0569	0.0448	0.0680	2.2659
<i>Ageratina oreithales</i>	1.374	0.012	0.15	0.017	0.0347	0.0273	0.0567	1.8911
<i>Senecio zimapanicus</i>	4.753	0.043	0.10	0.011	0.00000002	0.00000001	0.0540	1.7993
<i>Erigeron flagellaris</i>	1.715	0.015	0.20	0.023	0.0163	0.0129	0.0511	1.7028
<i>Galium uncinulatum</i>	1.400	0.013	0.20	0.023	0.0170	0.0134	0.0488	1.6262
<i>Sp. 1663</i>	1.312	0.012	0.10	0.011	0.0264	0.0208	0.0439	1.4649
<i>Salix paradoxa</i>	1.339	0.012	0.10	0.011	0.0255	0.0201	0.0435	1.4509
<i>Quercus sp.</i>	2.852	0.026	0.10	0.011	0.00000003	0.00000002	0.0370	1.2321
<i>Calamagrostis rosea</i>	1.828	0.016	0.15	0.017	0.0028	0.0022	0.0357	1.1909
<i>Garrya glaberrima</i>	2.686	0.024	0.10	0.011	0.00000003	0.00000002	0.0355	1.1826
<i>Piptochaetium seleri</i>	1.506	0.013	0.13	0.015	0.0078	0.0062	0.0349	1.1631
<i>Quercus sideroxyla</i>	1.022	0.009	0.18	0.020	0.0047	0.0037	0.0329	1.0953
COMPOSITAE	1.312	0.012	0.10	0.011	0.0114	0.0089	0.0321	1.0709
<i>Osmorhiza sp.</i>	0.700	0.006	0.10	0.011	0.0168	0.0132	0.0309	1.0317
APIACEAE	0.951	0.009	0.10	0.011	0.0126	0.0099	0.0299	0.9959
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0.858	0.008	0.10	0.011	0.0118	0.0093	0.0284	0.9474
ACANTHACEAE	0.951	0.009	0.10	0.011	0.0099	0.0078	0.0277	0.9239
<i>Sp. 2007</i>	1.643	0.015	0.10	0.011	0.0019	0.0015	0.0276	0.9207
<i>Packera scalaris</i>	1.312	0.012	0.10	0.011	0.00000003	0.00000002	0.0232	0.7728
<i>Cercocarpus macrophyllus</i>	0.951	0.009	0.10	0.011	0.0032	0.0025	0.0224	0.7476
RUBIACEAE	1.128	0.010	0.10	0.011	0.00000011	0.00000008	0.0215	0.7177
<i>Desmodium grahamii</i>	0.930	0.008	0.10	0.011	0.0012	0.0010	0.0207	0.6907
<i>Psacalium radulifolium</i>	0.951	0.009	0.10	0.011	0.0005	0.0004	0.0203	0.6772
<i>Sp. 2071</i>	0.858	0.008	0.10	0.011	0.0011	0.0008	0.0200	0.6655
<i>Amelanchier nervosa</i>	0.951	0.009	0.10	0.011	0.00000005	0.00000004	0.0199	0.6649
<i>Psoralea melanocarpa</i>	0.951	0.009	0.10	0.011	0.00000002	0.00000002	0.0199	0.6649
<i>Sp. 2064</i>	0.324	0.003	0.10	0.011	0.0069	0.0054	0.0198	0.6593
<i>Cuphea cyanea</i>	0.877	0.008	0.10	0.011	0.0003	0.0002	0.0195	0.6502
<i>Alchemilla procumbens</i>	0.324	0.003	0.10	0.011	0.0061	0.0048	0.0191	0.6380
<i>Dalea sp.</i>	0.858	0.008	0.10	0.011	0.00000069	0.00000054	0.0191	0.6372
<i>Prionosciadium humile</i>	0.700	0.006	0.10	0.011	0.0002	0.0002	0.0179	0.5959
<i>Arenaria lycopodioides</i>	0.647	0.006	0.10	0.011	0.00000061	0.00000048	0.0172	0.5744
RANUNCULACEAE	0.324	0.003	0.10	0.011	0.0005	0.0004	0.0147	0.4913
<i>Ceanothus buxifolius</i>	0.324	0.003	0.10	0.011	0.0003	0.0002	0.0145	0.4849
<i>Psacalium sp.</i>	0.231	0.002	0.10	0.011	0.0003	0.0002	0.0137	0.4579

#### 6.2.1.4. Bosque Mixto:

Ocupando un total 215.28 ha y distribuida en pequeñas mesetas o laderas altas a medias, en exposiciones suroeste, oeste y noroeste, en contacto con los bosques de pino secos en la base de la sierra y los bosques más húmedo de encino y oyamel, se encuentran comunidades mixtas de encino – pino o pino – encino. Se le encuentra a partir de los 2260 msnm y los 3000 msnm y pendientes entre 0° y 50°, con mayor proporción entre los 10° y 30°. Ocupa áreas donde el tipo de roca predominante es la caliza (Figura 67) y suelos de tipo litosol y en menor grado luvisol (Figura 68).

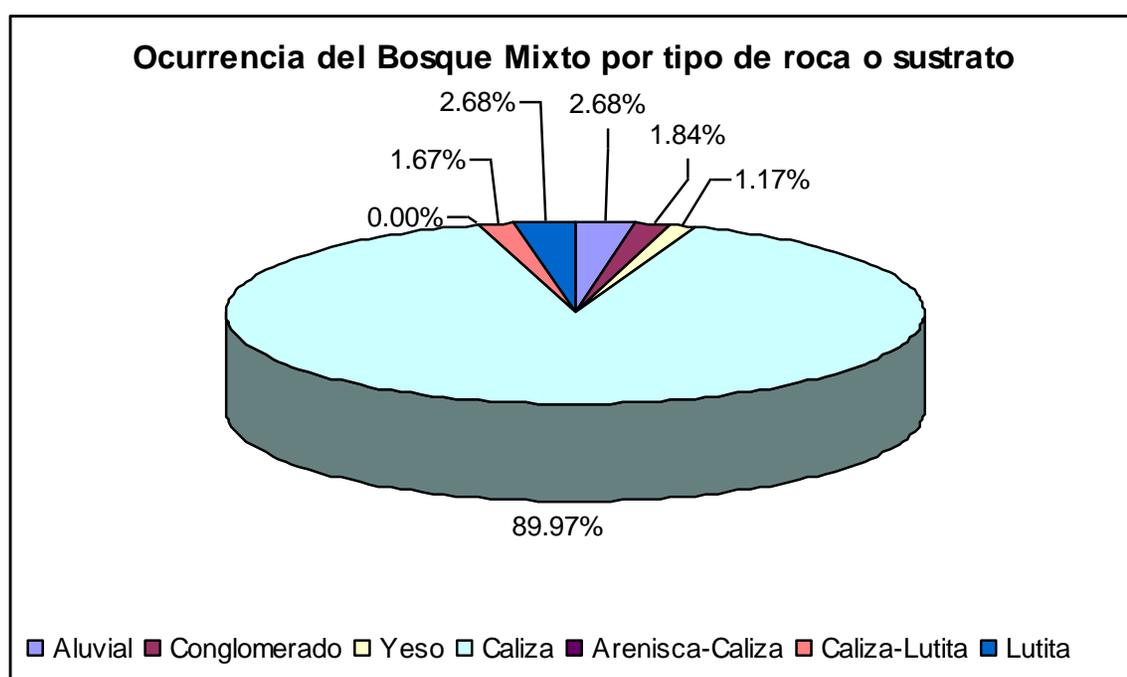


Figura 67 Relación entre la geología y el bosque mixto.

El clima predominante en su zona de distribución es el Templado Subhúmedo con lluvias escasas todo el año Cx' y en menor proporción en climas Templado Semiseco con lluvias escasas todo el año BS1Kx' (Figura 69), alcanzando precipitaciones que empiezan en los 500 mm hasta 1000 mm anuales, con mayor proporción entre los 500 y 600 mm anuales. La temperatura oscila entre los 12° y 14 °C en promedio anual.

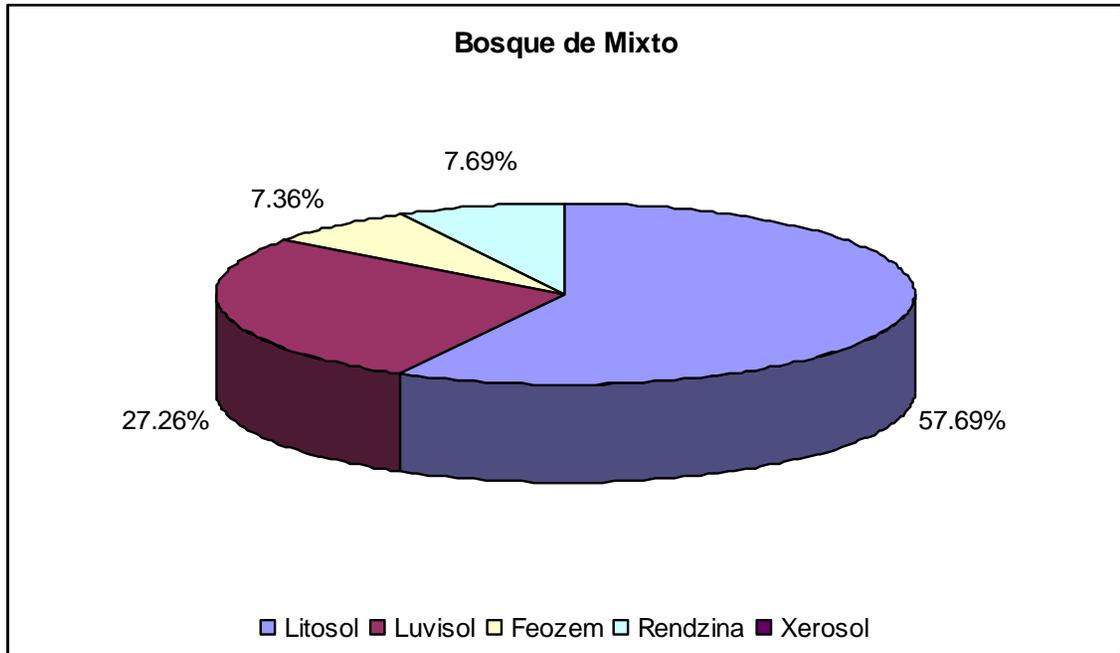


Figura 68 Relación entre la edafología y el bosque mixto.

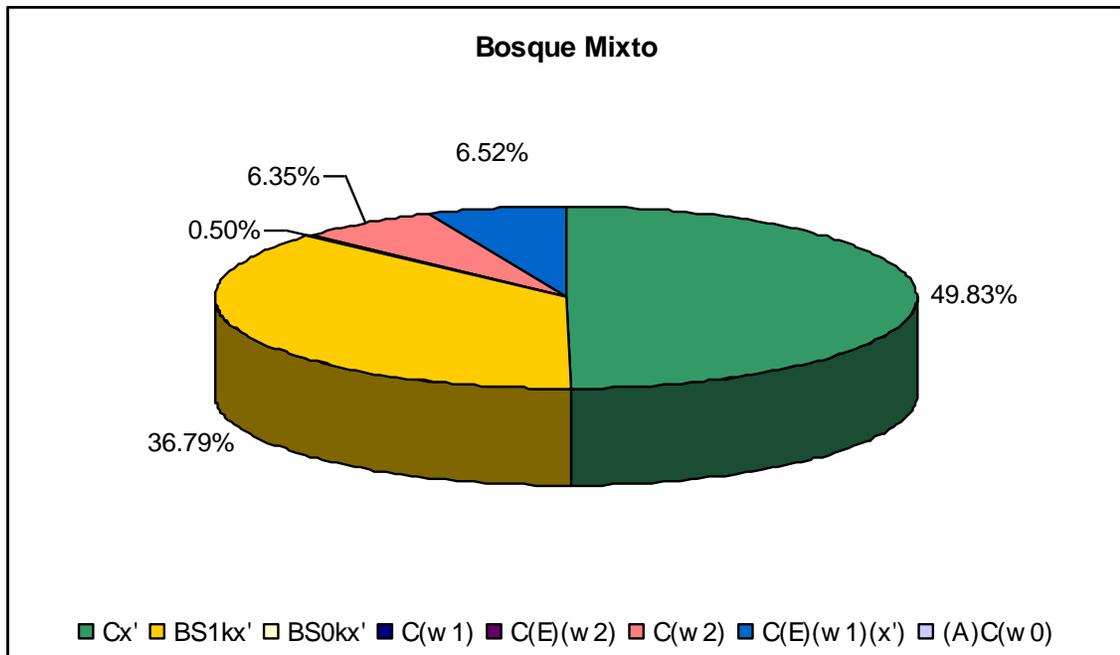


Figura 69 Relación entre el clima y el bosque mixto.

La estructura vertical del bosque está conformada por un estrato alto (10- 15 metros), codominado por especies de encino (*Quercus mexicana*, *Q. polymorpha*, *Q. pungens*, *Q. sideroxylla*, *Quercus greggii* y *Q. laeta*) con un 42.87% del valor de importancia y pino

(*Pinus cembroides*, *P. hartwegii*, *P. teocote*, *P. pseudostrabus*) con 33.94% del valor de importancia. El estrato medio (1 – 6 metros) está bien representado por especies como *Zaluzania megacephala*, *Stevia purpurea*, *Quercus pungens*, *Q. sideroxyla*, *Q. intricata*, *Phyllanthus polygonoides*, *Schmaltzia copallinum*, *R. trilobata*, *Juniperus flaccida*, *Ceanothus buxifolius*, *Berberis gracilis*, *Garrya glaberrima*, *Arctostaphylos pungens*, *Agave americana*, *A. asperrima*, entre otras. El estrato bajo (menor a 1 metro), se caracteriza por presentar una capa de hojarasca y materia orgánica alta. Algunas de las especies encontradas son: *Quercus intricata*, *Muhlenbergia repens*, *Zaluzania megacephala*, *Carex turbinata*, *Erigeron basilobatus*, *Stevia viscida*, *Salvia coccinea*, *S. hispanica*, entre otras. En la Tabla 35, se resumen las características de densidad, cobertura, frecuencia y valor de importancia para el muestreo cuantitativo del bosque de mixto.

El bosque mixto comparte afinidades florísticas con los bosques de pino y de encino en todos los estratos El estrato medio y bajo están bien representado. La alta diversidad de esta comunidad responde a la combinación de los elementos de bosque de pino y del bosque de encino, además de los elementos pertenecientes a los chaparrales en la zona en donde colinda con ellos. Fueron encontradas 5 especies endémicas y 4 especies con estatus en la NOM 059 SEMARNAT 2010: 2 especies en Protección Especial (*Comarostaphylis discolor* y *Anticlea virescens*), 1 Amenazadas (*Echinocereus knippelianus*) y 1 especie en peligro (*Litsea glaucescens*).

Tabla 35 Valores encontrados en el muestreo cuantitativo del bosque mixto.

Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<b>Total Estrato Alto</b>	<b>965.464</b>	<b>1.000</b>	<b>5.533</b>	<b>1.000</b>	<b>22868.740</b>	<b>1.0000</b>	<b>3.000</b>	<b>100.000</b>
<i>Quercus mexicana</i>	169.720	0.176	0.600	0.108	5400.643	0.2362	0.520	17.346
<i>Pinus hartwegii</i>	145.968	0.151	0.880	0.159	3775.838	0.1651	0.475	15.845
<i>Pinus cembroides</i>	149.598	0.155	0.575	0.104	1916.145	0.0838	0.343	11.422
<i>Quercus polymorpha</i>	92.620	0.096	0.400	0.072	3226.100	0.1411	0.309	10.310
<i>Quercus pungens</i>	71.030	0.074	0.600	0.108	2246.680	0.0982	0.280	9.342
<i>Pinus teocote</i>	64.080	0.066	0.400	0.072	588.370	0.0257	0.164	5.480
<i>Litsea glaucescens</i>	42.210	0.044	0.167	0.030	1574.443	0.0688	0.143	4.756
<i>Juniperus flaccida</i>	50.146	0.052	0.340	0.061	603.378	0.0264	0.140	4.659

Espece	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<i>Amelanchier denticulata</i>	18.310	0.019	0.200	0.036	1264.310	0.0553	0.110	3.680
<i>Arbutus xalapensis</i>	29.193	0.030	0.271	0.049	571.509	0.0250	0.104	3.476
<i>Quercus sideroxyla</i>	20.010	0.021	0.100	0.018	911.315	0.0398	0.079	2.622
<i>Quercus laeta</i>	30.870	0.032	0.200	0.036	140.610	0.0061	0.074	2.476
<i>Schmaltzia copallinum</i>	23.200	0.024	0.200	0.036	203.650	0.0089	0.069	2.303
<i>Cercocarpus macrophyllus</i>	20.460	0.021	0.200	0.036	161.670	0.0071	0.064	2.147
<i>Pinus pseudostrubus</i>	11.600	0.012	0.100	0.018	132.270	0.0058	0.036	1.196
<i>Prunus serotina</i>	11.600	0.012	0.100	0.018	111.300	0.0049	0.035	1.165
<i>Nolina hibernica</i>	10.230	0.011	0.100	0.018	28.850	0.0013	0.030	0.998
<i>Quercus greggii</i>	4.620	0.005	0.100	0.018	11.660	0.0005	0.023	0.779
Espece	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<b>Total Estrato Medio</b>	<b>17231.866</b>	<b>1.000</b>	<b>9.558</b>	<b>1.000</b>	<b>46102.527</b>	<b>1.0000</b>	<b>3.000</b>	<b>100.000</b>
<i>Zaluzania megacephala</i>	1861.060	0.108	0.950	0.099	10978.225	0.2381	0.446	14.851
<i>Stevia purpurea</i>	618.680	0.036	0.400	0.042	7483.430	0.1623	0.240	8.003
<i>Quercus pungens</i>	810.070	0.047	0.800	0.084	3077.740	0.0668	0.197	6.582
<i>Salvia sp.</i>	265.150	0.015	0.200	0.021	4788.340	0.1039	0.140	4.673
<i>Sp. 1871</i>	176.760	0.010	0.200	0.021	4387.860	0.0952	0.126	4.212
<i>Agave americana</i>	1045.130	0.061	0.400	0.042	853.205	0.0185	0.121	4.034
<i>Agave asperrima</i>	405.040	0.024	0.600	0.063	1569.130	0.0340	0.120	4.011
<i>Phyllanthus polygonoides</i>	899.300	0.052	0.455	0.048	781.530	0.0170	0.117	3.892
<i>Quercus mexicana</i>	631.725	0.037	0.380	0.040	1631.376	0.0354	0.112	3.727
<i>Amelanchier denticulata</i>	702.200	0.041	0.339	0.035	1568.165	0.0340	0.110	3.674
<i>Schmaltzia copallinum</i>	701.580	0.041	0.468	0.049	576.740	0.0125	0.102	3.406
<i>Quercus intricata</i>	890.190	0.052	0.333	0.035	552.346	0.0120	0.098	3.282
<i>Ageratina saltillensis</i>	883.886	0.051	0.336	0.035	328.722	0.0071	0.094	3.121
<i>Mimosa aculeaticarpa</i>	845.530	0.049	0.300	0.031	134.520	0.0029	0.083	2.779
<i>Rhamnus serrata</i>	788.510	0.046	0.287	0.030	196.975	0.0043	0.080	2.667
<i>Juniperus flaccida</i>	402.728	0.023	0.214	0.022	1122.658	0.0244	0.070	2.336
<i>Cercocarpus macrophyllus</i>	571.713	0.033	0.293	0.031	264.635	0.0057	0.070	2.320
<i>Berberis gracilis</i>	722.530	0.042	0.191	0.020	352.225	0.0076	0.070	2.318
<i>Rhus trilobata</i>	563.680	0.033	0.200	0.021	688.200	0.0149	0.069	2.285
<i>Pinus cembroides</i>	506.665	0.029	0.237	0.025	260.940	0.0057	0.060	1.994
<i>Ageratina oreithales</i>	176.760	0.010	0.100	0.010	1348.610	0.0293	0.050	1.666
<i>Pinus teocote</i>	235.990	0.014	0.200	0.021	653.080	0.0142	0.049	1.626
<i>Arctostaphylos pungens</i>	435.905	0.025	0.150	0.016	301.210	0.0065	0.048	1.584
<i>Litsea glaucescens</i>	304.833	0.018	0.130	0.014	394.667	0.0086	0.040	1.330

Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<i>Arbutus xalapensis</i>	103.720	0.006	0.200	0.021	559.683	0.0121	0.039	1.303
<i>Ceanothus buxifolius</i>	90.010	0.005	0.200	0.021	329.330	0.0071	0.033	1.110
<i>Salvia hispanica</i>	281.840	0.016	0.100	0.010	12.750	0.0003	0.027	0.903
<i>Verbena recta</i>	88.380	0.005	0.100	0.010	460.270	0.0100	0.026	0.853
<i>Mimosa aculeaticarpa</i>	200.940	0.012	0.100	0.010	94.790	0.0021	0.024	0.806
<i>Salvia keerlii</i>	200.940	0.012	0.100	0.010	35.610	0.0008	0.023	0.763
<i>Pinus hartwegii</i>	163.310	0.009	0.100	0.010	114.330	0.0025	0.022	0.747
<i>Eysenhardtia sp.</i>	200.940	0.012	0.100	0.010	5.700	0.0001	0.022	0.742
<i>Gymnosperma glutinosum</i>	175.410	0.010	0.096	0.010	23.135	0.0005	0.021	0.689
<i>Comarostaphylis discolor</i>	117.990	0.007	0.100	0.010	126.860	0.0028	0.020	0.669
<i>Prunus serotina</i>	117.990	0.007	0.100	0.010	40.980	0.0009	0.018	0.607
<i>Garrya glaberrima</i>	44.780	0.003	0.100	0.010	4.560	0.0001	0.013	0.439
Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<b>Total Estrato Bajo</b>	<b>156.317</b>	<b>1.000</b>	<b>13.720</b>	<b>1.000</b>	<b>6.888</b>	<b>1.0000</b>	<b>3.000</b>	<b>100.000</b>
<i>Zaluzania megacephala</i>	15.591	0.100	0.450	0.033	1.54837	0.22481	0.357	11.912
<i>Quercus intricata</i>	3.268	0.021	0.246	0.018	1.65474	0.24025	0.279	9.302
<i>Muhlenbergia repens</i>	13.513	0.086	0.100	0.007	0.65683	0.09536	0.189	6.303
<i>Carex turbinata</i>	3.807	0.024	0.293	0.021	0.93294	0.13545	0.181	6.038
<i>Erigeron sp.</i>	10.135	0.065	0.200	0.015	0.24635	0.03577	0.115	3.839
<i>Alchemilla procumbens</i>	10.448	0.067	0.200	0.015	0.09748	0.01415	0.096	3.186
<i>Erioneuron pilosum</i>	4.382	0.028	0.300	0.022	0.30953	0.04494	0.095	3.161
<i>Bouteloua uniflora</i>	6.079	0.039	0.400	0.029	0.13521	0.01963	0.088	2.923
<i>Pediomelium rhombifolium</i>	5.008	0.032	0.500	0.036	0.11075	0.01608	0.085	2.819
<i>Eryngium gramineum</i>	6.756	0.043	0.100	0.007	0.19236	0.02793	0.078	2.615
<i>Stevia viscida</i>	6.756	0.043	0.200	0.015	0.06668	0.00968	0.067	2.249
<i>Quercus pungens</i>	4.382	0.028	0.400	0.029	0.04986	0.00724	0.064	2.148
<i>Stevia purpurea</i>	6.756	0.043	0.100	0.007	0.07031	0.01021	0.061	2.024
<i>Fragaria mexicana</i>	1.923	0.012	0.550	0.040	0.03768	0.00547	0.058	1.929
<i>Cheilanthes alabamensis</i>	1.351	0.009	0.200	0.015	0.23193	0.03367	0.057	1.896
<i>Bromus arizonicus</i>	1.234	0.008	0.600	0.044	0.00313	0.00045	0.052	1.736
<i>Piptochaetium seleri</i>	2.677	0.017	0.380	0.028	0.03694	0.00536	0.050	1.674
Sp. 88	2.080	0.013	0.455	0.033	0.00206	0.00030	0.047	1.559
<i>Physalis orizabae</i>	3.378	0.022	0.100	0.007	0.11701	0.01699	0.046	1.530
<i>Desmodium sp.</i>	1.836	0.012	0.400	0.029	0.00232	0.00034	0.041	1.375
<i>Quercus laeta</i>	1.630	0.010	0.300	0.022	0.05984	0.00869	0.041	1.366
<i>Chaptalia madrensis</i>	3.378	0.022	0.100	0.007	0.03821	0.00555	0.034	1.148

Espece	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<i>Nectouxia formosa</i>	3.378	0.022	0.100	0.007	0.02653	0.00385	0.033	1.092
<i>Solidago simplex</i>	3.378	0.022	0.100	0.007	0.02653	0.00385	0.033	1.092
<i>Vicia sp.</i>	3.378	0.022	0.100	0.007	0.01806	0.00262	0.032	1.051
<i>Asta schaffneri</i>	1.102	0.007	0.300	0.022	0.00592	0.00086	0.030	0.993
<i>Quercus mexicana</i>	1.099	0.007	0.261	0.019	0.01711	0.00248	0.029	0.951
<i>Festuca rubra</i>	1.080	0.007	0.250	0.018	0.00218	0.00032	0.025	0.848
ASTERACEAE	1.403	0.009	0.148	0.011	0.03489	0.00507	0.025	0.827
<i>Salvia keertlii</i>	1.351	0.009	0.200	0.015	0.00605	0.00088	0.024	0.803
<i>Garrya glaberrima</i>	1.441	0.009	0.150	0.011	0.00360	0.00052	0.021	0.689
<i>Phyllanthus polygonoides</i>	0.891	0.006	0.182	0.013	0.00675	0.00098	0.020	0.665
<i>Muhlenbergia emersleyi</i>	0.735	0.005	0.200	0.015	0.00329	0.00048	0.020	0.658
<i>Bidens pilosa</i>	1.351	0.009	0.100	0.007	0.01658	0.00241	0.018	0.611
<i>Chaptalia lyratifolia</i>	0.389	0.002	0.200	0.015	0.00677	0.00098	0.018	0.602
<i>Muhlenbergia glauca</i>	0.594	0.004	0.182	0.013	0.00624	0.00091	0.018	0.599
<i>Amelanchier denticulata</i>	0.247	0.002	0.200	0.015	0.00605	0.00088	0.017	0.568
<i>Cyclosporum leptophyllum</i>	0.259	0.002	0.200	0.015	0.00014	0.00002	0.016	0.542
<i>Tradescantia crassifolia</i>	0.613	0.004	0.150	0.011	0.00175	0.00025	0.015	0.504
<i>Cercocarpus mojadensis</i>	0.675	0.004	0.100	0.007	0.02017	0.00293	0.015	0.485
<i>Geranium seemannii</i>	0.333	0.002	0.150	0.011	0.00893	0.00130	0.014	0.479
<i>Stevia eupatoria</i>	1.188	0.008	0.091	0.007	0.00070	0.00010	0.014	0.478
<i>Chaptalia transiliensis</i>	0.457	0.003	0.146	0.011	0.00102	0.00015	0.014	0.456
<i>Erigeron basilobatus</i>	0.815	0.005	0.100	0.007	0.00102	0.00015	0.013	0.422
<i>Bouvardia ternifolia</i>	0.705	0.005	0.100	0.007	0.00326	0.00047	0.012	0.409
<i>Berberis gracilis</i>	0.594	0.004	0.091	0.007	0.01126	0.00163	0.012	0.402
<i>Giliastrum incisum</i>	0.675	0.004	0.100	0.007	0.00224	0.00033	0.012	0.398
<i>Pellaea atropurpurea</i>	0.675	0.004	0.100	0.007	0.00224	0.00033	0.012	0.398
<i>Thymophylla pentachaeta</i>	0.675	0.004	0.100	0.007	0.00133	0.00019	0.012	0.393
<i>Cuphea cyanea</i>	0.675	0.004	0.100	0.007	0.00107	0.00016	0.012	0.392
<i>Lithospermum viride</i>	0.673	0.004	0.100	0.007	0.00097	0.00014	0.012	0.391
<i>Stellaria media</i>	0.675	0.004	0.100	0.007	0.00048	0.00007	0.012	0.389
<i>Oxalis albicans</i>	0.626	0.004	0.100	0.007	0.00241	0.00035	0.012	0.388
BORAGINACEAE	0.626	0.004	0.100	0.007	0.00060	0.00009	0.011	0.379
<i>Ranunculus petiolaris</i>	0.626	0.004	0.100	0.007	0.00044	0.00006	0.011	0.379
<i>Castilleja arvensis</i>	0.367	0.002	0.100	0.007	0.00785	0.00114	0.011	0.359
<i>Grindelia sp.</i>	0.594	0.004	0.091	0.007	0.00136	0.00020	0.011	0.354
<i>Hedeoma costata</i>	0.407	0.003	0.100	0.007	0.00205	0.00030	0.010	0.340

Espece	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<i>Vernonia faustiana</i> var. <i>ervendbergii</i>	0.367	0.002	0.100	0.007	0.00318	0.00046	0.010	0.337
<i>Acourtia tomentosa</i>	0.367	0.002	0.100	0.007	0.00260	0.00038	0.010	0.334
<i>Centrosema</i> sp.	0.367	0.002	0.100	0.007	0.00141	0.00021	0.010	0.328
<i>Lamourouxia brachyantha</i>	0.367	0.002	0.100	0.007	0.00122	0.00018	0.010	0.327
<i>Salvia dolichantha</i>	0.367	0.002	0.100	0.007	0.00104	0.00015	0.010	0.326
<i>Ceanothus caeruleus</i>	0.247	0.002	0.100	0.007	0.00617	0.00090	0.010	0.325
Sp. 2170	0.367	0.002	0.100	0.007	0.00046	0.00007	0.010	0.324
<i>Galium uncinulatum</i>	0.130	0.001	0.100	0.007	0.00407	0.00059	0.009	0.290
<i>Stenaria nigricans</i>	0.297	0.002	0.091	0.007	0.00114	0.00017	0.009	0.290
<i>Loselia caerulea</i>	0.297	0.002	0.091	0.007	0.00114	0.00017	0.009	0.290
Sp. 114	0.297	0.002	0.091	0.007	0.00084	0.00012	0.009	0.289
<i>Cercocarpus macrophyllus</i>	0.297	0.002	0.091	0.007	0.00009	0.00001	0.009	0.285
<i>Schmaltzia copallinum</i>	0.210	0.001	0.096	0.007	0.00144	0.00021	0.009	0.284
<i>Linum schiedeanum</i>	0.210	0.001	0.096	0.007	0.00034	0.00005	0.008	0.278
<i>Arbutus xalapensis</i>	0.130	0.001	0.100	0.007	0.00159	0.00023	0.008	0.278
Sp. 1890	0.130	0.001	0.100	0.007	0.00147	0.00021	0.008	0.278
<i>Chrysactinia mexicana</i>	0.123	0.001	0.100	0.007	0.00041	0.00006	0.008	0.271
Sp. 1891	0.130	0.001	0.100	0.007	0.00002	0.000003	0.008	0.271
<i>Quercus affinis</i>	0.123	0.001	0.100	0.007	0.00024	0.00004	0.008	0.270
POACEAE	0.123	0.001	0.100	0.007	0.00012	0.00002	0.008	0.270
<i>Ageratina saltillensis</i>	0.123	0.001	0.100	0.007	0.00009	0.00001	0.008	0.270
<i>Astragalus austrinus</i> var. <i>austrinus</i>	0.123	0.001	0.100	0.007	0.00002	0.000003	0.008	0.269

#### 6.2.1.5. Chaparral.

La comunidad más ampliamente distribuida en la zona de estudio es el chaparral, ocupando un total de 12,206.16 ha.; es una comunidad secundaria, producto de la sucesión de los bosques templado de la zona causada por el fuego. Está conformado por especies de porte bajo (menor a 5 metros), de hojas coriáceas y resistentes a condiciones xéricas, al fuego y a cambios extremos de temperatura anual. Se le encuentra en principalmente en la laderas de la sierra ocupando grandes extensiones continuas, en todas las exposiciones, aunque con una ligera preferencia en exposiciones este, sureste y sur. Se le puede encontrar desde los 1700 msnm hasta los 3400 msnm, con una proporción

ligeramente mayor entre los 2200 y 2900 msnm. Ocupa zonas de pendientes de 0° a 55°, con mayor proporción en pendientes de entre 10° y 30°.

Prefiere sustratos de origen sedimentario, principalmente Caliza y en menor proporción Lutita (Figura 70), con suelos del tipo Litosol y en mucho menor grado Rendzina (Figura 71). El clima predominante en su zona de distribución es el Templado subhúmedo con lluvias escasas todo el año C(w2) y en menor proporción los tipos Templado Semifrío con lluvias en verano C(E)(w1)(x'), Templado Subhúmedo con lluvias escasas todo el año Cx' y Templado Semiseco con lluvias escasas todo el año (Figura 72), alcanzando precipitaciones que empiezan en los 500 mm hasta 1000 mm anuales, con mayor proporción entre los 800 y 1000 mm anuales. La temperatura oscila entre los 10° y 18 °C en promedio anual, con mayor proporción entre los 12° y 16 °C.

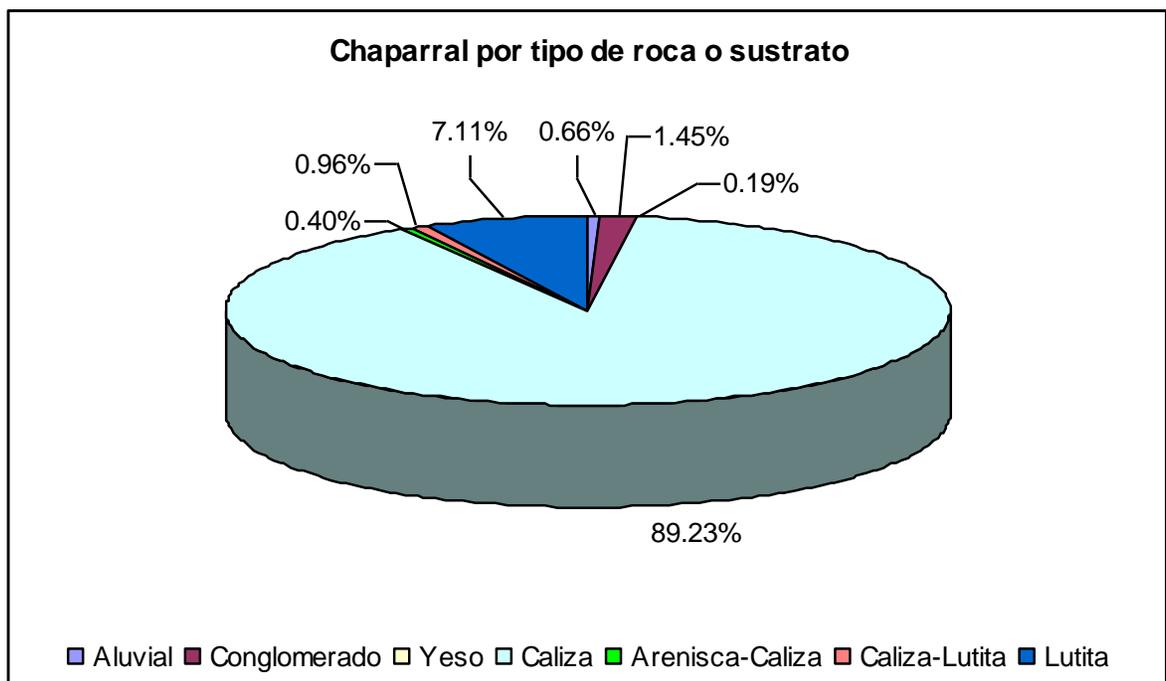


Figura 70 Relación entre la geología y el chaparral.

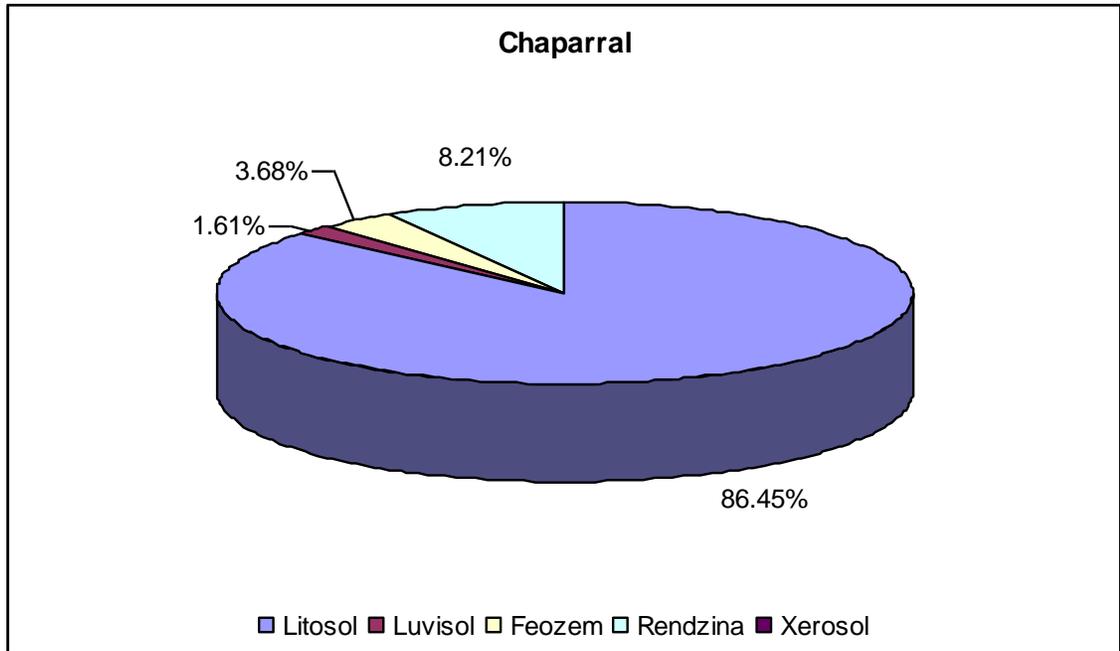


Figura 71 Relación entre la edafología y el chaparral.

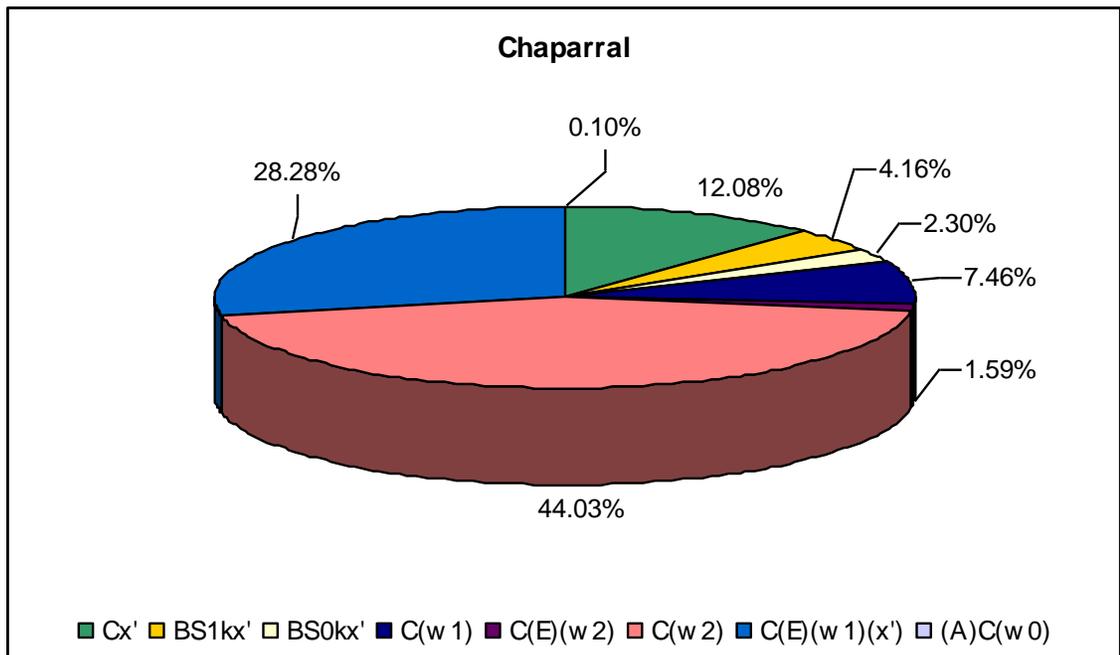


Figura 72 Relación entre el clima y el chaparral.

No existe un estrato alto definido, el estrato medio varía en altura dependiendo de la cantidad de la humedad ambiental. En las áreas con mayor humedad se desarrolla una variante más alta, con ejemplares de hasta 5 metros, que cubren casi por completo el sustrato. La variante de las zonas secas está compuesta por encinos de porte bajo, acompañada por especies arborescentes, en general la comunidad con menor cobertura del sustrato.

En estas comunidades podemos encontrar: *Quercus intricata*, *Q. mexicana*, *Q. greggii*, *Nolina hibernica*, *Juniperus fláccida*, *Arctostaphylos pungens* y *Arbutus xalapensis*, dominado los encinos con más del 50% del valor de importancia del estrato medio. En un estrato bajo podemos encontrar *Acalypha hederacea*, *Quercus intricata*, *Agave atrovirens*, *A. asperrima*, *Arctostaphylos pungens*, *Carex turbinata*, *Muhlenbergia emersleyi*, *M. repens*, *Lindleya mespiloides*, *Aristida ternipes*, *Mimosa aculeaticarpa*, entre otras.

En la Tabla 36, se resumen las características de densidad, cobertura, frecuencia y valor de importancia para el muestreo cuantitativo del bosque de mixto. Los chaparrales muestran una mezcla de elementos de afinidades Holárticas, de las zonas áridas de México y de las zonas tropicales y subtropicales. Algunos de los elementos holárticos encontrados pertenecen a los géneros *Quercus*, *Pinus*, *Juniperus*, *Arbutus*, *Arctostaphylos*, *Ceanothus*, *Garrya*, entre otros. Los géneros con afinidad a las zonas áridas y semiáridas de México como *Agave*, *Bouteloua*, *Nolina*, *Dasyllirion*, *Echinocereus*, *Echinocereus*, *Mammillaria*, *Thelocactus*, entre otros. Por último, entre los elementos con afinidad de zonas tropicales y subtropicales tenemos a los géneros *Mimosa*, *Rhus*, *Verbesina* y *Senecio*.

En esta comunidad se encontraron 4 especies endémicas y 3 especies con algún estatus en la NOM 059 SEMARNAT 2010: 1 especie con protección especial (*Turbinicarpus beguinii*) y 2 especies catalogadas como Amenazadas (*Echinocereus knippelianus* y *Dasyllirion longissimum*).

Tabla 36 Valores encontrados en el muestreo cuantitativo del chaparral.

Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<b>Total Estrato Alto</b>	<b>1597.855</b>	<b>1.000</b>	<b>1.488</b>	<b>1.000</b>	<b>10183.330</b>	<b>1.0000</b>	<b>3.000</b>	<b>100.000</b>
<i>Juniperus flaccida</i>	425.890	0.267	0.500	0.336	3328.090	0.3268	0.929	30.983
<i>Arbutus xalapensis</i>	353.045	0.221	0.288	0.193	3570.430	0.3506	0.765	25.495
<i>Cologania pallida</i>	338.480	0.212	0.250	0.168	861.250	0.0846	0.464	15.483
<i>Quercus greggii</i>	225.650	0.141	0.125	0.084	1473.960	0.1447	0.370	12.333
<i>Pinus hartwegii</i>	141.960	0.089	0.200	0.134	605.700	0.0595	0.283	9.426
<i>Cercocarpus macrophyllus</i>	112.830	0.071	0.125	0.084	343.900	0.0338	0.188	6.281
Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<b>Total Estrato Medio</b>	<b>29265.159</b>	<b>1.000</b>	<b>6.406</b>	<b>1.000</b>	<b>13024.599</b>	<b>1.0000</b>	<b>3.000</b>	<b>100.000</b>
<i>Quercus intricata</i>	9204.54	0.315	0.81	0.127	1280.0300	0.0983	0.540	17.988
<i>Quercus sideroxyla</i>	4100.18	0.140	0.45	0.070	1381.7800	0.1061	0.316	10.548
<i>Nolina hibernica</i>	2985.56	0.102	0.60	0.094	1258.3083	0.0966	0.292	9.743
<i>Quercus mexicana</i>	2295.98	0.078	0.46	0.072	1753.8433	0.1347	0.285	9.489
<i>Quercus greggii</i>	1529.74	0.052	0.36	0.056	869.5975	0.0668	0.175	5.822
<i>Sophora secundiflora</i>	315.72	0.011	0.30	0.047	1504.1850	0.1155	0.173	5.770
<i>Arbutus xalapensis</i>	1297.75	0.044	0.32	0.050	825.8240	0.0634	0.158	5.257
<i>Rhus virens</i>	239.54	0.008	0.30	0.047	1079.2450	0.0829	0.138	4.596
<i>Verbena elegans</i>	1072.81	0.037	0.20	0.031	709.9300	0.0545	0.122	4.080
<i>Artostaphylos pungens</i>	1016.34	0.035	0.37	0.058	386.1571	0.0296	0.122	4.079
<i>Ageratina saltillensis</i>	1499.80	0.051	0.21	0.033	90.1300	0.0069	0.091	3.045
<i>Quercus pungens</i>	353.81	0.012	0.35	0.055	281.5650	0.0216	0.088	2.945
<i>Agave asperrima</i>	391.91	0.013	0.35	0.055	259.0800	0.0199	0.088	2.931
<i>Cercocarpus mojadensis</i>	441.77	0.015	0.28	0.043	380.4100	0.0292	0.087	2.908
<i>Litsea novoleontis</i>	697.25	0.024	0.20	0.031	239.6050	0.0184	0.073	2.448
<i>Mimosa aculeaticarpa</i>	245.03	0.008	0.20	0.031	305.7400	0.0235	0.063	2.102
<i>Lindleya mespiloides</i>	383.88	0.013	0.20	0.031	204.1267	0.0157	0.060	2.000
<i>Purshia plicata</i>	557.28	0.019	0.20	0.031	81.2000	0.0062	0.056	1.883
<i>Dasylirion longissimum</i>	357.66	0.012	0.15	0.023	116.6825	0.0090	0.045	1.487
<i>Pinus cembroides</i>	278.64	0.010	0.10	0.016	17.1600	0.0013	0.026	0.882
Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<b>Total Estrato Bajo</b>	<b>167.745</b>	<b>1.000</b>	<b>10.521</b>	<b>1.000</b>	<b>1.364</b>	<b>1.00000</b>	<b>3.000</b>	<b>100.000</b>
<i>Acalypha bederacea</i>	68.557	0.409	0.500	0.048	0.1408	0.1032	0.559	18.648
<i>Salvia coccinea</i>	26.368	0.157	0.300	0.029	0.0619	0.0454	0.231	7.703
<i>Quercus intricata</i>	4.917	0.029	0.818	0.078	0.1271	0.0932	0.200	6.674

Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RD <sub>i</sub> )	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m <sup>2</sup> /ha	Cobertura Relativa (RC <sub>i</sub> )	IVI	IVI (%)
<i>Psoralea melanocarpa</i>	15.821	0.094	0.100	0.010	0.0903	0.0662	0.170	5.667
<i>Agave atrovirens</i>	0.533	0.003	0.400	0.038	0.1519	0.1114	0.153	5.087
<i>Nolina hibernica</i>	0.533	0.003	0.406	0.039	0.1230	0.0901	0.132	4.398
<i>Quercus pungens</i>	0.233	0.001	0.300	0.029	0.1242	0.0911	0.121	4.032
<i>Dalea lutea var. lutea</i>	10.547	0.063	0.200	0.019	0.0376	0.0276	0.109	3.649
<i>Muhlenbergia emersleyi</i>	1.373	0.008	0.542	0.051	0.0223	0.0163	0.076	2.533
<i>Agave asperrima</i>	0.131	0.001	0.200	0.019	0.0758	0.0556	0.075	2.512
<i>Arctostaphylos pungens</i>	0.384	0.002	0.341	0.032	0.0496	0.0363	0.071	2.367
<i>Carex turbinata</i>	3.683	0.022	0.279	0.026	0.0249	0.0182	0.067	2.222
<i>Quercus mexicana</i>	0.674	0.004	0.250	0.024	0.0484	0.0355	0.063	2.108
<i>Agave lechuguilla</i>	0.235	0.001	0.345	0.033	0.0386	0.0283	0.062	2.082
<i>Packeria bellidifolia</i>	5.274	0.031	0.100	0.010	0.0233	0.0171	0.058	1.934
<i>Stipa tenuissima</i>	0.417	0.002	0.500	0.048	0.0061	0.0045	0.054	1.816
<i>Lycurus phleoides</i>	0.262	0.002	0.300	0.029	0.0298	0.0218	0.052	1.731
<i>Aristida ternipes</i>	4.068	0.024	0.169	0.016	0.0113	0.0083	0.049	1.619
<i>Juniperus flaccida</i>	5.274	0.031	0.100	0.010	0.0051	0.0037	0.045	1.489
<i>Mimosa aculeaticarpa</i>	0.058	0.000	0.100	0.010	0.0463	0.0339	0.044	1.459
<i>Muhlenbergia repens</i>	5.274	0.031	0.100	0.010	0.0004	0.0003	0.041	1.375
<i>Lindleya mespiloides</i>	0.196	0.001	0.200	0.019	0.0286	0.0210	0.041	1.372
<i>Fragaria mexicana</i>	1.954	0.012	0.283	0.027	0.0018	0.0013	0.040	1.329
<i>Litsea novoleontis</i>	0.196	0.001	0.250	0.024	0.0110	0.0081	0.033	1.100
<i>Chrysactinia mexicana</i>	0.160	0.001	0.250	0.024	0.0091	0.0066	0.031	1.045
<i>Ageratina saltillensis</i>	0.337	0.002	0.250	0.024	0.0049	0.0036	0.029	0.979
<i>Garrya glaberrima</i>	0.337	0.002	0.250	0.024	0.0042	0.0031	0.029	0.961
<i>Cologania pallida</i>	0.828	0.005	0.188	0.018	0.0046	0.0034	0.026	0.872
<i>Agave striata var. striata</i>	0.073	0.000	0.100	0.010	0.0212	0.0156	0.025	0.850
<i>Piptochaetium seleri</i>	0.150	0.001	0.250	0.024	0.0007	0.0005	0.025	0.838
<i>Echeveria sp.</i>	1.598	0.010	0.125	0.012	0.0042	0.0031	0.025	0.817
<i>Cercocarpus mojadensis</i>	0.175	0.001	0.183	0.017	0.0074	0.0054	0.024	0.796
<i>Sp. 2094</i>	1.598	0.010	0.125	0.012	0.0023	0.0017	0.023	0.770
<i>Dalea sp.</i>	1.598	0.010	0.125	0.012	0.0022	0.0016	0.023	0.767
<i>Desmodium grabamii</i>	0.337	0.002	0.200	0.019	0.0025	0.0018	0.023	0.761
<i>Polypodium guttatum</i>	0.147	0.001	0.188	0.018	0.0018	0.0013	0.020	0.666
<i>Verbesina longifolia</i>	0.439	0.003	0.156	0.015	0.0018	0.0013	0.019	0.627
<i>Quercus sideroxyla</i>	0.484	0.003	0.125	0.012	0.0052	0.0038	0.019	0.620
<i>Coursetia caribaea</i>	0.799	0.005	0.125	0.012	0.0019	0.0014	0.018	0.601
<i>Sedum sp.</i>	0.848	0.005	0.125	0.012	0.0009	0.0007	0.018	0.586

Especie	Densidad Absoluta ind/ha (Di)	Densidad Relativa (RDi)	Frecuencia (fi)	Frecuencia Relativa (Rfi)	Cobertura (Ci) m2/ha	Cobertura Relativa (RCi)	IVI	IVI (%)
<i>Coursetia sp.</i>	0.360	0.002	0.125	0.012	0.0009	0.0006	0.015	0.488
<i>Stevia eupatoria</i>	0.145	0.001	0.100	0.010	0.0045	0.0033	0.014	0.455
<i>Amelanchier nervosa</i>	0.169	0.001	0.125	0.012	0.0003	0.0002	0.013	0.438
<i>Setaria sp.</i>	0.070	0.0004	0.125	0.012	0.0002	0.0001	0.012	0.414
<i>Mammillaria melanocentra</i>	0.058	0.0003	0.100	0.010	0.0031	0.0023	0.012	0.404
<i>Senna demissa var. demissa</i>	0.073	0.0004	0.100	0.010	0.0004	0.0003	0.010	0.340

#### 6.2.1.6. Otros tipos de vegetación y usos del suelo.

Ocupando menor área podemos encontrar pequeños manchones de matorral desértico rosetófilo, en el límite suroeste de la zona de estudio. Estos manchones entran por los cañadas bajas en las cercanías de San Lázaro y Joya de San Lázaro, mezclándose con el bosque de pino, cabe señalar que el área terrestre prioritaria San Antonio Peña Nevada busca proteger comunidades templadas de grandes altitudes, pero en la linde sur toma como limite la curva de nivel de los 1700 msnm, por lo que dado que este tipo de vegetación se extiende hasta los 2300 msnm en el área de estudio, pequeños fragmentos entran, llegando a una cantidad de 148.68 ha. Se encuentra en exposiciones suroeste y oeste. Se le encuentra en áreas de sustrato calizo (Figura 73) y suelos del tipo litosol y rendzinas. Los climas donde se distribuye esta comunidad son del tipo Seco Templado Semiseco con lluvias escasas todo el año BS1Kx' y Seco Templado Seco con lluvias escasas todo el año BS0Kx'. En menor proporción los climas Templado subhúmedo con lluvias en verano C(w1), Templado subhúmedo con lluvias escasas todo el año C(w2) y el Templado Subhúmedo con lluvias escasas todo el año Cx' (Figura 74), alcanzando precipitaciones con mayor proporción entre los 400 y 600 mm anuales. La temperatura oscila entre los 14° y 20 °C en promedio anual, con mayor proporción entre los 14° y 16 °C; probablemente esta temperatura pueda aumentar fuera del área de estudio.

Este tipo de vegetación no llega a formar un estrato alto bien definido, pero si existen algunas eminencias que pudieran llegar hasta los 5 metros. También en la zona ecotonal con el bosque de pino, se pueden observar elementos de *Pinus cembroides* y *Pinus nelsonii* dentro de esta comunidad, sin llegar a formar un estrato como tal. El estrato medio está

formado principalmente por especies arrosetadas, del genero *Agave* principalmente, tales como *Agave lechuguilla*, *A. striata*, *A. americana*, *A. asperrima* entre otros. Algunas de las especies encontradas son: *Gochnatia hypoleuca*, *Gymnosperma glutinosum*, *Hechtia glomerata*, *Coryphantha georgii*, *Coryphantha delicata*, *Echinocactus platyacanthus*, *Ferocactus pilosus*, *Ferocactus hamatacanthus*, *Mammillaria formosa*, *Mammillaria heyderi*, *Opuntia stenopetala*, *Sophora secundiflora*, *Dasyllirion berlandieri*, *Dasyllirion longissimum*, *Dasyllirion texanum*, *Forestiera racemosa*, *Selaginella pilifera*.

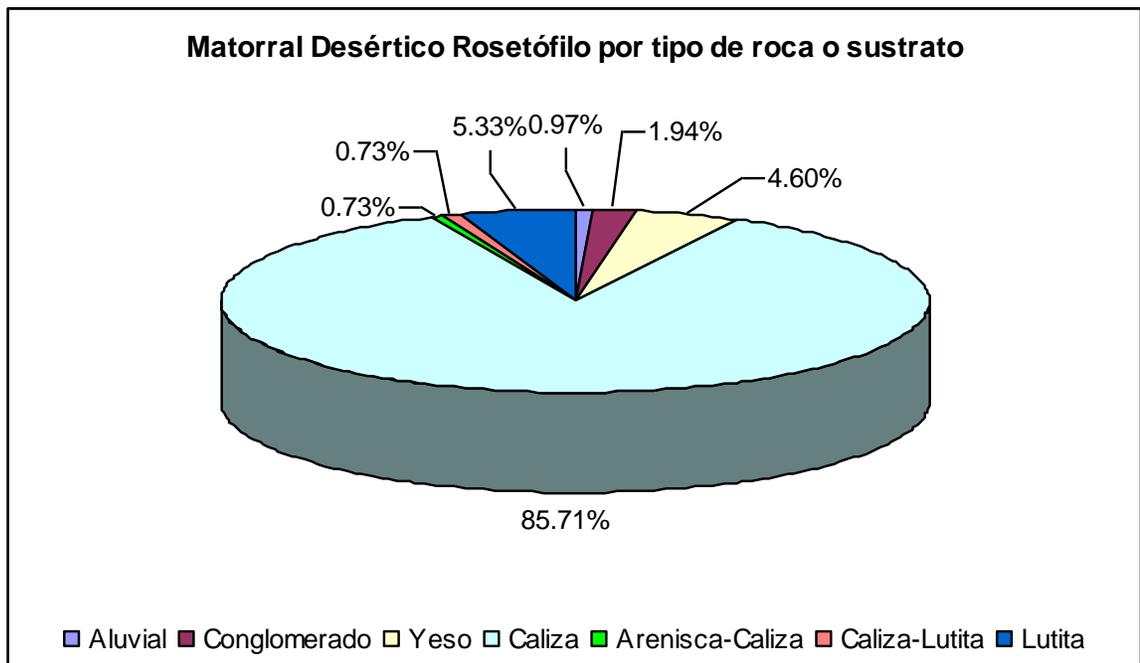


Figura 73 Relación entre la geología y el matorral desértico rosetófilo.

El matorral desértico rosetófilo muestra entre sus elementos una mayor afinidad a las zonas áridas y semiáridas de México como: *Agave*, *Dasyllirion*, *Coryphantha*, *Echinocactus*, *Ferocactus*, *Mammilloidia* y *Mammillaria*, entre otras. Se encontraron 5 especies endémicas y 6 especies con algún estatus en la NOM-059-SEMARNAT-2010, 4 con protección especial (*Coryphantha georgii*, *Echinocactus platyacanthus*, *Ferocactus pilosus* y *Mammilloidia candida*) y 2 como amenazadas (*Mammilloidia candida* y *Dasyllirion longissimum*).

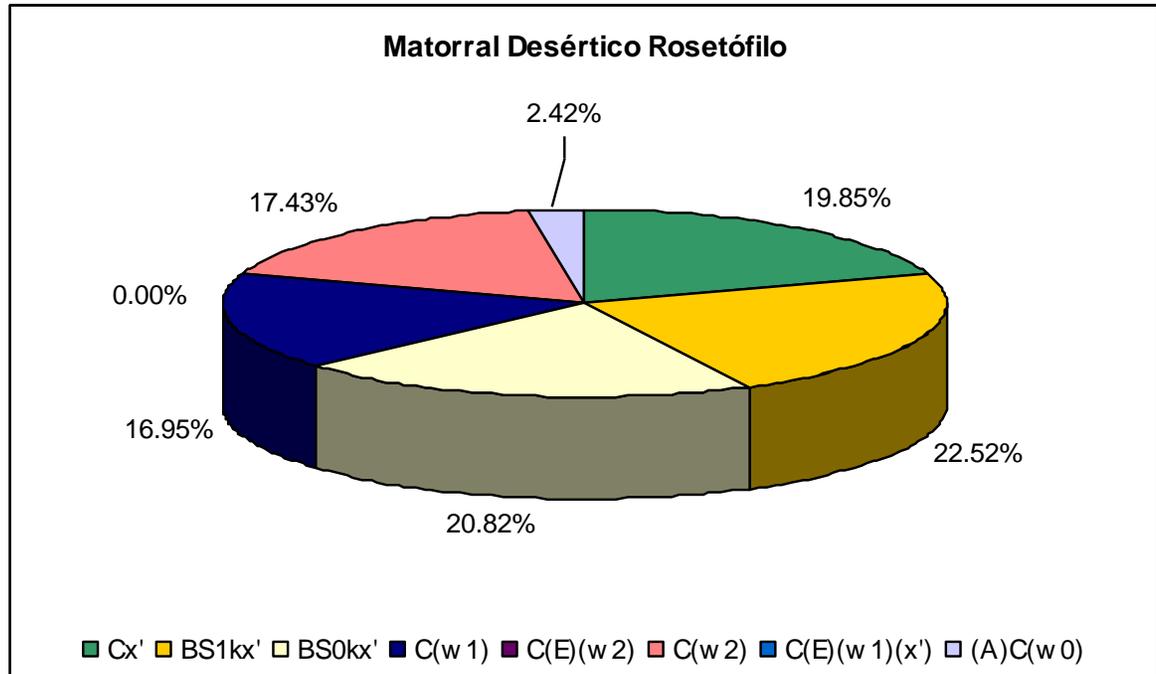


Figura 74 Relación entre el clima y el matorral desértico rosetófilo.

Existen comunidades de pastizales inducidos, con especies ruderales, arvenses o colonizadoras, dependiendo de la zona y el uso que se desarrolle en el lugar. Esta comunidad se presenta principalmente en las áreas aledañas a las zonas de cultivo, alrededor de las localidades y las áreas de castigo por uso ganadero. Se le encuentra en todas las exposiciones, aunque con un ligero mayor porcentaje en la exposición sur, en altitudes de entre 1800 a 3500 msnm y en todas las pendientes encontradas en la zona de estudio, con mayor porcentaje entre los 10° y 40°.

Se observan en zonas con predominio de roca Caliza (Figura 75) y suelos de tipo Litosol, con menor proporción en suelos de tipo Rendzina y Feozem (Figura 76).

Los climas donde se distribuye esta comunidad son del tipo Templado subhúmedo con lluvias escasas todo el año C(w2), Templado semifrío subhúmedo con lluvias en verano C(E)(w1)(x'), y el Templado Subhúmedo con lluvias escasas todo el año Cx' (Figura 77), alcanzando precipitaciones con mayor proporción entre los 500 y 800 mm anuales. La temperatura oscila entre los 8° y 16 °C en promedio anual, con mayor proporción entre los 14° y 16 °C.

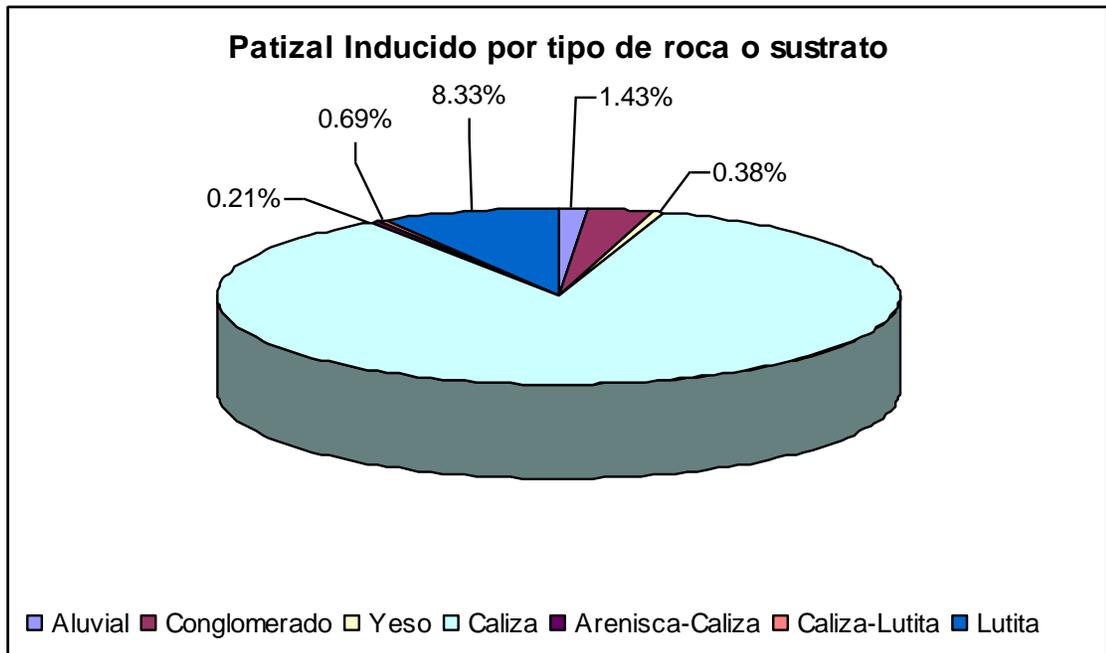


Figura 75 Relación entre la geología y el pastizal inducido.

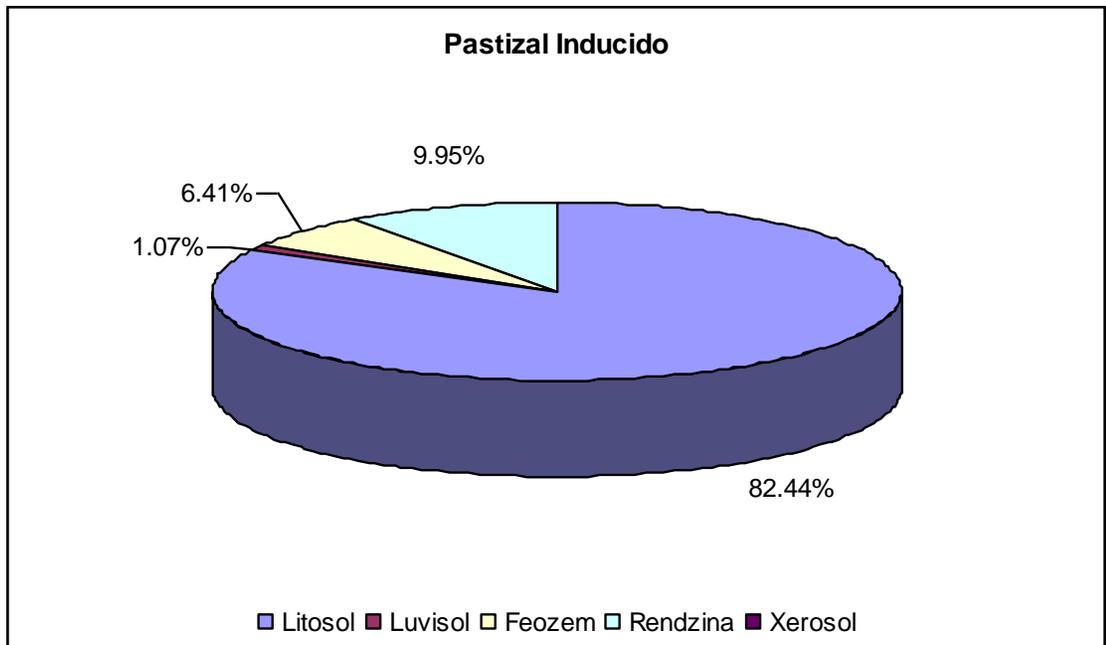


Figura 76 Relación entre la edafología y el pastizal inducido.

El área que ocupa esta comunidad fluctúa dependiendo de la época del año (en el año 2007 se encontró un total de 1,712.16 ha.); cuando las áreas de cultivo se encuentran en descanso o se abandonan se establece un pastizal inducido, compuestas principalmente por gramíneas como *Leptochloa dubia*, *Eragrostis intermedia*, *Setaria parviflora* y *Poa pratensis*. Otras especies encontradas son: *Antiphytum heliotropioides*, *Opuntia robusta*, *Sambucus canadensis*, *Buchloë dactyloides*, *Erioneuron avenaceum*, *Piptochaetium seleri* y *Pinus teocote*.

A pesar de ser una comunidad producto del disturbio dela vegetación natural de la zona, es posible observar algunos elementos endémicos pertenecientes muy seguramente a la vegetación prexistente o en su defecto a elementos de las comunidades que limitan con esta cobertura. De este modo se encontraron a 2 especies que McDonal (1993) marca como endémicas para el noreste de México.

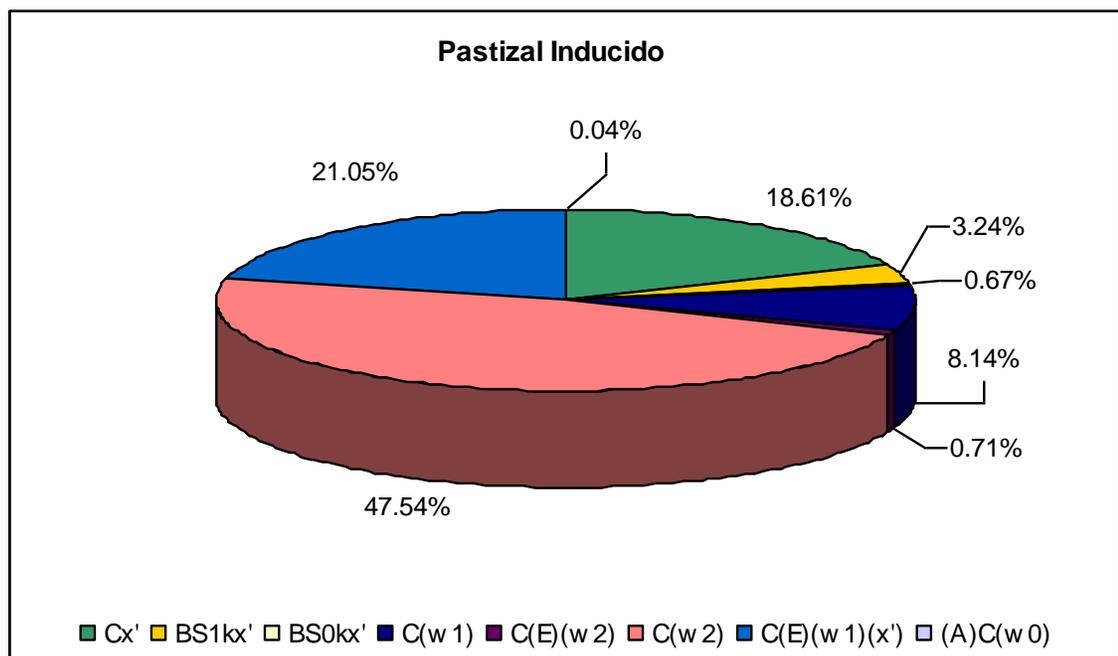


Figura 77 Relación entre clima y pastizal inducido.

La pradera subalpina, es una comunidad de distribución restringida dentro del área de estudio, cubriendo un total de 126 ha., distribuidas principalmente en la zona oeste de la sierra, a alturas superiores a los 2800 msnm. Se presenta generalmente formando ecotono con el bosque de oyamel, bosque de pino o bosque mixto, aunque también se

observa rodeado de chaparral de origen secundario de los citados bosques. Se presenta en zonas de roca Caliza (Figura 78), en suelos someros como los Litosoles a más o menos profundos, como las Rendzinas, Luvisoles y Feozems (Figura 79), en las pequeñas “hoyas” que se forman entre las elevaciones de la sierra. El clima dominante es el Templado Semifrío subhúmedo con lluvias en verano, C(E)(w1)(x’), seguido del Templado Subhúmedo con lluvias escasas todo el año Cx’ (Figura 80) alcanzando precipitaciones con mayor proporción entre los 500 y 1000 mm anuales, con mayor proporción entre los 800 y 1000 mm anuales. Estas zonas se ven frecuentemente azotadas por fuertes vientos, heladas y en invierno por ventiscas o nevadas. La temperatura oscila entre los 8° y 14 °C en promedio anual, con mayor proporción entre los 10° y 12 °C.

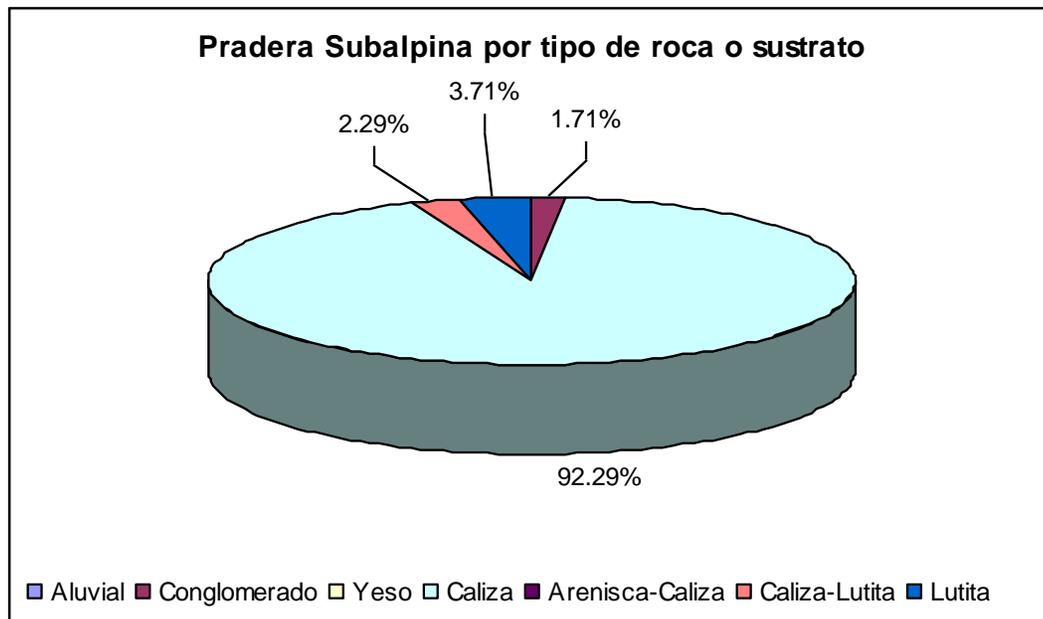


Figura 78 Relación entre la geología y la pradera subalpina.

Esta comunidad tiene una fisonomía de pastizal rasante (menor a 15 cms.), con algunos pocos elementos herbáceos que alcanzan el metro de altura, principalmente en la periferia de la comunidad. Algunas especies encontradas son: *Potentilla leonina*, *Argemone subalpina*, *Calochortus marcellae*, *Astragalus purpusii*, *Euphorbia beamanii*, *Sedum chrysicaulum*, *Poa pratensis*, entre otras. La pradera subalpina es un caso especial para la zona, pues se considera que este tipo de vegetación quedó aislada del resto de su distribución en el norte de México durante la última glaciación, pues existe un número

mayor de endemismos en relación a los picos de más de 3450 msnm en el noreste de México, como lo demuestra el estudio de McDonald (1993). La afinidad geográfica de los elementos es predominantemente alpina con especies de los géneros *Penstemon*, *Arctostaphylos*, *Arenaria*, *Carex*, *Potentilla* y *Muhlenbergia*.

En esta comunidad, para San Antonio Peña Nevada, se encontraron un total de 34 especies endémicas para el noreste de México, 5 de ellas exclusivas para Peña Nevada, según McDonald (1993) y solo una, *Juniperus monticola* (= *Juniperus sabinoides* var. *monticola*), considerada dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 como endémica y en protección especial.

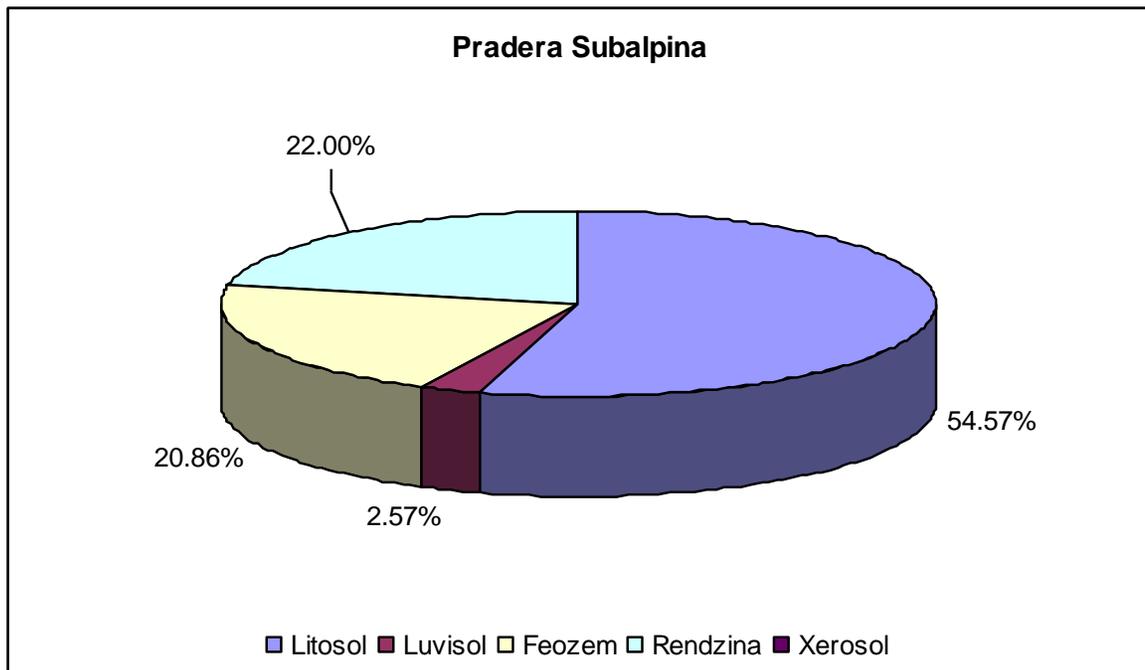


Figura 79 Relación entre la edafología y la pradera subalpina.

Dentro del polígono de trabajo se encuentra también uso del suelo agrícola. La agricultura es de temporal completando un ciclo anual y con algunas excepciones hasta dos ciclos. Los principales cultivos son maíz, trigo, cebada, frijol, avena. También se observan algunas pequeñas áreas de cultivos de manzana. Para el año 2007 se encontró un total de 238.32 ha.

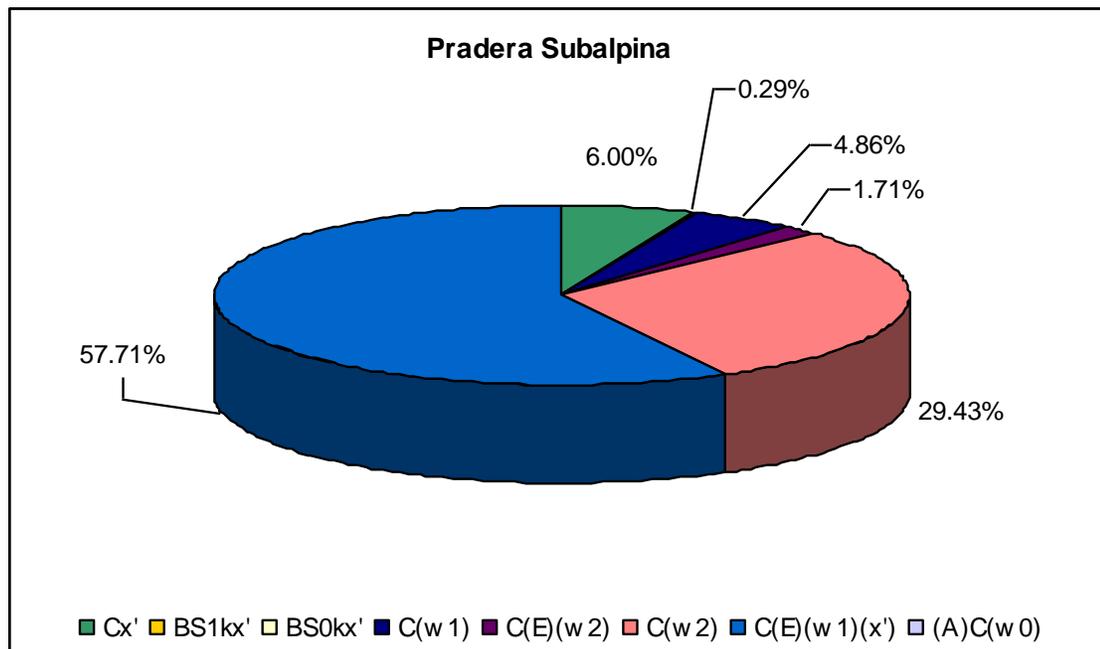


Figura 80 Relación entre el clima y la pradera subalpina.

Las áreas de cultivo se observaron en todas las exposiciones, con predominio de la sur y oeste, en altitudes que van de los 1900 a los 2500 msnm, con predominio en los 2300 y 2500 msnm; dominando las pendientes de entre 0° y 15°. Se observan en zonas con predominio de roca Caliza (Figura 81), en menor grado, conglomerados y depósitos aluviales; en suelos de tipo Feozem, Litosol, con menor proporción en suelos de tipo Rendzina y Xerosol (Figura 82).

Los climas donde se distribuye este uso son del tipo Templado subhúmedo con lluvias escasas todo el año C(w2), Templado Subhúmedo con lluvias escasas todo el año Cx', Templado subhúmedo con lluvias en verano C(w1) y el Seco Templado Seco con lluvias escasas todo el año (Figura 83), alcanzando precipitaciones con mayor proporción entre los 500 y 800 mm anuales. La temperatura oscila entre los 12° y 16 °C en promedio anual, con mayor proporción entre los 14° y 16 °C.

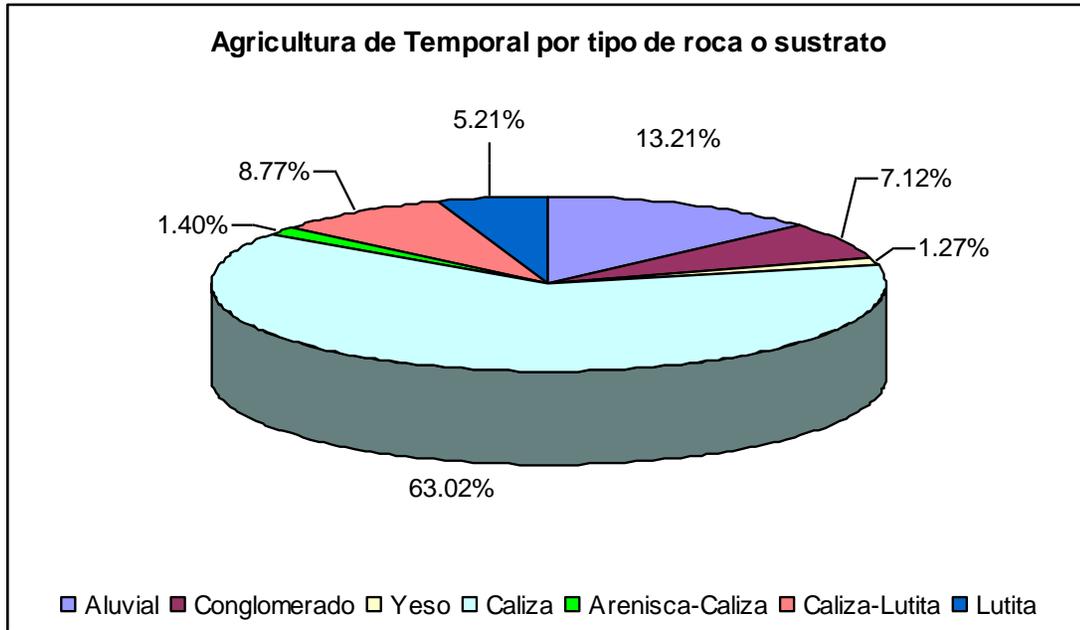


Figura 81 Relación entre la geología y las zonas agrícolas.

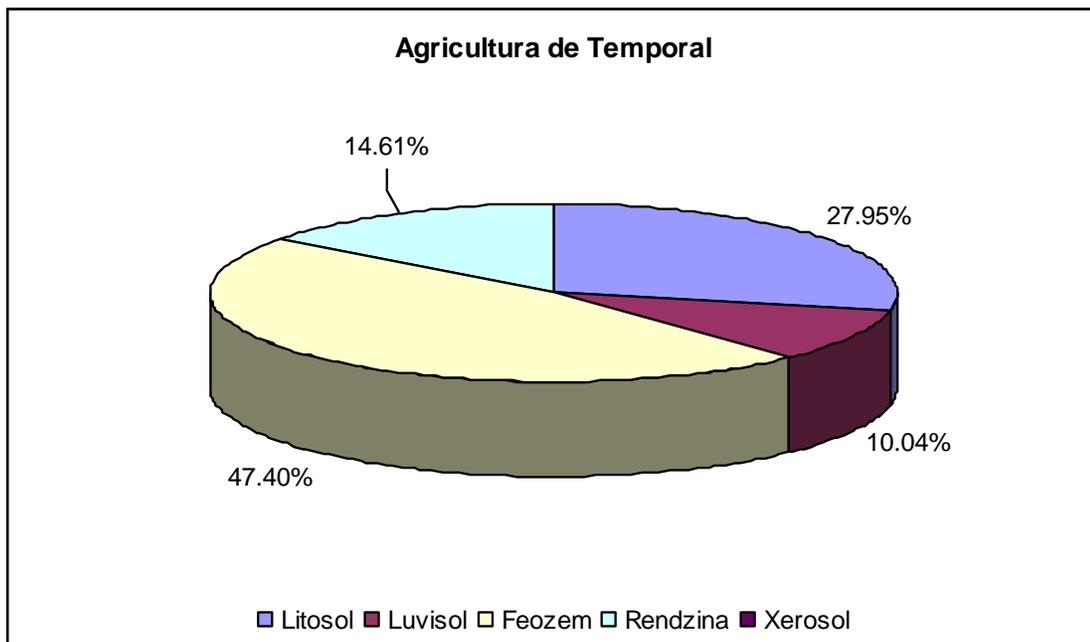


Figura 82 Relación entre la edafología y las zonas agrícolas.

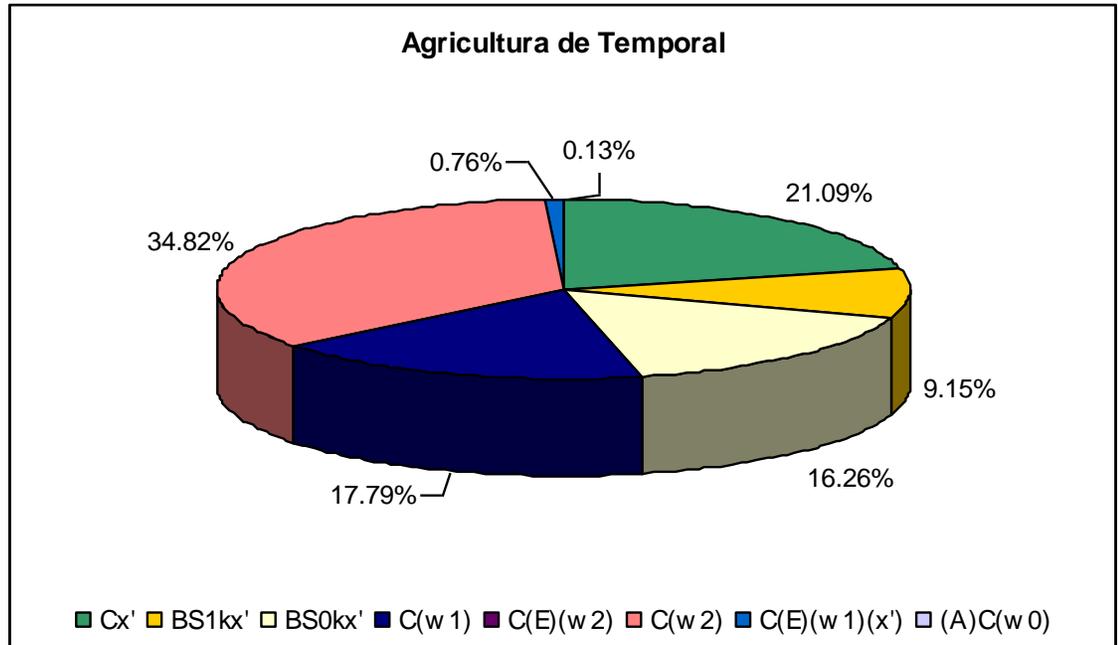


Figura 83 Relación entre clima y zonas agrícolas.

### 6.2.2. Análisis de diversidad

Se analizaron un total de 51 líneas de muestreo, obteniéndose un total de 1,530 puntos de muestreo y la medición de 6,120 ejemplares. El total de especies observadas fue de 272 especies (solo se incluyen las especies que se encontraron en la línea y los puntos de muestreo de las comunidades de bosque de oyamel, bosque de pino, bosque mixto, bosque de encino y chaparral, excluyéndose aquellas encontradas en los recorridos fuera de las líneas de muestreo y del resto de las comunidades).

Al realizar el análisis de diversidad, los valores más altos se obtuvieron en el bosque de pino (3.613), seguido por el bosque mixto (3.606). La diversidad más baja se obtuvo para el bosque de oyamel (2.414). Tabla 37 y Figura 84.

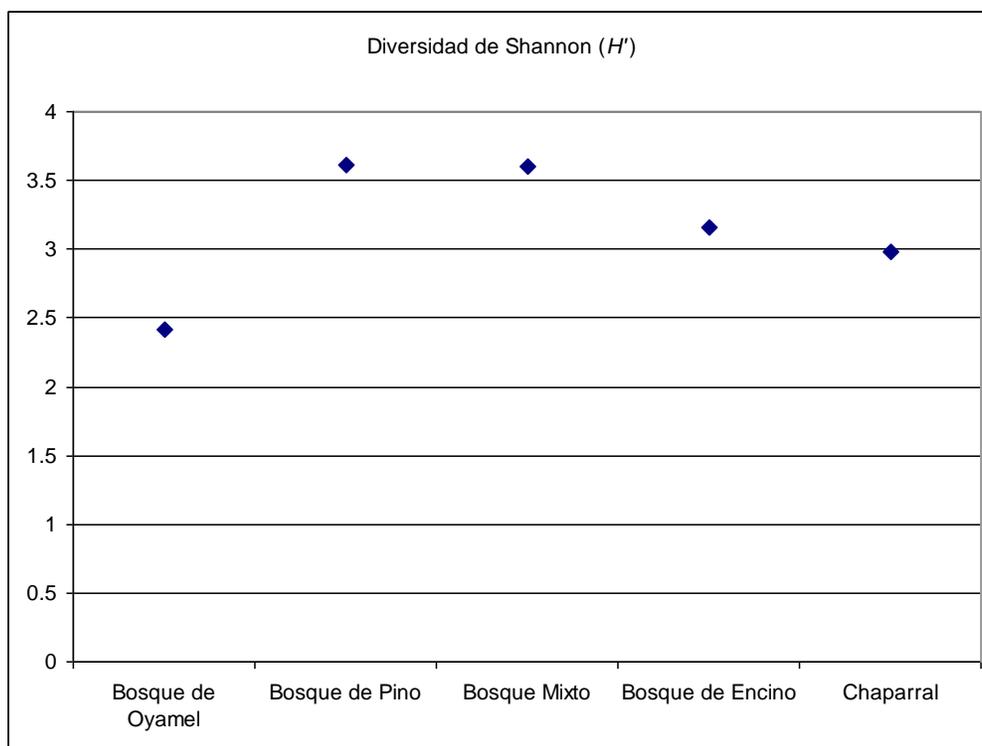


Figura 84 Índice de Diversidad de Shannon-Weaver ( $H'$ ) por comunidad.

Tabla 37 Índices asociados al Índice de diversidad de Shannon-Weaver, a nivel de comunidad.

Comunidad	Diversidad $H'$	Equitatividad $J$	Dominancia $1-J$	Diversidad Máxima $H'_{max}$	Especies	Varianza
Bosque de Oyamel	2.414	0.611	0.389	3.951	52	0.003
Bosque de Pino	3.613	0.757	0.243	4.770	118	0.001
Bosque Mixto	3.606	0.772	0.228	4.672	107	0.001
Bosque de Encino	3.159	0.732	0.268	4.317	75	0.002
Chaparral	2.986	0.742	0.258	4.0259	56	0.003

En la Tabla 38 se muestran los resultados del análisis  $t$  observándose que existen diferencias significativas entre los muestreos entre las comunidad, excepto entre bosque de pino y bosque mixto.

Tabla 38 Análisis *t* del Índice de diversidad de Shannon-Weaver, a nivel de comunidad.

<b>Comunidad 1</b>	<b>Comunidad 2</b>	<b><i>t</i></b>	<b><i>df</i></b>
Bosque de Oyamel	Bosque de Pino	16.36976	1751.87854 *
Bosque de Oyamel	Bosque Mixto	16.09057	1672.81213 *
Bosque de Oyamel	Bosque de Encino	9.82832	1673.61755 *
Bosque de Oyamel	Chaparral	7.04163	1607.15137 *
Bosque de Pino	Bosque Mixto	0.12133	2282.18042
Bosque de Pino	Bosque de Encino	7.19488	2024.47217 *
Bosque de Pino	Chaparral	9.03301	1537.67395 *
Bosque Mixto	Bosque de Encino	6.97362	1791.96057 *
Bosque Mixto	Chaparral	8.8179	1464.49805 *

\* Diferencia significativa al 95% (P<0.05)

### 6.2.3. Similitud entre comunidades

En cuanto al análisis de similitud entre comunidades, los resultados se muestran en la Tabla 39, la cual muestra el cálculo de similitud entre las 4 comunidades dominantes en el área de estudio. En la Tabla 40 se muestra el resultado del análisis del método de aglomeración WPGMA, así como el nivel de unión entre los diversos grupos formados.

La Figura 85 muestra el dendrograma resultante del análisis, mostrando que el nivel de similitud entre las comunidades es baja. No se observan grupos bien definidos, pero se encuentra cierta similitud entre el bosque mixto y el chaparral (0.311). También es posible observar que el bosque de oyamel es el que presenta menor similitud con relación a las comunidades analizadas.

Tabla 39 Matriz de Similitud entre comunidades, utilizando el Índice de Similaridad de Morisita.

<b>Comunidad</b>	<b>Bosque de Oyamel</b>	<b>Bosque de Pino</b>	<b>Bosque Mixto</b>	<b>Bosque de Encino</b>	<b>Chaparral</b>
<b>Bosque de Oyamel</b>	1				
<b>Bosque de Pino</b>	0.014	1			
<b>Bosque Mixto</b>	0.029	0.246	1		
<b>Bosque de Encino</b>	0.009	0.022	0.284	1	
<b>Chaparral</b>	0.004	0.102	0.311	0.084	1

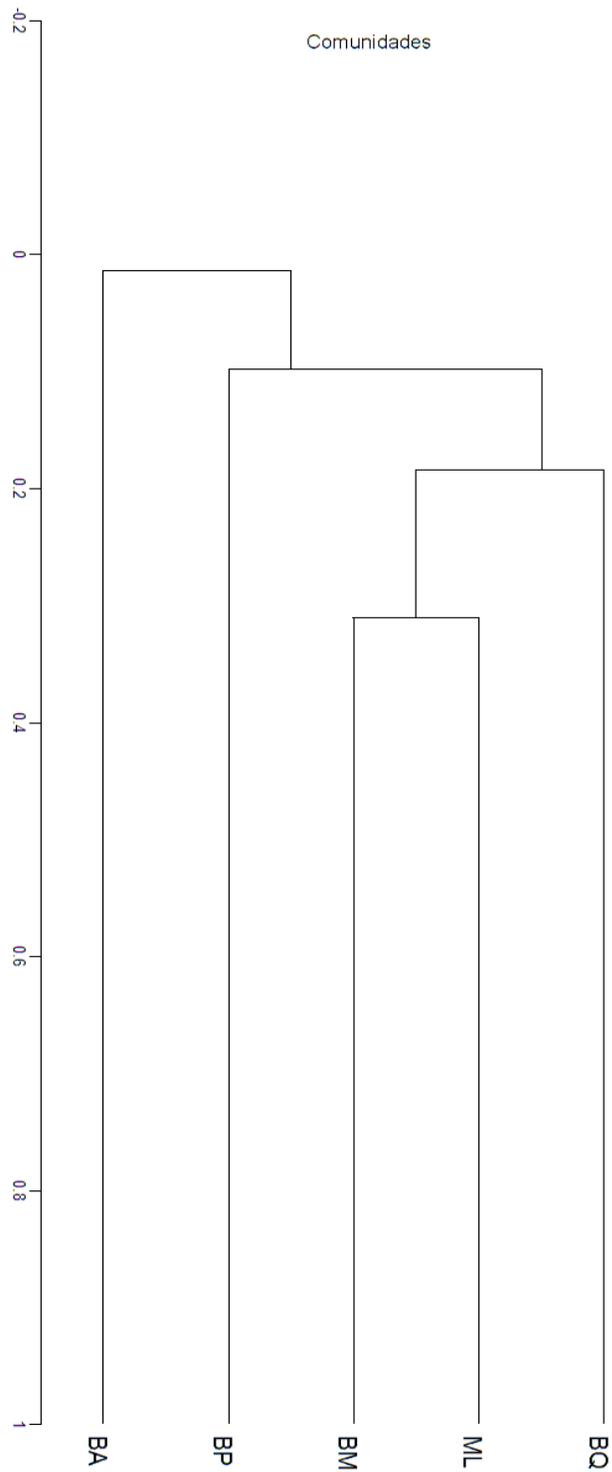


Figura 85 Dendrograma resultado del análisis de similitud entre comunidades, utilizando el Índice de Similitud de Morisita y el método de aglomeración WPGMA. BA= bosque de oyamel, BP= bosque de pino, BM= bosque mixto, BQ= bosque de encino, ML= chaparral.

Tabla 40 Matriz de agrupamiento en comunidades, usando WPGMA.

<b>Nodo</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>Similitud</b>	<b>Objetos en el Grupo</b>
1 Bosque Mixto		Chaparral	0.311	2
2 Nodo 1		Bosque de Encino	0.184	3
3 Bosque de Pino		Nodo 2	0.098	4
4 Bosque de Oyamel		Nodo 3	0.013	5

## DISCUSIÓN

Aunque el uso de imágenes de satélite para el monitoreo de la cubierta vegetales es un método usado con frecuencia en el mundo, es importante señalar que dado a la accesibilidad a imágenes de satélite de bajo costo, a su periodicidad y a la existencia de archivos de hasta 40 años atrás es una de las técnicas con mejor perspectiva.

El uso de las imágenes de satélite es una de las herramientas más eficaces en apoyo en el monitoreo y clasificación de la vegetación, coincidiendo con las opiniones de diversos autores (Carneiro 1978, Lozano 1981, Graetz y Gentle 1982, McDaniel y Hass 1982, Velásquez 1992, Fiorella y Ripple 1993, Bonifaz y Gómez 1996, García 1996, Saiz *et al.* 1996, García *et al.* 1999 y Hill *et al.* 1999).

El tener acceso a más de 40 años de archivos de imágenes prácticamente de todo el mundo, permite observar el cambio que sufre la cobertura vegetal, así como definir algunos de los factores de cambio. Lo cual coincide con los trabajos de Correa (1996) en Hualahuises; N.L., Mas *et al.* (1996) en comunidades forestales de Veracruz, Oaxaca y Puebla; Trejo y Hernández (1996) en comunidades selváticas en Morelos, Treviño (1992) en Iturbide N.L.; Treviño *et al.* (1996) en Linares N.L.; Lonard *et al.* (2000) en Texas; Senay y Elliott (2000) en Oklahoma; Moreno *et al.* (2012 y 2013), en matorrales de la Cuenca de Burgos Tamaulipas y Nuevo León, entre otros, los cuales demostraron que el análisis multitemporal de imágenes de satélite, permite establecer tasa de cambio de la cubierta vegetal, como es el caso de la presente investigación, permitiendo establecer tendencias de cambio de una zona geográfica específica o una comunidad determinada.

El resultado del análisis digital de las imágenes arrojó un total de 7 tipos de vegetación y 2 tipos de uso del suelo a lo largo del periodo estudiado (21 años). Estos tipos de vegetación representan principalmente a comunidades de climas templados, a excepción del matorral desértico rosetófilo, el cual se presenta en los límites altitudinales inferiores del área de estudio. El área cubierta por estas comunidades varió a lo largo del tiempo, presentando una dinámica de cambio diferente para cada tipo de vegetación. Los tipos de vegetación coinciden con los encontrados por la CETENAL (1978) y Treviño (1984) a diferencia que en el presente trabajo que el bosque de pino – encino y el bosque

de encino – pino, no pudieron ser separados por la clasificación supervisada, por poseer características espectrales semejantes, quedando clasificados como bosque mixto.

Las comunidades con mayor cobertura a lo largo del periodo abarcado por el presente estudio, fueron el chaparral y el bosque de pino, representando siempre más del 60% de la cobertura para el área de estudio, con tendencias al cambio claramente distintas; mientras que el chaparral tiende a ampliar su cobertura, el bosque de pino tiene a reducir su extensión, coincidiendo con Rzedowski (1978) y Gómez-Pompa (1985) que mencionan que el bosque de pino a nivel nacional, es una de las comunidades que más han sido afectadas desde que existen poblaciones más o menos sedentarias en México.

En relación a las tasas de cambio de la vegetación, se observa que la tasa de las comunidades boscosas en Peña Nevada superan a las reportadas por Franco *et al.* (2006) en el Nevado de Toluca y a las mencionadas por Pinedo *et al.* (2007) en la Sierra Madre Occidental.

La principal causa de cambio, sin lugar a duda son los incendios forestales, que en la zona de estudio han causado pérdidas considerables de la cobertura vegetal primaria.

Es importante señalar que algunas áreas que presentaron bosque de oyamel, fueron sustituidas por bosques de pinos, dominados principalmente por *Pinus hartwegii*, especialmente en los bordes de los rodales que fueron expuestos a incendios forestales, debido a la adaptaciones de *P. hartwegii* para soportar mejor los incendios (corteza gruesa, enraizamiento profundo, menor generación de combustible, mayor diámetro de copa y por consiguiente menor densidad de árboles) que las especies del género *Abies*, como lo menciona Martin (1973), Rzedowski (1978) y Rodríguez (1996).

A nivel global (1986–2007, 21 años), el análisis de los modelo Markoviano mostró que los porcentajes de permanencia cambian drásticamente, puesto que solo el chaparral, el matorral desértico rosetófilo y la agricultura de temporal tienen más del 60% de permanencia. El bosque de oyamel, bosque de pino, bosque mixto y pradera subalpina tienen un porcentaje de permanencia de entre 40 y 55%; mientras que el bosque de encino y el pastizal inducido presentan valores menores al 40%.

El chaparral muestra una tendencia a la persistencia producto de los incendios forestales en la zona de estudio, los cuales afectaron la extensión de esta comunidad.

Para el caso de la pradera subalpina, comunidad que se encuentra rodeada principalmente por el bosque de oyamel y chaparral, mostró que el cambio entre el ecotono de estas comunidades afecta la distribución de la comunidad de pradera, además de estar influenciada por los incendios forestales que cambian constantemente la cobertura y composición de los bosques y chaparrales, tal como lo mencionan Cruz (1969) y McDonald (1993), por lo que al abrirse la cobertura en áreas donde el suelo es más profundo y el drenaje menor, se establece una comunidad de pradera subalpina, pero al volver a aumentar la cobertura arbórea o del matorral, la comunidad desaparece. A pesar de que no fueron contabilizados los impactos sobre la pradera subalpina, es importante señalar que el uso que se le da a esta comunidad en la zona de estudio es el de agostadero, para el pastoreo de especies equinas, ovinas y bovinas, alcanzando altitudes de hasta 3400 msnm. Este uso del suelo dado a la pradera subalpina, junto con los incendios forestales, son las principales amenazas para esta comunidad, como lo mencionan McDonald (1993) y Challenger (1998).

Las métricas del análisis del paisaje a nivel de comunidad, mostraron una tendencia a la disminución fragmentación, indicada por el aumento del número de fragmentos (NP) y al aumento de la media del tamaño del fragmento (MPS), con relación a esta última métrica cabe señalar que el MPS es mayor (14 veces) que los encontrados por Guevara (2009) en el anticlinorio de Arteaga. A nivel de clase el MPS y la densidad de borde (ED) de los bosques de Peña Nevada son mucho mayores de igual manera, a los mencionados por el citado autor, reflejando que los fragmentos son más grandes. Las métricas de forma mostraron comportamiento distinto entre los diferentes indicadores; el índice de forma media (MSI), la media de la dimensión fractal del fragmento (MPFD) y la media de la dimensión fractal ponderada por el área (AWMPFD) arrojan una complejidad meda a baja complejidad de fragmentos (tendencia a forma cuadrada) en concordancia con Kummel *et al.* (1987), O'Neill *et al.* (1988), Turner y Ruscher (1988) y De Cola, (1989) a diferencia de la métrica del píxel cuadrado (SqP) que muestra una complejidad de la forma del paisaje alta en concordancia con Frohn (1998). A pesar de que las cubiertas se homogeneizaron en el tamaño de píxel como lo recomienda Frohn (1998), las tres primeras métricas se ven afectadas por el tamaño del píxel, por lo que el resultado de la métrica del píxel cuadrado (SqP) que no es influenciada por el tamaño se considera la

más cercana a la realidad, puesto de la forma de los fragmentos en el área de estudio no fueron afectadas en forma significativa por actividades agrícolas, pecuarias o de desarrollo urbano, si no de procesos naturales o incendios forestales, los cuales generan bordes complejos. El MSI y el IJI del paisaje son similares a los encontrados por Guevara (2009), mostrando una forma irregular media a baja y una adyacencia de diversos tipos de vegetación. Las métricas de contagio mostraron que para el área de estudio la distancia al vecino más cercano (MNN) tiende a aumentar, con una dispersión que tiende al aislamiento según el índice de yuxtaposición y espaciamento (IJI), pero los valores son menores a los encontrados por Antonio-Némiga *et al.* (2008), para el bosque de oyamel, bosque de encino, y el bosque de pino, definiendo que los fragmentos del mismo tipo son más cercanos en San Antonio Peña Nevada que en la subcuenca del Río Pilón.

En cuanto a la diversidad del paisaje, el índice de diversidad de Shannon (SHDI) muestra una alta diversidad (hasta 1.41), mostrando una tendencia a disminuir (1.14 en el año 2007), producto de los incendios forestales de los años 1998 y 1999, los cuales eliminaron fragmentos, por el cambio de diversas comunidades a unos grandes rodales de áreas quemadas, que posteriormente se convirtieron en pastizales y chaparrales, eliminando la diversidad de comunidades. Lo anterior se ve reflejado de la misma manera en el índice de equitatividad de Shannon (SHEI), en cual muestra valores altos, con una tendencia a la disminución. Comparándolos con los valores obtenidos por Guevara (2009) fueron menores en Peña Nevada que en el Anticlinorio de Arteaga, indicando una menor heterogeneidad de los fragmentos.

El índice de parches por unidad (PPU), mostró fluctuaciones a lo largo del periodo estudiado. Estas fluctuaciones responden a los procesos que se dan en la zona de estudio, principalmente los incendios forestales que influyen principalmente homogeneizando las coberturas dentro del área de estudio, debido a la desaparición de fragmentos de las diferentes clases y creando grandes áreas de clases específicas posteriores al incendio (comunidades sucesionales principalmente pastizal inducido y chaparral), por lo que el número, diversidad y área de los fragmentos de las diferentes clases afectadas se reduce. Posterior a los incendios viene un periodo en donde las comunidades sucesionales empiezan a desarrollarse, cambiando la gran área de suelo o sustrato producto del

incendio, en nuevos fragmentos dispersos en toda el área incendiada, afectado su área y la composición de clases.

A nivel de clase las coberturas disminuyeron su fragmentación o se mantuvieron igual, con excepción del pastizal inducido que aumenta la fragmentación, relacionada con la aparición de esta clase como estado seral posterior a los incendios forestales, para posteriormente dar paso a chaparral, principalmente.

Mostrado lo anterior, tenemos que mediante el uso de las diversas métricas es posible cuantificar la modificación de la estructura espacial del paisaje, como lo mencionan Burel y Baudry (2002). Estas métricas indicaron que la fragmentación para la vegetación natural de San Antonio Peña Nevada disminuye, pero los bosques y la pradera subalpina muestran una disminución en sus áreas y del tamaño de sus fragmentos, que podría llevar a la desaparición de estas en un futuro. El resultado es congruente con los presentados por O'Neill *et al.* (1988) para diversas áreas del este de Estados Unidos, de Simpson *et al.* (1994) para Ohio central, Estados Unidos, de Frohn (1998) para las selvas tropicales de Rondonia y Ouro Preto Brasil, en los bosques de Washington D.C. y La Sierra Nevada en Estados Unidos, de Mas (2000) para la Laguna de Términos en Campeche México, Coppedge *et al.* (2001) en pastizales de Oklahoma; Gkaraveliet *et al.* (2001) para los bosques de Snowdonia Nacional Park en North Wales Inglaterra, Luck y Wu (2002) para el área metropolitana de Phoenix Arizona en Estados Unidos, Stanfield *et al.* (2002) en Oregón Estados Unidos, o los de Freeman *et al.* (2003) en las praderas de depósitos en el río Wisconsin en Estados Unidos; Moreno (2012), para los ecosistemas en la Cuenca de Burgos en el noreste de México; los cuales concluyen que los hábitats naturales se encuentran en regresión en las áreas estudiadas, disminuyendo los tamaños de los fragmentos y el número de estos en muchos casos.

El análisis de los procesos espaciales ocurridos en la transformación del paisaje mostró que los bosques templados presentan procesos de desgaste, esto es la disminución en el número de fragmentos y el las área de estas cubiertas, el resto de las cubiertas vegetales naturales, presenta el fenómenos de desgaste y disección, proceso en el que el número de fragmentos aumenta pero su área disminuye.

El pastizal inducido y la agricultura de temporal tendieron al proceso de creación, esto es aumento en el número de fragmentos y de área, pero sin llegar a ser una causa importante entre los factores de cambio de uso del suelo en la zona, a diferencia de los resultados mostrados por los trabajos de García et al. (2005) y Reyes *et al.* (2006) que concluyen que la ganadería y la actividad agrícola son las principales causas de cambio en comunidades de bosques tropicales y Márquez-Linares *et al.* (2005) en bosques templados de Durango.

El caso del chaparral y el suelo o sustrato es especial, puesto que el chaparral presentó procesos de creación de fragmentos y agregación de los mismo, por acción del cambio de otra cubierta, producto en primera instancia (en el periodo de 1986-1996) a incendios forestales, los cuales afectaron principalmente a los bosques templados (y al mismo chaparral), cambiando a sustrato. Es importante mencionar que la dinámica del cambio seral muestra que el primer estadio seral posterior a un incendio es el pastizal inducido y posteriormente chaparral, por lo que los pastizales inducidos producto de incendio tendieron a cambiar a chaparral, haciendo que esta comunidad presente los proceso ya señalados.

El suelo o sustrato solo permaneció como clase en el año 1996, posteriormente fue remplazado por pastizal inducido o chaparral como ya se mencionó antes.

En general, los procesos de la transformación del paisaje mostraron una tendencia al desgaste de todas las cubiertas primarias y la agregación del chaparral, generando una matriz de chaparral que rodea a fragmentos de los diversos tipos de vegetación. Además, hay que señalar que el chaparral presenta un alto porcentaje de probabilidad de permanencia (mayor al 90%), coincidiendo con el estudio de Márquez-Linares *et al.* (2005) que marcan una alta permanencia de estos a través del tiempo (de más del 50% en un periodo de 30 años).

Los patrones de distribución de las diferentes comunidades vegetales y los usos del suelo no están influenciados por un solo factor, si no por una combinación de factores, que no siempre son los mismos para todas las comunidades y nos son tan claros de visualizar, por ejemplo la agricultura de temporal y la pradera subalpina se presentan en pendientes menores de 15°, en todas las exposiciones pero con regímenes térmicos

diferentes, mientras la agricultura se encuentra en zonas con dominancia de temperatura media anual de entre 14 a 16°C y la pradera subalpina entre los 8 y 14°C. Otras comunidades como el chaparral en apariencia parecen no ser influenciadas por algún factor abiótico, por lo menos en el área de estudio, pues se le encuentra en todas las exposiciones topográficas, a lo largo del todo el gradiente altitudinal, en casi todos los climas, con un amplio régimen de precipitación y temperatura.

A pesar de lo explicado anteriormente, los resultados muestran que la mayor parte de las coberturas se encuentran sobre calizas y litosoles, pareciendo una preferencia por estos sustratos, pero una análisis más profundo nos muestra que la mayor parte de la zona de estudio, a excepción las depresiones, pequeñas mesetas y algunos valles, se encuentra dominada por estos dos sustratos.

La exposición en la zona de estudio no es un factor relevante para la distribución de las comunidades, salvo el caso del bosque de oyamel, que prefiere las exposiciones noroeste, norte y oeste y el matorral desértico rosetófilo que prefiere las exposiciones suroeste y oeste.

La altura parece ejercer mayor influencia para algunas coberturas, tal es el caso del bosque de oyamel que se distribuye entre los 2800 y los 3400 msnm, este rango se encuentra en el menciona por Rzedowski (1978) para este bosque en México (2400-3600 msnm), bosque mixto (2260-3000), la pradera subalpina (2700-3300) y el matorral desértico rosetófilo (1700-2300) en cambio otras como el bosque de pino y el chaparral cubren casi todo el gradiente altitudinal (1700-3400).

Para la pradera subalpina la pendiente parece ser decisiva, pues solo se le encuentra entre los 0 y 15°: La agricultura en el área de estudio se realiza entre ese mismo rango de pendiente pero a diferente nivel altitudinal. Para el resto de las coberturas no parece ser determinante, pues se les encuentra entre los 10 y 40° de pendiente.

El clima parece ser un factor determinante para el bosque de oyamel, ya que solo se le encuentra en el clima Templado Semifrío Subhúmedo con lluvias en verano C(E)(w1)(x'), coincidiendo con González (1974) y Rzedowski (1978) que mencionan que se encuentran en México en climas "Cw", mientras que el matorral desértico rosetófilo se distribuye principalmente en los climas tipo Seco Templado Semiseco con lluvias escasas

todo el año BS1Kx' y Seco Templado Seco con lluvias escasas todo el año BS0Kx'. Ligado al clima, la precipitación se encuentra relacionada con la distribución del bosque de oyamel (600-1000 mm) y el matorral desértico rosetófilo (400-600 mm). La temperatura puede influenciar la distribución de la pradera subalpina, el bosque de oyamel y el matorral desértico rosetófilo.

En resumen, por lo menos para San Antonio Peña Nevada, la influencia de los factores abióticos nos es tan clara y no está definida por un solo factor, sino más bien a una combinación de estos factores, que afectan diferente a cada comunidad.

La riqueza específica encontrada en el área de estudio fue superior a la encontrada por Treviño (1984) para el municipio de Zaragoza, en 10 familias, 104 géneros y 181 especies. Comparando los resultados obtenidos por Hinton y Hinton (1995) y Hinton (2006) la riqueza florística es inferior al total municipal, pero representando cerca del 66.8% de las especies, 72.2% de los géneros y el 85.2% de las familias presentes en el municipio. Cabe aclarar que los resultados de Hinton y Hinton (1995) y Hinton (2006) fueron obtenidos de ejemplares de herbario y no sobre un trabajo exhaustivo de colecta o de descripción de la flora, por lo que se considera que el número de taxas existentes en el municipio puede ser mayor al reportado en los mencionados trabajos.

Al comparar los resultados de riqueza con los obtenidos en el municipio de Santiago por Valdez (2002), el número de familias encontradas en el área de estudio es menor con 14, el de géneros mayor con 15 géneros y mayor con 129 especies. A nivel de comunidad, los valores de riqueza son mayores en el área de estudio para el bosque de oyamel y bosque de pino a nivel de familia, género y especie; muy similares a nivel de familia y género para las comunidades de bosque mixto, bosque de encino y chaparral, pero superior a nivel de especie. Además, se encontró que en el área de estudio se representa el 67.6% de las familias y el 47.2% de las especies reportadas para la Sierra Madre Oriental, al comparar la riqueza con los datos de Alanís (2004).

Comparando la riqueza encontrada en San Antonio Peña Nevada con la riqueza a nivel estatal reportada por Villarreal y Estrada (2008), tenemos que representa el 47.5% de las familias del estado, el 26.7% de los géneros y el 15.8% de las especies; mientras que si comparamos los datos con los obtenidos por Velazco (2009), tenemos que es el

47.8% de las familias del estado, el 30.2% de los géneros y el 17.3% de las especies del estado.

A nivel de comunidad, las especies de bosque de encino de San Antonio Peña Nevada representan el 4.95% de las especies para esta comunidad en el norte de México, el 12.73% de las especies de bosque de pino, el 8.16% de las encontradas en bosque mixto, el 5.37% de las de chaparral y el 1.85% de las especies de matorral desértico micrófilo, esto al comparar los datos con los reportados por Arriaga (2009).

Con respecto a la diversidad, el análisis de las diferentes comunidades arroja valores por encima de los calculados para otras partes del país (González-Elizondo *et al.*, 1993; Navarro *et al.* 1999; Baca, 2000; Valdez, 2002; y Villavicencio *et al.* 2004), muy probablemente influenciados por el alto número de datos analizados por comunidad. El análisis también muestra el bosque de pino y el bosque mixto presentan los valores más altos de diversidad. Las comunidades con menor diversidad fueron el chaparral y el bosque de oyamel.

Los valores de diversidad encontrados en San Antonio Peña Nevada pueden tener su explicación en las características de la composición de cada comunidad:

- Los bosques de pino en la zona de estudio (que fueron además los de mayor riqueza con 252 especies), presentan tres variantes, las dos primeras en clima más secos, con incorporación de especies más xéricas del altiplano mexicano y una variante más templada, en contacto directo con los chaparrales, bosque de oyamel y la pradera subalpina, aunado con el gradiente altitudinal que ocupa, permiten que la diversidad aumente.
- En el caso del bosque mixto las razones pueden ser diferentes, esta comunidad es el integra especies de los bosques de pino y del bosque de encino, produciendo un aumento en el número de especies. Esta comunidad en San Antonio Peña Nevada presentan valores de diversidad mayores que los presentados en otras localidades de la misma Sierra Madre Oriental, (Baca, 2000; Valdez, 2002).

- El bosque de encino presenta un amplio gradiente altitudinal, por lo que la incorporación de especies a esta comunidad es importante, además está en contacto con todas las comunidades, desde los matorrales más xéricos hasta los bosques de oyamel más húmedos.
- El chaparral, por ser producto de disturbio de las comunidades primarias y secundarias en la zona de estudio (principalmente por incendios forestales) está compuesto por especies con características fisiológicas y estructurales adaptadas para soportar incendios forestales como lo muestran los trabajos de Rzedowski, Vela y Madrigal (1977), Rzedowski (1978), Pijil, (1982), Kimmins (1987), Vickery (1987), Kauffman (1990) y Rodríguez (1996), especialmente en la zona los encinos producen rizomas que prácticamente cubren el suelo impidiendo el crecimiento de muchas especies (incluso la repoblación forestal), formando grandes manchones de clones de encino, por lo que la diversidad disminuye.
- El caso de los bosques de oyamel es diferente, como muestra la literatura (Challenger, 1998; McDonald, 1998, Navarro, 1999 y Cuevas-Guzmán *et al.* 2011), muchos de estos bosques son monotípicos o cuentan con pocas especies asociadas, dominando principalmente el *Abies*; su estructura horizontal y vertical impide el paso de luz al sotobosque, limitando al número de individuos y de especies que puede crecer en este, aunado además de las características climáticas y fisiográficas de los lugares en donde ocurre esta comunidad, por lo que generalmente estas comunidades no son muy diversas. Es importante señalar la gran similitud en cuanto a la riqueza en familias, géneros y especies encontrados en este trabajo y los reportados por Encina-Domínguez *et al.* (2008) para la Sierra Zapalinamé y de Cuevas-Guzmán *et al.* (2011) en Jalisco para este tipo de comunidad, aunque menores a los encontrados por Sánchez-González *et al.* (2006) en el estado de México y Martínez (2013) en Guatemala. Los valores de diversidad de Shannon muestran resultados mayores a los encontrados por Navarro *et al.* (1999) para los bosques de oyamel y pino en el Nevado de Toluca. Es importante mencionar que no fueron encontrados elementos de: *Liquidambar styraciflua*,

especie encontrada en otros bosques de Oyamel de Nuevo León, como lo menciona Rzedowski (1978), *Taxus globosa*, a pesar de que el área de San Antonio Peña Nevada sea mostrada por los trabajos de Contreras-Medina *et al.* (2010) y de García-Aranda *et al.* (2012a) como zona potencial de su distribución y *Pinus culminicola*, especie encontradas en las sierras cercanas al área de estudio, pero no se descarta la posibilidad de que se encuentren estas especies en áreas aisladas y de difícil acceso de esta sierra.

Al comparar las diversidades de las comunidades entre sí, los resultados arrojan que existe una diferencia significativa entre ellas, a excepción de las comunidades de bosque de pino y bosque mixto, pues comparten muchas de las especies estas dos comunidades y la estructura es similar.

En cuanto a la Equitatividad y Dominancia a nivel de comunidad, los resultados mostraron que no existe una dominancia por algunas especies (dominancia menor de 4), por lo que las especies se encuentran homogéneamente distribuidas en número dentro de la comunidad, encontrándose los niveles más altos de dominancia para el bosque de oyamel. De nuevo estos valores muestran la tendencia de los bosques de oyamel a formar comunidades dominadas por unas pocas especies, concordando con Challenger (1998), en el caso de San Antonio Peña Nevada por *Abies vejarii* y en algunas áreas compartiendo la dominancia con *Pinus hartwegii*, como muestra el Índice de Valor de Importancia. La diversidad máxima teórica ( $H'_{max}$ ) a nivel de comunidad nos muestra que los valores más altos se encuentran en las comunidades de bosque de pino y bosque mixto y los valores más bajos se encuentran en las comunidades de bosque de oyamel y chaparral.

## CONCLUSIONES

Existen 7 tipos de comunidades vegetales y 2 tipos de uso del suelo dentro de la Sierra San Antonio Peña Nevada. Las comunidades encontradas son: bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de encino, bosque de mixto, pradera subalpina y matorral desértico rosetófilo. Estos tipos de vegetación representan principalmente a comunidades de climas templados, a excepción del matorral desértico rosetófilo, presente en los límites altitudinales inferiores del área de estudio. Las 2 coberturas restantes son: pastizal inducido y agricultura de temporal, además de áreas sin vegetación aparente, constituidas por zonas en donde la roca y/o el sustrato están expuestos. Las comunidades con mayor representación en San Antonio Peña Nevada son el bosque de pino y el chaparral.

Las comunidades estudiadas se encuentran sujetas a cambios en su distribución, área y forma a través del tiempo debido a factores de cambio, principalmente antropogénicos. Los factores identificados que ejercen presión dentro de la dinámica de cambio de la vegetación son en orden de importancia: incendios forestales de origen antrópico, tala por uso forestal y ganadería extensiva. La actividad agrícola no se vislumbra como un factor de cambio importante. Estas presiones se ven reflejadas en las tasas de cambio de la vegetación, al grado de que algunas coberturas rebasan la tasa de deforestación establecida a nivel nacional. Las comunidades de chaparral y pastizal inducido y la agricultura de temporal tienden a crecer dentro del área de estudio, sustituyendo a las comunidades de bosque de pino y bosque de oyamel principalmente.

La cobertura dominante en el área, varió a lo largo del tiempo, pasando de bosque de pino con en el año 1986 a chaparral para año 2007. En el año 1996 las coberturas de bosque de pino y chaparral se encontraban casi en la misma proporción 40.20% y 38.79% respectivamente, pero para 2007 el bosque de pino había disminuido su cobertura hasta cubrir solo el 27.73% del área y el chaparral subió hasta 59.71%.

El análisis de la ecología del paisaje y la fragmentación del hábitat muestra una disminución en tamaño de los fragmentos, indicando que la continuidad en los hábitats boscosos se está perdiendo. Este mismo análisis muestra que la dinámica de cambio es

muy compleja, diferente para cada tipo de vegetación o cobertura y que se encuentra en fase de pérdida de vegetación natural. Con relación al uso de índices para describir la ecología del paisaje, es importante señalar 2 cosas:

1. Que los índices aislados no describen por sí mismo los procesos de fragmentación, y es necesario el análisis en conjunto de los diferentes índices para deducir los procesos de la fragmentación y ecología del paisaje.
2. Que en el análisis de la ecología del paisaje es necesario el análisis multitemporal, puesto que un índice de una sola fecha no da información sobre los procesos del paisaje.

En relación a los procesos de transformación se observó una tendencia a la desgaste y disección de las cubiertas vegetales primarias y a una agregación del chaparral, producto del cambio de estas cubiertas por efecto directo de los incendios ocurridos en la zona de estudio, tendiendo a un remplazo gradual hacia esta comunidad. Las categorías de Bogaert *et al.* (2004) expresaron acertadamente los procesos espaciales de la transformación del paisaje, siendo muy útiles para comprender precisamente las métricas e índices utilizados en el análisis de la ecología del paisaje.

El área de estudio alberga especies y/o comunidades de importancia ecológica, tal es el caso de los bosques de oyamel, comunidad compuesta casi exclusivamente por una especie protegida por la norma mexicana, los bosque de pino y mixtos que contienen una alta diversidad de especies, y las praderas subalpinas las cuales son relictos de las últimas glaciaciones y albergan gran cantidad de especies endémicas. El inventario florístico arrojó un total 488 especies y 17 subespecies, repartidas en 279 géneros y 75 familias, que representan el 66.8% de las especies del municipio, el 47.2% de las especies de la Sierra Madre Oriental y entre el 15 y 17% de las especies del estado, estos números muestran la alta importancia que tiene San Antonio Peña Nevada para la diversidad botánica de la región. Además se encontraron 40 especies endémicas (30 reportadas por McDonald, 1998 y 10 por la SEMARNAT (2010) y 15 especies con algún estatus de protección según la NOM-059-SEMARNAT 2010: 9 especies en protección especial, 4 amenazadas y 2 en peligro. La diversidad encontrada en la zona estudiada es alta en comparación a zonas similares del país, producto de la influencia de las zonas áridas, semiáridas y subtropicales

cercanas a la zona, que se unen a las especies de afinidad a climas templados existente en la Sierra San Antonio Peña Nevada.

Siendo el bosque de oyamel uno de los relictos en el noreste de México y la pradera subalpina un alberge para un gran número de especies endémicas, es necesario la protección oficial de estas comunidades, junto con las comunidades vegetales de bosque de pino y bosque mixto las cuales tienen la mayor diversidad de especies y a la vez presentan especies enlistadas con algún estatus de protección.

## RECOMENDACIONES

A continuación ponemos a su consideración las siguientes recomendaciones para estudios subsecuentes en la zona de estudio:

Proseguir con el inventario de flora, haciendo muestreos en las diferentes estaciones del año, debido a que el presente trabajo arrojó especies que no pudieron identificarse por carecer de estructuras necesarias para su identificación.

Caracterizar numéricamente a la comunidad de pradera subalpina y determinar el impacto de las actividades pecuarias que se realizan en esta.

Establecer parcelas permanentes de muestreo en las áreas incendiadas (nuevas y antiguas) para conocer a detalle el proceso de sucesión de las comunidades de montaña.

Realizar estudios comparativos del bosque de oyamel de la Sierra San Antonio Peña Nevada, contra las comunidades similares encontrados en La Viga, La Marta, El Potosí, El Viejo, La Encantada entre otras, para observar el estado general de esta comunidad en el estado.

Seguir el monitoreo del cambio de uso del suelo y vegetación, así como el análisis de fragmentación, para conocer mejor su dinámica y poder prever su la situación a futuro de las comunidades.

Analizar el impacto del proceso de fragmentación de las comunidades vegetales a nivel específico (flora y fauna que se desarrollan en ellas).

Proponer a la Sierra San Antonio Peña Nevada como Área Natural Protegida, por lo menos de índole Estatal, aunque es deseable de tipo Federal.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alanís F., G. J. 2004.** Florística de Nuevo León. En Luna, I.; J. J. Morrone y D. Espinosa. Eds. Biodiversidad de la sierra Madre Oriental. Las Prensas de la Ciencia. México, D.F. Pp. 243-258.
- Alanís – Rodríguez, E; O. Aguirre – Calderón; J. Jiménez –Pérez; M. Pando – Moreno, E. J. Treviño – Garza; R. Aranda – Ramos y P. Canizales V. 2010.** Efecto de la severidad del fuego sobre la regeneración asexual de especies leñosas de un ecosistema mixto (*Pinus – Quercus*) en el Parque Ecológico Chipinque, México. *Interciencia*. Vol. 35 (9):690-695.
- Aguilera B., F. 2010.** Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el área Metropolitana de Granada. *Anales de Geografía* 30(2): 9-29.
- Aguirre-Salado, C. A; J. R. Valdez-Lazalde, G. Ángeles-Pérez, H. M. de los Santos-Posadas, R. Happanen, A. I. Aguirre Salado. 2009.** Mapeo de carbón arbóreo en bosques manejados de *Pinus patula* en Hidalgo, México. *Agrociencia* 43:209-220.
- Antonio-Némiga, X., E. J. Treviño-Garza y E. Jurado-Ybarra. 2008.** Fragmentación forestal en la subcuenca del río Pílon: diagnóstico y prioridades. *Madera y Bosques* 14(3):5-23.
- Arriaga, L. 2009.** Implicaciones del cambio de uso de suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos: un enfoque multiescalar. *Investigaciones ambientales* 1(1): 6-16.
- Baca V., J. M. 2000.** Caracterización de la estructura vertical y horizontal en bosques de pino – encino. Tesis de maestría. FCF. UANL. 105 pp.
- Baguette M.; N. Schtickzelle. 2003.** Local population dynamics are important to the conservation of metapopulations in highly fragmented landscape. *Journal of Applied Ecology*. Vol. 40:404-412.
- Baker, C.; R. Lawrence; C. Montagne y D. Patten. 2006.** Mapping wetlands and riparian areas using LANDSAT ETM+ imagery and decision – tree – based models. *Wetlands*. 26(2): 465-474.
- Baltaxe, R. 1980.** The application of LANDSAT data to tropical forest survey. ONU. FAO. Pp. 122.
- Banda S., R. 1974.** Contribución al conocimiento de los encinos en el estado de Nuevo León. Tesis FCB. UANL. Monterrey, N.L. 55 pp.
- Beaman, H. J. y W. J. Andresen. 1966.** The vegetation, floristic and phytogeography of the summit of Cerro Potosí, México. *The American Midland Naturalist*. Vol. 75, N° 1:1-33.
- Bissonette, J. A. y I. Storch. 2002.** Fragmentation: Is the message clear?. *Conservation Ecology*. 6(2):14.
- Bocco, G., M. Mendoza y O. R. Maser. 2001.** La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de

deforestación. Investigaciones Geográficas, Instituto de Publicaciones Geográficas de la UNAM. Boletín 44:18-38.

**Bogaert, J., Ceulemans, R. y Salvador-Van Eysenrode, D. 2004.** Decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation. *Environmental Management*, 33, 1, 62-73.

**Bonifaz A., R. y G. Gómez R. 1996.** Estudio piloto CPAN-México. Boletín selper-México. N°36:14-25.

**Botequilha, A. y J. Ahern. 2002.** Applying landscape concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, n° 59, p 65-93.

**Botequilha, A.; J. Miller; J. Ahern; K. McGarigal. 2006.** Measuring landscapes. A planners' s handbook. Island Press. 272 pp.

**Brower, J. E., J. H. Zar y C. N. von Ende. 1990.** Field and Laboratory Methods for General Ecology. 3ª Edición. Wm. C. Brown Publishers. E.U.A. 273 pp.

**Burel, F. y J. Baudry. 2002.** Ecología del Paisaje. Conceptos, métodos y aplicaciones. Ed. Mundi-Prensa. España. 353 pp.

**Campbell, J. B. 1996.** Introduction to Remote Sensing. 2ª Edición. The Guilford Press. New Cork. 622 pp.

**Capó A., M. A. 1972.** Observaciones sobre la taxonomía y distribución de las coníferas de Nuevo León. Tesis. FCB. UANL. Mty.

**Campagna, M. 2006.** GIS for sustentable development. Taylor y Francis. Londres.

**Carneiro, C. M. R. 1978.** Forest cover mapping from LANDSAT –MSS data by analogue and computer assisted techniques in the federal Republic of Germany. Dissertation, Forstwissenschaftliche Fakultät, Freiburg.

**Carnevale, N.J.; C. Alzugaray y N. Di Leo. 2007.** Estudio de la deforestación en la Cuña Boscosa Santafesina mediante teledetección especial. Quebracho. Revista de Ciencias Forestales. 14:47-56.

**Carrera G., E. y G. de la Fuente L. 2003.** Inventario y Clasificación de Humedales en México, Parte 1. Ducks Unlimited de México A.C. México. 237 pp.

**Carrera G., E.; G de la Fuente L.; A. Moreno T. y J. L. Sánchez R. 2007a.** Inventario y clasificación de humedales de Chiapas. Resúmenes de la Reunión Nacional SELPER - Capítulo México. Monterrey, N.L.

**Carrera G., E.; G de la Fuente L.; J. L. Sánchez R. y A. Moreno T. 2007b.** Inventario y clasificación de humedales de México. Resúmenes de la Reunión Nacional SELPER - Capítulo México. Monterrey, N.L.

**Carrera G., E.; G de la Fuente L.; A. Moreno T. y O. A. Leal-Nares. 2010.** Inventario y clasificación de humedales en México. Memoria del XIV Simposio Internacional SELPER. Guanajuato, México.

**Chase, M. W. y Reveal, J. L. 2009.** A phylogenetic classification of the land plants to accompany APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161, 122–127.

- Crrillo F., J. A. 2009.** Estructura y regeneración de *Pinus cembroides* subsp. *Orizabensis* D.K. Bailey en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. Tesis de Maestría. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. 64 pp.
- Carstensen, L.W. 1987.** A Measure of Similarity for Cellular Maps. *The American Cartographer*, 14, 4, 345-358.
- Caswell, H. 2001.** Matriz population models. Construction, analysis and interpretation. Sinauer, 722 pp.
- CETENAL. 1975** Carta Edafológica. F14A27 Miquihuana. Secretaría de Programación y Presupuesto. México.
- CETENAL. 1975.** Carta Geológica F14A27 Miquihuana. Secretaría de Programación y Presupuesto. México.
- CETENAL. 1977.** Carta Geológica F14A17 Zaragoza. Secretaría de Programación y Presupuesto. México.
- CETENAL. 1977.** Carta Geológica F14A18 Casas Reales. Secretaría de Programación y Presupuesto. México.
- CETENAL. 1977.** Carta de Uso del Suelo y Vegetación F14A18 Casas Reales. Secretaría de Programación y Presupuesto. México.
- CETENAL. 1977.** Carta de Uso del Suelo y Vegetación F14A27 Miquihuana. Secretaría de Programación y Presupuesto. México.
- CETENAL. 1978.** Carta Edafológica F14A17 Zaragoza. Secretaría de Programación y Presupuesto. México.
- CETENAL. 1978.** Carta Edafológica F14A18 Casa Reales. Secretaría de Programación y Presupuesto. México.
- CETENAL. 1978.** Carta de Uso del Suelo y Vegetación F14A17 Zaragoza. Secretaría de Programación y Presupuesto. México.
- CETENAL. 1979.** Carta topográfica F14A27 Miquihuana. Escala 1: 50000. 2ª. Ed. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. México.
- CETENAL. 1980.** Carta topográfica F14A17 Zaragoza. Escala 1: 50000. 2ª. Ed. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. México.
- Challenger, A. 1998.** Utilización y conservación de los ecosistemas Terrestres de México. Pasado, Presente y Futuro. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F.
- Chuvienco, E. 1990.** Fundamentos de Teledetección Espacial. Ed. RIALP S.A. Madrid. España. Pp. 450.
- Chuvienco, E. 1996.** Fundamentos de Teledetección Espacial; 3a Edición revisada; Ed. RIALP S.A.; Madrid, España.
- Chuvienco S., E. 2002.** Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. Ariel. España. 586 pp.
- Cody, M. L. 1985.** Habitat selection in birds. Academic Press. San Diego. 558 pp.

**Colditz, R. R.; P. Maeda; G. López; I. Cruz y R. Ressler. 2010.** La cobertura terrestre de México – un análisis espacial. Memoria del XIV Simposio Internacional SELPER. Guanajuato, México.

**Congalton, R. 1991.** A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 37: 35-46.

**Conroy, M. J. y B. R. Noon. 1996.** Mapping of species richness for conservation of biological diversity: conceptual and methodological issues. *Ecological Applications*. 6(3):767-773.

**Contreras-Medina, R.; I. Luna-Vega y C. A. Ríos-Muñoz. 2010.** Distribución de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México: Modelos ecológicos de nicho, efectos del cambio del uso del suelo y conservación. *Revista Chilena de Historia Natural* 83: 421-433

**Coppedge, B. R.; D. M. Engle; S. D. Fuhlendorf; R. E. Master y M.S. Gregory. 2001.** Landscape cover type and pattern dynamics in fragmented southern Great Plains grassland, USA. *Landscape Ecology*. 16:677-690.

**Correa R., J. B. 1996.** Evaluación y cuantificación de los cambios del uso del suelo mediante imágenes de satélite en los municipios de Linares y Hualahuis N.L. Tesis. FCF. UANL. 57 pp.

**Cortina V., S., P. Macario M. y Y. Ogneva-Himmelberger. 1999.** Cambios en el uso del suelo y deforestación en el sur de los estados de Campeche y Quintana Roo, México. *Investigaciones Geográficas*, Instituto de Publicaciones Geográficas de la UNAM. Boletín 38:41-56.

**Cruz C., R. 1969.** Contribución al conocimiento de la ecología de los pastizales del Valle de México. Tesis. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México, D. F. 235 pp.

**Cuevas-Guzmán, R.; E. A. Cisneros-Lepe, E. J. Jardel-Peláez, E. V. Sánchez-Rodríguez, L. Guzmán-Hernández, N. M. Núñez-López y C. Rodríguez-Guerrero. 2011.** Análisis estructural y de diversidad en los bosques de Abies de Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 82:1219-1233.

**Curran, P. 1980.** Remote sensing system for monitoring crops and vegetation. *Progress in Physical Geography*. Vol. 4:315-341.

**Cushman, S.A.; K. McGarigal y M. C. Neel. 2008.** Parsimony in landscape metrics: Strenht, universality and consistency. *Ecological Indicators* 8:691-703.

**Dale, M. R. T. 1999.** Spatial pattern analysis in plant ecology. Cambridge University Press, Cambridge. Pp. 326.

**Davidson, C. 1998.** Issues in measuring landscape fragmentation. *Wildlife Society Bulletin* 26:32–37.

**De Cola, L. 1989.** Fractal Analysis of a classified Landsat scene. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 55:601-610.

**De Jong, B. H. J. 2001.** Cambio de uso del suelo y flujos de carbono en los altos de Chiapas, México. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia – Chile.

- Díaz C., L. R. 1992.** Sistemas de información geográfica. UAEM., México. 381 pp.
- Díaz G., J. R.; G. García G.; O. Castillo A. e I. March M. 2001.** Uso del suelo y transformación de selvas en un ejido de la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche, México. Investigaciones Geográficas, boletín del instituto de Publicaciones Geográficas de la UNAM. Boletín 44:39-53.
- Dibari, J. 2007.** Evaluation of five landscape-level metrics for measuring the effects of urbanization on landscape structure: the case of Tucson, Arizona, USA. Landscape and Urban Planning, N° 79, p 308-313.
- Diéguez A., U; M. Barrio A., F. Castedo D., A. D. Ruiz G., M. F. Álvarez T., J. G. Álvarez G. y A. Rojo A. 2003.** Dendrometría. Fundación Conde del Valle de Salazar y Ediciones Mundi-Prensa. España. 325 pp.
- División de Desarrollo Sostenible. 1992.** Aplicación del programa 21: Examen de los adelantos realizados desde la conferencia de las naciones unidas sobre el medio ambiente y el desarrollo, 1992 Información presentada por el Gobierno de México ante la Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. Quinta Sesión del 7 al 25 de abril de 1997 Nueva York. Departamento de Coordinación de políticas y Desarrollo Sostenible. División de Desarrollo Sostenible.
- <http://www.un.org/dpcsd/earthsummit>
- Dupuy R., J. M.; J. A. González I.; S. Iriarte V.; L. M. Calvo I.; C. Estadas M.; F. Tun D.; A. Dorantes E. 2007.** Cambios de cobertura y uso del suelo (1979-2000) en dos comunidades rurales en el noroeste de Quintana Roo. Investigaciones Geográficas, boletín del instituto de Publicaciones Geográficas de la UNAM. Boletín 62:104-124.
- Encina-Domínguez, J. A.; F. J. Encina-Domínguez, E. Mata-Rocha y J. Valdes-Reyna. 2008.** Aspectos estructurales, composición florística y caracterización ecológica del bosque de oyamel de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. Bol.Soc.Bot.Méx. 83: 13-24
- Encina D., J. A.; A. Zárate L., E. Estrada C.; J. Valdés R. y J. A. Villarreal Q. 2009.** Composición y aspectos estructurales de los bosques de encino de la Sierra Zapalinamé, Coahuila, México. Act. Bot. Mex. 86:71-108
- Enkerlin H., E. C., R. A. Garza C. y C. Macías C. 1997.** Herramientas y alternativas para la sostenibilidad de los recursos naturales. En Enkerlin, E. C., G. Cano, R. A. Garza y E. Vogel. 1997. Ciencia ambiental y desarrollo sostenible. International Thompson Editores. México. Pp. 341-368.
- Eastman, J. R. 2006.** IDRISI Andes. Guía para SIG y procesamiento de imágenes. Clark Labs. Clark University. EUA. 303 pp.
- Evangelista O., V; J. López Blanco, J. Caballero N. y M. A. Martínez A. 2010.** Patrones espaciales de cambio de cobertura y uso del suelo en el área cafetalera de la sierra norte de Puebla. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Boletín 72:23-38.
- Fahsi, A. T. Tsegaye, W. Tadesse y T. Coleman. 2000.** Incorporation of digital elevations models with LANDSAT-TM data to improve land cover classifications

accuracy. *Forest Ecology and Management*. Vol. 128:57-64.

**Farjon, A. 2001.** World Checklist and Bibliography of Conifers. 2nd edition. The Royal Botanic Gardens, Kew.

**Farjon, A., y B. T. Styles. 1997.** *Pinus* (Pinaceae), Flora Neotropica Monograph 75. The New York Botanical Garden, New York, Bronx, EUA.

**Ferreira, N.C.; L. G. Ferreira; y A.R. Huete. 2010.** Assessing the response of the MODIS vegetation indices to landscape disturbance in the forested areas of the legal Brazilian Amazon. *International Journal of Remote Sensing*, 13(3):745-759.

**Figuroa-Jáuregui, M. L.; L. A. Ibáñez-Castillo, R. Arteaga-Ramírez, J. L. Arellano-Monterrosas y M. Vázquez-Peña. 2011.** Cambio de uso del suelo en la cuenca de San Cristóbal de las Casas, México. *Agrociencia* 45:531-544.

**Fiorella, M. y W. J. Ripple. 1993.** Analysis of conifer forest regeneration using LANDSAT Thematic Mapper data. *Photogrametric Engineering and Remote Sensing*. Pp. 1383-1388.

**Flores L., J. y G. Sánchez R. 1998.** Estudios del barreno del encino *Pantophthalmus roseni* (Enderlein) (Diptera: Panthophthalmidae) en la reserva de la Biosfera "El Cielo", Tamaulipas. *BIOTAM*. Vol. 10 (2): 1-6.

**Flores M., G., J. Jiménez L., X. Madrigal S., F. Moncayo R. y F. Takaki T. 1971.** Memoria del mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana. Secretaria de Recursos Hidráulicos. México D.F.

**Flores M., J. J.; C. Ibarra S.; R. M. González I.; S. G. Ortiz M.; N. N. Villa H.; C. B. Ramos S., O. G. Paz T. y S. Salazar H. 2012.** Contribución preliminar al conocimiento de la biodiversidad de las comunidades rurales en la Sierra Madre Oriental. En: Flores M., J. J.; A. Moreno T., M. A. García A., O. A. Leal. N., C. Ibarra S., R. M. González I., C. B. Ramos S. N. N. Villa H., O. G. Paz T., S. Salazar H. y S. G. Ortiz M. Biodiversidad y desarrollo rural en la Sierra Madre Oriental de Nuevo León, Pp. 67-105. Secretaría de Desarrollo Social - Especies Sociedad y Hábitat, A. C.

**Forman R. T. T. 1995.** Land mosaics: the ecology of landscape and regions. Cambridge University Press, Cambridge. Pp. 652.

**Forman, R. T. T., and M. Godron. 1986.** Landscape ecology. Wiley, New York. Pp. 640.

**Franco, F. L., G. De la Cruz A., A. Cruz G., A. Rocha R., N. Navarrete S., G. Flores D., E. Kato M., S. Sánchez C., L. G. Abarca A., C. M. Bedia S. 1991.** Manual de Ecología. 2ª Edición. Ed. Trillas. México. 266 pp.

**Franco M., S; H. H. Regil G.; C. González E. y G. Nava B. 2006.** Cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, México en el periodo 1972-2000. *Investigaciones Geográficas*, Instituto de Publicaciones Geográficas de la UNAM. Boletín 61:38-57.

**Franco M., S; H. H. Regil G. y J. A. B. Ordóñez D. 2006.** Dinámica de perturbación-recuperación de las zonas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca. *Madera y Bosques* 12(1):17-28.

- Freeman, R. E.; E. H. Stanley y M. G. Turner. 2003.** Analysis and conservation implications of landscape change in the Wisconsin River floodplains, USA. *Ecological Applications*. Vol.13(2):416-431.
- Frohn, R. C. 1998.** Remote Sensing for Landscape Ecology. *New Metric Indicators for Monitoring, Modeling and Assessment of Ecosystems*. Lewis Publisher. EAU. 99 pp.
- García A., A. y S. González E. 1991.** Flora y vegetación del cerro Potosí, Nuevo León. *Act. Bot. Mex.* 13:53-74.
- García A., M. A. 1996.** Análisis de la cubierta vegetal y propuesta para la zonificación ecológica del cerro “El Potosí”, Galeana Nuevo León, México. Tesis maestría. FCF. UANL. 93. pp.
- García A., M. A., E. J. Treviño G., C. M. Cantú A. y F. N. González S. 1999.** Zonificación ecológica del cerro “El Potosí”, Galeana N.L., México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del instituto de Publicaciones Geográficas de la UNAM*. Boletín 38:31-40.
- García-Aranda, M. A.; C. Cantú-Ayala, E. Estrada-Castrillón, M. Pando-Moreno y A. Moreno-Talamantes. 2012a.** Distribución actual y potencial de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México. *J. Bot. Res. Inst. Texas* 6(2): 585 – 596.
- García-Aranda, M. A.; E. Estrada-Castrillón, C. Cantú-Ayala y M. Pando-Moreno. 2012b.** Clasificación de nueve sitios de bosque mixto de coníferas con presencia de *Taxus globosa* en la Sierra Madre Oriental, Nuevo León. *Botanical Sciences* 90(1):53-62.
- García E., 1964.** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köeppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios, S.A., México 18, D.F.
- García M., T. J. y J. F. Mas. 2008.** Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso del suelo en el sureste de México. *Investigaciones Geográficas, Instituto de Publicaciones Geográficas de la UNAM*. Boletín 67:7-19.
- García R., G., B. Schmook y I. Espejel C. 2005.** Dinámica en el uso del suelo en tres ejidos cercanos a la ciudad de Chetumal, Quintana Roo. *Investigaciones Geográficas, Instituto de Publicaciones Geográficas de la UNAM*. Boletín 59:122-139.
- Gates, D. M. 1980.** *Biophysical Ecology*, Springer-Verlag, New York, 611 pp.
- Gkaraveli, A., J. H. Williams y J. E. G. Good. 2001.** Fragmented native woodlands in Snowdonia (UK): assessment and amelioration. *Forestry*. Vol. 74(2): 89-103.
- Gómez P., A. y C. Vázquez Y. 1976.** Estudios sobre la sucesión secundaria en los trópicos cálido-húmedos: el ciclo de vida de las especies secundarias. En *regeneración de selvas*. Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. CECSA. México, D.F. Pp 579-593.
- González-Elizondo, S., M. González-Elizondo, y A. Cortes O. 1993.** Vegetación de la Reserva de la Biosfera “La Michilia”, Durango, México. *Acta Botánica Mexicana* 22: 1-104.
- González M., R. G. 1995.** Modelos ecológicos de distribución de cobertura vegetal. Tesis maestría. ITSM. Monterrey, N.L., 94 pp.

- González, Q., L. 1974.** Tipos de vegetación de México. SEP. INAH. México, D.F.
- Gómez-Pompa, A. 1985.** Los recursos bióticos de México (Reflexiones). Alhambra Mexicana – INEREB. Xalapa, Ver.
- Graetz, R. D. y M. R. Gentle. 1982.** The relationships between reflectance in LANDSAT wavebands and composition of an Australian semi-arid shrub rangeland. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 55:1586-1587.
- Graham, R. L., C. T. Hunsaker y R. V. O'Neill. 1991.** Ecological Risk assessment at the regional scale. *Ecological Applications*. 1:196-206.
- Greig-Smith, P. 1983.** Quantitative plant ecology. University of California Press. Berkeley. Pp.
- Guevara C., A. M. 2009.** Análisis de fragmentación de los ecosistemas del Anticlinorio de Arteaga, Coahuila y Nuevo León. Tesis de maestría. ITSM. Monterrey, N.L., 147 pp.
- Guevara, J. A. 1991-1993.** Sistemas de Información Geográfica (GIS). Curso Introductorio. Servicios de Información Geográfica y Transferencia de Tecnología. GTT. Manual Inédito.
- Gurrutxafa S. V., M y P. J. Lozano V. 2008.** Ecología del paisaje. Un marco para el estudio integrado de la dinámica territorial y su incidencia en la vida silvestre. *Estudios Geográficos LXIX*, 265:519-543.
- Gustafson, E. J. y G. R. Parker. 1992.** Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial patterns. *Landscape Ecology*. 7:101-110.
- Hansen, E. M. y K. J. Lewis. 2003.** Plagas y enfermedades de las coníferas. The American Phytopathological Society. Ediciones Mundi-Prensa. México. 101 Pág.
- Harris, L. D. 1984.** The fragmented Forest: Island biogeographic theory and the preservation of biotic diversity. University of Chicago Press. Chicago. Pp.211.
- Hernández, I. U., E. A. Ellis y C. A. Gallo. 2013.** Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz. *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, 13:1-24
- Hill, M. J., P. J. Vickery, E. P. Furnival y G. E. Donald. 1999.** Pasture land cover in eastern Australia from NOAA-AVHRR NDVI and classified LANDSAT TM. *Remote Sens. Environ.* Vol. 67:32-50.
- Hill, M. O. 1973.** Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*. Vol. 54:427-432.
- Hinton, J., G. S. Hinton. 1995.** Hinton's Collections from South-Central Nuevo León and adjacent Coahuila. *Acta Botánica Mexicana*. 30:41-112.
- Hinton, G. S. 2006.** Consulta de base de datos del "Herbarium of Geo. B. Hinton". Inédito.
- Holben B. y C. Justice, 1980.** Topographic effect on spectral response from nadir-pointing sensors, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 46, (9) : 1191
- Hord, R. Michael. 1982.** Digital Image Processing of Remotely Sensed Data. New York:

Academic Press.

**Horn, H S. 1966.** Measurement of "overlap" in comparative ecological studies. *Amer. Naturalist* 100:419-24.

**Horning, N.; J. A. Robinson; E. J. Sterling; W. Turner y S. Spector. 2010.** Remote sensing for ecology and conservation. A handbook techniques. Oxford University Press. New York. USA. 775 pp.

**Huete, A. R. 1988.** A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. 25(3): 295-309.

**Huete, A.; H. Q. Liu; K. Batchily; W. van Leeuwen. 1997.** A comparasion of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*. 59(3): 440-451.

**Hugie, D. M. y T. C. Grand. 1998.** Movement between patches, unequal competitors and the ideal free distribution. *Evolutionary Ecology* Vol. 12:1-19.

**Ibarra Z., E y G. Galindo M. 2010.** Diagnostico espacio temporal de la dinámica del uso de suelo en la Reseva de la Biosfera Sierra Abra Tanchipa, Huasteca potosina. Memoria del XIV Simposio Internacional SELPER. Guanajuato, México.

**INEGI. 1981.** Manual para la elaboración de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación Escala 1:250 000. Inédito. DGG. Depto. de Uso del Suelo y Vegetación. Ags, Ags.

**INEGI, 1985.** Carta Hilológica de Aguas Superficiales F14-2 Cd. Victoria. Escala 1:250000.

**INEGI, 1986.** Carta Climas México. Escala 1:1000000.

**INEGI, 1986.** Carta Geológica F14-2 Cd. Victoria. Escala 1:250000.

**INEGI, 1986.** Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags.

**INEGI, 1990.** Guías para la Interpretación de Cartografía. Uso del Suelo. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags.

**International Code of Botanical Nomenclature (Vienna Code). 2006.** Publicado en internet, <http://ibot.sav.sk/icbn/main.htm> (accesado Enero de 2012)

**Ivars C., A. y C. Vega-García. 2008.** Ejemplo teórico de aplicación de las herramientas de la ecología del paisaje en la ordenación por rodales en La Cerdaña. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 27:87-97.

**Jan, M. 2009.** GIS and remote sensing techniques. A case study of a developing urban center. Himanshu Publications. 411 pp.

**Jiménez, J., O. Aguirre, E. Treviño, E. Jurado y M. González. 1999.** Patrones de desarrollo en un ecosistema de *Pinus culminicola* y *P. hartwegii*. *Revista Ciencia-UANL* II(2): 149-154

**Jensen, J. R. 1996.** Introductory digital image processing: A remote sensing perspective. 2a Edición. Ed. Englewood Cliffs – Prentice-Hall.

**Johson, P. S.; S.R. Shifley y R. Roger. 2002.** The ecology and silviculture of oaks. CABI

Publishing. Nueva York. 503 pp.

**Kauffman, J. B. 1990.** Ecological relationships of vegetation and fires in Pacific Northwest Forest. En Walstad, J.D.; S.R. Radosevich y D.V. Sandberg (Eds.). Natural and prescribed FIRE in Pacific Northwest Forest. Oregon State University Press. Corvallis, Ore. Pp. 39-52

**Kent, M. 2007.** Biogeography and landscape ecology. *Progress in Physical Geography* 9:345-355.

**Kim, Y.; A. R. Huete; T. Miura; y Z. Y. Jiang. 2010.** Spectral compatibility of vegetation indices across sensors: band decomposition analysis with Hyperion data. *Journal of Applied Remote Sensing*, 4:043520.

**Kimmins, J.P. 1987.** Forest ecology. Macmillan, NY. 531 pp.

**Kolasa, J., y C. D. Rollo. 1991.** Introduction: The heterogeneity of heterogeneity: a glossary. Pages 1-23 In J. Kolasa and S. T. A. Pickett, eds., *Ecological Heterogeneity*. Springer-Verlag, New York.

**Krummel, J. R.; R. H. Gardner; G. Sugihara; R. V. O'Neill y P. R. Coleman. 1987.** Landscape patterns in a disturbed environment. *Oikos* 48:31-324.

**Lacaux, J.P.; Y. M. Tourre, C. Vignolles; J. A. Nidione y M. Lafaye. 2007.** Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal. *Remote Sensing of Environment*. 106: 66-74.

**Lam, N. S. N. 1990.** Description and measurement of Landsat TM images using fractal. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 56:187-195.

**Lamberson, R., B. R. Noon, C. Voss, K. S. Mckelvey. 1993.** Reserve design for territorial species: the effects of patch size and spacing on the viability of the Northern Spotted Owl. *Conservation Biology*. Vol. 8(1):185-195.

**Lawrence, H.M.G. 1951.** Taxonomy of Vascular plants. Mac Millan Co. New York

**Leopold, A. S. 1950.** Vegetation zones of México. *Ecology*. Vol. 31 N° 4:507-518.

**Lewis, D. M. 1995.** Importance of GIS to community-based management of wildlife: lessons from Zambia. *Ecological applications*. Vol. 5(4):861-871.

**Li, H. y J. F. Reynolds. 1993.** A new contagion index to quantify spatial patterns of landscapes. *Landscape Ecology*. 8:155-162.

**Lillesand, T. M.; R. W. Keifer. 1999.** Remote sensing and image interpretation. 4 Edición. John Wiley and Sons. EUA. Pp. 736.

**Lonard, R. I., F. W. Judd, J. H. Everitt, D. E. Escobar, M. R. Davis, M. M. Crawford y M. D. Desai. 2000.** Evaluation of color-infrared photography for distinguishing annual changes in riparian forest vegetation of the lower Rio Grande in Texas. *Forest Ecology and Management*. Vol. 128:75-81.

**López V., V. H. y W. Plata R. 2009.** Análisis de los cambios de cobertura de suelo derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2000. *Investigaciones Geográficas*, Instituto de Publicaciones Geográficas de la UNAM. Boletín 68:85-101.

- Lozano, G. D. 1981.** Percepción remota de la vegetación de la zona árida Poblano-veracruzana. México. Arid land resource inventories: Developing cost-efficient methods. USDA. Pp. 273-278.
- Luck, M. y J. Wu. 2002.** A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA. *Landscape Ecology*. Vol. 17:327-339.
- Luna-Cavazos, M.; A. Romero-Manzanares y E. García-Moya. 2008.** Afinidades en la flora genérica de piñonares del norte y centro de México: un análisis fenético. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 449- 458, 2008
- MacArthur, R. H. y E. O. Wilson, 1967.** The theory of island biogeography. Princeton University Press. Pp. 224.
- MacArthur, R. H. y J. W. MacArthur. 1961.** On bird species diversity. *Ecology* 42:597-598.
- McDonald, J. A. 1993.** Phytogeography and history of the alpine-subalpine flora of northeastern Mexico. In: *Biological diversity of Mexico: origins and distribution* (T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, and J. Fa, Eds.). Oxford: Oxford University Press.
- Madrigal S., X. 1967.** Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de oyamel (*Abies religiosa* (HBK.) Schl. & Cham.) en el Valle de México. *Inst. Nac. Invest. Forest. Bol. Tecn.* 18. México, D.F. 94 pp.
- Magurran, A. E. 1988.** Ecological diversity and its measurement. Princeton Univ. Press, Princeton, New Jersey. Pp.179.
- Malczewski, J. 1999.** GIS and multicriterio decision analysis. John & Wiley Sons, Inc. USA.
- Márquez D., J. 2007.** Estimación de carbon arbóreo por medio de imágenes del satélite spot en la region de Tlaxco, Tlaxcala. Tesis. Universidad Autónoma de Chapingo. División de Ciencias Forestales. Pp. 67.
- Márquez L., M. A.; E. Jurado y C. López G. 2005.** Efecto del fuego en el establecimiento de *Arctostaphylos pungens* HBK., en ecosistemas templados semihúmedos de Durango, México. *Maderas y Bosques* Vol. 11 (2):35-48.
- Márquez-Linares, M. A., E. J. Treviño G. y E. Jurado. 2005.** Remplazo de áreas arboladas por chaparrales y comunidades herbáceas en el período 1970-2000 en una microcuenca de Durango. México. *Investigaciones Geográficas*, Instituto de Publicaciones Geográficas de la UNAM. Boletín 58:54-65.
- Marina R., D.; S. Carina B.; I. Velasco; A. Burés y M. Marino. 2010.** Evaluación de zonas inundadas en la pampa húmeda con datos del sensor MODIS /TERRA. Memoria del XIV Simposio Internacional SELPER. Guanajuato, México.
- Margules, C. R. y A. O. Nichols. 1988.** Selecting networks of reserves to maximize biological diversity. *Biol. Conserv.* 21:79-109.
- Martín, R. E. 1976.** Prescribed burning for site preparation in the land northwest. En Baumgartner, D.M. y R. J. Boyd (Eds.). *Tree planting in the inland northwest*. Washington State University.
- Martínez A., J. V. 2013.** Plantas asociadas a los bosques de *Abies guatemalensis*

(Pinaceae) del occidente de Guatemala. *Rev. Biol. Trop (Int. J. Trop.)* Vol. 61(1)321-333.

**Martínez, M. 1939.** Las Pináceas Mexicanas. Secretaria de Agricultura y Ganadería. Subsecretaria de Recursos Forestales y de Caza. México.

**Martínez, M. 1953.** Las Pináceas Mexicanas. Secretaria de Agricultura y Ganadería. Subsecretaria de Recursos Forestales y de Caza. México.

**Mas, J. F. 2000.** Deforestación y fragmentación forestal en la región de la laguna de términos, Campeche: un análisis del período 1974-91. Resúmenes del IX Simposio Latinoamericano de Percepción Remota. SELPER. Argentina.

**Mas, J. F. y A. Flamenco S. 2010.** Simulación de los cambios de cobertura / uso del suelo en la selva El Ocote, Chiapas, México. Memoria del XIV Simposio Internacional SELPER. Guanajuato, México.

**Mas, J.F. y A. Flamenco S. 2011.** Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. *GeoTropico*, NS 5 (1), Artículo 1: 1-24. [http://www.geotropico.org/NS\\_5\\_1\\_Mas-Flamenco.pdf](http://www.geotropico.org/NS_5_1_Mas-Flamenco.pdf) (accesado Junio de 2012).

**Mas, J. F.; V. Sorani y R. Álvarez. 1996.** Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, Instituto de Publicaciones Geográficas de la UNAM. Boletín 38:43-57.

**Masera, O.; M. de J. Ordoñez y R. Dirzo. 1992.** Carbon emission from deforestation in México. Current situation and long-term scenarios. Environmental Protection Agency y Lawrence Berkeley Laboratory, University of California. Berkeley.

**McDaniel, R. K. y R. H. Hass. 1982.** Assessing mesquite-grass vegetation condition from LANDSAT. *Photogrametric Engineering and Remote Sensing*. Vol 48, N°3:441-450.

**McDonald, J. A. 1993.** Phytogeography and history of the alpine-subalpine flora of northeastern Mexico. In: *Biological diversity of Mexico: origins and distribution* (T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, and J. Fa, Eds.). Oxford: Oxford University Press.

**McDonal, J. A. 1998.** Fitogeografía e historia de la flora alpina y subalpina del noreste de México. En Ramamoorthy T. P., R. Bye, A. Lot, J. Fa. *Diversidad Biológica de México. Orígenes y distribución*. Pp. 665-685.

**McFeeters S K. 1996.** The use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7): 1425-1432. Martinez,

**McGarigal, K. 2002.** Landscape pattern metrics. In A. H. El-Shaarawi and W. W. Piegorsch, eds. *Encyclopedia of Environ metrics*. John Wiley & Sons, Sussex, Inglaterra. Volume 2: 1135-1142.

**McGarigal, K.; B. J. Marks. 1995.** FRAGSTAT, Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Version 2.0. USDA Forest Service General Technical Report.1 PNW-351

**Milne B. T. 1991.** Lessons from applying fractal models to landscape patterns. En *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. Turner M. G. y R. H. Gardner. Springer-Verlag. New York. Pp. 77-103.

**Mickel J. T. y A. R. Smith 2004.** The Pteridophytes of Mexico. Memoirs of the New York Botanical Garden. NYBG press. 1054 pp.

**Miranda M., A; F. Mora y A. López C: 2007.** Evaluación de la cobertura foliar a través de percepción remota en ecosistemas tropicales, en la selva Lacandona de Chiapas, México. Resúmenes de la Reunión Nacional SELPER - Capítulo México. Monterrey, N.L.

**Moreno, H. 1970.** Plagas Forestales Comunes. Subsecretaría Forestal y de Fauna. México. Pp. 55.

**Moreno T., A. 2007.** Cambio de la cubierta vegetal y sus procesos espaciales de transformación en la Sierra San Antonio Peña Nevada, Zaragoza, Nuevo León. Resúmenes de la Reunión Nacional SELPER - Capítulo México. Monterrey, N.L.

**Moreno T., A. 2010.** Servidor de mapas del inventario y clasificación de humedales de Ducks Unlimited de México, A. C. Convención Nacional de Geografía y Medio Ambiente 2010. Mesa de Software Libre.

**Moreno T., A.; M. E. Perales G., A. J. Moreno T., D. López G., J. J. Flores M., 2012.** Análisis del cambio de vegetación y fragmentación en la Cuenca de Burgos 2003 – 2011. Reporte Técnico. Facultad de Ciencias Forestales, UANL.

**Moreno T., A.; M. E. Perales G., A. J. Moreno T., D. López G., J. J. Flores M., 2013.** Análisis del cambio de vegetación y fragmentación en la Cuenca de Burgos 2003 – 2012. Reporte Técnico. Facultad de Ciencias Forestales, UANL.

**Moreno T., A. y M. A. García A. 2012.** Cambio de uso de suelo y captura de carbono en la Sierra Madre Oriental. En: Flores M., J. J.; A. Moreno T., M. A. García A., O. A. Leal. N., C. Ibarra S., R. M. González I., C. B. Ramos S. N. N. Villa H., O. Gehú P, S. Salazar H. y S. G. Ortiz M. Biodiversidad y desarrollo rural en la Sierra Madre Oriental de Nuevo León, Pp. 67-105. Secretaría de Desarrollo Social - Especies Sociedad y Hábitat, A. C.

**Müller, C. H. 1939.** Relations of the vegetation and climate types in Nuevo León, México. Amer. Midl. Nat. 21:267-729.

**Navarro P., S; A. Chávez H.; R. Villavicencio G.; H. Gómez S.; J. Gallardo V. y J. P. Corona. 1999.** Unidades ambientales del parque nacional Nevado de Colima y su área de influencia. Diagnóstico.  
<http://semades.jalisco.gob.mx/site/moet/Ventanas/historiaP3.htm>

**Nacimiento, J. R. 1991.** Discutido números do desmatamiento. Interciencia. Vol. 16:5:232-239.

**Neet M. C.; K. McGarigal y S. A. Cushman. 2004.** Behavior of class-level landscape metrics across gradients of class aggregation area. Landscape Ecology 19:435-455.

**Nieto P., C. 1984.** El oyamel. Comunicado Num.69 sobre recursos bióticos potenciales del país. INEREB. Xalapa.

**Novo; E. M. L. M. 1989.** Sensoriamento Remoto, Princípios e Aplicações; 2a edição; Edit. Edgard Blücher Ltda., São Paulo, SP, Brasil.

**O'Neill R.V.; C.T. Hunsaker; K.B. Jones; K.H. Riitters; J.D. Wickham; P.M. Schwartz; I.A. Goodman; B.L. Jackson y W.S Baillargeon. 1997.** Monitoring

environmental quality at the landscape scale. *BioScience* 47: 513–519.

**O'Neill, R. V.; J. R. Krummel, R. H. Gardner, G. Sugihara, B. Jackson, D. L. DeAngelis, B. T. Milne, M. G. Turner, B. Zygmunt, S. W. Christensen, V. H. Dale y R. L. Graham. 1988.** Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*. Vol. 1(3):153-162.

**Ontiveros, M.; E. Martínez C.; G. Salinas de S. y C. Lizana. 2010.** Caracterización y zonificación de humedales de altura (vegas) en los Andes Centrales de Argentina. Memoria del XIV Simposio Internacional SELPER. Guanajuato, México.

**Ott, L., R. F. Larson; W. Mendenhall. 1983.** *Statistics: A Tool for the Social Sciences*. Boston: Duxbury Press.

**Ovando H., N.; E. Pérez S.; L.; Gama C; C. D. Rullán S.; A. Galindo A.; C. A. Berlanga R. 2010.** Análisis de las variaciones espacio – temporales de los humedales que conforman la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla, Tabasco, México. Memoria del XIV Simposio Internacional SELPER. Guanajuato, México.

**Patterson, T. F. 1988.** A new species of *Picea* (Pinaceae) from Nuevo León, México. *SIDA* 13:131-135.

**Paz P., F. M.; E. Palacios V., M. Bolaños G., L. A. Palacios S., M. Martínez M., E. Mejía S. y A. Huete. 2007.** Diseño del índice espectral de la vegetación: NDVICP. *Agrociencia* 41: 539-554.

**Paz-Pellat, F. M.; M. Bolaños-González, E. Palacios-Vélez, L. A. Palacios-Sánchez, M. Martínez-Menes y A. Huete. 2008.** Optimización del índice espectral de la vegetación NDVIcp. *Agrociencia* 42: 925-937.

**Paz-Pellat, F. M.; Alejandro-González, L. A. Palacios-Sánchez, F. Pascual-Ramírez, E. Medrano-Ruedaflores y F. Ibarra-Hernández. 2011.** Desarrollo de curvas espectrales de crecimiento anual de la vegetación, usando sensores remotos. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 2(4):445-464.

**Pincheira-Ulbrich, J.; J. R. Rau y F. Peña-Cortéz. 2009.** Tamaño y forma de fragmentos de bosque y su relación con la riqueza de especies de árboles y arbustos. *Phyton* 78:121-128.

**Pennington, T. D. y Sarukán, J. 1968.** Manual de campo para la identificación de los principales árboles tropicales de México (*Field Manual to Identify the Main Tropical Trees of Mexico*), INIF and FAO. México. 417 pp.

**Peña R., V. M. y C. Bonfil. 2003.** Efecto del fuego en la estructura poblacional y la regeneración de 2 especies de Encino (*Quercus liebmanii* Oerst y *Quercus magnoliifolia* Née) en la región de la Montaña (Guerrero), México. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 72:5-20.

**Peralta-Rivero, C.; C. Contreras, M. G. Galindo, J. C. Torrico, V. A. Vos. 2013.** Cambio de uso del suelo y proyectos forestales MDL y REDD en Riberalta, Amazonía Boliviana. *CienciaAgro* 2(4): 403-420.

**Perry Jr., J. P. 1991.** *The pines of México and Central America*. Timber Press. Portland, Ore. Pp. 231.

**Pierce, F. J. y D. Clay. 2007.** *GIS applications in agriculture*. CRC Press. 200 pp.

- Pijil, L. van Der. 1982.** Principles of dispersal in higher plants. Springer- Verlag. New York. 214 p.
- Pineda J., N. B., J. Bosque S., M. Gómez D. y W. Plata Rocha. 2009.** Análisis de cambio del uso del suelo en el estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. Investigaciones Geográficas, Instituto de Publicaciones Geográficas de la UNAM. Boletín 69:33-52.
- Pinedo, A. C., A. A. Pinedo, R. M. Quintana y S. M. Martínez 2007.** Análisis de áreas deforestadas en la región centro norte de la Sierra madre Occidental, Chihuahua, México. Tecnociencia Chihuahua Vol. 1, pp. 37-38.
- Price, R. A., A. Liston y S. H. Strauss. 1998.** Phylogeny and systematics of *Pinus*. En: M. D. Richardson (ed.) Ecology and Biogeography of *Pinus*. Cambridge University Press. UK. Pp 49-68.
- Plata V., C. E. J. Treviño G., G. Cuellar R y R. López-Aguillón. 2007.** Evaluación del cambio de uso del suelo en tres cuencas del Río San Juan, N.L. Resúmenes de la Reunión Nacional SELPER - Capítulo México.
- Ramírez R., I. 2001.** Cambios en las cubiertas del suelo en la Sierra de Angangueo, Michoacán y Estado de México, 1971-1994-2000. Investigaciones Geográficas, Instituto de Publicaciones Geográficas de la UNAM. Boletín 45:39-55.
- Rebertus A., J.; G. B. Williamson y E. B. Moser. 1989.** Longleaf pine pyrogenicity and turkey oak mortality in Florida xeric sandhills. Ecology 70:60-70.
- Rempel, R. S., D. Kaukinen, y A. P. Carr. 2012.** Patch Analyst and Patch Grid Ver. 4. Ontario Ministry of Natural Resources. Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario.
- Reyes H., H., M. Aguilar R., J. R. Aguirre R. y I. Trejo V. 2006.** Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1979-2000. Investigaciones Geográficas, Instituto de Publicaciones Geográficas de la UNAM. Boletín 59:26-42.
- Richards, J. A. 1986.** Remote Sensing Digital Image Analysis, Berlin: Springer-Verlag.
- Richards, J. A. 1993.** Remote Sensing. Digital Image Analysis. 2ª Edición, Berlin: Springer-Verlag. 280 pp.
- Richards, J. A. y X. Jia 1999.** Remote Sensing. Digital Image Analysis. 3ª Edición, Berlin: Springer-Verlag. 363 pp.
- Richard, J. F. 1975.** Paysages, ecosystems, environnement: une approche géographique. L'Espace Géographique 2:81-92.
- Richards, P. W. 1963.** Wath the topics can contribute to ecology. J. Ecol. 51:231-241.
- Risser, P. G., J. R. Karr, y R. T. T. Forman. 1984.** Landscape Ecology: Directions and Approaches. Illinois Natural History Survey, Special Publication 2, Champaign. 18 pp.
- Rhind, D. H. 1989.** GIS. Trends. ARC News, ESRI. Red Lands, California, Pp. 28-29.
- Rodríguez T., D. A. 1996.** Incendios Forestales. Ed. Mundi-Prensa. México.

**Rodríguez T., D. A.; M. Rodríguez A.; F. Fernández S. 2002.** Educación e Incendios Forestales. Ed. Mundi-Prensa. España.

**Rojas M., P. 1965.** Generalidades sobre la vegetación del estado de Nuevo León y datos acerca de su flora. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

**Rosa, R. 1992.** Introdução ao Sensoriamento Remoto; EDUFU; 2a Ed., Uberlândia, MG, Brasil.

**Rosenberg, D. K., B. R. Noon y E. C. Meslow. 1997.** Biological corridors: form, function and efficacy. *Bioscience* Vol. 47(10):677-687.

**Rosenfield, G. H., K. Rosenfield, G. H. y K. Fitzpatrick-Lins. 1986.** A Coefficient of Agreement as a Measure of Thematic Classification Accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52, 2, 223-227.

**Rosete V., F. A., J. L. Pérez D. y G. Bocco. 2008.** Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de baja California, México. *Investigaciones Geográficas*, Instituto de Publicaciones Geográficas de la UNAM. Boletín 67:39-58.

**Ruiz C., E.; J. M. Coronado B. y O. S. Escamilla G. 1997.** Insectos plaga de *Pinus cembroides* Zucc. y *P. nelsonii* Shaw en el sureste de Tamaulipas, México. *BIOTAM*. Vol. 8(2-3): 41-48.

**Rullán-Silva, C. D.; L. M. Gama-Campillo, A. Galindo-Alcántara y A. E. Olhoff. 2011.** Clasificación no supervisada de la región Sierra de Tabasco mediante imágenes de LANDSAT ETM+. *Universidad y Ciencia. Trópico Húmedo*. 27(1):33-41.

**Rzedowski, J. 1966.** Vegetación del Estado de San Luís Potosí. *Acta Cient. Potos.* 5:5-291.

**Rzedowski, J. 1978.** La Vegetación de México. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional.

**Rzedowski, J. 1991.** El endemismo en la flora fanerogámica mexicana: una apreciación analítica. *Acta. Bot. Méx.* 15:47-64.

**Rzedowski, J.; L. Vela G. y X. Madrigal S. 1977.** Algunas consideraciones acerca de los bosques de conífera en México. *Ciencia Forestal* 2(5):25-35.

**Saiz H., J. A., C. Watts y M. N. Ramos M. 1996.** Caracterización de la vegetación de una cuenca en el noroeste de México mediante imágenes AVHRR de los satélites NOAA. *Investigaciones Geográficas*. Boletín del instituto de Geografía. N° esp. 5:27-34.

**Salazar C., E. C., J. Zavala Cruz, O. Castillo A. y R. Cámara A. 2004.** Evaluación espacial y temporal de la vegetación de la Sierra Madrigal, tabasco, México (1973-2003). *Investigaciones Geográficas*, Instituto de Publicaciones Geográficas de la UNAM. Boletín 54:7-23.

**Sánchez G., A. 2008.** Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques* 14(1):107-120.

**Sánchez-González, A.; L. López-Mata, H. Vibrans. 2006.** Composición y patrones de distribución geográfica de la flora del bosque de oyamel del Cerro Tláloc, México. *Bol.*

Soc. Bot. Méx. 79:67-78.

**Sánchez-Velásquez, L. R.; M del R. Pineda-López y A. Hernández-Martínez. 1991.** Distribución y estructura de la población de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. Et Cham., en el Cofre de Perote, Estado de Veracruz, México. Act. Bot. Méx. 16:45-55.

**SARH. 1994.** Inventario Nacional Forestal Periódico. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México.

**Sariñana F., R. A. 1999.** Análisis de la fitodiversidad del estrato fisionómicamente dominante de 15 tipos de vegetación de Nuevo León, México. Tesis. FCF. UANL. Pp. 87

**Saunders, D., R. J. Hobbs y C. R. Margules. 1991.** Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. Conserv. Biol. 5:18-32.

**Sausen, T. M., J. Borges E., E. Miglioranza y G. Kuntschik. 1997.** Proyecto Educa SeRe I - Cuadernos Didácticos para la Enseñanza de Percepción Remota. Sociedad Latino Americana de Percepción Remota y Sistemas de Informaciones Espaciales (SELPER). Brasil. <http://www.ltid.inpe.br/selper/image/espanhol/landsat1.html>

**Scott, J. M., F. Davis, B. Csuti, R. Noss, B. Butterfield, C. Groves, H. Anderson, S. Caicco, F. D'Erchia, T. C. Edwards, J. Uliman y G. R. Wright. 1993.** Gap analysis: a geographic approach to protection of biological diversity. Wildlife Monographs. 123(11):1-41.

**SEDESOL. 2000.** Guía metodológica para el análisis y la caracterización de los subsistemas natural, social y económico. Versión interinstitucional (SEMARNAP-SEDESOL-CONAPO-INEGI), aprobada por el grupo interinstitucional de Ordenamiento Territorial, México.

**SELPER. 1987.** Diccionario SELPER. Sociedad Latino Americana de Percepción Remota y Sistemas de Informaciones Espaciales (SELPER). Brasil.

**Sellers, P. J. 1985.** Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration. International Journal of Remote Sensing. 6:1335-1372.

**SEMARNAP. 2000.** Texto Guía Forestal. Subsecretaría de Recursos Naturales, Dirección General Forestal-SEMARNAP. México, D.F., 150 p.

**SEMARNAT. 2002.** Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Federalización y Descentralización de Servicios Forestales y de Suelo. México.

**SEMARNAT. 2009.** El Medio Ambiente en México 2009: en Resumen. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales México. [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/resumen\\_2009/index.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/resumen_2009/index.html)

**SEMARNAT. 2010.** Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010, Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. 30 de diciembre de 2010. Segunda sección.

**Senay, G. B. y R. L. Elliott. 2000.** Combining AVHRR-NDVI and landuse data to describe temporal and spatial dynamics of vegetation. Forest Ecology and Management. Vol. 128:83-91.

**Schowengerdt, R. A. 2007.** Remote sensing. Models and methods for image processing. Tercera edición. Academic Press. Elsevier. USA. 254 pp.

**Shrestha, P. D. 1989.** Remote sensing techniques for land cover and land-use analyses. Remote sensing applications to land resources. Report of the 14<sup>th</sup>. UN/FAO International Training Courses in cooperation with the Government of Italy. Roma, Italy. Pp. 133-143.

**Simpson, J. W.; R. E. J. Boener, M. N. DeMers y L.A. Berns. 1994.** Forty-eight years of landscape change on two contiguous Ohio landscapes. Landscape Ecology. Vol. 9(4): 261-270.

**Solís M., R.; E. J. Treviño G.; O. A. Aguirre C.; J. Jiménez P. y E. Jurado Y. 2006.** Análisis de la cubierta vegetal de la cuenca alta del Río Nazas en Durango, México. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente. 12(002):139-143.

**SPRING. 2004.** SPRING: Tutorial de Geoprocessamento.

<http://www.dpi.inpe.br/spring/espanol/tutorial/index.html>

**Stanfield, B. J., J. C. Bliss y T. A. Spies. 2002.** Land ownership and landscape structure: a spatial analysis of sixty-six Oregon (USA) Coast Range watersheds. Landscape Ecology. Vol. 17: 685-697.

**Suzán A., H.** Estructura de un bosque de *Pinus nelsonii* Shaw en Tamaulipas. BIOTAM. Vol.1(4):29-35.

**Swain, Philip H., y Shirley M. Davis. 1978.** Remote Sensing: The Quantitative Approach. New York: McGraw Hill Book Company.

**Takhtajan, A. 1986.** Floristic regions of the World. University of California Press. Los Angeles.

**The Angiosperm Phylogeny Group. 2009.** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. Botanical Journal of the Linnean Society, 161, 105–121.

**The International Plant Names Index. 2012.** Publicado en Internet; <http://www.ipni.org> (accesado enero de 2012)

**The Plant List. 2010.** Version 1. Publicado en Internet; <http://www.theplantlist.org/> (accesado diciembre de 2011).

**Toledo, V. M. 1988.** La diversidad biológica de México. Ciencia y Desarrollo. XIV (81):17-30.

**Trejo, I. y J. Hernández. 1996.** Identificación de la selva baja caducifolia en el estado de Morelos, México, mediante imágenes de satélite. Investigaciones Geográficas. Boletín del instituto de Geografía. N° esp. 5:11-18.

**Treviño G., E. J. 1984.** Contribución al conocimiento de la vegetación del municipio de General Zaragoza, Nuevo León, México. Tesis. FCB. UANL. Pp. 60.

**Treviño G., E. J. 1992.** Aplicación de imágenes de satélite en la cartografía de la vegetación como ejemplo un área de la región “Sierra Madre Oriental” en el noreste de México. Tesis Doctoral. FCF. UANL. 122.

- Treviño G., E. J. 1994.** Cartografía de la vegetación de una porción de la Sierra Madre Oriental utilizando el procesamiento digital de imágenes de satélite. Memorias del II Congreso Latinoamericano en aplicaciones en cartografía digital, percepción remota y sistemas de información geográfica. Aguascalientes, Ags.
- Treviño G., E. J.; A. Akça, J. Navar, J. Jiménez y O. Aguirre. 1996.** Detection of land use change by satellite imagery in the municipality of Linares, Nuevo León, México. Memorias del V Conferencia Internacional sobre desertificación. Lubbock Tx.
- Treviño G., E. J.; J. Jiménez P. y O. Aguirre C. 2000.** Evaluación de las superficies incendiadas en el sur de Nuevo León susceptibles a restauración. Resúmenes del IX Simposio Latinoamericano de Percepción Remota. SELPER. Argentina.
- Troll, C. 1939.** Luftbildplan und ökologische. Bodenforschung. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. Pp. 241-298.
- Tucker, C. J.; P. J. Sellers. 1986.** Satellite remote sensing of primary production. International Journal of Remote Sensing. 7:1395-1426.
- Turner, M. G. 1989.** Landscape Ecology: The Effect of Pattern on Process. Ann. Rev. Ecol. Syst. 20:171-197.
- Turner, M. G. 1990a.** Spatial and Temporal analysis of landscape pattern. Landscape Ecology. Vol. 3: 153-162.
- Turner, M. G. 1990b.** Landscape change in nine rural counties of Georgia. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 56:379-386.
- Turner, M. G. y C. L. Ruscher. 1988.** Changes in landscape patterns in Georgia, USA. Landscape Ecology. Vol. 1: 241-251.
- Turner, M. G. y R. H. Gardner. 1991.** Quantitative methods in landscape ecology. Springer-Verlag. New York.
- Turner, M. G.; R. V. O'Neill; R. H. Gardner y B. T. Milne. 1989.** Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. Landscape Ecology. Vol. 3(3/4): 153-162.
- Valenzuela, C. R. 1989.** Introducción a Sistemas de Información Geográfica. Manual Inédito.
- Valdez T., V. 2002.** Desarrollo de estrategias para la preservación de la diversidad biológica del municipio de Santiago, N.L., México. Tesis Doctoral. FCB. UANL. 286 Pag.
- Varma, V. K., I. Ferguson, I. Wild. 2000.** Decision support system for the sustainable forest management. Forest Ecology and Management. Vol. 128:83-49-55.
- Vega G., A.; J. López-García y L. L. Manzo D. 2008.** Análisis espectral y visual de vegetación y uso del suelo con imágenes LANDSAT ETM+ con apoyo de fotografías aéreas digitales en el Corredor Biológico Chichinautzin, Morelos México. Investigaciones Geográficas, boletín del instituto de Publicaciones Geográficas de la UNAM. Boletín 38:43-57.
- Vela C., P.; G Requena; S. Casas y F Lozano. 2007.** Cambio de la cobertura del suelo 1976-2000 en la región Cuenca de Burgos. Resúmenes de la Reunión Nacional SELPER

- Capítulo México. Monterrey, N.L.

**Vela C., P y F. Lozano. 2007.** Análisis del cambio de áreas con vegetación secundaria en la región Cuenca de Burgos. Resúmenes de la Reunión Nacional SELPER - Capítulo México.

**Velásquez, A. 1992.** Landscape ecology-vegetation map of Tlálloc and Pelado volcanoes, México. ITC Journal, N°3:213-227.

**Velazco M., C. G. 2009.** Flora del estado de Nuevo León, México: Diversidad y análisis espacio temporal. Tesis Doctoral. FCB. UANL. 272 pp.

**Vélez M., R. 2000.** La defensa contra incendios forestales. McGraw-Hill/ Interamericana de España, S.A.U. Madrid. España.

**Vickery, M. L. 1987.** Ecología de plantas tropicales. LIMUSA, México D.F. 232 p.

**Vila S. J.; D. Varga L.; A. Llausa P.; A. Ribas P. 2006.** Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. Doc. Anal. Geogr. 48:151-166.

**Villarreal Q., J. A. y E. Estrada C. 2008.** Listados Florísticos de México. XXIV. Flora de Nuevo León. Instituto de Biología. UNAM. Pp. 14-15.

**Villavicencio G., R.; A. Gallegos R. y M. Dees. 2004.** Sistema combinado de monitoreo para el análisis estructural y de diversidad en áreas naturales protegidas. En: Aguirre-Bravo, C., Eds. 2004. Monitoring Science and Technology Symposium: Unifying Knowledge for Sustainability in the Western Hemisphere; 2004 September 20-24; Denver, CO. Proceedings RMRS-P-000. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

**Villegas P., R.; C. A. Muñoz R., O. Muñoz J., C. A. Gallo G. y J. L. Ponce R. 2011.** Tasa de cambio de uso del suelo en el Parque Nacional Pico de Orizaba, Veracruz, México en el periodo 2003-2011. Instituto de Ecología A. C. – CONANP. Reporte Técnico.

**Wickham, J. D. y K. H. Riitters. 1995.** Sensitivity of landscape metrics to pixel size. International Journal of Remote Sensing. 16:3585-3594.

**William C., E y W.C. Johnson. 1990.** Age structure and the maintenance of *Pinus pungens* in Pine-oak forest of southwestern Virginia. American Midland Naturalist. 124:130-141.

**Wilson, M. F. 1974.** Avian community organization and habitat structure. Ecology 55:1017-1029.

**With, K. A. 1999.** Is landscape connectivity necessary and sufficient for wildlife management?. En Forest Fragmentation: Wildlife and management implications. J. A. Rochelle, L. A. Lehman y J. Wisniewski, Editores. Brill. Pp. 97-115.

**Wiens, J. A. 1989.** Spatial scaling in ecology. Functional Ecol. 3:385-397.

**Xu, Han-qiu. 2005.** A study on information extraction of water body with the modified Normalized Difference Water Index (MNDWI). Journal of Remote Sensing, 9(5): 589-595.

**Yocom, L. L.; P. Z. Fulé; P. M. Brown; J.N. Cerano; J. Villanueva-Díaz; D.A. Falk y E. Cornejo- Oviedo. 2010.** El Niño-Southern Oscillation effect on a fire regime in

northeastern México has changed over time. *Ecology* 91(6):1660-1671

**Yoshioka, H.; T. Miura y K. Obata. 2012.** Derivation of Relationships between Spectral Vegetation Indices from Multiple Sensors Based on Vegetation Isolines. *Remote Sens.* Vol. 4: 583-597

**Zapata A., B. y J. A. Anaya A. 2011.** Los sensores Remotos en los proyectos de Mitigación de Gases de efectos invernaderos. Universidad del Valle. Entorno Geográfico No 7-8. 66-83.

**Zarco-Tejada, P. J.; J. R. Miller; T. L. Noland; H. Mohammed G. H y P. H. Sampson. 1999.** Utilización de modelos de reflectancia como nexo entre muestreos foliares y la cobertura forestal: aplicación a datos hiperespectrales. *Revista Española de Teledetección.* 12:21-32.

**Zavala Ch., F. 2000.** El Fuego y la presencia de encinos. *Ciencia Ergo Sum* Vol. 7(3): 269-276.

**Zepeda G., C.; X. A. Nemiga, A. Lot H. y D. Madrigal U. 2012** Análisis del cambio del uso del suelo en las Ciénegas de Lerma (1973-2008) y su impacto en la vegetación acuática. *Investigaciones Geográficas, boletín del instituto de Geografía, UNAM.* Boletín 78:48-61.

## ANEXO A

Tabla 41 Familias, número de géneros, especies y subespecies encontrados en el área de estudio.

Familia	Géneros	Especies	Sub.	Familia	Géneros	Especies	Sub.
Asteraceae	43	82	1	Polypodiaceae	2	3	
Poaceae	27	48		Acanthaceae	2	2	
Fabaceae	21	35	7	Gentianaceae	2	2	
Rosaceae	11	17	2	Primulaceae	2	2	1
Cactaceae	10	18		Salicaceae	2	2	
Lamiaceae	9	21		Verbenaceae	2	2	
Apiaceae	8	9		Fagaceae	1	12	
Brassicaceae	8	8		Oxalidaceae	1	4	2
Asparagaceae	6	16	1	Garryaceae	1	3	
Pteridaceae	6	14		Polygalaceae	1	3	
Solanaceae	6	9		Aspleniaceae	1	2	
Boraginaceae	6	7		Berberidaceae	1	2	
Ranunculaceae	5	9	1	Cyperaceae	1	2	
Rubiaceae	5	6		Grossulariaceae	1	2	
Caryophyllaceae	4	7		Iridaceae	1	2	
Apocynaceae	4	5		Linaceae	1	2	
Ericaceae	4	5		Adoxaceae	1	1	
Euphorbiaceae	3	11		Amaranthaceae	1	1	
Pinaceae	3	8		Amaryllidaceae	1	1	
Plantaginaceae	3	8		Celastraceae	1	1	
Caprifoliaceae	3	7		Cistaceae	1	1	
Commelinaceae	3	7		Hydrangeaceae	1	1	
Crassulaceae	3	7		Juglandaceae	1	1	
Orobanchaceae	3	6	1	Krameriaceae	1	1	
Bromeliaceae	3	4		Loranthaceae	1	1	
Convolvulaceae	3	3		Lythraceae	1	1	
Liliaceae	3	3		Oleaceae	1	1	
Ochidiaceae	3	3		Phytolaccaceae	1	1	
Polemoniaceae	3	3		Portulaccaceae	1	1	
Onagraceae	2	7		Rutaceae	1	1	
Boraginaceae	2	5		Saxifragaceae	1	1	
Cupressaceae	2	4		Scrophulariaceae	1	1	1
Rhamnaceae	2	4		Selaginellaceae	1	1	
Anacardiaceae	2	3		Smilacaceae	1	1	
Campanulaceae	2	3		Violaceae	1	1	
Geraniaceae	2	3		Xanthorrhoeaceae	1	1	
Lauraceae	2	3		Total general (74 Familias)	279	488	17
Papaveraceae	2	3					

Tabla 42 Listado florístico del área San Antonio Peña Nevada.

FAMILIA	NOMBRE	Autor	BA	BP	BM	BQ	ML	MDR	PSA	PI	McDonald (1993)	Non-059
Acanthaceae	Acanthaceae					X						
Acanthaceae	<i>Dyschoriste linearis</i>	(Torr. & A. Gray) Kuntze				X						
Pteridaceae	<i>Argyrochosma formosa</i>	(Liebm.) Windham		X	X					X		
Pteridaceae	<i>Cheilanthes alabamensis</i>	(Buckley) Kunze			X							
Pteridaceae	<i>Cheilanthes eatonii</i>	Baker		X								
Pteridaceae	<i>Cheilanthes tomentosa</i>	Link		X	X					X		
Pteridaceae	<i>Cheilanthes villosa</i>	Davenp. ex Maxon		X								
Pteridaceae	<i>Cystopteris fragilis</i>	(L.) Bernh.				X		X		X		
Pteridaceae	<i>Notholaena aschenborniana</i>	Klotzsch				X		X		X		
Pteridaceae	<i>Notholaena bryopoda</i>	Maxon				X		X		X		
Pteridaceae	<i>Pellaea atropurpurea</i>	(L.) Link	X	X								
Pteridaceae	<i>Pellaea intermedia</i>	Mett. ex Kuhn		X								
Pteridaceae	<i>Pellaea ternifolia</i>	(Cav.) Link		X								
Adoxaceae	<i>Sambucus canadensis</i>	L.		X								
Amaranthaceae	<i>Chenopodium vulvaria</i>	L.		X								
Amaryllidaceae	<i>Zephyranthes drummondii</i>	D.Don		X								
Anacardiaceae	<i>Rhus trilobata</i>	Nutt.		X	X							
Anacardiaceae	<i>Rhus virens</i>	Lind. ex A. Gray		X	X	X	X					
Anacardiaceae	<i>Schmaltzia copallinum</i>	(L.) Small		X	X	X						
Apiaceae	<i>Prionosciadium humile</i>	Rose			X	X						
Apiaceae	Apiaceae					X					X	
Apiaceae	<i>Arracacia ternata</i>	Mathias & Constance							X			
Apiaceae	<i>Cyclospermum leptophyllum</i>	(Pers.) Eichler			X							
Apiaceae	<i>Donnellsmithia ternata</i>	(S.Watson) Mathias & Constance			X	X				X		
Apiaceae	<i>Eryngium gramineum</i>	F.Delaroche			X							
Apiaceae	<i>Eryngium sp.</i>			X								
Apiaceae	<i>Osmorhiza sp.</i>					X						
Apiaceae	<i>Tauschia hintoniorum</i>	Constance & Affolter							X			
Apocynaceae	<i>Asclepias nummularioides</i>	W.D.Stevens			X							
Apocynaceae	<i>Cynanchum sp.</i>			X	X							
Apocynaceae	<i>Mandevilla karwinskii</i>	(Müll.Arg.) Hemsl.	X	X								
Apocynaceae	<i>Mandevilla sp.</i>		X	X								
Apocynaceae	<i>Mateleia sp.</i>			X								
Asparagaceae	<i>A. americana x A. atrovirens</i>			X			X					
Asparagaceae	<i>A.americana x A. asperrima</i>			X			X					
Asparagaceae	<i>Agave americana</i>	L.		X	X	X	X					
Asparagaceae	<i>Agave asperrima</i>	Jacobi		X	X		X	X				

FAMILIA	NOMBRE	Autor	BA	BP	BM	BQ	ML	MDR	PSA	PI	McDonald (1993)	Nom-059
Asparagaceae	<i>Agave atrovirens</i>	Karw. Ex Salm-Dyck		X			X	X				
Asparagaceae	<i>Agave gentryi</i>	B.Ullrich		X	X	X						
Asparagaceae	<i>Agave lechuguilla</i>	Torr.		X			X	X				
Asparagaceae	<i>Agave montana</i>	Villareal	X	X			X		X		X	
Asparagaceae	<i>Agave striata var. striata</i>	Zucc.		X			X	X				
Asparagaceae	<i>Anthericum sp.</i>			X								
Asparagaceae	<i>Echeandia flavescens</i>	(Schultes & Schultes f.) Cruden		X	X							
Asparagaceae	<i>Dasyllirion berlandieri</i>	S.Watson		X			X	X				
Asparagaceae	<i>Dasyllirion longissimum</i>	Lem.		X			X	X				A
Asparagaceae	<i>Dasyllirion texanum</i>	Scheele		X			X	X				
Asparagaceae	<i>Nolina hibernica</i>	Rose				X	X	X				
Asparagaceae	<i>Yucca carnerosana</i>	(Trel.) McKelvey		X								
Aspleniaceae	<i>Asplenium monanthes</i>	L.				X						
Aspleniaceae	<i>Asplenium resiliens</i>	Kunze				X						
Berberidaceae	<i>Berberis gracilis</i>	Hartw. ex Benth.				X						
Berberidaceae	<i>Berberis trifoliolata</i>	Moric.		X	X							
Boraginaceae	<i>Antiphytum heliotropioides</i>	A.DC.	X							X		
Boraginaceae	Boraginaceae					X						
Boraginaceae	<i>Hackelia leonotis</i>	I.M. Johnst.							X		X	
Boraginaceae	<i>Lithospermum sordidum</i>	Brand							X			
Boraginaceae	<i>Lithospermum viride</i>	Greene		X	X							
Boraginaceae	<i>Menderilla sp.</i>			X								
Boraginaceae	<i>Onosmodium dodrantale</i>	I.M. Johnst.							X		X	
Brassicaceae	<i>Asta schaffneri</i>	(S.Watson) O.E.Schulz		X	X							
Brassicaceae	<i>Diplotaxis muralis</i>	(L.) DC.		X								
Brassicaceae	<i>Draba helleriana</i>	Greene							X			
Brassicaceae	<i>Eruca vesicaria</i>	(L.) Cav.										
Brassicaceae	<i>Erysimum capitatum</i>	(Douglas) Greene	X						X			
Brassicaceae	<i>Noccaea mexicana</i>	(Standl.) Holub							X		X	
Brassicaceae	<i>Pennellia longifolia</i>	(Benth.) Rollins							X			
Brassicaceae	<i>Thelypodium wrightii</i>	A. Grayis		X								
Bromeliaceae	<i>Hechtia glomerata</i>	Zucc.		X				X				
Bromeliaceae	<i>Tillandsia erubescens</i>	Schltld.		X								
Bromeliaceae	<i>Tillandsia recurvata</i>	(L.) L.		X								
Bromeliaceae	<i>Tillandsia usneoides</i>	(L.) L.		X		X						
Cactaceae	<i>Coryphantha delicata</i>	L.Bremer		X				X				
Cactaceae	<i>Coryphantha georgii</i>	Boed.		X				X				PR-E
Cactaceae	<i>Echinocactus platyacanthus</i>	Link & Otto		X				X				PR-E
Cactaceae	<i>Echinocereus knippelianus</i>	Liebner				X	X					A-E

FAMILIA	NOMBRE	Autor	BA	BP	BM	BQ	ML	MDR	PSA	PI	McDonald (1993)	Nom-059
Cactaceae	<i>Echinocereus viereckii</i>	Werderm.		X								
Cactaceae	<i>Ferocactus echidne</i>	(DC.) Britton & Rose		X				X				
Cactaceae	<i>Ferocactus hamatacanthus</i>	(Muehlenpf.) Britton & Rose		X				X				
Cactaceae	<i>Ferocactus pilosus</i>	(Galeotti ex Salm-Dyck) Werderm.		X				X				PR-E
Cactaceae	<i>Mammillaria formosa</i>	Galeotti ex Scheidw.		X				X				
Cactaceae	<i>Mammillaria heyderi</i>	Muehlenpf.		X				X				
Cactaceae	<i>Mammillaria melanocentra</i>	Poselger					X	X				
Cactaceae	<i>Mammilloidia candida</i>	(Scheidw.) Buxb.						X				A-E
Cactaceae	<i>Opuntia robusta</i>	J.C. Wendl.		X						X		
Cactaceae	<i>Opuntia sp.</i>			X	X	X		X				
Cactaceae	<i>Opuntia stenopetala</i>	Engelm.		X				X				
Cactaceae	<i>Stenocactus phyllacanthus</i>	(Mart.) A. Berger ex A.W. Hill		X			X					
Cactaceae	<i>Thelocactus conothelos</i>	(Regel & Klein) F.M. Knuth					X	X				
Cactaceae	<i>Turbincarpus beguinii</i>	(N.P. Taylor) Mosco & Zanovello	X	X			X	X				PR-E
Campanulaceae	<i>Campanula rotundifolia</i>	L.							X			
Campanulaceae	<i>Lobelia gruina</i>	Cav.				X						
Campanulaceae	<i>Lobelia sp.</i>		X									
Caprifoliaceae	<i>Lonicera arizonica</i>	Rehder				X						
Caprifoliaceae	<i>Lonicera pilosa</i>	(Kunth) Spreng.	X			X						
Caprifoliaceae	<i>Lonicera sp.</i>					X						
Caprifoliaceae	<i>Symphoricarpos microphyllus</i>	Kunth	X	X					X			
Caprifoliaceae	<i>Valeriana clematidis</i>	Kunth	X									
Caprifoliaceae	<i>Valeriana edulis</i>	Nutt.			X							
Caprifoliaceae	<i>Valeriana sorbifolia</i>	Kunth	X						X			
Caryophyllaceae	<i>Arenaria lanuginosa</i>	(Michx.) Rohrb.							X			
Caryophyllaceae	<i>Arenaria lycopodioides</i>	Willd. ex Schldtl.		X		X			X			
Caryophyllaceae	<i>Arenaria oresbia</i>	Greenm.							X			
Caryophyllaceae	<i>Cerastium brachypodum</i>	(Engelm. ex A.Gray) B.L.Rob. ex Britton							X			
Caryophyllaceae	<i>Silene laciniata</i>	Cav.							X			
Caryophyllaceae	<i>Stellaria cuspidata</i>	Willd. ex Schldtl.							X			
Caryophyllaceae	<i>Stellaria media</i>	(L.) Vill.				X						
Celastraceae	<i>Paxistima myrsinites</i>		X									
Cistaceae	<i>Helianthemum glomeratum</i>	(Lag.) Lag. ex Dunal		X								
Commelinaceae	<i>Commelina coelestis</i>	Willd.			X	X						
Commelinaceae	<i>Commelina erecta</i>	L.	X							X		
Commelinaceae	<i>Commelina tuberosa</i>	L.							X			
Commelinaceae	<i>Maianthemum stellatum</i>	(L.) Link	X	X						X		

FAMILIA	NOMBRE	Autor	BA	BP	BM	BQ	ML	MDR	PSA	PI	McDonald (1993)	Nom-059
Commelinaceae	<i>Tradescantia brachyphylla</i>	Greenm.		X								
Commelinaceae	<i>Tradescantia crassifolia</i>	Cav.		X	X							
Commelinaceae	<i>Tradescantia nuevoleonensis</i>	Matuda		X								
Asteraceae	<i>Achillea millefolium</i>	L.			X	X						
Asteraceae	<i>Acourtia purpusii</i>	(Brandegee) Reveal & R.M.King		X	X	X						
Asteraceae	<i>Acourtia tomentosa</i>	(Brandegee) Reveal & R.M.King			X		X					
Asteraceae	<i>Ageratina calophylla</i>	(B.L.Rob.) R.M.King & H.Rob		X								
Asteraceae	<i>Ageratina espinosarum</i>	(A.Gray) R.M.King & H.Rob.		X								
Asteraceae	<i>Ageratina ligustrina</i>	(DC.) R.M.King & H.Rob.					X					
Asteraceae	<i>Ageratina oreithales</i>	(Greenm.) B.L.Turner	X	X	X	X	X					
Asteraceae	<i>Ageratina saltillensis</i>	(B.L.Rob.) R.M.King & H.Rob.	X	X	X	X	X				X	
Asteraceae	<i>Ageratum corymbosum</i>	Zuccagni		X								
Asteraceae	<i>Artemisia ludoviciana</i>	Nutt.		X	X							
Asteraceae	Asteraceae				X	X						
Asteraceae	<i>Astranthium splendens</i>	DeJong		X								
Asteraceae	<i>Aztecaster matudae</i>	(Rzed.) G .L. Nesom		X								
Asteraceae	<i>Baccharis havardii</i>	A.Gray			X				X			
Asteraceae	<i>Bidens anthriscoides</i>	DC.				X	X					
Asteraceae	<i>Bidens ferulifolia</i>	(Jacq.) Sweet	X									
Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i>	L.			X							
Asteraceae	<i>Bidens triplinervia</i>	Kunth							X			
Asteraceae	<i>Brickellia coahuilensis</i>	(A.Gray) Harc. & Beaman							X		X	
Asteraceae	<i>Brickellia nesomii</i>	B.L.Turner							X		X	
Asteraceae	<i>Brickellia sp</i>			X								
Asteraceae	<i>Brickellia veronicifolia</i>	(Kunth) A.Gray		X								
Asteraceae	<i>Chaetopappa ericoides</i>	(Torr.) G.L.Nesom		X								
Asteraceae	<i>Chaetopappa parryi</i>	A.Gray							X		X	
Asteraceae	<i>Chaptalia lyratifolia</i>	Burkart			X							
Asteraceae	<i>Chaptalia madrensis</i>	G.L.Nesom		X	X							
Asteraceae	<i>Chaptalia transiliens</i>	G.L.Nesom		X	X							
Asteraceae	<i>Chrysactinia mexicana</i>	A.Gray		X	X		X					
Asteraceae	<i>Chrysactinia truncata</i>	S.Watson		X								
Asteraceae	<i>Cirsium novoleonense</i>	G.L.Nesom			X	X			X		X	
Asteraceae	<i>Dahlia coccinea</i>	Cav.				X						
Asteraceae	<i>Dahlia sp</i>			X								
Asteraceae	<i>Dyssodia papposa</i>	(Vent.) Hitchc.		X		X	X					
Asteraceae	<i>Erigeron basilobatus</i>	S.F.Blake			X	X						

FAMILIA	NOMBRE	Autor	BA	BP	BM	BQ	ML	MDR	PSA	PI	McDonald (1993)	Nom-059
Asteraceae	<i>Erigeron flagellaris</i>	A.Gray	X	X	X	X			X	X		
Asteraceae	<i>Erigeron onofrensis</i>	G.L.Nesom							X		X-PN	
Asteraceae	<i>Erigeron sp</i>				X							
Asteraceae	<i>Gnaphalium hintoniorum</i>	G.L.Nesom							X		X	
Asteraceae	<i>Gochnatia hypoleuca</i>	(DC.) A.Gray		X				X				
Asteraceae	<i>Grindelia inuloides</i>	Willd.			X				X		X	
Asteraceae	<i>Gymnosperma glutinosum</i>	(Spreng.) Less.	X	X	X	X		X				
Asteraceae	<i>Helianthella gypsophila</i>	B.L.Turner		X								
Asteraceae	<i>Hieracium crepidispermum</i>	Fr.	X									
Asteraceae	<i>Hieracium dysonymum</i>	S.F.Blake							X			
Asteraceae	<i>Machaeranthera tenuis</i>	(S.Watson) B.L.Turner & D.B.Horne					X					
Asteraceae	<i>Packera bellidifolia</i>	(Kunth) W.A.Weber & Á.Löve			X		X					
Asteraceae	<i>Packera scalaris</i>	(Greene) C.Jeffrey	X			X						
Asteraceae	<i>Porophyllum gracilis</i>	Benth.		X			X					
Asteraceae	<i>Psacalium peltatum</i>	(Kunth) Cass.		X		X						
Asteraceae	<i>Psacalium radulifolium</i>	H.Rob. & Brettell					X					
Asteraceae	<i>Psacalium sp.</i>						X					
Asteraceae	<i>Psilactis odysseus</i>	(G.L.Nesom) D.R.Morgan							X		X-PN	
Asteraceae	<i>Roldana pennellii</i>	H.Rob. & Brettell			X							
Asteraceae	<i>Sclerocarpus uniserialis</i>	(Hook.) Benth. & Hook.f.			X							
Asteraceae	<i>Senecio carerensis</i>	Greenm.							X		X	
Asteraceae	<i>Senecio coahuilensis</i>	Greenm.							X		X	
Asteraceae	<i>Senecio loratifolius</i>	Greenm.	X						X		X	
Asteraceae	<i>Senecio madrensis</i>	A.Gray							X		X	
Asteraceae	<i>Senecio salignus</i>	DC.	X									
Asteraceae	<i>Senecio sp.</i>		X									
Asteraceae	<i>Senecio toluccanus</i>	DC.	X	X								
Asteraceae	<i>Senecio viejoanus</i>	B.L.Turner	X						X			
Asteraceae	<i>Senecio zimapanicus</i>	Hemsl.	X			X						
Asteraceae	<i>Solidago simplex</i>	Kunth			X							
Asteraceae	<i>Stevia eupatoria</i>	(Spreng.) Willd.		X	X	X	X					
Asteraceae	<i>Stevia ovata</i>	Willd.		X								
Asteraceae	<i>Stevia pilosa</i>	Lag.							X			
Asteraceae	<i>Stevia porphyrea</i>	McVaugh		X	X	X						
Asteraceae	<i>Stevia salicifolia</i>	Cav.		X								
Asteraceae	<i>Stevia sp.</i>		X									
Asteraceae	<i>Stevia tomentosa</i>	Kunth		X			X					
Asteraceae	<i>Stevia viscida</i>	Kunth			X							
Asteraceae	<i>Tagetes lucida</i>	Cav.		X		X	X					

FAMILIA	NOMBRE	Autor	BA	BP	BM	BQ	ML	MDR	PSA	PI	McDonald (1993)	Nom-059
Asteraceae	<i>Thelesperma graminiformis</i>	(Sherff) Melchert							X		X-PN	
Asteraceae	<i>Thymophylla pentachaeta</i>	(DC.) Small		X	X							
Asteraceae	<i>Thymophylla setifolia</i>	Lag.		X								
Asteraceae	<i>Verbesina longifolia</i>	(A.Gray) A.Gray		X			X					
Asteraceae	<i>Vernonia faustiana</i>	B.L.Turner		X								
Asteraceae	<i>Vernonia greggii var ervendbergii</i>	(A.Gray) B.L.Turner				X						
Asteraceae	<i>Viguiera cordata</i>	(Hook. & Arn.) D'Arcy				X						
Asteraceae	<i>Wedelia hispida</i>	Kunth		X								
Asteraceae	<i>Zaluzania megacephala</i>	Sch.Bip.				X	X					
Convolvulaceae	<i>Dichondra argentea</i>	Humb. & Bonpl. ex Willd.		X								
Convolvulaceae	<i>Evolvulus sp.</i>			X								
Convolvulaceae	<i>Ipomoea pubescens</i>	Lam.		X								
Crassulaceae	<i>Echeveria sp.</i>			X			X					
Crassulaceae	<i>Sedum chrysicaulum</i>	J.A. McDonald					X		X		X	
Crassulaceae	<i>Sedum muscoideum</i>	Rose							X			
Crassulaceae	<i>Sedum papillcaulum</i>	G.L. Nesom							X		X	
Crassulaceae	<i>Sedum parvum</i>	Hemsl.							X			
Crassulaceae	<i>Sedum sp.</i>								X			
Crassulaceae	<i>Villadia cucullata</i>	Rose							X			
Cupressaceae	<i>Cupressus arizonica</i>	Greene	X	X			X			X		
Cupressaceae	<i>Juniperus flaccida</i>	Schltld.		X	X	X	X					
Cupressaceae	<i>Juniperus monosperma</i>	(Engelm.) Sarg.		X								
Cupressaceae	<i>Juniperus monticola</i>	Martínez		X					X			PR-E
Cyperaceae	<i>Carex schiedeana</i>	Kunze							X			
Cyperaceae	<i>Carex turbinata</i>	Liebman	X	X	X	X	X			X		
Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i>	Kunth	X	X	X	X	X			X		
Ericaceae	<i>Arctostaphylos pungens</i>	Kunth		X	X	X	X		X			
Ericaceae	<i>Chimaphila umbellata</i>	(L.) Nutt.		X		X						
Ericaceae	<i>Comarostaphylis discolor</i>	(Hook.) Diggs		X	X							PR-E
Ericaceae	<i>Comarostaphylis polifolia</i>	(Kunth) Zucc. ex Klotzsch		X								
Euphorbiaceae	<i>Acalypha hederacea</i>	Torr.		X			X					
Euphorbiaceae	<i>Acalypha monostachya</i>	Cav.		X		X						
Euphorbiaceae	<i>Acalypha phleoides</i>	Cav.		X								
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia antisiphilitica</i>	Zucc.		X		X						
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia beamanii</i>	M.C.Johnst.							X		X	
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia brachycera</i>	Engelm.		X								
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia exstipulata</i>	Engelm.		X								
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia furcillata</i>	Kunth		X								
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia graminea</i>	Jacq.		X								

FAMILIA	NOMBRE	Autor	BA	BP	BM	BQ	ML	MDR	PSA	PI	McDonald (1993)	Nom-059
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia sp.</i>					X						
Euphorbiaceae	<i>Phyllanthus polygonoides</i>	Nutt. ex Spreng.		X	X							
Fagaceae	<i>Quercus affinis</i>	Scheidw.		X	X		X					
Fagaceae	<i>Quercus greggii</i>	(A.DC.) Trel.		X	X	X	X					
Fagaceae	<i>Quercus intricata</i>	Trel.		X	X		X					
Fagaceae	<i>Quercus laeta</i>	Liebm.		X	X	X						
Fagaceae	<i>Quercus laurina</i>	Bonpl.					X					
Fagaceae	<i>Quercus mexicana</i>	Bonpl.		X	X	X	X					
Fagaceae	<i>Quercus polymorpha</i>	Schltld. & Cham.					X					
Fagaceae	<i>Quercus pringlei</i>	Seemen ex Loes.		X								
Fagaceae	<i>Quercus pungens</i>	Liebm.		X	X	X	X					
Fagaceae	<i>Quercus saltilensis</i>	Trel.		X								
Fagaceae	<i>Quercus sideroxyla</i>	Bonpl.				X	X	X				
Fagaceae	<i>Quercus sp.</i>						X					
Garryaceae	<i>Garrya glaberrima</i>	Wangerin		X	X	X	X					
Garryaceae	<i>Garrya ovata</i>	Benth.		X		X						
Garryaceae	<i>Garrya wrightii</i>	Torr.		X		X						
Gentianaceae	<i>Gentiana ovatiloba</i>	Kusn.	X								X	
Gentianaceae	<i>Halenia alleniana</i>	Standl. ex Wilbur							X			
Geraniaceae	<i>Erodium cicutarium</i>	Erodium cicutarium	X	X		X				X		
Geraniaceae	<i>Geranium crenatifolium</i>	H.E.Moore	X						X	X	X	
Geraniaceae	<i>Geranium seemanii</i>	Peyr.			X	X			X			
Grossulariaceae	<i>Ribes nigrum</i>	L.	X						X			X
Grossulariaceae	<i>Ribes sp.</i>						X					
Hydrangeaceae	<i>Fendlerella lasiopetala</i>	Standl.		X		X						
Boraginaceae	<i>Nama dichotomum</i>	(Ruiz & Pav.) Choisy							X			
Boraginaceae	<i>Nama serpylloides</i>	A. Gray ex Hemsl.		X								
Boraginaceae	<i>Nama undulatum</i>	Kunth				X			X			
Boraginaceae	<i>Phacelia heterophylla</i>	Pursh							X			
Boraginaceae	<i>Phacelia platycarpa</i>	(Cav.) Spreng.							X			
Iridaceae	<i>Sisyrinchium scabrum</i>	Schltld. & Cham.		X	X							
Iridaceae	<i>Sisyrinchium schaffneri</i>	S.Watson	X						X	X	X	
Juglandaceae	<i>Juglans mollis</i>	Engelm.				X						
Krameriaceae	<i>Krameria cytisoides</i>	Cav.		X				X				
Lamiaceae	<i>Hedeoma costata</i>	Hemsl.				X						
Lamiaceae	<i>Hedeoma drummondii</i>	Benth.				X	X					
Lamiaceae	<i>Hedeoma nana</i>	(Torr.) Briq.					X					
Lamiaceae	Lamiaceae			X								
Lamiaceae	<i>Marrubium vulgare</i>	L.				X						

FAMILIA	NOMBRE	Autor	BA	BP	BM	BQ	ML	MDR	PSA	PI	McDonald (1993)	Nom-059
Lamiaceae	<i>Micromeria sp.</i>			X								
Lamiaceae	<i>Prunella vulgaris</i>	L.		X		X						
Lamiaceae	<i>Salvia chia</i>	Colla			X							
Lamiaceae	<i>Salvia coccinea</i>	Buc'hoz ex Etl.		X			X					
Lamiaceae	<i>Salvia dolichantha</i>	E.Peter	X									
Lamiaceae	<i>Salvia forreri</i>	Greene		X	X	X						
Lamiaceae	<i>Salvia greggii</i>	A.Gray			X							
Lamiaceae	<i>Salvia hispanica</i>	L.							X			
Lamiaceae	<i>Salvia keerlii</i>	Benth.							X			
Lamiaceae	<i>Salvia macellaria</i>	Epling			X							
Lamiaceae	<i>Salvia sp.</i>			X								
Lamiaceae	<i>Salvia unicostata</i>	Fernald							X			
Lamiaceae	<i>Scutellaria drummondii</i>	Benth.								X		
Lamiaceae	<i>Scutellaria potosina</i>	Brandege							X		X	
Lamiaceae	<i>Stachys keerlii</i>	Benth.		X	X	X	X					
Lamiaceae	<i>Teucrium cubense</i>	Jacq.		X	X		X					
Lauraceae	<i>Cinnamomum pachypodum</i>	(Nees) Kosterm.	X				X					
Lauraceae	<i>Litsea glaucescens</i>	Kunth	X	X	X							P
Lauraceae	<i>Litsea novoleontis</i>	Bartlett	X									
Fabaceae	<i>Acacia roemeriana</i>	Scheele		X								
Fabaceae	<i>Astragalus legionensis</i>	Barneby		X	X							
Fabaceae	<i>Astragalus nuttallianus var. austrinus</i>	(Small) Barneby		X					X			
Fabaceae	<i>Astragalus purpusii</i>	M.E.Jones		X	X						X	
Fabaceae	<i>Astragalus sanguineus</i>	Rydb.	X							X		
Fabaceae	<i>Centrosema sp.</i>				X							
Fabaceae	<i>Chamaecrista greggii</i>	(A.Gray) A.Heller		X								
Fabaceae	<i>Cologania angustifolia</i>	Kunth		X								
Fabaceae	<i>Cologania pallida</i>	Rose					X					
Fabaceae	<i>Coursetia caribaea</i>	(Jacq.) Lavin					X					
Fabaceae	<i>Dalea bicolor var. argyrea</i>	(A.Gray) Barneby		X								
Fabaceae	<i>Dalea filiciformis</i>	Robinson & Greenm.		X								
Fabaceae	<i>Dalea frutescens</i>	A.Gray		X								
Fabaceae	<i>Dalea greggii</i>	A.Gray		X								
Fabaceae	<i>Dalea lutea var. lutea</i>	(Cav.) Willd.					X					
Fabaceae	<i>Dalea pogonathera var. walkerae</i>	(Tharp & F.A.Barkley) B.L.Turne		X								
Fabaceae	<i>Dalea sp.</i>					X	X					
Fabaceae	<i>Desmodium grahamii</i>	A.Gray				X	X					
Fabaceae	<i>Desmodium sp.</i>				X							
Fabaceae	<i>Eysenhardtia sp.</i>				X			X				

FAMILIA	NOMBRE	Autor	BA	BP	BM	BQ	ML	MDR	PSA	PI	McDonald (1993)	Nom-059
Fabaceae	<i>Indigofera miniata</i>	Ortega		X								
Fabaceae	<i>Lathyrus whitei</i>	Kupicha			X							
Fabaceae	<i>Lupinus cacuminis</i>	Standl.		X	X				X		X	
Fabaceae	<i>Lupinus potosinus</i>	Rose			X							
Fabaceae	<i>Melilotus alba subsp. alba</i>	(Medik.) H.Ohashi & Tateishi		X	X							
Fabaceae	<i>Mimosa aculeaticarpa</i>	Ortega		X	X							
Fabaceae	<i>Pithecellobium elachistophyllum</i>	A. Gray ex S. Watson		X								
Fabaceae	<i>Psoralea melanocarpa</i>	Hemsl.				X	X					
Fabaceae	<i>Psoralea rhombifolia</i>	Torr. & A.Gray			X							
Fabaceae	<i>Rhynchosia senna</i>	Hook.					X					
Fabaceae	<i>Senna demissa var. demissa</i>	(Rose) H.S.Irwin & Barneby		X			X					
Fabaceae	<i>Sophora secundiflora</i>	(Ortega) DC.		X		X	X	X				
Fabaceae	<i>Trifolium schneideri</i>	Standl.							X		X	
Fabaceae	<i>Vicia ludoviciana</i>	Nutt.							X			
Fabaceae	<i>Vicia sp.</i>				X							
Liliaceae	<i>Anticlea virescens</i>	Rydb.		X	X							PR
Liliaceae	<i>Calochortus marcellae</i>	G.L.Nesom							X		X-PN	
Liliaceae	<i>Schoenocaulon texanum</i>	Scheele	X									
Linaceae	<i>Linum lewisii</i>	Pursh			X							
Linaceae	<i>Linum schiedeanum</i>	Schltld. & Cham.							X			
Loranthaceae	<i>Arceuthobium vaginatum</i>	(Humb. & Bonpl. ex Willd.) J.Presl	X	X	X							
Lythraceae	<i>Cuphea cyanea</i>	Moç. & Sessé ex DC.		X	X	X						
Ochidiaceae	<i>Corallorhiza wisteriana</i>	Conrad	X	X	X							
Ochidiaceae	<i>Dichromanthus aurantiacus</i>	(Lex.) Salazar & Soto Arenas			X							
Ochidiaceae	<i>Hexalectris grandiflora</i>	(A.Rich. & Galeotti) L.O.Williams		X	X							
Oleaceae	<i>Forestiera racemosa</i>	S.Watson		X				X				
Onagraceae	<i>Gaura coccinea</i>	Nutt. ex Pursh		X								
Onagraceae	<i>Oenothera kunthiana</i>	Oenothera kunthiana		X		X						
Onagraceae	<i>Oenothera macrosceles</i>	A. Gray				X						
Onagraceae	<i>Oenothera primiveris</i>	A. Gray				X						
Onagraceae	<i>Oenothera pennellii</i>	Munz	X									
Onagraceae	<i>Oenothera rosea</i>	L'Hér. ex Aiton				X						
Onagraceae	<i>Oenothera speciosa</i>	Nutt.			X							
Orobanchaceae	<i>Castilleja bella</i>	Standl.							X		X	
Orobanchaceae	<i>Castilleja scorzonerifolia</i>	Kunth					X		X			
Orobanchaceae	<i>Castilleja sp.</i>		X									
Orobanchaceae	<i>Castilleja tenuiflora var. xylorrhiza</i>	(Eastw.) G.L.Nesom								X		

FAMILIA	NOMBRE	Autor	BA	BP	BM	BQ	ML	MDR	PSA	PI	McDonald (1993)	Nom-059
Orobanchaceae	<i>Conopholis alpina</i>	Liebm.				X						
Orobanchaceae	<i>Lamourouxia brachyantha</i>	Greenm.			X							
Oxalidaceae	<i>Oxalis albicans</i>	Kunth		X	X							
Oxalidaceae	<i>Oxalis corniculata</i> var. <i>pilosa</i>	(Nutt.) Lourteig			X							
Oxalidaceae	<i>Oxalis debilis</i> var. <i>corymbosa</i>	(DC.) Lourteig	X	X		X						
Oxalidaceae	<i>Oxalis latifolia</i>	Kunth		X								
Papaveraceae	<i>Argemone echinata</i>	Ownbey								X		
Papaveraceae	<i>Argemone subalpina</i>	A.McDonald							X		X-PN	
Papaveraceae	<i>Hunnemannia fumariifolia</i>	Sweet		X								
Phytolaccaceae	<i>Phytolacca icosandra</i>	L.				X						
Pinaceae	<i>Abies vejarii</i>	Martínez	X									A-E
Pinaceae	<i>Pinus cembroides</i>	Zucc.		X	X		X					
Pinaceae	<i>Pinus hartwegii</i>	Lindl.	X	X	X		X		X			
Pinaceae	<i>Pinus nelsonii</i>	Shaw		X								P-A
Pinaceae	<i>Pinus pseudostrobus</i>	Lindl.		X	X	X						
Pinaceae	<i>Pinus strobiformis</i>	Engelm.	X	X								PR
Pinaceae	<i>Pinus teocote</i>	Schied. ex Schldtl. & Cham.		X	X					X		
Pinaceae	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	(Mirb.) Franco	X	X		X						PR-E
Plantaginaceae	<i>Mecardonia procumbens</i>	(Mill.) Small		X								
Plantaginaceae	<i>Penstemon barbatus</i>	(Cav.) Nutt.	X	X		X			X			
Plantaginaceae	<i>Penstemon campanulatus</i>	(Cav.) Willd	X									
Plantaginaceae	<i>Penstemon gentianoides</i>	(Kunth) Poir.	X		X					X		
Plantaginaceae	<i>Penstemon lanceolatus</i>	Benth.	X	X								
Plantaginaceae	<i>Penstemon leonensis</i>	Straw							X		X	
Plantaginaceae	<i>Plantago hookeriana</i>	Fisch. & C.A.Mey.		X								
Plantaginaceae	<i>Plantago virginica</i>	L.		X								
Poaceae	<i>Aristida schiedeana</i>	Trin. & Rupr.					X					
Poaceae	<i>Aristida ternipes</i>	Cav.					X					
Poaceae	<i>Blepharoneuron tricholepis</i>	(Torr.) Nash							X			
Poaceae	<i>Bouteloua uniflora</i>	Vasey		X	X							
Poaceae	<i>Brachiaria meziana</i>	Hitcch.		X								
Poaceae	<i>Brachypodium pringlei</i>	Scribn. ex Beal							X			
Poaceae	<i>Bromus arizonicus</i>	(Shear) Stebbins		X	X	X						
Poaceae	<i>Buchloë dactyloides</i>	(Nutt.) Engelm.is								X		
Poaceae	<i>Calamagrostis rosea</i>	(Griseb.) Hack.				X						
Poaceae	<i>Chloris submutica</i>	Kunth		X								
Poaceae	<i>Chondrosium gracile</i>	Kunth		X								
Poaceae	<i>Chondrosium simjplex</i>	(Lag.) Kunth					X					

FAMILIA	NOMBRE	Autor	BA	BP	BM	BQ	ML	MDR	PSA	PI	McDonald (1993)	Nom-059
Poaceae	<i>Cynodon dactylon</i>	(L.) Pers.		X								
Poaceae	<i>Eragrostis intermedia</i>	Hitchc.		X						X		
Poaceae	<i>Erioneuron avenaceum</i>	(Humb., Bonpl. & Kunth) Tateoka		X						X		
Poaceae	<i>Erioneuron pilosum</i>	(Buckley) Nash		X	X							
Poaceae	<i>Festuca hephaestophila</i>	Nees ex Steud.							X			
Poaceae	<i>Festuca rosei</i>	Piper			X	X			X			
Poaceae	<i>Festuca rubra</i>	L.			X	X			X			
Poaceae	<i>Hordeum vulgare</i>	L.		X								
Poaceae	<i>Koeleria pyramidata</i>	(Lam.) P.Beauv.			X				X			
Poaceae	<i>Leptochloa dubia</i>	(Kunth) Nees		X						X		
Poaceae	<i>Lycurus phleoides</i>	Kunth		X			X					
Poaceae	<i>Muhlenbergia dubia</i>	E.Fourn.		X								
Poaceae	<i>Muhlenbergia emersleyi</i>	Vasey		X	X		X					
Poaceae	<i>Muhlenbergia glauca</i>	(Nees) Mez		X	X							
Poaceae	<i>Muhlenbergia ramulosa</i>	(Humb., Bonpl. & Kunth) Swallen			X				X			
Poaceae	<i>Muhlenbergia repens</i>	(J.Presl) Hitchc.			X		X					
Poaceae	<i>Muhlenbergia rigens</i>	(Benth.) Hitchc.								X		
Poaceae	<i>Muhlenbergia uniflora</i>	(Muhl.) Fernald			X							
Poaceae	<i>Muhlenbergia virescens</i>	(Kunth) Kunth							X			
Poaceae	<i>Panicum antidotale</i>	Retz.		X		X						
Poaceae	<i>Paspalum pubiflorum</i>	E.Fourn.		X		X						
Poaceae	<i>Piptochaetium fimbriatum</i>	(Humb., Bonpl. & Kunth) Hitchc.	X	X								
Poaceae	<i>Piptochaetium seleri</i>	(Pilg.) Henrard		X	X	X	X		X	X		
Poaceae	<i>Piptochaetium virescens</i>	(Humb., Bonpl. & Kunth) Parodi							X			
Poaceae	<i>Poa annua</i>	L.		X								
Poaceae	<i>Poa bigelovii</i>	Vasey		X								
Poaceae	<i>Poa pratensis</i>	L.								X		
Poaceae	Poaceae			X	X							
Poaceae	<i>Setaria parviflora</i>	(Poir.) M.Kerguelen		X						X		
Poaceae	<i>Setaria sp.</i>						X					
Poaceae	<i>Setaria viridis</i>	(L.) P.Beauv.		X								
Poaceae	<i>Stipa leucotricha</i>	Trin. & Rupr.		X								
Poaceae	<i>Stipa occidentalis</i>	Thurb. ex S.Watson		X	X							
Poaceae	<i>Stipa sp.</i>			X								
Poaceae	<i>Stipa tenuissima</i>	Trin.	X	X			X					
Poaceae	<i>Trisetum spicatum</i>	(L.) K.Richt.							X			
Polemoniaceae	<i>Giliastrum incisum</i>	(Benth.) J.M.Porter			X	X						
Polemoniaceae	<i>Loselia caerulea</i>	(Cav.) G. Don		X		X						

FAMILIA	NOMBRE	Autor	BA	BP	BM	BQ	ML	MDR	PSA	PI	McDonald (1993)	Nom-059
Polemoniaceae	<i>Polemonium pauciflorum</i>	S. Watson			X	X						
Polygalaceae	<i>Polygala lindheimeri</i>	A. Gray								X		
Polygalaceae	<i>Polygala macradenia</i>	A. Gray		X								
Polygalaceae	<i>Polygala paniculata</i>	L.		X								
Polypodiaceae	<i>Pleopeltis polylepis</i>	(Roem. ex Kunze) T. Moore				X						
Polypodiaceae	<i>Pleopeltis polypodioides</i>	(L.) E.G. Andrews & Windham		X		X						
Polypodiaceae	<i>Polypodium guttatum</i>	Maxon		X		X	X			X		
Portulaccaceae	<i>Portulaca pilosa</i>	L.		X								
Primulaceae	<i>Anagallis arvensis</i>	L.		X								
Primulaceae	<i>Androsace septentrionalis</i> <i>subsp. subumbellata</i>	(A.Nelson) G.T.Robbins										
Pteridaceae	<i>Astrolepis cochisensis</i>	(Goodd.) D.M. Benham & Windham		X								
Pteridaceae	<i>Astrolepis integerrima</i>	(Hook.) D.M. Benham & Windham		X								
Pteridaceae	<i>Astrolepis sinuata</i>	(Lag. ex Sw.) Kaulf.		X		X						
Ranunculaceae	<i>Aquilegia elegantula</i>	Greene				X			X			
Ranunculaceae	<i>Delphinium valens</i>	Standl.	X						X		X	
Ranunculaceae	Ranunculaceae					X						
Ranunculaceae	<i>Ranunculus peruvianus</i>	Pers.				X						
Ranunculaceae	<i>Ranunculus petiolaris</i> var. <i>petiolaris</i>	Kunth ex DC.	X		X	X				X		
Ranunculaceae	<i>Ranunculus praemorsus</i>	Kunth ex DC.							X			
Ranunculaceae	<i>Ranunculus sierrae-orientalis</i>	(L.D. Benson) G.L. Nesom				X						
Ranunculaceae	<i>Thalictrum dasycarpum</i>	Fisch., C.A.Mey. & Avé-Lall.		X								
Ranunculaceae	<i>Thalictrum gibbosum</i>	Lechler		X								
Rhamnaceae	<i>Ceanothus buxifolius</i>	Willd. ex Schult. & Schult.f.	X						X			
Rhamnaceae	<i>Ceanothus caeruleus</i>	Lag.		X	X		X					
Rhamnaceae	<i>Ceanothus greggii</i>	A.Gray		X	X		X					
Rhamnaceae	<i>Rhamnus serrata</i>	Humb. & Bonpl. ex Willd.			X	X						
Rosaceae	<i>Alchemilla pringlei</i>	(Rydb.) Fedde		X								
Rosaceae	<i>Alchemilla procumbens</i>	Rose	X	X	X	X						
Rosaceae	<i>Amelanchier denticulata</i>	(Kunth) K. Koch		X	X	X				X		
Rosaceae	<i>Cercocarpus fothergilloides</i>	Kunth		X								
Rosaceae	<i>Cercocarpus macrophyllus</i>	Schneid.			X	X	X					
Rosaceae	<i>Cercocarpus mojadensis</i>	C.K. Schneid.		X	X		X					
Rosaceae	<i>Crataegus baroussana</i>	Eggl.		X	X							
Rosaceae	<i>Fragaria mexicana</i>	Schltldl.	X	X	X		X		X			
Rosaceae	<i>Holodiscus discolor</i>	(Pursh) Maxim.	X									
Rosaceae	<i>Holodiscus discolor</i> var. <i>typicus</i>	F.A. Ley							X			
Rosaceae	<i>Lindleya mespiloides</i>	Kunth		X			X	X				

FAMILIA	NOMBRE	Autor	BA	BP	BM	BQ	ML	MDR	PSA	PI	McDonald (1993)	Nom-059
Rosaceae	<i>Potentilla leonina</i>	Standl.	X						X		X	
Rosaceae	<i>Potentilla ranunculooides</i>	Kunth		X								
Rosaceae	<i>Potentilla staminea</i>	Rydb.							X			
Rosaceae	<i>Prunus serotina</i>	Ehrh.			X	X						
Rosaceae	<i>Purshia plicata</i>	(D. Don) Henrickson		X	X							
Rosaceae	<i>Vauquelinia corymbosa</i> <i>subsp. heterodon</i>	(I.M. Johnst.) W.J. Hess & Henrickson		X								
Rubiaceae	<i>Bouvardia ternifolia</i>	(Cav.) Schldl.		X	X	X						
Rubiaceae	<i>Galium aschenbornii</i>	Schauer	X	X		X						
Rubiaceae	<i>Galium uncinatum</i>	DC.	X		X	X			X			
Rubiaceae	<i>Houstonia fasciculata</i>	A.Gray		X								
Rubiaceae	<b>RUBIACEAE</b>					X						
Rubiaceae	<i>Stenaria nigricans</i>	(Lam.) Terrell			X	X						
Rutaceae	<i>Choisya palmeri</i>	Standl.		X								
Salicaceae	<i>Populus tremuloides</i>	Michx.	X									
Salicaceae	<i>Salix paradoxa</i>	Kunth			X	X						
Saxifragaceae	<i>Heuchera mexicana</i>	W. Schaffn. ex Rydb.							X			
Scrophulariaceae	<i>Buddleja cordata subsp.</i> <i>tomentella</i>	(Standl.) E.M.Norman		X								
Selaginellaceae	<i>Selaginella pilifera</i>	Selaginella pilifera		X				X				
Smilacaceae	<i>Smilax bona-nox</i>	L.				X						
Solanaceae	<i>Hunzikeria texana</i>	(Torr.) D'Arcy				X						
Solanaceae	<i>Nectouxia formosa</i>	Kunth		X	X							
Solanaceae	<i>Nicotiana glauca</i>	Graham		X								
Solanaceae	<i>Physalis cinerascens</i>	(Dunal) Hitchc.		X								
Solanaceae	<i>Physalis orizabae</i>	Dunal							X			
Solanaceae	Solanaceae		X			X						
Solanaceae	<i>Solanum elaeagnifolium</i>	Cav.		X				X		X		
Solanaceae	<i>Solanum macropilosum</i>	Correll							X		X	
Solanaceae	<i>Solanum verrucosum</i>	Schldl.							X			
Verbenaceae	<i>Glandularia elegans</i>	(Kunth) Umber							X			
Verbenaceae	<i>Verbena recta</i>	Kunth		X	X				X			
Violaceae	<i>Viola galeanaensis</i>	M.S. Baker							X		X	
Xanthorrhoeaceae	<i>Asphodelus fistulosus</i>	L.								X		

BA= bosque de oyamel, BP= bosque de pino, BM= bosque mixto, BQ= bosque de encino, ML= chaparral, MDR= matorral desértico rosetófilo, PSA= pradera subalpina, PI= pastizal inducido.  
E= endémica PR= protección especial, A= amenazada, P= en peligro de extinción. PN= Endémica en San Antonio Peña Nevada

## ANEXO B (ANEXO FOTOGRÁFICO)



Figura 86 Panorámica del bosque de oyamel.

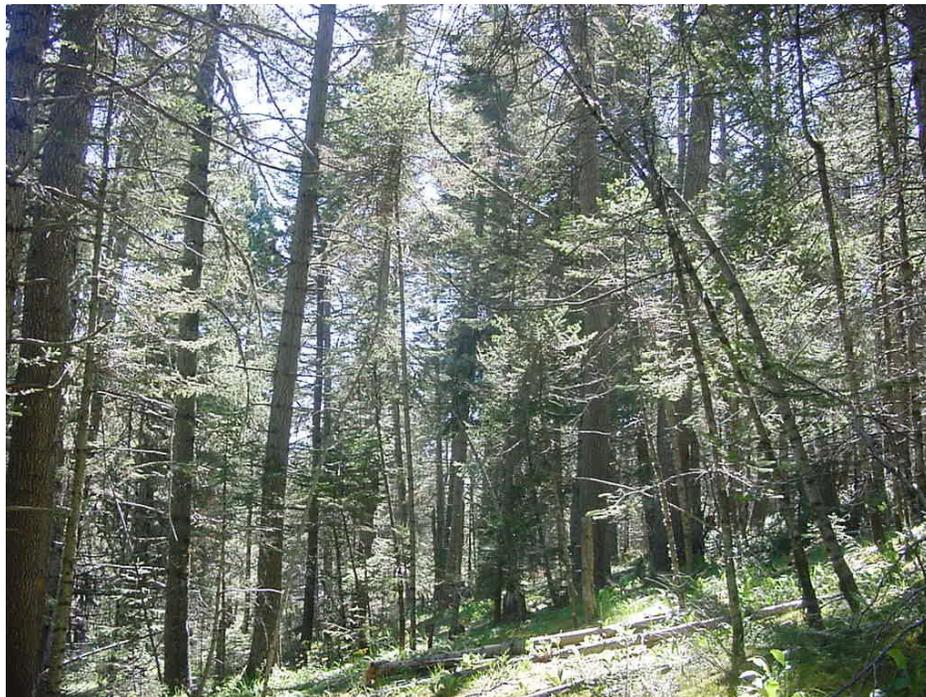


Figura 87 Estructura vertical del bosque de oyamel. Nótese el poco desarrollo del estrato arbustivo.



Figura 88 Panorámica del bosque de pino (dominado por *Pinus cembroides*).



Figura 89 Panorámica del bosque de pino (dominado por *Pinus nelsonii*).



Figura 90 Panorámica del bosque de pino (dominado por *Pinus hartwegii* y *P. pseudostrobus*).



Figura 91 Panorámica de bosque de encino.



Figura 92 Primer plano bosque de encino, al fondo se observa el chaparral con abundantes elementos arrosetados.



Figura 93 Vista interior del bosque de encino, dominado por *Quercus mexicana*.



Figura 94 Bosque mixto.

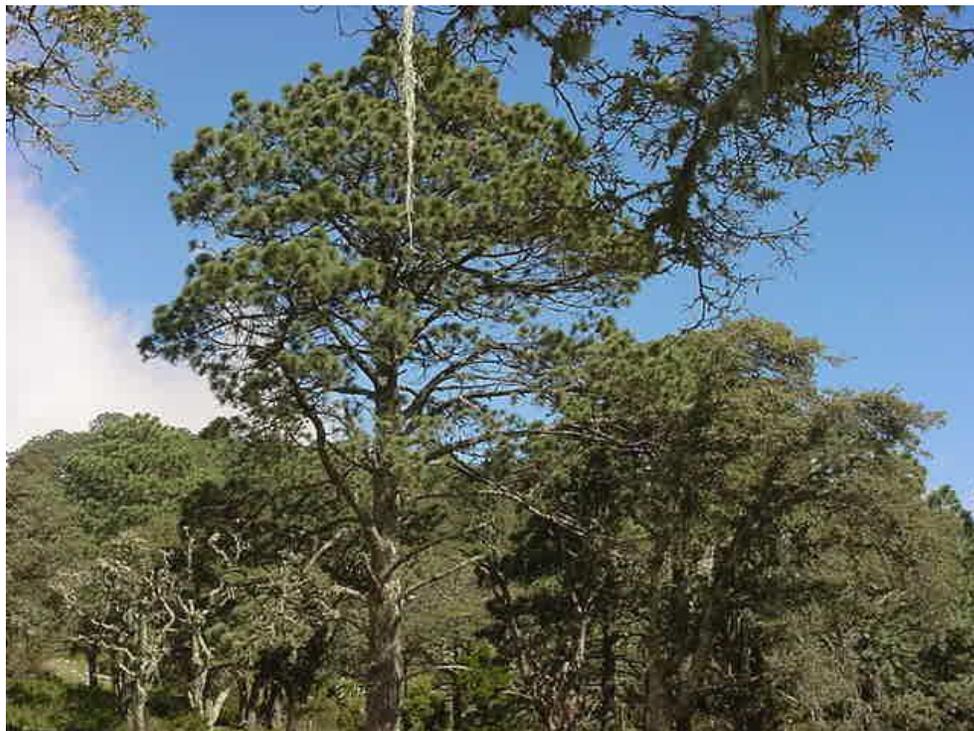


Figura 95 Bosque mixto de *Pinus pseudostrobus* y *Quercus polymorpha*.



Figura 96 Dos tipos de chaparral, a la izquierda chaparral dominado por *Quercus intricata*, a la derecha chaparral dominado por *Quercus mexicana*, con elementos arrossetados.



Figura 97 Chaparral de *Quercus mexicana*, *Q. greggii* y *Nolina hibernica*.



Figura 98 Matorral desértico rosetófilo.



Figura 99 Panorámica de la pradera subalpina.



Figura 100 Uso pecuario en la pradera subalpina.



Figura 101 Pastizal inducido producto de incendio forestal.



Figura 102 Pastizal inducido producto de descanso de zonas agrícolas.

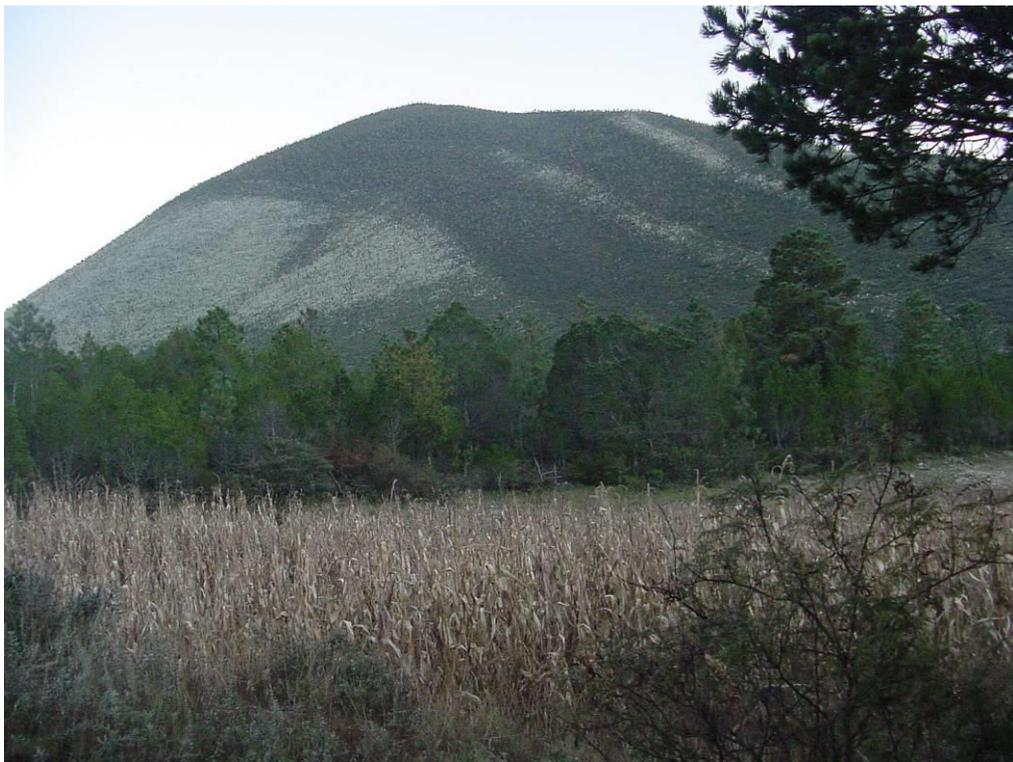


Figura 103 Agricultura de temporal.



Figura 104 Áreas incendiadas en el año 1998, nótese la comunidad secundaria resultante a 2 años del incendio.



Figura 105 Áreas incendiadas en 1998 cercanas al Picacho San Onofre.



Figura 106 Recuperación de suelo incendiado en el año 1998. A 3 años del incendio existe colonización de musgos y líquenes.



Figura 107 Área afectada por el incendio forestal de 1998. Los árboles de oyamel y ayarín murieron, sobreviviendo los árboles de *Pinus hartwegii*.



Figura 108 Comunidad de chaparral afectada por el incendio forestal de 1998, nótese la recuperación de la vegetación a 4 años del incendio. Se pueden observar los troncos de *Nolina hibernica* ennegrecidos por el fuego.

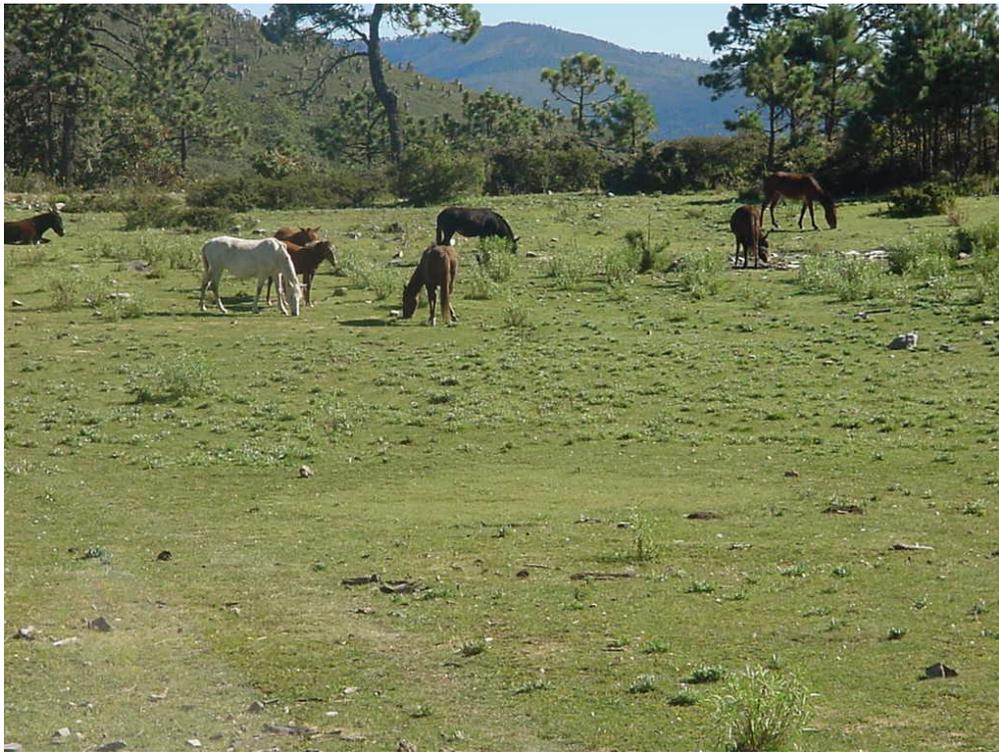


Figura 109 El pastoreo de ganado equino y bovino es uno de los problemas que enfrenta la pradera subalpina.



Figura 110 Aserradero. En la zona de estudio se hace extracción de madera de oyamel, ayarín y pino.



Figura 111 Posterior al incendio de 1998 se autorizó la extracción de los árboles quemados, pero se extrajeron también árboles sanos.



Figura 112 Oyamel atacado por *Dendroctonus*.



Figura 113 Árboles atacados por Descortezador (centro, árboles color rojizo o pardo).

## RESUMEN BIOGRÁFICO

Antonio Moreno Talamantes

Candidato para el Grado de:

Doctor en Ciencias Biológicas con Especialidad en Ecología

Tesis: ECOLOGÍA DEL PAISAJE Y CAMBIO DEL USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN EN LA SIERRA SAN ANTONIO PEÑA NEVADA, ZARAGOZA, NUEVO LEÓN.

Campo de Estudio: Ecología

Datos Personales: Nacido en Guadalupe Nuevo León el 26 de marzo de 1971, hijo de Antonio Moreno Talamantes y Mercedes Talamantes Ortiz.

Educación: Biólogo egresado de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León en el año de 1992. Especialista en Evaluación de Impacto ambiental, por la Universidad Europea Miguel de Cervantes, España en el año de 2011. Especialista en Cartografía y Percepción Remota, Área de Uso del Suelo y Vegetación, clase en 1993. Primer Lugar Nacional en el Diplomado: “Tratamiento Digital de Imágenes de Satélite para la Actualización Cartográfica” en el Tema de Uso del Suelo y Vegetación. INEGI, Ags. Ags. Año 1998.

Experiencia Profesional: Supervisor de proyectos de Ducks Unlimited de México A.C. desde el 1° de Julio de 2006 a Mayo de 2014, Prestador de Servicios y Asesorías en Sistemas de Información Geográfica, Percepción Remota y Ecología desde el año 1998 a la fecha. Secretario de la ONG especies Sociedad y Hábitat, A.C., desde Diciembre de 2011. Subjefe de departamento en el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, en el la Subdirección de Geografía, Regional Noreste de Noviembre de 1992 a Junio de 2000.

Publicaciones:

- García-Aranda, M. A.; C. Cantú-Ayala, E. Estrada-Castrillón, M. Pando-Moreno y A. Moreno-Talamantes. 2012.** Distribución actual y potencial de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México. *J. Bot. Res. Inst. Texas* 6(2): 585 – 596.
- Moreno T., A. 2007.** Cambio de la cubierta vegetal y sus procesos espaciales de transformación en la Sierra San Antonio Peña Nevada, Zaragoza, Nuevo León. Resúmenes de la Reunión Nacional SELPER - Capítulo México. Monterrey, N.L.

Libros:

- Flores M., J. J.; A. Moreno T., M. A. García A., O. A. Leal. N., C. Ibarra S., R. M. González I., C. B. Ramos S. N. N. Villa H., O. G. Paz T., S. Salazar H. y S. G. Ortíz M. 2013.** Biodiversidad y desarrollo rural en la Sierra Madre Oriental de Nuevo León. Secretaría de Desarrollo Social - Especies Sociedad y Hábitat, A. C.

Capítulos de libro:

- Flores M., J. J.; M. A. García A. y A. Moreno T. 2013.** Presentación y descripción general de la zona de estudio. En: Flores M., J. J.; A. Moreno T., M. A. García A., O. A. Leal. N., C. Ibarra S., R. M. González I., C. B. Ramos S. N. N. Villa H., O. G. Paz. T., S. Salazar H. y S. G. Ortíz M. Biodiversidad y desarrollo rural en la Sierra Madre Oriental de Nuevo León, Secretaría de Desarrollo Social - Especies Sociedad y Hábitat, A. C. Pp. 1-12.
- Flores M., J. J.; M. A. García A., A. Moreno T. y S. Favela L. 2013.** Análisis de la riqueza de especies de la familia Pinaceae en la Sierra Madre Oriental a partir de modelos de nicho ecológico para la identificación de áreas de relevancia para la conservación de la biodiversidad. En: Flores M., J. J.; A. Moreno T., M. A. García A., O. A. Leal. N., C. Ibarra S., R. M. González I., C. B. Ramos S. N. N. Villa H., O. G. Paz. T., S. Salazar H. y S. G. Ortíz M. Biodiversidad y desarrollo rural en la Sierra Madre Oriental de Nuevo León, Secretaría de Desarrollo Social - Especies Sociedad y Hábitat, A. C. Pp. 55-66.
- Moreno T., A. y M. A. García A. 2012.** Cambio de uso de suelo y captura de carbono en la Sierra Madre Oriental. En: Flores M., J. J.; A. Moreno T., M. A. García A., O. A. Leal. N., C. Ibarra S., R. M. González I., C. B. Ramos S. N. N. Villa H., O. G. Paz T., S. Salazar H. y S. G. Ortíz M. Biodiversidad y desarrollo rural en la Sierra Madre Oriental de Nuevo León, Secretaría de Desarrollo Social - Especies Sociedad y Hábitat, A. C. Pp. 67-105.
- Moreno T. A. 2013.** Flora y Vegetación. En: Participación Social y Capital Natural de Zaragoza, Nuevo León. Especies, Sociedad y Hábitat, A. C. (Eds). Instituto Nacional de Desarrollo Social, Programa de Coinversión Social. Pp 23-56
- Leal N., O. A.; J. J. Flores M.; A. Moreno T. 2013.** Servicios Ambientales. En: Participación Social y Capital Natural de Zaragoza, Nuevo León. Especies, Sociedad y Hábitat, A. C. (Eds). Instituto Nacional de Desarrollo Social, Programa de Coinversión Social. Pp 65-97.