



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA
POSGRADO EN GEOGRAFÍA

**DETERMINACIÓN Y APLICACIÓN DE
INDICADORES AMBIENTALES EN MILPA ALTA,
DISTRITO FEDERAL**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A :

MARÍA DE LOURDES RODRÍGUEZ GAMIÑO

DIRECTOR DE TESIS: DR. JORGE LÓPEZ BLANCO



MÉXICO, D. F. 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Í N D I C E

	Pág.
Introducción	1
Justificación	3
Objetivos	4
Hipótesis	4
CAPÍTULO 1. Enfoques, métodos y procesos sobre indicadores	5
1.1. Estado del arte en el desarrollo de indicadores.	7
1.2. Indicadores ambientales de la OCDE	7
1.3. Indicadores ambientales	8
1.4. Índices, indicadores y datos ambientales	10
1.5. Iniciativas de indicadores ambientales	12
1.6. Índices ambientales	16
1.7. Indicadores ambientales en México	17
1.8. Revisión sobre aplicación de indicadores ambientales	20
CAPÍTULO 2. Área de estudio	26
2.1 Localización del área de estudio	26
2.2 Características Generales del Área	27
2.2.1. Geología	27
2.2.2. Hidrología	28
2.2.3. Clima	28
2.2.4. Suelos	29
2.2.5. Tipos de vegetación	30
2.3. Usos del suelo	30
2.4. Aspectos sociales	31
2.5. Aspectos económicos	32
2.6. La delegación Milpa Alta como área rural	32
2.7. Antecedentes de la relación campo-ciudad en la periferia del D. F.	34
2.8. Milpa Alta como integrante de la periferia metropolitana	36
CAPÍTULO 3. Marco Conceptual	39
3.1. Conceptos sobre indicadores	39
3.2. Criterios de Selección de indicadores	40

3.3. Función de los indicadores	41
3.4. Herramientas analíticas para los indicadores	42
3.5. Modelos aplicados por instituciones para los indicadores	43
3.6. Escalas espaciales de los indicadores	45
CAPÍTULO 4. Metodología	48
4.1. Delimitación de unidades geomorfogenéticas	48
4.1.1. Delimitación de las unidades ambientales biofísicas (UAB)	50
4.2. Determinación de indicadores ambientales	51
4.2.1 Determinación de indicadores de presión	52
4.2.1.1 Indicador de cambio de uso de suelo y cobertura vegetal	53
4.2.1.2. Indicador de incendios forestales	54
4.2.1.3. Indicadores económicos	54
4.2.2. Determinación de indicadores de estado	54
4.2.2.1. Indicadores de cobertura vegetal y uso de suelo de 1970 y 2000	55
4.2.2.2. Indicadores de cobertura vegetal	55
4.2.2.3. Indicadores de clima	58
4.2.2.4. Indicadores de suelos	58
4.2.2.5. Indicadores de agua	60
4.2.2.6. Indicadores sociales	60
4.2.3. Indicadores de respuesta	61
4.3. Trabajo de campo	61
4.3.1. Muestreo de suelos	61
4.3.2 Muestreo de vegetación	62
4.3.2.1. Selección de los sitios de muestreo de vegetación	62
4.3.2.2. Establecimiento de círculos de muestreo	63
4.3.2.3. Medición de diámetro altura de pecho (DAP)	63
4.3.2.4. Método de medición y cálculo de alturas	63
4.3.2.5. Toma de datos sobre conservación y perturbación	63
4.4. Trabajo de laboratorio	64
4.5. Aplicación de entrevistas	64
4.6. Análisis multivariado	66
4.6.1. Análisis de componentes principales	67
4.6.2. Determinación de factores	68
4.6.3. Análisis de agrupamiento (<i>Cluster</i>)	69

CAPÍTULO 5. Resultados y discusión	71
5.1. Unidades geomorfológicas morfogenéticas	71
5.1.1. Características de los sistemas morfogenéticos	71
5.1.2. Grupos de unidades ambientales biofísicas (UAB)de Milpa Alta	77
5.2. Indicadores de presión	84
5.2.1. Indicador de crecimiento de la población	85
5.2.2. Indicador de distribución de la población urbana y rural	86
5.2.3. Indicador de la tasa de crecimiento anual de la población	86
5.2.4. Indicador de densidad de la población	86
5.2.5. Indicador de la población económicamente activa	88
5.2.6. Sistemas de producción	89
5.2.7. Indicador de pérdida de superficie sembrada y cosechada	90
5.2.8. Indicador de valor de la producción	91
5.3.9. Indicador de producción pecuaria	92
5.2.10. Cambio de uso de suelo	94
5.2.11. Indicador de incendios	97
5.3 Indicadores ambientales de estado	101
5.3.1. Indicadores ambientales biofísicos de estado	101
5.3.1.1. Indicador de uso de suelo y cobertura vegetal	101
5.3.1.2. Indicador de cobertura vegetal	106
5.3.1.3. Indicadores de vegetación	110
5.3.1.4. Indicador de distribución de la temperatura	120
5.3.1.5. Indicador de distribución de la precipitación	122
5.3.1.6. Indicadores de calidad de suelo	123
5.3.1.7. Indicador de demanda de agua	134
5.3.2. Indicador de sociales y económicos de estado	135
5.3.2.1. Indicador de crecimiento de la población	135
5.3.2.2. Indicador de alfabetismo y analfabetismo	136
5.3.2.3. Indicador de la población con derecho y sin derecho a los servicios de salud	137
5.3.2.4. Indicador de tenencia de la tierra	139
5.4 Indicadores de respuesta	141
5.4.1. Instituciones para apoyar las actividades rurales y de conservación de los recursos naturales	141
5.4.2. Creación del suelo de conservación	145
5.4.3. Programas de desarrollo urbano	146
5.5. Análisis multivariado	146

5.5.1 Análisis de componentes principales	146
5.5.2 Determinación de los factores a considerar	147
5.5.3 Análisis de agrupamiento estadístico (<i>Cluster</i>)	151
5.6. Análisis de resultados	153
Conclusiones	164
Literatura citada	168
Anexo 1. Diseño de la entrevista	181
Anexo 2. Fotográfico	185

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Índices utilizados para medir el desarrollo en los sectores económico y social	9
Tabla 1.2. Reportes ambientales de índices, indicadores y datos ambientales	10
Tabla 1.3. Iniciativas de indicadores ambientales a nivel internacional	12
Tabla 1.4. Lista de datos ambientales comúnmente disponibles	15
Tabla 1.5. Índices ambientales de sustentabilidad ambiental	18
Tabla 1.6. Instituciones que trabajan en la propuesta de indicadores en México	21
Tabla 4.1. Clasificación de la cobertura vegetal	56
Tabla 4.2. Estaciones meteorológicas con influencia en Milpa Alta	58
Tabla 4.3. Matriz para la realizar el análisis de componente principales	70
Tabla 5.1. Unidades geomorfológicas de los sistemas morfogenéticos	72
Tabla 5.2. Grupos de unidades ambientales biofísicas (UAB)	78
Tabla 5.3. Indicadores propuestos para el área de estudio	84
Tabla 5.4. Indicador de la tasa de crecimiento anual	86
Tabla 5.5. Indicador de densidad de la población de 1950 a 2000	88
Tabla 5.6. Población económicamente activa de las localidades de Milpa Alta	89
Tabla 5.7. Principales cambios de cobertura y uso de suelo de 1970 a 2000	98
Tabla 5.8. Porcentaje de cobertura vegetal en Milpa Alta de 1970 a 2000	109
Tabla 5.9. Número de especies por familia y su proporción con respecto al total	110
Tabla 5.10. Altura promedio e intervalos de alturas de las especies por sitio en Milpa Alta	111
Tabla 5.11. Estructura diamétrica e intervalos de DAP de las especies por sitio en Milpa Alta	113
Tabla 5.12. Índice de valor de importancia	115
Tabla 5.13. Índices de similitud Sorensen y especies compartidas entre sitios del área de estudio	117
Tabla 5.14. Índice de diversidad de Shannon por sitio y UAB	119
Tabla 5.15. Temperatura y precipitación de las estaciones meteorológicas	121
Tabla 5.16. Propiedades físicas de los suelos de Milpa Alta	125

Tabla 5.17. Propiedades químicas de los suelos de Milpa Alta	131
Tabla 5.18. Pozos de agua potable en la delegación Milpa Alta	135
Tabla 5.19. Crecimiento de la población total de 1950 a 2000	136
Tabla 5.20. Población de las localidades de Milpa Alta (1970 y 2000)	137
Tabla 5.21. Indicador de la población analfabeta y analfabeta de los poblados de Milpa Alta	138
Tabla 5.22. Población con derecho y sin derecho a los servicios de salud de Milpa Alta	139
Tabla 5.23. Superficie y su situación agraria	140
Tabla 5.24. Tenencia de la tierra de régimen social	140
Tabla 5.25. Componentes principales, sus eigenvalores y la varianza explicada	147
Tabla 5.26. Matriz de factores o eigenvectores producto del análisis de los componentes principales.	148

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Localización del área de estudio	26
Figura 3.1. Modelo indicadores de presión-estado-respuesta (PER)	44
Figura 4.1. Diagrama metodológico	49
Figura 4.2. Indicadores ambientales ordenados de acuerdo en el modelo PER, con los indicadores propuestos para la delegación Milpa Alta	52
Figura 4.3. Clases de cobertura	56
Figura 4.4. Modelo sombreado con los sitios de muestreo de suelos, en la fotografías se observan la toma de las muestras y la profundidad	62
Figura 4.5. Modelo de relieve sombreado, diseño de muestreo de vegetación y trabajo de campo	65
Figura 4.6. Realización de entrevistas en campo con los productores de Milpa Alta	66
Figura 5.1. Mapa de relieve sombreado con las 801 unidades geomorfológicas	73
Figura 5.2. Mapa de los sistemas morfológicos	79
Figura 5.3. Mapa de las unidades ambientales biofísicas (UAB).	81
Figura 5.4. Crecimiento de la población.	85
Figura 5.5. Distribución urbana y rural de la población	87
Figura 5.6. Indicador de superficie sembrada y cosechada	91
Figura 5.7. Valor de la producción	92
Figura 5.8. Indicador de la pérdida de la producción pecuaria	93
Figura 5.9. Mapas que muestran los cambios de cobertura vegetal y uso de suelo de 1970 a 2000, incremento de áreas urbanas principalmente crecimiento de los polígonos de los poblados de la delegación Milpa Alta	95
Figura 5.10. Cambios de cobertura vegetal y uso de suelo de 1970 a 2000, áreas de pastizales en 1970, para el año 2000 fueran áreas agrícolas	96
Figura 5.11. Cambios principales de cobertura vegetal y uso de suelo de 1970 a 2000 de la delegación Milpa Alta	97

Figura 5.12. Gráfica de tipos de vegetación afectada por incendios	99
Figura 5.13. Extensión de áreas incendiadas de 1994 a 2003	100
Figura 5.14. Usos del suelo de 1970 y 200 en Milpa Alta	102
Figura 5.15. Mapa de uso de suelo y tipos de vegetación para el año 1970	103
Figuras 5.16. Mapa de uso de suelo y tipos de vegetación para el año 2000	104
Figuras 5.17. Se muestran los polígonos de los poblados de los años 1970 y 2000	106
Figura 5.18. Grafica de % de sitios de similitud	117
Figura 5.19. Distribución de la temperatura en Milpa Alta	122
Figura 5.20. Distribución de la precipitación en Milpa Alta	124
Figura 5.21. Gráfica de los eigenvalores encontrados en los componentes principales	148
Figura 5.22 Gráfica de factores de los grupos de las UAB	150
Figura 5.23 Dendrograma de los grupos de Unidades Ambientales Biofísicas de Milpa Alta	152

AGRADECIMIENTOS

A la *Universidad Nacional Autónoma de México* especialmente a la Facultad de Filosofía y Letras, por darme la oportunidad de continuar y concluir los estudios de Doctorado.

Al Departamento de Geografía Física del *Instituto de Geografía*, por las facilidades proporcionadas para el desarrollo del presente trabajo.

Al Dr. **Jorge López Blanco** por su dedicación, tiempo, amistad, tolerancia, paciencia, apoyo, y por su excelente dirección para la realización de este trabajo.

A la **Dra. Blanca Ramírez Velázquez** por su apoyo, tiempo y amistad. A la **Dra. Rosa I. Trejo Vázquez** por sus valiosos comentarios que enriquecieron el trabajo. Al **Dr. Gilberto Vela Correa**, por sus conocimientos científicos y sus valiosas sugerencias para mejorar el presente trabajo y al **Dr. José Ramón Hernández Santana** por sus sugerencias al trabajo y por su amistad.

A los miembros del H. Jurado integrado por el Dr. Jorge López Blanco, Dra. Blanca Ramírez Velázquez, Dra. Irma Trejo Vázquez, Dr. Gilberto Vela Correa y al Dr. José Ramón Hernández Santana. Gracias a todos por sus valiosos comentarios y aportaciones.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (*CONACYT*) y a la Dirección de Asuntos del personal Académico (*DGPA*) por el apoyo de beca para realizar los estudios de Doctorado.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación Tecnológica (*PAPIIT*) con clave IN-102503 de los proyectos denominados “*Determinación y aplicación de indicadores ambientales a escala detallada para la evaluación biofísica y la planeación del territorio el caso Milpa Alta Distrito Federal*”

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación Tecnológica (PAPIITI) con clave IN-114807-3 “*Indicadores para el desarrollo sustentable de la Sierra Chichinautzin de importancia ambiental para la Zona Metropolitana del Valle de México*”

A todo el personal académico, técnico y administrativo, que facilitó mi desempeño dentro del Instituto de Geografía. Especialmente a Jaime Gaytan Gil.

Al personal de la Biblioteca del Instituto de Geografía por las facilidades y apoyo bibliográfico. Especialmente a Toñita, Arturo y David.

A los compañeros *Geógrafos* que compartieron conmigo el cubículo Pedro, Rafael, Liz, Marina, Virginia y a los compañeros de pasillo.

A la Comisión de Recursos Naturales (CORENA) del Gobierno del Distrito Federal particularmente al Ingeniero Salvador Castro Zavala director del Vivero de San Luis Tlaxiátemalco por su apoyo para la realización del Doctorado y al Ing. Joaquín Lara Galicia por las facilidades brindadas para la obtención de los datos sobre incendios forestales de la delegación Milpa Alta.

A la *Representación de Bienes Comunes* de Milpa Alta por todas las facilidades brindadas para llevar a cabo el trabajo de campo.

Al Dr. Gilberto Vela Correa responsable del Laboratorio de Edafología de la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco por el apoyo en los análisis de suelo.

A los estudiantes y tesistas del laboratorio de Edafología de la UAM-X. Héctor Monsalvo Castillo, Cintia M. Leyva, Pedro Montes Cruz, Marina Ferreira y Armando Navarrete Segueda.

Se reconoce la ayuda brindada por Gilberto Vela Correa, Jorge López Blanco, Felipe Jiménez

Muñoz, Héctor Monsalvo Castillo, Cintia M. Leyva, Marina Ferreira Ocaña, Armando Navarrete Segueda, Adriana Guzmán Cansino y Enrique Sucedo Plata, por su apoyo brindado durante el trabajo de campo y por su amistad. Gracias.

A los compañeros de la UAM-X Aurora Chimal, José Arévalo, Marta Chávez, Gilberto Binqvist, Iván Roldán, y especialmente a Jesús Sánchez por su apoyo en estadística.

A mis cuates los corredores del Bosque de Nativitas: Agustín, Manuelito, Lupita, Gloria, Jesús, Elvira, Juan, José Luís, Alicia, Jaime, Ángeles, Marco y Noemí.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todos mis seres queridos, que me han apoyado
y que han confiado en mí para lograr esta meta
la cual es muy importante en mi vida personal y profesional.

A mi mamá *Raquel* que me enseñó a ser responsable y trabajadora.

A mi papá *Rafael* que siempre se ha sentido orgulloso de mí.

A mis hermanos: Rafael, Lucia, Miguel y Pilar

A mis sobrinos *Josué Eduardo* y *André Miguel*.

Especialmente a GIL por todo su apoyo y confianza

Con gratitud al Dr. Jorge López Blanco por sus consejos

A la *MUSICA* y a mis *LIBROS*
por que me acompañan siempre y forman parte de mi vida.

A la vida por todo lo que me brinda todos los días

*Ser sabio es una virtud,
por que se aprende a vivir la vida.
Lulú*

*No hay que confundir nunca el conocimiento con la sabiduría.
El primero nos sirve para ganarnos la vida;
la sabiduría nos ayuda a vivir.
Sorcha Carey*

*Los sabios son los que buscan la sabiduría;
los necios piensan ya haberla encontrado.
Napoleón Bonaparte.*

RESUMEN

Se determinaron indicadores ambientales en la Delegación Milpa Alta, a escala detallada, con el propósito de evaluar el estado actual en que se encuentran sus recursos naturales. Se obtuvieron unidades ambientales biofísicas (UAB) a partir de las características geomorfogenéticas, las cuales sirvieron de base como unidades sintéticas. Se definieron indicadores de relieve, cambio de uso del suelo y cobertura vegetal, clima, suelos e incidencia de incendios, así como de aspectos sociales y económicos. Las UAB son principalmente de origen endógeno volcánico con andesitas-basálticas pleisto-holocénicas. Los indicadores del relieve mostraron que son de laderas superiores, medias e inferiores de flujos lávicos; piedemonte acumulativo aluvial y mixto; y planicies aluviales holocénicas generales, internas de cráter e intermontanas. El cambio de uso del suelo 1970-2000 presentó un incremento de las zonas agrícolas sobre los pastizales, la extensión de los bosques de *Pinus*, *Abies*, *Quercus* y matorral, no cambió sustancialmente. El clima está influenciado por las características altitudinales. Los suelos presentan elevados contenidos de materia orgánica, son ligeramente ácidos, de textura migajón-arenosa, con una elevada capacidad de intercambio catiónico y un complejo de cambio dominado por Ca^{2+} . Se han presentado incrementos en la superficie urbana de las principales localidades y en el número de habitantes. Los indicadores socio-económicos mostraron cambios significativos en cuanto a un incremento en la población y las actividades económicas, la agricultura presenta bajos rendimientos en los cultivos anuales. Los indicadores de los recursos naturales analizados no muestran un deterioro significativo, sin embargo, los socioeconómicos sí mostraron un mayor cambio.

Palabras clave: Indicadores Ambientales, Unidades Ambientales Biofísicas, Milpa Alta.

ABSTRACT

Environmental indicators at detailed scale of the Milpa Alta Delegation were determined in order to evaluate the present condition of natural resources. Environmental Biophysical Units (EBU) from the geomorphogenetic characteristics were obtained, which served as base units for land management purposes. Indicators of relief, land use/cover change, climate, soils, wildfires frequency/intensity, and social and economic issues were determined. The EBU are from volcanic endogenous origin with andesite-basalte lava flows of Pleistocene-Holocene. The relief indicators shown that are of upper, medium and lower slopes of lava flows, alluvial and complex accumulative piedmonts, general, interior of crater and intermountain Holocene alluvial plains. The land use/cover change 1970-2000 presented an increase of the agricultural areas over the grassland. The extend of *Pinus*, *Abies*, *Quercus* and scrub have not been modified substantially. Climate is influenced by elevation characteristics. Soils presented high organic matter contents, slightly acid, loamy-sand texture, with a high cationic interchange capacity and a complex of change dominated by Ca^{2+} . In the main localities the increasing of urban areas and inhabitants has been presented. Socioeconomic indicators shown significant changes regarding to population increasing and economic activities. Agriculture presented low yields in annual crops. The indicators analyzed suggest that natural resources do not show a significant declining; nevertheless, the socioeconomic indicators were those that presented big changes.

Keywords: Environmental Indicators, Environmental Biophysical Units, Milpa Alta.

INTRODUCCIÓN

La presión de las comunidades humanas sobre los recursos naturales ha sido cada vez más creciente en las últimas décadas, esto ha generado procesos de degradación en el ambiente, de diferentes tipos, magnitudes y ámbitos de influencia. Como una estrategia de evaluación de dichos procesos, se han determinado y aplicado indicadores ambientales generales a nivel nacional (SEMARNAP, 1999). Sin embargo en el ámbito local, es decir, con escala detallada, existe una carencia marcada de intentos de desarrollo de parámetros o indicadores que permitan medir el grado de deterioro de los recursos naturales (Masera *et al.*, 2000).

En este estudio se plantea la aplicación de una propuesta metodológica que está entre los dos enfoques aplicados actualmente para construir indicadores ambientales, i) evaluaciones rápidas con escalas espaciales y temporales muy generales o poco detalladas; ii) evaluaciones muy detalladas, a escala de parcela y donde sólo se pueden realizar en condiciones casi experimentales (Masera *et al.*, 2000).

Los indicadores ambientales surgen de la necesidad de contar con fuentes de información que permitan describir el estado en que se encuentra el ambiente biofísico y los recursos naturales. Ellos se han considerado como indispensables dentro del diseño de políticas de manejo y planeación por los gobiernos locales. Los indicadores ambientales del desarrollo se definen como la cuantificación de información, la cual ayuda a explicar cómo están cambiando las condiciones a través del tiempo (Farrow y Winograd, 2001).

Los indicadores ambientales se definen como estadísticas o parámetros que proporcionan información y tendencias sobre las condiciones de los fenómenos naturales, económicos y sociales (INE, 1997). La Organización para la Cooperación del Desarrollo Económico (OCDE) establece que un indicador cuantifica y simplifica los fenómenos y ayuda a entender la realidad compleja, por lo tanto un indicador dice algo sobre los cambios que se presentan en un sistema socioambiental. Stein *et al.* (2001), establecen que el valor de los indicadores ambientales depende de su escala temporal-espacial y de su utilidad para los tomadores de decisiones, debido a que auxilian en la elaboración de propuestas de administración del capital natural y sobre todo porque son una herramienta de comunicación general.

Los indicadores permiten acceder a información sobre los factores biofísicos y socioeconómicos, que representan los dos elementos claves de la problemática ambiental

biofísica (CSIRO, 1998), debido a que no son solamente una pieza de información cuantitativa, sino que describen un factor ambiental y registran sus tendencias de avance para conseguir un objetivo establecido (CSIRO, 1998). Asimismo los indicadores ambientales representan un método de evaluación y deben: a) explicar lo referente a un problema o a una cuestión de interés; b) unir el sistema con el problema mismo en una forma transparente; c) ser aplicables a varios sistemas y ser capaces de mostrar cambios a través del tiempo y d) ser viables para registrarse o calcularse a un costo razonable. Esto permite múltiples medidas en los sistemas naturales y socioeconómicos mediante, el monitoreo del estado del ambiente, la comparación de diferentes subsistemas y el mantenimiento de los indicadores (Gaunt *et al.*, 1997).

Este estudio está integrado de los siguientes capítulos: en el capítulo uno se consideraron los enfoques, métodos y procesos sobre indicadores ambientales, se muestra información sobre el desarrollo que han tenido los indicadores como una propuesta para el monitoreo del desarrollo sustentable. Además se presenta información sobre estudios realizados de indicadores ambientales y de algunas de sus aplicaciones a nivel internacional y nacional.

El capítulo dos está conformando por un marco geográfico de referencia del área de estudio y el capítulo tres está integrado por un marco conceptual, por lo que en primera instancia se presentan varias definiciones sobre indicadores ambientales, los criterios de selección, sus funciones, las herramientas analíticas para definirlos, evaluarlos y por último la utilización del modelo Presión-Estado-Respuesta (PER) (OCDE, 1994)

En el capítulo cuatro se presenta la información sobre los métodos que se han empleado para la determinación de los indicadores ambientales que se consideraron para la realización de esta tesis. Por otra parte la metodología consistió en la revisión de literatura para conformar un marco teórico y conceptual. Se realizó trabajo de fotointerpretación y elaboración de la cartografía y se trabajó con fotografías aéreas en la determinación de las unidades ambientales biofísicas. Se definieron indicadores de relieve, suelo, cambios de cobertura vegetal y usos del suelo, y vegetación a escala 1:20,000, considerando para ello a las unidades ambientales biofísicas. El trabajo de campo consistió en la verificación de información de las unidades geomorfológicas morfogenéticas y de las unidades ambientales biofísicas, en los muestreos de suelos y vegetación, asimismo en la aplicación de entrevistas.

La información social y económica se obtuvo de los censos de INEGI, que sirvieron de base para la elaboración de los indicadores, los cuales se analizaron a escala delegacional que fueron fundamentales, para definir los indicadores de presión. Por último se procedió a realizar un análisis integrado con apoyo de las técnicas estadísticas multivariadas.

En el capítulo cinco se presentan los resultados y discusión generados durante la investigación. Se presenta la información sobre los indicadores ambientales, los cuales se dividieron para su análisis en indicadores de presión, estado y respuesta, los primeros para conocer la dinámica del crecimiento de la población y su influencia sobre los indicadores de estado actual que guardan los recursos naturales, la sociedad y sus actividades económicas, e información sobre el estado en que se encuentran los ecosistemas del área, con respecto a su conservación o perturbación de acuerdo a las observaciones realizadas en campo. Por último en el capítulo seis se presentan las conclusiones a las que se llegaron con los resultados obtenidos de esta investigación.

JUSTIFICACIÓN

Para evaluar las consecuencias de la instrumentación de la política y la efectividad de los programas de planeación, es necesario monitorear de manera específica los cambios que se presentan por el uso de los recursos naturales, y cómo están afectando al ambiente natural. Por lo que es necesario, formular indicadores que permitan monitorear el impacto humano sobre el ambiente y, tratar de relacionar el uso de los recursos naturales por el ser humano (Torres, 1999). El desarrollo de indicadores es relevante en los procesos de análisis, comprensión, creación y modificación de sistemas de todo tipo.

Los indicadores permitirán entender un sistema específico en comparación con otros sistemas a lo largo del tiempo. Los indicadores y su medición son valoraciones exactas de diferentes manejos de ecosistemas naturales. Por lo tanto, el esfuerzo de clasificación y valoración será riguroso y requiere de indicadores selectivos que sean operacionales para su generalización y garanticen su validación global. En este tipo de validación es relevante la escala espacial y temporal con que la medición pueda hacerse para cada indicador (Torres, 1999).

Considerando lo anterior, este trabajo aportará información científica a detalle y conocimientos amplios sobre los procesos que se dan entre el medio natural y la influencia humana dentro de la Delegación Milpa Alta. Una contribución fundamental son las

evaluaciones biofísicas a partir de la medición y análisis de indicadores ambientales, a escala detallada (1:20,000), en áreas de importancia biótica y socioeconómica, con miras a hacer propuestas para la toma de decisiones en planeación ambiental territorial. Este estudio contribuirá al conocimiento de los elementos principales que intervienen en la evaluación de la condición ambiental y del capital natural a partir de los indicadores ambientales en el área de estudio.

OBJETIVO GENERAL. Determinar y evaluar los principales indicadores ambientales de la delegación Milpa Alta, a escala detallada (1:20,000), para conocer el estado actual del ambiente, que sirvan como información básica en la elaboración de programas y proyectos de planeación para un manejo adecuado de los recursos naturales. Los objetivos particulares son: definir indicadores biofísicos y socioeconómicos de acuerdo a las problemática local y temporal del área, que permitan monitorear las condiciones y los cambios de los recursos naturales con relación al desarrollo sustentable en la delegación Milpa Alta y aplicar los indicadores en unidades ambientales representativas del área de estudio, que permitan conocer el impacto que provocan las actividades humanas sobre los recursos naturales.

HIPÓTESIS

- Se aplicarán indicadores a escala detallada de acuerdo con las características biofísicas y socioeconómicas del área, que permitirán contar con bases para la planeación a nivel local.
- El uso del suelo urbano se ha incrementado en las áreas agrícolas aledañas a las localidades, provocando un deterioro ambiental sobre los recursos naturales.
- La extensión de la cobertura vegetal de las áreas forestales de la delegación Milpa Alta no ha sufrido una reducción drástica de 1970 a 2000.
- Las actividades económicas de agricultura y pastoreo están generando un alto nivel de degradación en las áreas de bosque, mientras que los indicadores ambientales medidos a partir de sitios de campo y de fotointerpretación, permitirán monitorear la relación causa-efecto.
- El recurso suelo presenta una mayor degradación en las áreas agrícolas de producción de nopal, y se encuentra mejor conservado en las áreas boscosas.

CAPÍTULO 1. ENFOQUES, MÉTODOS Y PROCESOS SOBRE INDICADORES AMBIENTALES

La adopción formal por parte de las Naciones Unidas del concepto de desarrollo sustentable, es un factor importante para la creación, de la Comisión Mundial sobre Ambiente y Desarrollo en 1983, que se publicó en el documento titulado *Nuestro Futuro Común*, también conocido como el *Informe Brundtland*; este informe subrayó a la pobreza en los países del sur y al consumismo extremo de los países del norte como las causas fundamentales de la insostenibilidad del desarrollo y la crisis ambiental (WCED, 1987). A partir de este momento se crea la Comisión de Desarrollo Sostenible (CDS), con el mandato de monitorear el progreso hacia ese tipo de desarrollo, por lo que se hizo necesario contar con instrumentos que permitieran medirlo el desarrollo sustentable, por lo que cobra importancia el diseño y uso de indicadores de sustentabilidad ambiental y de desarrollo (Quiroga, 2001).

El desarrollo de indicadores se inicia a finales de la década de los 80's en Canadá y en algunos países de Europa y tuvo un mayor impulso a partir de la Cumbre de la Tierra, pero es a partir de la Conferencia sobre Desarrollo Humano que se realizó en Estocolmo, Suecia y en la Cumbre de Río en Brasil que se celebró en 1992, donde se derivaron recomendaciones para la creación y uso de indicadores, con el propósito de medir los avances de la compatibilidad ambiental, social y económica en los países participantes (Alcalá, 2006).

Derivado de la Reunión de Río, uno de los principales resultados obtenidos fue la Agenda 21 (Programa de la Organización de las Naciones Unidas, ONU), que tiene como objetivo promover el desarrollo sostenible. Se elaboró a partir de la Agenda 21 un plan detallado de acciones que deben ser llevadas a cabo a nivel mundial, nacional y local por entidades de la ONU, los gobiernos de sus estados miembros y por grupos principales particulares en todas las áreas en las cuales ocurren impactos humanos sobre el ambiente biofísico (PNUMA, 2001; Rosenstrom, 2002).

Quiroga (2001) menciona la experiencia mundial acumulada en la sistematización de indicadores de sostenibilidad ambiental de primera (1980), segunda (1990) y de tercera generación (2000), la primera son los indicadores que reciben el nombre de indicadores ambientales, que corresponden a indicadores parciales, que dan cuenta de fenómenos complejos desde un sector productivo (agricultura o forestal), o bien desde la singularidad o un número reducido de dimensiones (ambiental, referido a variables de contaminación, o de

recursos naturales). Como ejemplos se tiene a los indicadores ambientales de calidad de aire, de contaminación de agua, de deforestación, de desertificación o de cambio de uso de suelo. Los de segunda generación corresponden al desarrollo realizado desde el enfoque multidimensional del desarrollo sostenible.

Se trata de contar con indicadores de tipo ambiental, social, económico e institucional. Sin embargo, más allá de lograr un trabajo sólido en términos de que cada indicador propuesto fuese una síntesis de las cuatro dimensiones del desarrollo sostenible, o al menos integrará más de una dimensión, lo que se ha realizado a la fecha es presentar indicadores provenientes de las cuatro dimensiones, sin que éstas realmente se vinculen en forma esencial (Quiroga, 2001). El diseño e implementación de los indicadores de la tercera generación constituye un reto mayúsculo, que trasciende las dos generaciones anteriores en el sentido de producir indicadores que estén vinculados, que en pocas cifras permitan tener acceso rápido a un mundo de significados mucho mayor, en los cuales esté incorporado lo ambiental, lo social y lo económico en forma sistemática (Quiroga, 2001).

Por lo anterior, se puede decir que los indicadores poseen el potencial de constituir importantes herramientas en la comunicación de la información científica y técnica. Además, facilitan el acceso a dicha información a los diferentes grupos de usuarios y transforman la información en acciones. Asimismo, el desarrollo de herramientas accesibles a los usuarios no-expertos, así como, la utilización de marcos de indicadores comunes, pueden facilitar no sólo la transformación de datos en información relevante, sino también la formulación de estrategias para la planificación y la formulación de políticas (CIAT-Banco Mundial-PNUMA, 2000).

Por otra parte, los indicadores ambientales son un instrumento que diferentes representaciones en el mundo han utilizado para comprender, en una forma explícita y sistemática, los cambios que generan al tratar de conciliar los procesos ambientales, económicos y sociales bajo el concepto mencionado. Cada vez más se realizan investigaciones que tienen como propósito diagnosticar, caracterizar o resolver una problemática ambiental específica o puntual, en campos como la hidrología, los suelos, la ecología, por mencionar algunos. Los tomadores de decisiones requieren de información oportuna, precisa y fiable acerca del ambiente y el desarrollo sustentable para dar propuestas de manejo y conservación de los recursos naturales.

1.1. Estado del arte en el desarrollo de indicadores

Los países desarrollados han avanzado en el diseño e implementación de los indicadores de sustentabilidad ambiental, con más orientación de trabajo hacia el desarrollo de indicadores ambientales. A nivel internacional, nacional, regional y local, existe una gran variedad de enfoques y métodos para la determinación y aplicación de indicadores ambientales, económicos y sociales, que tienen como objetivo principal conocer el grado de deterioro de los recursos naturales y el desarrollo sustentable de las naciones. Los países que más han trabajado sobre indicadores son Canadá, Nueva Zelanda y Suecia. Por otra parte, surgieron propuestas metodológicas y conceptuales por parte de Holanda, Alemania y Reino Unido. En América Latina, a pesar del trabajo lento e inconsistente, sujeto condiciones políticas, destacan con avances en términos relativos, los países como México, Chile, Costa Rica, Barbados, Colombia y Brasil (Quiroga, 2001).

Existen iniciativas por grupos de enfoque o aproximación metodológica en el escenario internacional, las principales iniciativas de investigación y desarrollo se agrupan en la Comisión de Desarrollo Sostenible de la ONU, el proyecto de indicadores de *Scientific Committee on Problems of the Environment* (SCOPE, por sus siglas en inglés), pionero en la proposición de marcos analíticos y desarrollo conceptual sobre indicadores, el proyecto de Indicadores de Sostenibilidad Georeferenciados del CIAT-Banco Mundial y PNUMA, iniciativas individuales nacionales de indicadores ambientales de Canadá, Nueva Zelanda y Suecia, la compilación de indicadores ambientales de la División de Estadísticas de la ONU, de la OCDE, de la Agencia Ambiental Europea y de Eurostat, el reporte anual del Instituto de *Worldwatch Vital Signs* y las iniciativas de reporte periódico sobre los recursos naturales del mundo del *World Resources Institute*, y por último, las iniciativas de indicadores locales y sectoriales de sostenibilidad.

1.2. Indicadores Ambientales de la OCDE

Con respecto a los indicadores ambientales, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), es la institución pionera en el desarrollo de indicadores a nivel mundial. La OCDE inició un programa específico de indicadores ambientales en 1990, los objetivos de los indicadores de la OCDE son: evaluar el progreso ambiental, integrar mejor las preocupaciones ambientales en las políticas sectoriales y económicas (OCDE, 1994).

Por otra parte, la OCDE tuvo el mandato de diseñar y dirigir un programa de evaluación complementaria del desempeño ambiental, desde entonces se ha dedicado a esta tarea mediante la 1) elaboración y utilización de indicadores ambientales y 2) el examen sistemático de los desempeños ambientales de cada uno de los países estudiados (Avérous, 1997).

Es importante mencionar, que la OCDE adoptó con los países miembros un enfoque pragmático que responde a determinados criterios, que fueron pertinentes para realizar acciones, analíticamente sólidas y mensurables, por lo tanto, que sean funcionales (*op cit.*, 1997).

Derivado de una dimensión del marco teórico en el que se estructuran los trabajos de la OCDE, con respecto a los indicadores ambientales, es el modelo Presión-Estado-Respuesta (PER) que propone un marco de políticas internacionales y nacionales con base en las estadísticas ambientales (OCDE, 1997). Los indicadores de PER fueron desarrollados considerando el enfoque canadiense, el cual fue adoptado por la OCDE. Estos indicadores permiten hacer comparaciones internacionales, por lo que, el proceso de selección de indicadores ha sido orientado hacia la disponibilidad de datos en todos los países miembros. A pesar de que los indicadores dan poca información sobre las funciones esenciales y estructuras del ecosistema, son un primer paso para implementar un avance hacia el futuro en el desarrollo de los indicadores (Rennings, 1997). Con respecto a la estructura del PER propuesta por la OCDE, la Oficina de Estadística de la Comunidad Europea (Eurostat) ha desarrollado una variante más apropiada para las condiciones propias de la Comunidad.

1.3. Indicadores ambientales

Sobre los indicadores se ha presentado información sobre su aplicación por parte de las agencias de las Naciones Unidas, así como informes de gobiernos a nivel global y local, que utilizan o proponen indicadores e índices en las áreas ambientales, económicas y sociales del desarrollo sustentable.

En el aspecto económico los indicadores han tenido una mayor difusión y aplicación histórica en comparación con los indicadores sociales y, más aún, los ambientales. Los indicadores económicos son los más utilizados a nivel nacional, regional e internacional, principalmente para evaluar el crecimiento económico de un país. Tal es el caso del PIB, que

se utiliza para medir la producción de bienes y servicios de una economía (PNUD, 1998). Sin embargo, éste no provee información sobre las otras componentes del desarrollo sustentable (las áreas sociales y ambientales). En la **Tabla 1.1** se presentan ejemplos de indicadores que son utilizados para medir el desarrollo económico.

Tabla 1.1. Indicadores utilizados para medir el desarrollo en los sectores económico y social.

Sector	Índices	Fuente
Económico	Producto Interno Bruto	Banco Mundial
	Índice de Competitividad Mundial	Foro Económico Mundial
Social	Índice de Desarrollo Humano	PNUD
	Edad de Retiro (Ajustada)	OMS
	Índice de Corrupción	Transparencia Internacional

Fuente: PNUD (1998).

Los conjuntos de indicadores integrados han sido utilizados en una gran variedad de disciplinas para medir conceptos complejos y multidimensionales, que no se pueden observar ni medir directamente. El poder de estos indicadores reside en su habilidad de sintetizar una gran cantidad de información en un formato simple y práctico. La sencillez de estos indicadores facilita el acceso a la información al público en general, y a otros usuarios.

En los últimos años, los aspectos del ambiente y sus vinculaciones con los aspectos económicos y sociales, en el marco del desarrollo sustentable, han recibido cada vez más atención por parte de las autoridades nacionales e internacionales. Al mismo tiempo, se están llevando a cabo importantes esfuerzos para diseñar e implementar indicadores que permitan medir y monitorear variables ambientales y su relación con los aspectos sociales y económicos del desarrollo sustentable.

Por ejemplo, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo presentó un índice integrado que permite medir los logros de un país en términos de esperanza de vida, nivel educativo e ingresos reales, el Índice de Desarrollo Humano (IDH). El IDH abarca una variedad de aspectos sociales, económicos y políticos que tienen un impacto en la calidad de la

vida humana. Dentro de los límites de estos tres componentes, el IDH ha servido para ampliar sustancialmente la atención empírica que recibe la evaluación del proceso de desarrollo (PNUD, 1998).

1.4. Índices, indicadores y datos ambientales

A nivel mundial se han propuesto índices, indicadores y datos ambientales, que incluyen informes ambientales globales y regionales. Dentro de los reportes a nivel mundial las organizaciones internacionales gubernamentales y no gubernamentales publican informes, utilizando indicadores para evaluar las condiciones actuales y las tendencias en el ambiente. En la **Tabla 1.2**, se presenta un resumen de los reportes ambientales más importantes, el nombre de las instituciones y la frecuencia con la que se presentan.

Tabla 1.2. Reportes ambientales de índices, indicadores y datos ambientales.

Nombre del reporte	Frecuencia	Fuente
Perspectivas del Medio Ambiente Mundial	Bienal	PNUMA
State of the World / Vital Signs	Anual	World Watch Institute
Reporte de los Recursos Mundiales	Bienal	World Resources Institute
Towards Sustainable Development – Environmental Indicators	Bienal	OCDE
Otros reportes temáticos	Irregular	Banco Mundial, Agencias de Naciones Unidas, ONG

El PNUMA publica, cada dos años, el informe *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial*, que proporciona una síntesis regional y mundial de las preocupaciones, las tendencias y las políticas ambientales existentes.

Estos informes son preparados a través de un proceso mundial y ampliamente participativo, que une a los sectores científicos y políticos relacionados con el ambiente, tanto a nivel nacional como internacional.

Para la preparación del informe GEO, los datos, la información y los indicadores ambientales, se utilizan en el marco de referencia *Presión-Estado-Respuesta* (PNUMA, 2000).

Las publicaciones anuales del *World Watch Institute*, como *State of the World* y *Vital*

Signs, ofrecen actualizaciones anuales sobre ciertos temas ambientales definidos, desarrollo sustentable y otras tendencias mundiales, a partir de la recopilación y análisis de información proveniente de diferentes fuentes (WWI, 1999). Por ejemplo, *Vital Signs* (1999) documenta tendencias y algunos indicadores para el progreso social, económico y ambiental. Las tendencias varían del declive de la energía nuclear para la generación de energía a la proliferación de cultivos modificados genéticamente (WWI, 1999).

El Reporte de los Recursos Mundiales 2000, publicación conjunta del *World Resources Institute*, el PNUMA, el PNUD y el Banco Mundial, presenta un análisis de los temas ambientales, desde el punto vista de los principales ecosistemas a nivel global, compilando estadísticas ambientales de varias fuentes internacionales, y presentando indicadores cualitativos para algunos componentes de los ecosistemas (Recursos Mundiales, 2000).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) comenzó la publicación bienal, a partir de 1998, de *Towards Sustainable Development–Environmental Indicators*. Los indicadores ambientales son clasificados por cambio climático, acidificación, biodiversidad o recursos naturales. Éstos ayudan a evaluar la actuación de los países miembros de la OCDE y guían el curso hacia el desarrollo sustentable (OCDE, 1998).

Normalmente, se realiza un gran esfuerzo en la compilación y análisis de la información para estos documentos, porque son fuentes autorizadas y de referencia para el ambiente global. Sin embargo, han existido cuestionamientos acerca de su efectividad para influenciar las políticas ambientales, debido a la naturaleza de estos documentos.

El CSIRO (1998), elaboró una guía sobre indicadores ambientales para la identificación y selección de los indicadores, donde se deben tomar en cuenta elementos clave, como el diseño del monitoreo, la colecta, el resumen datos, la interpretación y la evaluación de datos, para proveer de información a los tomadores de decisiones, para la elaboración de políticas, objetivos y manejo de recursos naturales. Es importante mencionar, que los indicadores como se señala en este trabajo, están siendo desarrollados considerando la sustentabilidad a nivel económico, social y ecológico. Por otra parte, los indicadores en los sistemas naturales y humanos influyen en muchos aspectos para mejorar su uso y para que sean aplicados en pocos años.

1.5. Iniciativas de indicadores ambientales

Existen numerosas organizaciones internacionales, regionales, agencias gubernamentales y grupos de científicos que llevan a cabo iniciativas para el desarrollo de indicadores ambientales. Además, el sistema de las Naciones Unidas cuenta con una gran variedad de agencias que están desarrollando grupos de indicadores relacionados con el ambiente, diferenciándolos por objetivos. En la **Tabla 1.3**, se muestran algunas iniciativas que sobre indicadores ambientales se han propuesto a nivel internacional y regional.

Los indicadores se elaboran para simplificar y cuantificar fenómenos complejos, de manera tal, que éstos puedan ser analizados en un contexto dado, y ser comunicados a los diferentes niveles de la sociedad (Adriaanse, *et al.*, 1997). La producción de indicadores implica un proceso de agregación y síntesis en diferentes etapas, el cual puede ser visualizado mediante la denominada *Pirámide de Información* (Hammond *et al.*, 1995).

Tabla 1.3. Iniciativas de indicadores ambientales a nivel internacional.

Iniciativa / Agencia	No. de indicadores	Ejemplos de indicadores propuestos
<u>A. Internacional</u>	5	Población con acceso a agua potable (%)
<i>A Better World for All 2000 / FMI, OCDE, ONU y Banco Mundial</i> ¹		Áreas forestales (como % de la superficie nacional) Biodiversidad: áreas protegidas (Número de áreas) Eficiencia energética: PIB por unidad de energía utilizada Bióxido de carbono: emisiones per cápita
ONU División de Estadística /Grupo de Trabajo Intergubernamental sobre el Avance de Estadísticas Ambientales ²	55	Consumo de sustancias que reducen el ozono Desertificación: superficie afectada Concentración de coliformes fecales en cuerpos de agua dulce Bosques Zonas pesqueras
<i>Shaping the 21st Century" Project / Banco Mundial, OCDE, ONU y WRI</i> ³	10	Intensidad de uso de agua dulce Uso del suelo: áreas forestales Eficiencia energética: PIB por unidad de energía utilizada
Indicadores de Desarrollo Sustentable / ONU Comisión de Desarrollo Sustentable	61	Consumo de agua per cápita Áreas reforestadas Emisión de gases de invernadero
Indicadores del Desempeño Ambiental/Banco Mundial ⁴	64	Relación áreas naturales/áreas cultivadas Concentraciones de metales pesados

Compendio de Datos Ambientales 1999 / OCDE ⁵	23	Concentraciones ambientales de plomo Áreas protegidas totales Agua utilizada (% de disponibilidad anual bruto) Emisiones de óxidos de azufre
<hr/>		
<u>B. Regional</u>		
Proyecto de Indicadores Ambientales y de Sustentabilidad para América Latina y el Caribe (Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, y PNUMA) y Proyecto de Indicadores Ambientales y de Sustentabilidad Rural para América Central (CIAT-Banco Mundial-PNUMA) ⁶	Indicadores e índices geo-referenciados para los componentes del desarrollo sustentable (social, ambiental, económico) y temáticos, de acuerdo al marco de PER.	Sociales: % de crecimiento poblacional (presión), esperanza de vida en años (estado), tasa de mortalidad materna (impacto) y % de inmunización infantil (respuesta). Económicos: PIB <i>per cápita</i> (presión), fuerza laboral en la agricultura % (estado), deuda externa <i>per cápita</i> (impacto) y incentivos forestales en dólares (respuesta). Ambientales: tasa de extinción de especies (presión), volumen forestal m ³ /ha (estado), % de composición forestal (impacto) y proyecciones de uso de suelo (respuesta).
Estado del Ambiente en la Unión Europea / Agencia Ambiental Europea ⁷	16	Extracción de agua por sector Tendencias en emisiones de CO ₂ a partir de combustibles fósiles Ozono estratosférico y radiaciones UV sobre Europa Inventario de Biodiversidad
<i>Nordic Set of Environmental Indicators/Nordic Indicator Group</i> ⁸	37	Superficie irrigada Cambios en el uso de combustibles fósiles Impuestos Mortalidad de peces

¹ FMI *et al.*, 2000, ² División de Estadística de Naciones Unidas, 2000, ³ Banco Mundial Departamento Ambiental 2000. ⁴ Segnestam, 1999. ⁵ OCDE, 1999. ⁶ CIAT, 2000. ⁷ Agencia Ambiental Europea, 2000. ⁸ GRID-Arendal Noruega, 2000.

En la base del proceso de agregación se encuentran los datos que se obtienen a partir del monitoreo y de los procesos analíticos; con ellos se pueden elaborar estadísticas y series de tiempo, que alimentan la elaboración de indicadores e índices (Quiroga, 2001).

Este proceso de análisis y síntesis de datos, y la elaboración de informes debe realizarse de acuerdo con las diferentes etapas del proceso de toma de decisiones, para lo cual será necesaria la elaboración de una metodología de selección determinada para los datos e indicadores necesarios. Obviamente, mientras mayor sea la disponibilidad de datos y

estadísticas, más eficaz será el proceso de agregación, síntesis y desarrollo de indicadores.

Sin embargo, la situación que se describe es muy diferente de la que realmente existe en la generación y disponibilidad de información. Si bien hay gran cantidad de datos y estadísticas para la elaboración de indicadores, las instituciones y los encargados de la toma de decisiones, no utilizan toda la información disponible por una serie de razones; entre ellas, la dificultad en el acceso a datos confiables, la ausencia de metodologías comunes para la elaboración de información, y la falta de marcos conceptuales armonizados para el desarrollo y uso de indicadores en el ámbito mundial, regional y nacional. REF

Entre los problemas más comunes que se encuentran en América Latina y el Caribe, para el desarrollo de proyectos de indicadores ambientales, se pueden mencionar la falta de datos, la falta de armonización entre datos generados por diferentes metodologías y para diferentes objetivos, la falta de indicadores, el análisis deficiente como consecuencia de la falta de datos, la falta de comunicación interinstitucional, la duplicación de esfuerzos y, por lo tanto, un uso limitado de estas herramientas en los procesos de toma de decisiones. En la **Tabla 1.4**, está resumida una lista de los datos ambientales comúnmente disponibles para la mayoría de los países con varios grados de calidad y cobertura, realizados por diversas fuentes internacionales.

La revisión de la literatura en éste trabajo, confirma la necesidad de introducir indicadores para medir el impacto humano sobre el ambiente biofísico con amplio grado de sencillez para facilitar la comunicación con la población y los tomadores de decisiones.

El desarrollo sostenible o desarrollo sustentable hace referencia a la utilización de forma racional de los recursos naturales de un lugar, cuidando que no sean esquilados y las generaciones futuras puedan hacer uso de ellos igual que la población actual, es decir, sin que las prácticas, fundamentalmente económicas hipotequen el futuro de la Tierra.

La primera definición internacionalmente reconocida de desarrollo sustentable se encuentra en el conocido *Informe Brundtland* (1987), fruto de los trabajos de la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, creada en Asamblea de las Naciones Unidas en 1983. Dicha definición se asumió en el Principio 3 de la Declaración de Río (1992): "aquel desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades". De esta manera, se oficializa un enfoque en el que se compatibilicen los

aspectos ambientales, con los económicos y los sociales, desde una perspectiva solidaria, tanto inter como intrageneracionalmente.

Tabla 1.4. Listado de datos ambientales comúnmente disponibles.

Uso de Suelo / Biodiversidad	Aire	Agua
• Distribución del uso del suelo	• Consumo de combustibles tradicionales	• Población con acceso a agua potable para beber
• Superficie nacional (excepto zonas urbanas)	• Producción comercial de energía	• Extracción de agua por sector
• Producción de madera	• Producción de electricidad	• Extracción anual de agua
• Áreas forestales	• Emisiones de CO ₂ <i>per cápita</i>	• Recarga anual de agua subterránea
• Suelo agrícola	• Emisiones de SO ₂ <i>per cápita</i>	• Fuentes anuales de aguas renovables
• Áreas protegidas	• Emisiones de gases de invernadero	• Carga anual de los ríos
• Especies en peligro globalmente	• Producción de ciertos minerales y materiales	• Producción de agua desalinizada
• Número de especies en peligro	• Contaminación del aire en ciudades	• Concentraciones de nutrientes
• Programas de manejo de especies en peligro		

Fuentes: FAO, ONU, PNUD, OMS, WRI, Banco Mundial.

Por tanto, el concepto de desarrollo sustentable, si bien procede de la preocupación por el ambiente, no es un concepto fundamentalmente ambiental biofísico, sino que trata de superar la visión del medio ambiente como un aspecto aparte de la actividad humana que hay que preservar. El ambiente está relacionado con la actividad humana y la mejor manera de protegerlo es tenerlo en cuenta en todas las decisiones que se adopten. El concepto de desarrollo sostenible tiene un vector ambiental, uno económico y uno social. El aspecto social no se introduce como una concesión o por mera justicia humana, sino por la evidencia de que el deterioro ambiental está tan asociado con la opulencia y los estilos de vida de los países desarrollados y las élites de los países en desarrollo, como con la pobreza y la lucha por la supervivencia de humanidad marginada. (Quiroga, 2001).

1.6. Índices ambientales

La Comisión de Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas lleva a cabo desde 1995, un programa de trabajo para determinar indicadores de desarrollo sustentable, el cual incluye una lista de aproximadamente 130 indicadores organizados en el marco "Presión-Estado-Respuesta". En este marco, las fuerzas conductoras representan las actividades humanas, los procesos y patrones que tiene impacto sobre el desarrollo sustentable. Estos indicadores son desarrollados para ser utilizados en el proceso de toma de decisiones a nivel de país. La Comisión lleva a cabo este programa gracias al aporte de numerosas organizaciones e instituciones en todo el mundo, dedicadas al estudio y desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad.

Los indicadores sirven de base en la elaboración de índices, así por ejemplo, durante el Foro Económico Mundial en colaboración con el Centro de Derecho y Política Ambiental de la Universidad de Yale, en EEUU, y el Centro Internacional de Información de Ciencias de la Tierra (CIESIN), se desarrolló el *Índice Piloto de Sustentabilidad Ambiental*, el cual está basado en cinco componentes: 1) el estado de los sistemas ambientales como suelo y agua, 2) presiones sobre el sistema como la contaminación, 3) factores de vulnerabilidad humana como la pérdida de recursos alimenticios, 4) capacidad social e institucional para enfrentarse a desafíos ambientales, y 5) administración global en forma de esfuerzos colectivos para tratar con el calentamiento global y con otros factores de degradación (Foro Económico Mundial). El índice utiliza datos específicos de países con base en 22 indicadores diferentes, que varían desde calidad del aire y salud ambiental hasta reducción de la contaminación.

El Grupo Consultivo del Instituto Internacional para el Desarrollo Sustentable (IISD), desarrolló desde 1996 un "Índice de Calidad Ambiental" (*Environmental Quality Index*, EQI), como parte de un índice de "Sustentabilidad Global", que se complementa con información sobre rendimiento económico y salud social. El EQI incluye cuatro componentes: a) índice de presión ambiental, b) huellas ecológicas *per cápita*, c) riesgo de los ecosistemas y e) del uso del suelo (IISD, 2000).

El Living Planet Index (LPI), elaborado por el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), es una medida de la salud de los ecosistemas globales y la biodiversidad, con base en datos que muestran el cambio promedio a través del tiempo en el estado de los bosques, agua dulce y ecosistemas marinos. Es un intento para cuantificar la extensión y severidad de la

pérdida de la biodiversidad (WWF, 1999).

El Proyecto Índice de Vulnerabilidad Ambiental, de la Comisión del Pacífico Sur en Geociencias Aplicadas (SOPAC) de Fiji, se enfoca en la vulnerabilidad del ambiente por los riesgos naturales y humanos. Incluye efectos sobre los aspectos físicos y biológicos de los ecosistemas, diversidad, poblaciones u organismos, comunidades y especies.

Uno de los primeros intentos de valorar el impacto humano en el ambiente fue la denominada "Huella Ecológica", propuesta por Wackernagel y Rees (1996). La "huella ecológica es una medida de la carga impuesta por una población sobre la naturaleza. Representa el área del terreno que se requiere para sostener los niveles actuales de consumo de los recursos y la generación de desechos de esa población, expresado en unidades de ha/persona. Sin embargo, las huellas ecológicas dependen en gran medida de los patrones de consumo de las sociedades y, además, el estudio se enfoca principalmente en países de América del Norte y Europa. Información adicional sobre las iniciativas discutidas anteriormente, se presenta en la **Tabla 1.5**.

1.7 Indicadores ambientales en México

En México, el desarrollo de indicadores ambientales se crearon por parte de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, en 1994, en colaboración con el Instituto Nacional de Ecología, que trabajaron tanto en la línea ambiental como en la del desarrollo sostenible, considerando el esquema de la OCDE sobre Presión-Estado-Respuesta, y están desarrollando un sistema de indicadores para evaluar el desempeño de la política ambiental (Quiroga, 2001).

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección Ambiental (1988) establece que la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales desarrolle un Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN), que recopile, administre y difunda ese tipo de información, para que sea accesible al público (LGEEPA, 1998).

La SEMARNAT cuenta con el Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA) e Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental que tiene como objetivos principales la evaluación del desempeño ambiental y el impacto de las actividades productivas sobre el ambiente.

Tabla 1.5. Índices de sustentabilidad ambiental.

Índice	Fuente	Componentes / Indicadores del índice
Índice Piloto de Sustentabilidad Ambiental	Foro Económico Mundial, Centro de Derecho y Política Ambiental de Yale y el Centro Internacional de Información de Ciencias de la Tierra (CIESIN)	64 variables de los siguientes componentes: Sistemas Ambientales Riesgos Ambientales Impacto Humano Capacidad social e institucional Administración global
<i>Living Planet Index</i>	Fondo Mundial para la Naturaleza, New Economics Foundation y World Conservation Monitoring	Indicadores de Ecosistemas Globales y Biodiversidad: Bosques Agua Dulce Vida Marina
<i>Environmental Quality Index</i>	Grupo Consultivo en Indicadores de Desarrollo Sustentable	Índice de Presión Ambiental Huella Ecológica <i>per capita</i> Riesgo Ambiental Uso del Suelo
Proyecto Índice de Vulnerabilidad Ambiental	Comisión del Pacífico Sur en Geociencias Aplicadas (SOPAC), Fidji	Se enfoca en vulnerabilidad ambiental, incluyendo: Ecosistemas Biodiversidad Poblaciones
Huella Ecológica	Wackernagel y Rees, 1996	Suelo cultivado Bosques Consumo de Combustibles Fósiles Degradación del Suelo

Recientemente, se publicaron los Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental de México, los cuales buscan proveer a los tomadores de decisiones y público en general, con información sintetizada que permita evaluar el desempeño ambiental y el impacto de las actividades productivas sobre el ambiente. En estas publicaciones se hace referencia al marco conceptual, metodologías e información de cerca de 140 indicadores que cubren ocho temas y más de 450 variables, en forma de tablas o mapas que amplían y posibilitan la comprensión de cada tema. Además, se cuenta con una página *Web* del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN), con toda la información de indicadores ambientales a nivel nacional

Por otra parte, el Instituto Nacional de Ecología (INE) busca integrar varias iniciativas para desarrollar indicadores ambientales, tanto a nivel nacional, regional y local. Recientemente, se publicaron los indicadores básicos del desempeño ambiental de México, los cuales buscan proveer a los tomadores de decisiones y público en general, con información sintetizada que permita evaluar el desempeño ambiental y el impacto de las actividades productivas sobre el ambiente

Asimismo, el INE trabaja en la propuesta de indicadores para el desempeño del Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET) a nivel local con la participación de los municipios en México; el objetivo de esta propuesta es conformar un marco conceptual y metodológico que permita la construcción de indicadores para la evaluación y seguimiento de los programas del OET, a nivel local y comunitario (INE, 2002).

El INEGI y la SEMARNAT, elaboraron conjuntamente el compendio sobre Estadísticas del Medio Ambiente, el objetivo de éste es convertirse en la base de información estadística en materia de medio ambiente y recursos naturales, de tal forma, que los diferentes investigadores, especialistas, responsables de proyectos en la materia y el público en general, cuenten con una herramienta que les permita mayor flexibilidad en su uso y de acuerdo con sus necesidades específicas.

Existe una aplicación de normatividad en estadísticas e indicadores que lleva a cabo el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), la cual considera los siguientes aspectos: la identificación y adecuación de estadísticas e indicadores a estándares metodológicos internacionales, el desglose temático, categorías, variables y clasificaciones, la clasificación y homologación de actividades. Todas las fuentes de información están referenciadas a una base temporal periódica (semanal, mensual, anual, etc.) y espacial (localidad, municipal, estatal, metropolitana, nacional).

Sobre indicadores se estableció el programa denominado México-Estados Unidos Frontera 2012, que mediante el empleo de indicadores ambientales en la región fronteriza, se espera tener, resultados reales y significativos sobre el estado del ambiente. Con el propósito de asegurar el cumplimiento de este objetivo y mejorar la capacidad para responder a los problemas ambientales y de salud en la frontera, el Equipo de Trabajo Fronterizo de Indicadores (ETFI) fue constituido oficialmente en la Reunión de Coordinadores Nacionales en Matamoros, Tamaulipas, en diciembre del 2003.

De algunas experiencias en México, se cuenta con el Sistema de Indicadores Ambientales y de Sustentabilidad elaborados por el Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato. Con la elaboración de este sistema, el Estado de Guanajuato ocupa un lugar importante a nivel nacional en materia de información ambiental y en la difusión de información relevante para la sociedad.

En la UNAM se desarrolló el marco de evaluación de sistemas de Manejo de Recursos

Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS), que es una herramienta que proporciona una metodología clara y efectiva para el personal y organizaciones que trabaja en el desarrollo agropecuario y forestal, para que puedan evaluar el estado de un sistema de manejo de recursos naturales en forma integral y sistémica, y permite monitorear el impacto de las actividades antrópicas, con el fin de dar propuestas para un manejo adecuado de los recursos naturales (Masera *et al.*, 2000).

En la actualidad, existen muchas iniciativas de indicadores ambientales, pero no necesariamente integradas o coordinadas, sino para responder a temas específicos (por ejemplo indicadores de agua dulce, biodiversidad y desertificación), y generalmente son de escala local. Los indicadores de nivel regional, requieren la atención de temas de agregación, armonización y regionalización de los datos que alimentan los indicadores.

La falta de datos y la incierta calidad de otros perjudican gravemente la evaluación ambiental integrada en los planos regional y mundial. La infraestructura de adquisición de datos y monitoreo de procesos, en la mayor parte de los países en desarrollo, tropieza con graves dificultades o no existe en absoluto, debido a la limitación de recursos, personal y equipo. Por ello, se necesita definir un conjunto de indicadores ambientales prioritarios para que éstos se utilicen en todos los países de la región, como una base común para medir el avance en cuestiones ambientales y de desarrollo sustentable. En la **Tabla 1.6**, se presenta un listado de los organismos oficiales que en México están trabajando sobre la propuesta y evaluación de indicadores ambientales, además, algunas de las publicaciones que han elaborado con la finalidad de mostrar resultados sobre indicadores.

1.8. Revisión sobre la aplicación de indicadores ambientales

A continuación se presenta un resumen de algunos trabajos sobre la determinación y aplicación de indicadores. Se han elaborado guías de evaluación sobre indicadores ambientales biofísicos para realizar programas de monitoreo de manera particular. Las guías están organizadas en cuatro fases de evaluación: conceptos, viabilidad de implementación, variabilidad de respuestas, interpretación y utilidad de los indicadores, como lo señalan Jackson *et al.* (2000).

Se han realizado trabajos sobre la identificación de indicadores de desarrollo en las regiones montañosas tropicales y algunas implicaciones políticas de diseño de recursos

naturales: un caso de estudio en comunidad, cuyo objetivo fue definir indicadores que incluyen dimensiones ecológicas, económicas y sociales.

Tabla 1.6. Organismos que trabajan en la propuesta de indicadores en México.

Organismo	Escala nacional
SEMARNAT	1) Desarrollo de Indicadores para la Evaluación del Desempeño Ambiental de México, 1997.
	2) La Evaluación del Desempeño Ambiental. Reporte, 2000
	3) Reporte, 2000; Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental de México, 2005.
INEGI	4) Indicadores de Desarrollo Sustentable en México, 2000.
Escala regional y local	
INE y EPA	5) Situación Ambiental en la Región Fronteriza. Reporte de Indicadores 2005.
Universidad Autónoma de Chihuahua	6) Indicadores en Chihuahua: Determinación de criterios e indicadores ambientales y de sostenibilidad en la región Bosque Modelo Chihuahua, 2002.
Consejo Estatal de Ecología del Estado de Hidalgo	7) Indicadores ambientales del Estado de Hidalgo, 2003.
Instituto de Ecología, UNAM	8) Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo de Indicadores de Sustentabilidad México (MESMIS) (2000).

Nota: Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); Instituto Nacional de Ecología (INE); Environmental Protection Agency (EPA).

Los indicadores son una herramienta de manejo de evaluación, sin embargo, es importante considerar el costo-beneficio en la identificación a nivel micro de los indicadores, cuando se quiere implementar un sistema de monitoreo (Kammerbauer *et al.* 2001).

Uno de los trabajos que sobre la determinación de indicadores ambientales se ha desarrollado para América Latina es el del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), cuyo proyecto tiene como finalidad desarrollar, ensayar y perfeccionar indicadores ambientales de la calidad de tierra; así como una herramienta de información que utilice los Sistemas de Información Geográfica para integrar los aspectos de sustentabilidad rural en la formulación de políticas de planificación (Winograd y Farrow, 2001).

Se han establecido alternativas de estructura e indicadores para el monitoreo de la biodiversidad, para seleccionar, comprender y evaluar el uso de los indicadores (Camacho *et al.*, 2001). Sobre aspectos bióticos se han aplicado a los indicadores para conocer los efectos

ambientales que provocan las empresas agrícolas o la evaluación de medidas agroambientales, como forma específica de intervención política dentro de las acciones de planeación en las instituciones gubernamentales (Osinki, 2003).

Existen indicadores que han servido como criterios de evaluación para medir la calidad ecológica a nivel de parcelas (Schwab et al., 2002). Sobre diversidad florística, Waldhardt *et al.* (2003) han establecido una serie de indicadores a nivel de hábitat que ayudan en la identificación de valores y en la evaluación de prácticas de manejo con fines de conservación, haciendo énfasis en la utilización de las escalas espacio-temporal en términos de elementos estructuras y funciones. Buchs (2003), ha contribuido con el desarrollo de indicadores bióticos para la sustentabilidad de la biodiversidad y el uso del suelo, aplicados principalmente en la evaluación de los agro-ecosistemas, a escala nacional e internacional. Por otra parte, los indicadores deben desarrollarse desde una perspectiva territorial de *unidades sintéticas de paisaje*, como una parte seminatural de un área cultural, donde el uso del suelo es determinado por la integridad de sus rasgos biofísicos y culturales.

Se han establecido metodologías para estimar indicadores de riesgos de erosión, que se han aplicado en determinar la calidad de tierras y los factores de riesgo. Los indicadores que se proponen son a nivel regional, que permiten a las agencias nacionales e internacionales contar con información para evaluar la erosión y los factores de riesgo, y así asignar más recursos a la investigación (Kirby *et al.*, 2000). Por otra parte, la geomorfología se incluye como indicador en las evaluaciones de impacto ambiental, ya que son un soporte esencial de otros componentes del ambiente (Rivas *et al.*, 1997). A los indicadores ambientales Arce (2000), los propone para la evaluación de impacto ambiental, porque permiten predecir y comparar alternativas, mitigar impactos, monitorear y sobre todo en la toma de decisiones a nivel de planeación.

Con respecto a la calidad de suelos Schloter *et al.* (2000), proponen una lista de indicadores a partir de sus propiedades físicas y químicas, para aplicarlos en ecosistemas agrícolas y forestales. Nortcliff (2002), definió métodos para determinar indicadores para evaluar la calidad de suelo, con el fin de definir un estándar internacional, en cuanto a los aspectos agrícolas. Los atributos del suelo que pueden servir como indicadores de la calidad suelo han sido seleccionados, esto es esencial para asegurar que los métodos estándar de muestreo, pre-tratamiento y análisis sean seleccionados apropiadamente para su evaluación.

Dumanski (2000), ha establecido una serie de indicadores de calidad de tierras, concepto que se refiere a la condición de la tierra en cuanto a los requerimientos de su uso incluyendo la producción agrícola, forestal, conservación y manejo ambiental. El programa sobre calidad de tierras desarrolla indicadores para identificar y caracterizar el impacto humano y para mejorar las áreas agrícolas y ecológicas.

Por otra parte, Schloter *et al.* (2003) a partir de la microbiología y la bioquímica, proponen un programa de monitoreo, a nivel nacional e internacional, de calidad de suelo, donde los indicadores deben reunir criterios que puedan ser adaptables a nuestro entendimiento con respecto a las funciones vitales de los suelos. Por otra parte, a nivel de parcelas se han definido indicadores agro-ambientales, para identificar áreas y recursos naturales que están en riesgo de degradación y para diseñar estrategias de remediación y facilitar la comunicación con los productores. Los indicadores se deben aplicar a mayor detalle, para el monitoreo y la realización de esfuerzos para la conservación del suelo (Huffman *et al.*, 2000). Sobre evaluación de tierras, Bindraban *et al.* (2000) propusieron indicadores de calidad de tierras con el fin de cuantificar intervalos de cosecha y el balance de los nutrientes del suelo, a nivel regional, nacional y continental. Stein y Halberg, (2001) aplicaron un enfoque geo-estadístico para definir, cambiar y determinar la escala pequeña, apropiada para la evaluación de indicadores ambientales en un espacio y en un tiempo determinados.

Bräver (2003), desde el punto de vista económico, discute el uso del dinero como indicador para la toma de decisiones en la conservación de la biodiversidad. Se menciona que el dinero es un vínculo que hace comparable los bienes ambientales con la economía mundial. El dinero como indicador ofrece dos ventajas: 1.- permite el uso de un análisis de costo-beneficio al ambiente como una herramienta en la toma de decisiones y 2.- provee la aceptación de programas de conservación de la biodiversidad; para mostrar sus beneficios en el entendimiento da fácil camino al público. Aunque el autor concluye que el dinero nunca podría reemplazar a los indicadores físico-bióticos tradicionales.

Rennings *et al.* (1997) elaboraron un trabajo sobre indicadores ambientales, considerando los aspectos económicos y ecológicos, ya que mencionan que éstos deben ser complementarios, para mejorar la información sobre las condiciones del ecosistema, siendo un prerequisite contar con indicadores que muestren los cambios de las funciones ecológicas,

dadas por las presiones ambientales y humanas, haciendo un análisis de los costos eficiencia necesarios en la toma de decisiones, por lo que los políticos deben informar sobre los beneficios de la protección ambiental así como de sus costos.

Buhler y Herzog (1999) han identificado criterios para la sustentabilidad, a nivel regional, para la evaluación del paisaje. La formulación de criterios de selección de indicadores debe considerar las características de la región, las dimensiones de la sustentabilidad (agro-ecología, socioeconómico y culturales), su aplicación debe ser adecuada para los tomadores de decisiones, la viabilidad de los criterios deben ser evaluados. Los criterios son necesarios para que la sustentabilidad sea más operacional y menos teórica, para que a la escala regional ellos puedan ayudar a identificar áreas con problemas, y por lo tanto, puedan ser implementados en un SIG por científicos y la gente que trabaja en la elaboración de planes de desarrollo.

Valentin y Spangenberg (2000) proponen un modelo para desarrollar indicadores sustentables a nivel local. Su modelo se basa en cuatro dimensiones, considerando lo social, lo económico, lo ambiental y lo institucional. Lo social referido a agregar capital humano, la dimensión institucional referida a la interacción humana y las reglas por las cuales ellos son guiados. Los indicadores que proponen son el resultado de un número de procesos piloto, considerando una variedad de grupos sociales y disciplinas científicas. Se menciona que para lograr la sustentabilidad se deben cumplir con dos condiciones: una buena comprensión del ecosistema y de las formas en cómo interactúan sus diferentes componentes y la capacidad para predecir la evolución dinámica potencial del sistema bastante más allá de su estado actual, además, la metodología para la sustentabilidad debe considerar los aspectos ecológicos y económicos de acuerdo con Corona (2000).

Nijkamp y Vreeker (2000) aplicaron estrategias y se discuten algunas metodologías a nivel local, para la evaluación del desarrollo sustentable, para ello aplican un valor umbral crítico y se usa un sistema de indicadores multidimensionales, un modelo de multicriterio sistemático. Este estudio propone nuevas estructuras metodológicas aplicadas a conceptos del ambiente, las cuales pueden ser usadas para una variedad de casos de estudio sobre sustentabilidad espacial. Ellos proponen un análisis a nivel regional, porque consideran que es más apropiada para monitorear, analizar y modelar los aspectos económicos y ecológicos del área.

Osinki *et al.* (2003) en un artículo sobre perspectivas de uso de los indicadores presenta una revisión sobre la interrelación de los aspectos económicos y ecológicos a partir del uso de indicadores. Por lo que los puntualiza en dos aspectos: 1) la medición de los valores económicos de los servicios ecológicos y 2) la integración de aspectos económicos dentro de un sistema de indicadores.

Los indicadores ambientales son importantes, porque al final de su evaluación se pueden proponer índices, los cuales son el resultado de la evaluación de una serie de indicadores como el índice de sustentabilidad propuesto por Poop *et al.* (2001), que elaboraron un estudio de las reservas y los flujos de recursos. Ellos observaron el impacto íter-espacial e íter-temporal de las reservas del suelo en campos de cultivo, limitando sus alcances a un solo objetivo, la obtención de un “beneficio” y a un solo recurso “suelo”; donde usaron un índice de calidad de recursos en la producción de un modelo, el cual permitió la sustitución de gastos de manufactura para obtener la sustentabilidad a largo plazo. Ribaudó *et al.* (2001) diseñaron un Índice de Beneficio Ambiental el cual aplicaron a los recursos agua y suelo para mejorar los beneficios ambientales. Los índices son usados en programas administrativos, científicos, biofísicos, sociales, políticos y por grupos consumidores, para implementarlo en programas de conservación.

En México se han elaborado estudios de aplicación y evaluación de los indicadores de sustentabilidad, entre ellos se puede citar a Masera *et al.* (2000), que han elaborado un marco de evaluación denominado MESMIS, donde presentan una propuesta para la evaluación de la sustentabilidad en diferentes agro-ecosistemas.

CAPÍTULO 2. ÁREA DE ESTUDIO

Milpa Alta es una de las 16 delegaciones del Distrito Federal y es la segunda delegación con mayor superficie. A diferencia de otras delegaciones capitalinas, en Milpa Alta la agricultura sigue teniendo un importante peso en la economía regional. Produce cerca del 80% del nopal verdura que se consume en México, y ha desarrollado toda una industria alrededor de este cultivo.

2.1. Localización del área de estudio

La delegación Milpa Alta se localiza a los 19°03' y 19°13' latitud norte y 98°57' y 99°10' longitud oeste. La superficie que cubre el área es de **28,464** ha que representan el 19.06% de la superficie total del Distrito Federal. Políticamente se localiza al sur del Distrito Federal y sus límites son: al norte con las delegaciones Xochimilco y Tláhuac, al este con el Estado de México, al oeste con las delegaciones Xochimilco y Tlalpan y al sur con el estado de Morelos (**Figura 2.1**).

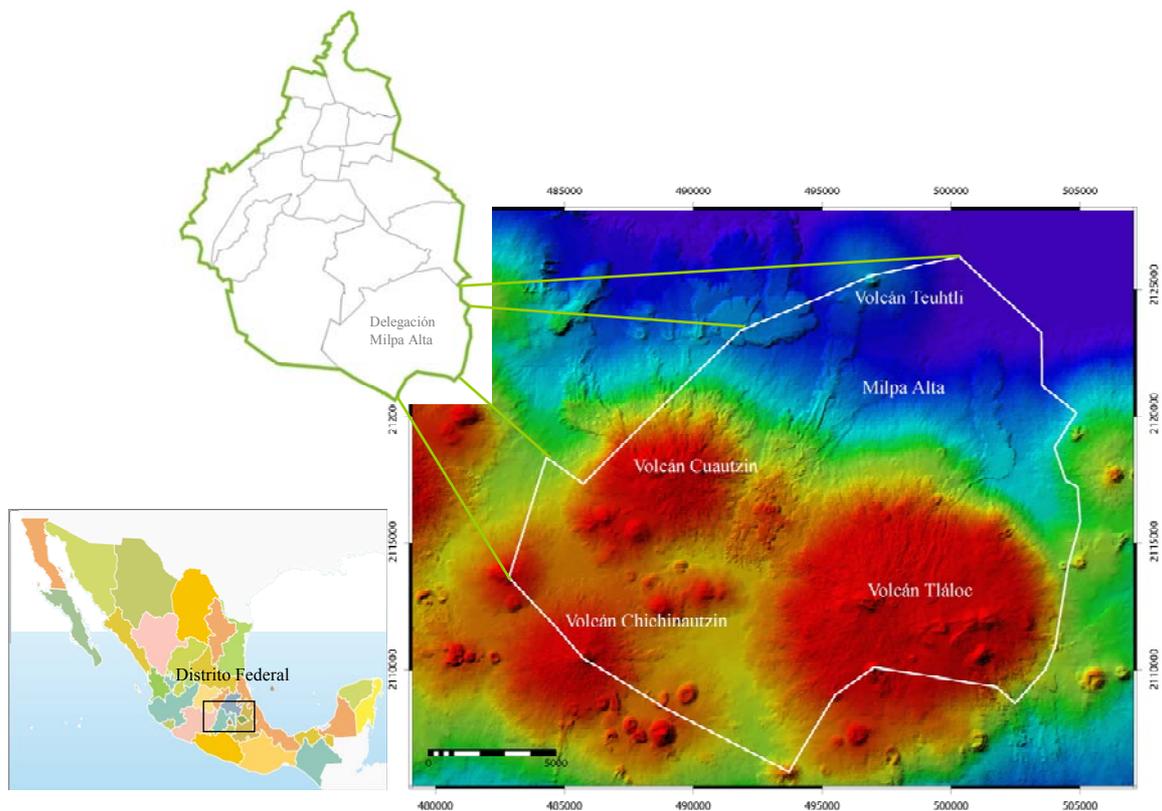


Figura 2.1. Localización del área de estudio, Delegación Milpa Alta, Distrito Federal.

La zona ocupada por los poblados rurales abarca una extensión de 1,445 hectáreas en 12 poblaciones, que conforman los asentamientos de la delegación y 26,930 hectáreas como Área de Conservación (GDF, 1997).

2.2 Características generales del área de estudio

La totalidad del territorio de Milpa Alta forma parte de la subprovincia fisiográfica Lagos y Volcanes del Anáhuac, que a su vez corresponde a la provincia del Eje Neovolcánico. Las topoformas propias de la delegación son la sierra volcánica con estratovolcanes que abarca más del 95% de la superficie cubierta con roca basáltica. Esta última sólo está presente en pequeñas porciones del oriente de la delegación y en una franja localizada entre los volcanes Cuauhtzin y Teuhtli.

Más del 96% de la superficie de Milpa Alta es producto de la actividad geológica del cuaternario. Por ello, una gran parte de los casi 230 kilómetros cuadrados de su territorio están cubiertos por roca volcánica, especialmente basalto (35% de la superficie) y depósitos piroclásticos.

2.2.1. Geología

Milpa Alta se encuentra dentro de la Formación Chichinautzin que está conformada por un conjunto de conos monogenéticos de escoria, flujos lávicos y productos volcánicos asociados de formación reciente, del Cuaternario, lo cual es posible observar en la morfología del área de estudio. La secuencia de lavas y depósitos piroclásticos está compuesta por andesitas y dacitas de oxihornblenda y augita; andesitas basálticas y basalto de olivino y augita. Los productos volcánicos se encuentran formando conos escoriáceos.

Las principales estructuras volcánicas de la Sierra Chichinautzin que forman parte del área de estudio son Pleistocénicas, como el volcán Teuhtli, Cuautzin, los volcanes La Comalera, San Bartolo, San Bartolito y el Chinguiriteria en la zona de la Comalera que esta integrada por conos adventicios que se encuentran sobrepuestos, lo que implica lo errático de sus parámetros geomorfológicos. Entre los volcanes del Holoceno están el Acusacayo que está compuesto de cuatro conos sobrepuestos. El derrame más joven es el que se encuentra en el lado sur de los conos donde se observan *levees* o bancos marginales bien delimitados y la boca por donde surgió este. El Cerro del Agua I, está cubierto por lavas del Tlálóc y presenta un

cono en forma de herradura, donde surgieron varios derrames. El volcán Tláloc y el cerro del Agua II con derrames de tipo bloque, están compuestos de andesitas-basálticas de olivino y augita. El volcán Chichinautzin presenta lavas de andesita basálticas y sus derrames que fluyeron hacia el sur son del tipo Aa y varían de 0.5 a 1.0 metro. En el piedemonte del volcán Tláloc se encuentran los volcanes el Pajonal, Tlalocito y Xistune que son conos compuestos de escoria andesítica y el volcán San Miguel que sobreyace a una planicie de cenizas (Martin, 1980; Martin, 1982; Siebe *et al.*, 2004; Siebe *et al.*, 2005).

2.2.2. Hidrología

El área de estudio conforma el parteaguas que divide dos grandes regiones hidrológicas del país. Por un lado la Región RH26 Pánuco, que drena sus aguas hacia el norte, es decir, hacia la Cuenca de México y, de manera artificial, al Río Pánuco. Hacia el sur, la Región RH18 Balsas que a su vez desagua en la cuenca del mismo nombre.

Milpa Alta pertenece a la Cuenca de México que es considerada como una enorme presa azolvada o cuenca endorreica. Los basaltos del cuaternario, especialmente los de la Sierra Chichinautzin, son de gran permeabilidad; esta gran capacidad de infiltración los transforma en extraordinarios almacenadores de agua (Mosser, 1986). El área está poco disecada por corrientes fluviales debido a lo reciente de la conformación de su relieve y a la naturaleza del material volcánico, pues la mayor parte de la precipitación se infiltra, constituyendo una importante área de recarga de acuíferos (Martin, 1980). Las corrientes superficiales existentes son de régimen torrencial e intermitente, ya que se observa principalmente en la temporada de lluvias. La dinámica en la evolución geológica originó condiciones edafológicas y geomorfológicas muy diversas, que no han permitido un sistema de corrientes superficiales, pero a cambio, permiten infiltraciones de importancia para los mantos acuíferos.

2.2.3. Clima

El clima de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1988) es C(w₂)(w), templado subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 14.5°C. La precipitación es de 901 mm anuales. Durante los meses de junio a septiembre es cuando se presenta el mayor caudal de lluvias.

2.2.4. Suelos

Las características genéticas y morfológicas de las diversas unidades de suelos en el área de estudio están determinadas por la complejidad litológica, dada por la composición y la edad de los materiales eruptivos, así como por la influencia del clima debido a los cambios altitudinales que se presentan de casi 3,000 m. Otros factores como la pendiente y el desagüe influyen en los procesos edáficos y determinan cambios taxonómicos locales. Los principales suelos reportados por el INEGI (1984) y según la *World Reference Base for Soil Resources* (WRB, 1999) son:

Andosoles: son suelos que se desarrollan a partir de materiales piroclásticos volcánicos, básicamente arenas y cenizas volcánicas ricas en vidrio. Tienen un horizonte vítrico o un horizonte ándico que comienza dentro de los 25 cm desde la superficie del suelo y no tienen otros horizontes de diagnóstico (a menos que estén enterrados a más de 50 cm) que no sean un horizonte hístico, fúlvico, melánico, mólico, úmbrico, ócrico, dúrico o cámbico.

Leptosoles: son suelos poco desarrollados y someros, que están limitados en profundidad por roca dura continua dentro de los 25 cm desde la superficie del suelo o están suprayaciendo a un material con más del 40 por ciento de carbonato de calcio equivalente dentro de los 25 cm desde la superficie del suelo o contienen menos del 10 por ciento (en peso) de suelo fino hasta una profundidad de 75 cm o más desde la superficie del suelo y no tienen otros horizontes de diagnóstico que no sean un horizonte mólico, ócrico, úmbrico, yérmico o vértico.

Phaeozem háplico: suelos que tienen un horizonte mólico y una saturación con bases (por NH_4OAc 1 M) de 50 por ciento o más y una matriz del suelo libre de carbonato de calcio por lo menos hasta una profundidad de 100 cm desde la superficie del suelo, o hasta una capa contrastante (contacto lítico o paralítico, horizonte petrocálcico) entre 25 y 100 cm y no tienen otros horizontes de diagnóstico que no sean un horizonte álbico, árgico, cámbico o vértico, o un horizonte petrocálcico en el substrato

Regosol éutrico: se componen de materiales no consolidados, poco desarrollados, profundos, con un horizonte de diagnóstico A-ócrico. Los Regosoles éutricos presentan una saturación de bases del 50% entre los 20 y 50 cm de profundidad.

2.2.5. Tipos de vegetación

Para el área de estudio se tienen reportados actualmente los siguientes tipos de vegetación de acuerdo con Sánchez (1980), INEGI (1984), Rzedowski *et al.* (1991) y Silva *et al.* (1999) son: bosque de coníferas, que se caracteriza por especies dominantes de la familia Pinaceae; donde predominan los *Pinus hartwegii*, *P. montezumae* y *P. leiophylla*, el bosque de oyamel está representado por el *Abies religiosa*.

El bosque mixto se ubica en ambientes en los que existen latifoliadas y pinaceas de Bosque de *Pinus-Quercus*, esta comunidad es la más representativa dentro del bosque mixto constituido por la mezcla de diferentes especies de *Quercus laeta*, *Q. deserticota* y *Q. crassipes* con diferentes especies del genero *Pinus leiophylla*. Bosque *Pinus spp.-Alnus spp.* en este bosque se mezclan algunos individuos de *Abies religiosa-Pinus montezumae-Alnus jorullensis* (Silva *et al.*, 1999).

Bosque de encino. Este tipo de vegetación se localiza entre los 2,350 y 3,100 msnm, sus requerimientos de humedad son menores, prosperan muy bien en lugares con precipitaciones de 700 a 1,200 mm, por lo que se encuentra en laderas de mayor exposición a la insolación. Los árboles dominantes son el genero *Quercus laeta*, *Q. deserticota*, *Q. crassipes* y *Q. obtusa*. (Silva *et al.*, 1999).

Matorral xerófilo. Se localiza principalmente sobre las rocas ígneas de reciente formación, se presentan comunidades y asociaciones como el de *Quercus spp*, *Arbutus xalapensis*, *Buddleja parviflora*, *Senecio praecox*, *Senecio salignus*, *Juniperus monticola* y *Baccharis conferta*. En el estrato arbustivo se presentan *Sedum oxipetalum*, *Agave horrida*, *Echeveria parviflora* y *Opuntia spp*, entre otras (Silva *et al.*, 1999).

Pastizales. Este tipo de vegetación se caracteriza por presentar dominancia de gramíneas como *Festuca tolucensis*, *Poa annua*, *Muhlenbergia macroura* y *Lupinus montanus*, entre otras.

2.3. Usos del suelo

Los usos de suelo reportados para el área de estudio son los siguientes: *Forestal*. La población solo realiza de manera extensiva la recolección de leña y hongos, en el área no existe un aprovechamiento forestal debido a que la zona se declaró en veda por lo que está prohibido extraer madera. Otro uso que se da a esta zona es la de recreación en fines de semana

principalmente.

Agrícola: La agricultura de temporal con cultivos de avena forrajera y nopal verdura, En cuanto a los cultivos cíclicos el principal es el maíz para grano por su importancia y su alto valor cultural y de autosubsistencia. Ocupa el segundo lugar en cuanto a superficie sembrada y un sitio estimativo por el volumen de su producción, similar al maíz forrajero y la avena forrajera. Ambos son cultivos que también cumplen una función de complemento a la cadena productiva de cerdos y borregos respectivamente, aunque una parte se destina al mercado local (INEGI, 2001).

Pecuario. La producción pecuaria se ha caracterizado por ser fundamentalmente extensiva (bovinos, ovinos y caprinos), con la presencia de animales de traspatio que son para el autoconsumo y alimento para las aves de corral y cerdos (INEGI, 2000).

2.4. Aspectos sociales

De las delegaciones que constituyen el Distrito Federal, Milpa Alta es la única que posee características rurales, es la más alejada de la zona urbana y segunda más extensa después de Tlalpan. La delegación tiene una población de 96,773 habitantes (INEGI, 2001) que representa solamente el 1.2% del total del Distrito Federal (8,605,239 hab). Es la delegación más pequeña en términos demográficos y la segunda en extensión territorial (273.3 km²) después de Tlalpan (339.4 km²) (INEGI; 2001).

La estructura de los poblados respeta su delimitación de barrios y con el paso del tiempo ha conformado una estructura incipiente de corredores de servicios a lo largo de las vialidades de comunicación de la delegación con Tláhuac y Xochimilco. De esta manera, en poblados como San Antonio Tecómitl, Villa Milpa Alta y San Pedro Atocpan, se presentan características de zonas urbano-rurales concentradoras de equipamiento y servicios. Estas concentraciones han generado ciertos conflictos en la estructura urbana, como el cambio de uso del suelo en las zonas centrales, la recarga de la estructura vial en las partes céntricas de dichos poblados y la alteración de las edificaciones de tipo tradicional. Existen presiones para modificar el uso del suelo de rural a urbano y también para autorizar mayores densidades de población (PDDU, 1997).

2.5. Aspectos económicos

La población económicamente activa ocupada en Milpa Alta en el año 2000 fue de 36,108 hab. La Población Económicamente Inactiva estaba constituida por 24,670 hab, en su mayoría dedicadas a labores del hogar. La estructura sectorial de la PEA en la delegación ha mostrado un cambio significativo, ya que entre 1950 y 1970 predominaba el sector primario y a partir de 1980 el sector terciario ha concentrado la mayor cantidad de ocupados. A pesar de esto, Milpa Alta concentra la mayor proporción de PEA dedicada a las actividades agropecuarias en el Distrito Federal (INEGI, 2001)

Según INEGI (2001) la población económicamente activa acumula el 51.78% del total de población en Milpa Alta. La ocupación de la población económicamente activa se distribuye en tres principales sectores de las actividades primarias, secundarias y terciarias: comerciantes y dependientes (18.69%); artesanos y obreros (15.29%) y trabajadores agropecuarios (14.13%) (INEGI, 2001). La presencia de estudiantes con licenciatura y posgrado en la delegación es proporcionalmente menor que en el resto de las delegaciones del Distrito Federal.

2.6. La delegación Milpa Alta como área rural

Con respecto a considerar si la delegación Milpa es o no rural, en el Programa de General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal y el programa metropolitano de Recursos Naturales, existen problemas para definir las áreas rurales en el Distrito Federal, tienen varias denominaciones para referirse a ellas: áreas rurales, áreas de conservación o suelos de conservación, la misma ley las define como áreas comprendidas fuera de los límites del centro de población.

A este respecto Cruz (2002) menciona que los factores que definen las áreas rurales tienen relación con el trabajo de la tierra y los recursos naturales, con un tipo de poblamiento específico como es el de los pueblos conurbados; y con la existencia de distintas formas de propiedad. Las actividades que se realizan corresponden básicamente al sector primario y la densidad de población es baja (en comparación con la ciudad). La agricultura es una de las actividades más importantes, ya que una parte importante de su producción la utilizan para el autoconsumo y otra pequeña, la comercializan en el mercado local.

Las características de las áreas rurales dan cuenta de la existencia de una dinámica

específica en la que inciden elementos relacionados con los aspectos sociales y económicos prevalentes en ellas (Cruz, 2002).

En la actualidad existe un gran debate en los conceptos de ruralidad-urbanidad a este respecto Ramírez (2003) menciona algunos conceptos relacionados con el campo y ciudad que explica como la urbanización periférica, urbanización regional, entre otros nombres con los que se ha designado a la *nueva ruralidad*. Resultado de los procesos históricos y crecimiento de las ciudades, se manifiestan ahora en conurbaciones metrópolis y megalópolis, como la del centro de México. La misma autora dice que la frontera rural-urbana, tienen un intenso intercambio pero con límites difusos.

El estudio de la *nueva ruralidad* se enmarca en lo que, con el desarrollo y crecimiento de las ciudades, tradicionalmente se conoció como la relación campo ciudad. El crecimiento de las ciudades ha adquirido dimensiones nunca antes exploradas, que sobrepasan la frontera urbano-rural y se enmarcan en los procesos de corte regional, que se reflejan en una realidad cada día más complicada (Ramírez, 2003)

Otro concepto para definir las áreas urbano-rurales es el llamado *nueva rusticidad*, o de lo que también se ha denominado *agricultura urbana, semiurbana y peri urbana* (Canabal, 2000). La agricultura peri urbana constituye una organización sociocultural compleja, así por ejemplo, es ilustrativo cómo la agricultura urbana-peri urbana es confrontada y subordinada a las necesidades y políticas de la ciudad, tales como la gestión prioritaria de los recursos naturales (agua, suelo, bosque) y por efecto, los cambios directos ocasionados por tales decisiones (Canabal, 2000).

En la ciudad de México, estos procesos, nuevos y viejos, alcanzan una proporción mayor no solo por el tamaño del entorno hacia donde ésta se amplía, sino por la complejidad del encuentro rural-urbano en espacios intermedios donde se intenta hacer una reconciliación

La relación campo ciudad se explica como urbanización periférica, urbanización regional, entre otros nombres con los que se ha designado a la *nueva ruralidad*. Resultado de los procesos históricos y crecimiento de las ciudades, se manifiestan ahora en conurbaciones metrópolis y megalópolis, como la del centro de México.

Pensado (2003) considera la relación campo-ciudad como el conjunto de flujos de bienes, servicios y recursos que se interactúan explícita e implícitamente entre los habitantes y el espacio rural con la ciudad. Esta serie de flujos se vertebran en tres grandes aspectos: el

intercambio de productos y recursos físicos (espacio, materias primas y productos), de recursos económicos (ingresos, financiamiento, subsidios, contribuciones, etc.) y de servicios (intercambio de bienes tangibles y en general de satisfactores para el funcionamiento de las actividades rurales y urbanas).

La relación campo ciudad es dinámica, acorde con los acontecimientos de la historia y la sociedad, pero en su interior también pueden prevalecer ritmos, orientaciones, comportamientos diferentes, que afectan a uno, a varios o al conjunto de flujos de intercambio rural-urbanos.

Dentro de los rasgos de supeditación del campo a la ciudad se mencionan los siguientes: 1) el uso del campo como reserva espacial para el crecimiento urbano; 2) ofertar productos agropecuarios de manera complementaria y estacional; 3) producir alimentos que sirven para dar plena vigencia al gusto culinario y a la tradición gastronómica de la región; 4) portar bienes como el agua y materias primas como la leña y los materiales para la construcción; 5) coadyuvar a la conservación de la calidad del aire en función del papel biológico que cumplen los bosques en la Cuenca de México; y 6) suministrar mano de obra barata con relativa calificación para realizar un sinnúmero de oficios.

La redefinición campo-ciudad tiende a alterar las autolimitaciones impuestas por la irracional expansión urbana, coadyuva a renovar el entramado interinstitucional y genera las posibilidades de mejorar, a largo plazo, la gestión de los recursos en esa relación en la zona metropolitana.

La expansión de la mancha urbana de la Ciudad de México, sólo se puede entender si vinculamos el devenir histórico y social del país aunado a las contradicciones propias del capitalismo mexicano que ha facilitado la alta concentración de la población en la gran capital, sin olvidar el medio físico que ha propiciado el crecimiento y la expansión de la ciudad hacia algunas zonas limitando otras (Santos, 2004). El crecimiento de las ciudades ha adquirido dimensiones nunca antes exploradas, que sobrepasan la frontera urbano-rural y se enmarcan en los procesos de corte regional, que se reflejan en una realidad cada día más complicada.

2.7. Antecedentes de la relación campo-ciudad en la periferia del Distrito Federal

El contacto entre el campo y la ciudad en torno a la Ciudad de México se remonta a la relación tributaria entre los pueblos aledaños y el imperio azteca, mas tarde, en periodos históricos

como la colonia, la independencia, las intervenciones extranjeras, época Juarista, el Porfiriato y a la Revolución, la articulación entre el campo y la ciudad mantuvo un carácter de subordinación, pero a la vez en términos políticos los sujetos sociales rurales siempre tuvieron una relativa importancia en lo que toca al dominio político de la región (Pensado, 2003).

En los años noventas, hubo cambios en la relación campo-ciudad. Por una parte, los servicios, productos y mercados brindados por los habitantes rurales la ciudad se desvalorizó brutal y rápidamente debido a la entrada de mercancía importada; asimismo la apertura externa agravo las tendencias a incrementar el desempleo y el empleo informal de la economía. Ante esta situación los habitantes rurales del Distrito Federal respondieron mediante una mayor diversificación económica, una mejor inserción laboral en el sector informal de servicios y una participación más activa en el comercio informal de las tierras del sector social.

Empleados en su mayoría desde hacia tiempo como jardineros, transportista, chóferes de transporte de pasajeros, taxistas, tianguistas, etc., los habitantes rurales intensificaron sus labores extra rurales inscritas como parte de las estrategias de sobrevivencia, sin dejar de efectuar sus tradiciones labores agropecuarias, principalmente de traspatio familiar. Inclusive, profesionistas y técnicos, hijos de campesinos, ante el cierre de fuentes de empleo, la dislocación de los mercados laborales y la propagación de la informalización de la economía, regresaron a su hogar rural y combinaron sus actividades remuneradas con las rurales y de traspatio practicadas y heredadas por sus familias (Pensado, 2003)

En el debate de la megalópolis se ha iniciado una caracterización de la misma, a partir del uso de conceptos del tipo corona periférica de la ciudad; que es una categoría eminentemente urbana ubicada en la escala regional megalopolitana. Algunos autores emplean el término periferia regional para señalar los elementos que asocian lo urbano con lo rural. Aguilar (2000), reconoce así un territorio de encuentros urbano-rurales, como una zona suburbana (que rodea la ciudad) y que lo diferencia de la zona peri urbana que sería la interfase entre el sistema urbano y el entorno natural, caracterizado por ser un área de reserva urbana y cinturón verde, estructurado desde por y para la ciudad.

Históricamente se ha experimentado una subordinación del campo hacia la ciudad, de donde el saldo favorable ha sido para esta última y el efecto negativo del intercambio desigual ha recaído en el ámbito rural.

Las decisiones y acciones que el gobierno ha llevado a cabo en el área rural, en vez de mejorar las condiciones económicas y sociales, han contribuido en un mayor desarrollo urbano en estas áreas, lo cual está amenazando las áreas rurales en aspectos como la calidad y cantidad de recursos naturales que precisamente necesitan las ciudades, como el agua, suelo y biodiversidad. Por otra parte la infraestructura económica y social y el capital cultural de las comunidades que permiten su desarrollo local (Torres, 2000).

2.8 Milpa Alta como integrante de la periferia metropolitana

La Delegación Milpa Alta se encuentra inmersa dentro de la problemática social y económica de Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), para hablar de los aspectos ambientales y socioeconómicos del área de estudio la tenemos que ubicar dentro del contexto espacial y temporal de la ZMVM.

La ZMVM, está considerada como uno de los centros urbanos más grandes y extensos del mundo; es el máximo exponente del fenómeno de concentración en México. El crecimiento urbano se ha dado con intensidad hacia la periferia y se ha extendido en las delegaciones del sur del Distrito Federal y en los municipios conurbados del Estado de México.

El crecimiento de la ZMVM tiende a formar un espacio periurbano complejo, en el que si bien se observa una presencia importante de los procesos urbanos, como la urbanización popular, también se tiene de manera significativa la presencia de figuras y actores “tradicionales” que han caracterizado el espacio rural y que ya están incorporados a la ciudad. Llama la atención el crecimiento urbano de los pueblos y la permanencia significativa de la propiedad ejidal. Estos elementos permiten pensar que en esta zona se presentan procesos complejos en los que la dimensión urbana y rural tiene dimensiones diferenciadas pero también relacionadas entre sí (Cruz, 2002).

El fenómeno metropolitano incorpora áreas rurales e incide de manera significativa en la transformación de los pueblos de la zona periférica de la ciudad. La periferia urbana no solo significa la expansión urbana, sino también una zona donde se realizan procesos sociales y espaciales propios de las actividades rurales como es el caso de la delegación Milpa Alta (Cruz, 2002).

La rápida urbanización y crecimiento poblacional, así como la industrialización,

energía y materiales en las principales ciudades del país han resultado en una gran presión sobre los ecosistemas rurales colindantes y sus actividades agrícolas como es el caso de la delegación Milpa Alta. Estas presiones conllevan al deterioro del medio ambiente, riesgos en la salud, deterioro de la calidad de vida y sus actividades agrícolas.

Como parte integrante de la periferia metropolitana, Milpa Alta, se ubica en una franja rural-urbana que constituye el espacio de encuentros de la realidad urbana y rural propiamente dichas (Aguilar y Escalona, 2000). La existencia de los poblados tradicionales en la periferia de la mancha urbana, que datan de decenas de años atrás representa poblaciones con un amplio arraigo a su espacio local, con actividades económicas generalmente de carácter agropecuario (Aguilar y Escalona, 2000).

La delegación Milpa Alta en su posible integración a la mancha urbana o al proceso de urbanización no necesariamente es vista por la población, como un proceso natural. Por el contrario, existen comunidades que ofrecen una amplia oposición a esta tendencia y por lo tanto a las políticas locales de uso del suelo, aunque existen grupos sociales que participan en el proceso de urbanización, a través de la especulación o venta ilegal de tierras (tierras ejidales y comunales).

La incorporación de Milpa Alta, que se ubica en la periferia, al proceso urbano tiene implicaciones muy importantes a nivel socioeconómico, ambiental y de política urbana. Por otra parte la población que vive en los poblados rurales ve el crecimiento urbano como una amenaza que seguramente provocará especulación de tierra, presiones para la venta, cambio en las actividades económicas, entre otras (Aguilar, 2000).

A nivel ambiental los efectos sobre estas áreas serán muy negativos. La presión sobre la tierra rural conducirá a la pérdida de tierras agrícolas de alta productividad, a la destrucción de las áreas boscosas y a la pérdida de espacios abiertos, como consecuencia la contaminación de suelos y en la sobreexplotación del manto acuífero.

En la actualidad las relaciones entre la urbanización, agricultura y desarrollo sustentable modifican las fronteras existentes entre los escenarios rurales y urbanos. En algunos casos los patrones de distribución laboral de la fuerza de trabajo son el resultado de la coexistencia espacial y temporal de producción agrícola y desarrollo urbano UAM-X (2000). Así se tiene que la creciente integración de mercados laborales urbanos y rurales indican que la población económicamente activa (PEA) que trabaja en actividades no agrícolas se

incremento de 23% en 1970 a 42% en 1980, y la PEA agrícola que radica en espacios urbanos se incremento de 24% a 26% en el mismo periodo. Por ejemplo, en la Ciudad de México el 59% y 53% de agricultores urbanos de Xochimilco y Milpa Alta respectivamente combinan empleo urbano con producción agrícola y pecuaria (Burns y Torres, 1996).

CAPÍTULO 3. MARCO CONCEPTUAL

Los marcos conceptuales son decisivos para poder estructurar la información que se requiere para reconocer patrones de desarrollo, identificar necesidades y prioridades, definir políticas e implementar acciones.

La ausencia de un marco conceptual genera datos incompatibles, información difícil de usar y una multiplicación de indicadores que a veces son difíciles de analizar y ajustar. Por eso es importante escoger un marco conceptual que deba ser flexible y que permita expresar, de una manera fácil, el contenido, el nivel y el método de los procesos de seguimiento y análisis de los indicadores. Dentro de un marco conceptual común la información que se usa para construir indicadores ambientales es amplia y diversa, por esta razón, es necesario tener un marco metodológico conceptual para estructurar tal información y hacerla más accesible y clara.

En este capítulo se presenta información considerada desde un marco conceptual, por lo que en primera instancia se presentan varias definiciones de lo que es un indicador ambiental, los criterios de selección, sus funciones, las herramientas analíticas para definirlos y evaluarlos, y por último el modelo de Presión Estado Respuesta (PER).

3.1. Conceptos sobre indicadores

Es importante definir que es un indicador, Segnestam (2002) menciona que dentro de los trabajos sobre indicadores es frecuente utilizar varios términos: como el de dato que es el componente básico de un indicador; así un indicador es derivado de los datos y que son comúnmente los primeros, los más básicos, porque constituyen una herramienta para analizar cambios en la sociedad y en el ambiente. De esta manera, se puede decir que los indicadores son una herramienta analítica por varias razones, 1) porque ellos pueden servir como base de evaluación y porque proveen información sobre condiciones y tendencias; 2) proveen información durante los procesos de toma de decisiones y 3) presentan varios datos en un número que comúnmente es más simple de interpretar que estadísticas complejas, ya que facilitan la comunicación entre diferentes grupos.

El concepto de indicador según Moldan (1997), es que los indicadores son variables, los datos son medidos actualmente (u observados en el caso de indicadores cualitativos) de los valores de las variables en diferentes tiempos, localidades, población o la combinación de

éstos. Una colección de datos cuantitativos es usualmente referida a la estadística. A dar un nivel de agregación o percepción (a escala local o global), los indicadores pueden ser definidos como variables individuales o como variables que están en función de otras variables. Moldan (1997) menciona que los “indicadores son variables que resumen o de otra manera simplifican información relevante, hacen visible o perceptible fenómenos de interés, y cuantifican, miden y comunican información relevante”.

Algunas definiciones específicas de indicadores incluyen que es “una variable hipotéticamente conectada a una variable estudiada, la cual por si misma no puede ser directamente observada”, “medida que resume información relevante de un fenómeno particular”, “un parámetro o un valor derivado de parámetros, que proporciona información sobre el estado del ambiente”. La OCDE (1997) define indicador como un “parámetro“, como una propiedad que es medida u observada”; y “una medida del comportamiento del sistema en términos de atributos significativos y perceptibles”. Los indicadores ambientales son medidas de factores físicos, químicos, biológicos y socioeconómicos, que representan los elementos claves de ecosistemas complejos y/o ambientales (CSIRO, 1998).

3.2. Criterios para selección de los indicadores

La selección de los indicadores es una fase importante dentro del proceso, en primera instancia de la evaluación de datos que deben ser de alta calidad, confiables, tener una escala temporal y espacial apropiada y los costos para su obtención y/o elaboración. Por otra parte, en las características de los indicadores se deben considerar la mensurabilidad, la pertinencia, la representatividad, la sensibilidad a los cambios, la especificidad y las conexiones causales. Asimismo, es importante la utilidad de los indicadores para el usuario, por eso deben tener validez, cantidad limitada, claridad en el diseño, aplicabilidad, no ser redundantes, ser retrospectivos y útiles para la predicción.

Los principales pasos de los procesos de definición de los indicadores, según Rennings (1997), son: a) identificar los elementos principales del capital natural y de sus funciones económicas; b) seleccionar los más importantes elementos que se encuentren en peligro, para buscar una solución a partir de un indicador; c) construir indicadores que reflejen la condición actual del ambiente con relación a los estándares sustentables.

Se han establecido criterios de selección de los indicadores; usando una estructura de

“componentes” y “problemas” es posible crear un indicador basado en un número de criterios; los indicadores deben presentar las siguientes características: 1) medibles, 2) relevantes, 3) representativos, 4) sensitivos a cambios, 5) específicos y 6) ser claros en cuanto a causa-efecto.

En la identificación y selección de indicadores se deben considerar las siguientes características de acuerdo con el CSIRO (1998):

1) Un rango de escalas, en espacio y tiempo, aplicado al manejo ambiental; 2) existencia de datos y la generación de nuevos datos para ser usados; 3) programa de monitoreo necesario para establecer los hechos y tendencias; 4) consistencia a través de la jurisdicción para ser usados en estados y territorios.

Por otra parte, dentro del diseño de monitoreo y el manejo de datos se deben considerar los siguientes aspectos: 1) variabilidad natural y sensibilidad de la presión de los componentes que están siendo medidos; 2) cantidad de cambios que se quieren detectar; 3) métodos de muestreo; 4) frecuencia de muestreo; 5) número de muestras colectadas y 6) tiempo y escalas de espacio del muestreo y los indicadores que puedan ser compatibles.

3.3. Función de los indicadores

Las funciones más importantes de los indicadores, según Moldan (1997) son: 1) comparar lugares y situaciones; 2) evaluar condiciones y tendencias con relación a los objetivos y metas; 3) proveer anticipadamente de información; 4) anticipar condiciones futuras y tendencias.

Los indicadores requieren, además, una definición científica y un profundo método de evaluación (Gaunt *et al.*, 1997). Los indicadores deben: 1) relatar explícitamente un problema o cuestión de interés para quienes están ajenos de un sistema, al cual se aplican los indicadores; 2) enlazar el sistema con los problemas propios en una forma transparente; 3) ser aplicables a varios sistemas y ser capaces de mostrar los cambio a través del tiempo; 4) ser factibles para registrar o calcularse a un costo razonable. Esto permite medidas múltiples para hacerse en varios sistemas, y de aquí el monitoreo del estado del ambiente, comparación de diferentes subsistemas y el mantenimiento del indicador así como en los niveles políticos.

La función puede ser tan simple como una relación o un cociente (incluyendo el concepto de número, índice, midiendo el cambio de los valores de una variable relativa para algún valor base), un índice (un solo número que es una función simple de dos o más

variables, usualmente una suma de variables individuales, una multiplicación u otros) o tan complejo como los resultados de un gran modelo de simulación.

Por lo anterior, según Torres (1999), los indicadores deben cubrir las siguientes funciones básicas: 1) determinar los cambios y condiciones ambientales con relación a la sociedad y a los procesos de desarrollo, 2) diagnosticar las causas y los efectos de los problemas existentes que han sido detectados o los cambios en el estado del ambiente para elaborar las acciones adecuadas, 3) predecir impactos futuros de las actividades humanas que modifiquen el ambiente, y proponer estrategias alternativas, y acciones políticas y 4) generar una conciencia ecológica en los poseedores de los recursos naturales, en los funcionarios públicos y en los políticos.

3.4. Herramientas analíticas para los indicadores

Dentro de las herramientas analíticas que se emplean en la determinación y evaluación de los indicadores ambientales están los siguientes métodos de análisis, síntesis y agregación. Los métodos deben permitir la exploración de la dinámica y del impacto de las políticas, acciones y estrategias dirigidas al desarrollo e identificar y analizar las relaciones causa-efecto.

Dos tipos de herramientas útiles para el análisis y la visualización de los resultados del monitoreo son: 1) los modelos para la exploración de los impactos causados en la sociedad y de los cambios que ella experimenta y 2) una interfase de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permita a los usuarios observarla y suponer la información variada necesaria para la formulación de políticas y la planeación (Winograd y Farrow, 2000).

A partir del uso de los SIG, se cuenta con una visualización de datos, ya que facilitan la sobreposición cartográfica y muestra la distribución espacial de la identificación y evaluación de los indicadores ambientales de una manera geográfica. Esta herramienta permite, por lo tanto, realizar un análisis verosímil, ya que se crea una base sólida para el proceso de toma de decisiones. A partir de los SIG se tiene un acceso visual a los mapas, cuadros, gráficas, y los indicadores que serán utilizados, de manera que los usuarios puedan analizar las posibles relaciones causa-efecto de los indicadores.

Es importante considerar criterios que permitan el uso y la aplicación de herramientas para evaluar, de manera idónea, la aplicación de los indicadores ambientales, por lo que deben ajustarse a un nivel de análisis, deben ser importantes para el entorno político, convenientes

para los usuarios, deben ser factibles, tener credibilidad científica y deben tener una interacción con los principales grupos de interés y la retroalimentación para generar escenarios útiles.

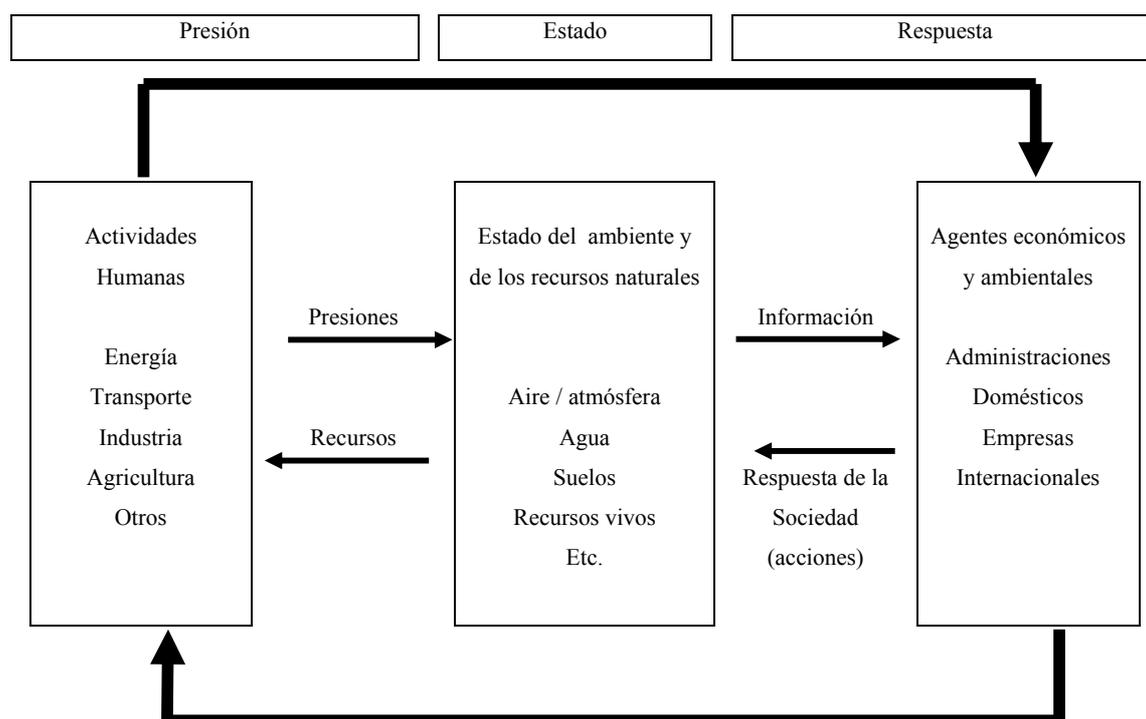
3.5. Modelos aplicados por instituciones para los indicadores

El modelo Presión-Estado-Respuesta (PER) es uno de los modelos que más se ha aplicado en la evaluación de los indicadores a nivel internacional, nacional, regional y local. El PER es la primera dimensión del marco teórico en el que se estructuran los trabajos de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) (Avérous, 1997), sobre los indicadores ambientales que hoy en día se emplean a escala nacional e internacional (INE, 2002) probablemente porque es pertinente para la acción gubernamental, debido a los vínculos establecidos entre medio ambiente, actividades y agentes económicos, además de ser claro y confiable (**Figura 3.1**).

Los indicadores de la OCDE permiten hacer comparaciones internacionales, de este modo el proceso de selección ha sido orientado hacia la disponibilidad de datos en todos los países miembros. Estos indicadores dan poca información sobre las funciones esenciales y estructura del ecosistema. Sin embargo, son un primer paso para implementar un avance hacia el futuro (Renning, 1997).

* Los *indicadores de presión* describen las presiones que ejercen las actividades humanas sobre el ambiente biofísico y los recursos naturales. Se clasifican en dos grupos, el primero representa las presiones directas sobre el ambiente, ocasionadas por las actividades humanas; en el segundo, las actividades humanas en sí mismas, es decir las condiciones de las actividades productivas que generan los problemas en el uso de los recursos naturales. Estos indicadores de presión son tomados en cuenta debido a que, por una parte, proporcionan elementos para pronosticar la evolución de la problemática ambiental, y por la otra, ayuda a definir las acciones y/o políticas en materia ambiental que se deben aplicar para los sectores causantes de la problemática (Averós, 1997).

* Los *indicadores de estado* se relacionan con la calidad del ambiente y, en términos cualitativos y cuantitativos, con los recursos naturales. Los indicadores de esta categoría se proponen ofrecer un panorama de la situación (o del estado) en que se encuentra el ambiente y de cómo ha evolucionado con el correr de los años.



Fuente: OCDE, 1997

Figura 3.1. Modelo de indicadores de presión-estado-respuesta

Dichos indicadores constituyen los objetos de políticas de protección ambiental. En este tipo de indicadores, se incluyen los efectos a los ecosistemas, causados por el deterioro de la calidad ambiental (Averós, 1997).

* Los *indicadores de respuesta* muestran las reacciones de la sociedad ante los cambios ambientales y los problemas relacionados con el ambiente. Estos indicadores se refieren a acciones individuales o colectivas para: a) atenuar los efectos ecológicamente desfavorables de las actividades humanas, adaptarse a ellos o evitarlos, 2) acabar con el deterioro que sufre el ambiente o revertir el proceso y 3) proteger el ambiente y conservar los recursos naturales. Las acciones de respuesta son dirigidos hacia dos objetivos: primeramente, hacia los agentes de presión y por otro lado, hacia las variables de estado (Averós, 1997).

Derivado de lo anterior la oficina de Estadística de la Comunidad Europea (Eurostat) desarrolló una variante del PER, llamándolo Presión-Índices-Proyecto, donde el índice es derivado de un esquema para evaluar la presión al ambiente y los daños sobre las bases de evaluación de los expertos.

La estructura de *Presión-Estado-Respuesta* (OCDE, 1994) está desarrollada en tres

diferentes direcciones, sin embargo, ha tenido variaciones y se han establecido las siguientes categorías: la primera que es la de Indicadores de Manejo–Estado-Respuesta (MER). La segunda variación a la cual se le suma las categorías de Indicadores de Impacto transformando a la primera categoría en indicadores de Presión-Estado-Impacto-Respuesta (PEIR). Finalmente, la última versión incluye cinco categorías, creando el Manejo-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (MPEIR) (Segnestam, 2002).

La estructura del PEIR es flexible, sin embargo, la crítica de la estructura sobre ésta es que simplifica la relación entre las diferentes partes sociales, la cual es relevante dentro de la estructura del PEIR. La tercera estructura del PER es la presentación de las cinco categorías de los indicadores. En esta estructura del MPEIR, las diferentes categorías de los indicadores cubren los siguientes aspectos de una evaluación ambiental (Segnestam, 2002):

- * *Fuerzas de manejo*, como las producidas por la industria y el transporte
- * *Presión* sobre el ambiente, tales como la emisión de contaminantes, los cuales degradan el
- * *Estado* del ambiente, los cuales tienen un
- * *Impacto* en la salud humana y en los ecosistemas causados por la sociedad
- * *Respuestas*, con varias medidas políticas, tales como regulaciones a partir de la legislación, cuales pueden tener un beneficio directo en los sistemas naturales y sociales.

3.6. Escalas espaciales de los indicadores

Para que la sustentabilidad sea operativa en las acciones humanas, debe de implementarse a nivel local (María *et al.*, 2006). Esto es importante porque las autoridades locales representan la unión entre la naturaleza y la población. Además, porque a nivel local se implementan parte de las políticas económicas, sociales y ambientales de acuerdo con el conocimiento que tienen sobre su área (María *et al.*, 2006). Existe una necesidad de contar con bases sólidas para la toma de decisiones a todos los niveles y contribuir en la interpretación de los sistemas naturales y humanos, de ahí la importancia de contar con información a escala detallada sobre los indicadores.

María *et al.* (2006) proporcionan algunas características que se deben considerar en la definición y evaluación de los indicadores ambientales a nivel local, las que se mencionan a continuación:

- 1) Contar con los indicadores sociales a partir de su evaluación y monitoreo, de tal

manera que permitan plantear acciones para que la población tenga acceso a la educación, empleo, energía, salud, vivienda y transporte.

2) Acceso y participación de la población en la planeación y en la toma de decisiones a nivel local.

3) Relacionar, a partir de los indicadores, las cuestiones globales y locales: para satisfacer las necesidades locales, producción de manejo del gasto y consumo de los recursos naturales de manera sustentable.

4) En el aspecto económico, establecer a partir de los indicadores los objetivos y necesidades locales, con disponibilidad de empleos y de otros servicios para minimizar los daños a los recursos naturales y al ambiente.

5) Con la evaluación y el monitoreo de los indicadores se podrán establecer programas de protección de los recursos naturales.

6) Herencia cultural de calidad ambiental en los pueblos: proteger, conservar y restaurar trabajos de importancia histórico-cultural y arquitectónica, incluyendo edificios, monumentos y eventos culturales a nivel local; proteger la calidad estética y funcional de espacios urbanos y construcciones.

Los indicadores dependen de la escala espacial y temporal que ellos representen. Los indicadores ambientales dependen de la disponibilidad de datos y de la escala para lo cual son requeridos (Stein, 2001). Los indicadores basados en datos locales proveen un método práctico para los procesos de monitoreo hacia el desarrollo sustentable. Para hacer una sociedad más sustentable, es necesario contar con herramientas que puedan medir y facilitar el progreso hacia los objetivos sociales, ambientales y económicos. De esta manera, la selección e interpretación de los indicadores ha comenzado a formar una parte integral en las políticas nacionales e internacionales en años recientes (Reed *et al.*, 2006).

En los indicadores determinados a nivel local es importante que las comunidades participen durante los procesos de planeación e implementación de proyectos, incluyendo la selección, colección y monitoreo de los indicadores (Corbiere-Nicollier *et al.*, 2003). En otras palabras, los indicadores no solo pueden ser relevantes para la población local, pero los métodos usados para coleccionar, interpretar y desplegar datos puede ser fácil y efectivamente usados por no especialistas, para que las comunidades puedan ser participantes activos dentro de los procesos de selección de los indicadores (Carruthers y Tinning, 2003).

Con respecto a la determinación de indicadores ambientales a escala local, Bell y Morse (2001), mencionan que existen dos paradigmas metodológicos; el primero que habla de los indicadores que se elaboran por los expertos que van de arriba hacia abajo (*top-down*); este enfoque encuentra sus raíces epistemológicas en el reduccionismo científico y es usado explícitamente en indicadores cuantitativos. Son comunes en campos que incluyen la ecología del paisaje, geomorfología ambiental, economía, ciencia del suelo, conservación biológica, etc. Los indicadores para cuantificar la complejidad de los sistemas dinámicos (naturales) pero no se enfatiza en la diversidad de perspectivas de los usuarios de los recursos (Reed *et al.*, 2006).

El segundo paradigma metodológico está basado en las decisiones de la comunidad que va de abajo hacia arriba (*bottom-up*) o de lo particular a lo general, referido como el enfoque *conversacional* (Bell y Morse, 2001). Esto se aplica más a las ciencias sociales, que incluye a la antropología cultural, activismo social, educación de adultos, estudios de desarrollo y psicología social. Las investigaciones realizadas en esta tradición enfatizan la importancia de entender el contexto local para elaborar objetivos y establecer prioridades, para que el monitoreo deba ser un proceso de aprendizaje entre los investigadores y las comunidades (Freebairn, 2003).

Con respecto a estos paradigmas es importante la participación de la comunidad en la selección de los indicadores más relevantes que sean propuestos para proveer beneficios clave. En este sentido Fraser *et al.* (2006), mencionan que el primer beneficio es pragmático: ya que es imposible asegurar que los indicadores cambien por, o sean modificados por expertos, en el desarrollo de indicadores, que podrían ser relevantes o aplicados en situaciones locales; las aportaciones a nivel local son necesarias para asegurar que los indicadores sean una medida exacta que indique lo más importante a nivel local.

Con la participación regular de la comunidad se debe asegurar que en los indicadores se consideren los cambios circunstanciales a través del tiempo y ayudar en la continuidad de los proyectos para obtener fondos económicos. La segunda razón es que las investigaciones preliminares realizadas a nivel local, ayuden en la capacitación de la comunidad para afrontar los problemas futuros, y esto puede ser más significativo para el desarrollo y los resultados de los proyectos que se realicen a nivel local.

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA

Los trabajos de la OCDE (1997) presentan: 1) una terminología y un marco teórico comunes; 2) el desarrollo de un acuerdo sobre los indicadores básicos; 3) la determinación del valor y la publicación de los indicadores y 4) la utilización regular de estos indicadores para el análisis y el examen de los resultados ambientales, por lo que es necesario contar con un marco metodológico conceptual para estructurar tal información y hacerla más accesible e inteligible. Se ha adoptado, para este fin, el esquema denominado Presión-Estado-Respuesta (PER), propuesto por *Environmental Canada* y la OCDE (INE, 1997). La metodología empleada en este estudio consistió en la revisión bibliográfica, trabajo de campo, análisis de los resultados y elaboración del documento final con los resultados y conclusiones. En la **Figura 4.1** se presenta el diagrama metodológico para la realización de este estudio.

4.1. Delimitación de unidades geomorfogenéticas como referencia espacial de los indicadores ambientales

Las unidades geomorfogenéticas se delimitaron con el fin de contar con una referencia espacial y territorial para presentar los resultados de los indicadores ambientales considerando el modelo PER. Además de que sirvieron para obtener información de los indicadores sobre los aspectos de relieve. En las fotografías aéreas a escala 1:75,000 se delimitaron las unidades geomorfológicas morfogenéticas de acuerdo en el Sistema ITC de Levantamientos Geomorfológicos, que sirvieron en la definición de las unidades ambientales biofísicas (UAB). El enfoque geomorfológico que se empleó en este trabajo, ha sido utilizado en diversas disciplinas, particularmente durante las últimas dos décadas (Verstappen y van Zuidam, 1991). Se consideró este enfoque como el apropiado para este trabajo porque el análisis geomorfológico concibe el establecimiento de las relaciones ecológicas del paisaje, es decir, las características de las formas del relieve respecto a los diferentes parámetros ambientales. Este tipo de análisis se lleva a cabo a partir de la información sintética y sistemática, que se aplica en un esquema de análisis multidisciplinario.

Con apoyo de la cartografía topográfica a escala 1:10,000, se elaboró el modelo digital del terreno (MDT) que sirvió de base cartográfica para la delimitación de las unidades geomorfológicas morfogenéticas (Tapia-Varela y López-Blanco, 2002).

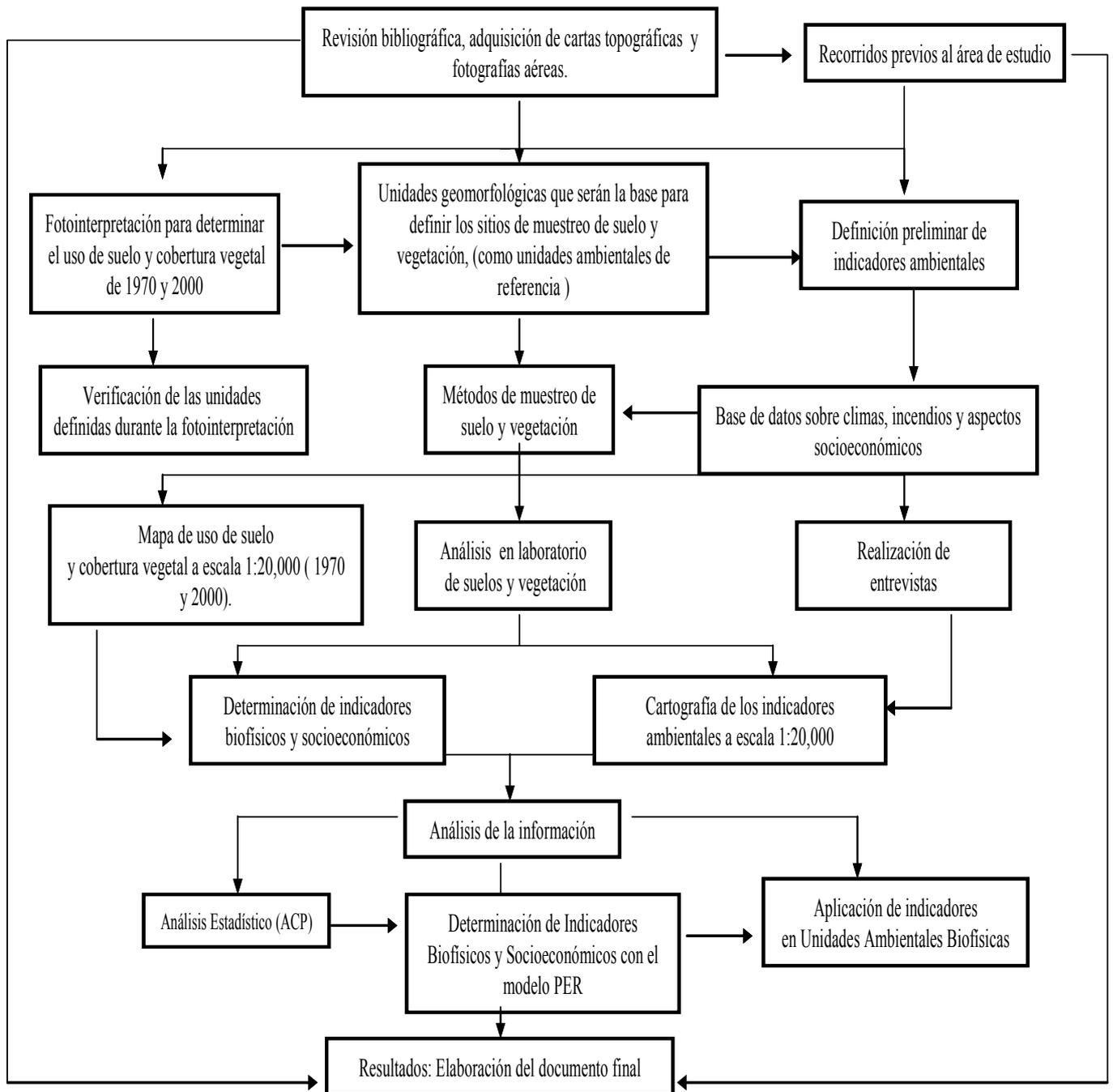


Figura 4.1 Diagrama metodológico

En total se trabajaron seis fotografías aéreas a escala 1:75,000 (INEGI, 1994), las cuales fueron georreferenciadas y a las cuales se les aplicó una corrección fotogramétrica,

posteriormente se digitalizaron las unidades geomorfológicas con apoyo de un Sistema de Información Geográfica, utilizando el programa ILWIS (por sus siglas en inglés *Integrated Land and Water Information System*) (ITC, 2003). Una vez que se definieron los polígonos de las unidades geomorfológicas se obtuvo el mapa de unidades geomorfológicas, las cuales de acuerdo con sus características de relieve se agruparon para determinar las unidades ambientales biofísicas. A partir de las unidades morfológicas, se obtuvo información sobre los indicadores de pendiente, altitudes y alturas relativas.

El mapa de pendientes se elaboró con apoyo del MDT del área de estudio y se utilizaron las clases de acuerdo con los intervalos en grados: 1 (00° - 02°), 2 ($>02^{\circ}$ - 04°), 3 ($>04^{\circ}$ - 08°), 4 ($>08^{\circ}$ - 16°), 5 ($>16^{\circ}$ - 32°) y 6 ($>32^{\circ}$ - 75°) (van Zuidam, 1986).

Se establecieron los Sistemas Morfológicos (SMG) los que se nombraron considerando la toponimia local, en total se obtuvieron 12 SMG. La definición de estos sistemas se realizó considerando las estructuras que por relieve y edad se diferenciaron en el área, lo anterior con el fin de agrupar a las unidades geomorfológicas y poder tener una simplificación y manejo de las unidades.

De acuerdo con los cuatro niveles jerárquicos de la clasificación del terreno y geomorfológico del ITC se obtuvieron sus principales características: una generalización moderada, considerando el relieve, litología y génesis como los principales criterios para la clasificación.

Las unidades geomorfológicas morfológicas se delimitaron a partir de cuatro aspectos fundamentales del relieve: 1) origen general y específico; 2) tipo de relieve; 3) edad-litología y 4) clase geométrica del relieve (Tapia Varela y López Blanco, 2002).

4.1.1. Delimitación de las unidades ambientales biofísicas (UAB)

Con apoyo de las unidades geomorfológicas se obtuvieron siete grupos de unidades ambientales biofísicas (UAB), que se definieron como unidades espaciales que ofrecen oportunidades para la identificación, la aplicación de opciones de manejo de los recursos naturales y son una herramienta para la toma de decisiones durante el proceso de planeación. Dumaski y Craswell (1998), mencionan que las unidades se derivan de la información biofísica y socioeconómica disponible y su dinámica está dada por las intervenciones humanas en el paisaje. También son un común denominador para sintetizar la información desde la

perspectiva de las diferentes subdisciplinas cuyo objeto de estudio es el ambiente (Eswaran *et al.*, 2000).

La determinación de los grupos de UAB se establecieron tomando en cuenta los elementos de la estructura natural, por lo que se define una unidad ambiental como una porción del territorio establecida en función de la naturaleza de su suelo, subsuelo, procesos activos, comunidades biológicas y modificaciones humanas a que ha estado sometida (Bolós, 1992).

Dentro del proceso de planeación territorial los grupos de UAB permiten ser caracterizadas y evaluadas estadísticamente en función de sus propiedades, con el fin de establecer sus aptitudes de uso de suelo, y dar propuestas sustentables, a partir del uso del suelo y de las características socio-ambientales de la población a nivel local (López-Blanco y Villers-Ruiz, 1998).

4.2. Determinación de indicadores ambientales.

Con la revisión bibliográfica sobre los métodos que se han empleado para la determinación de los indicadores ambientales se consideró para la realización de este estudio el enfoque metodológico propuesto por la OCDE, para establecer bases racionales y concretas, que requiere que los indicadores ambientales respondan a determinados criterios, los cuales deben ser pertinentes para la acción, analíticamente sólidos y mensurables; por lo tanto deben ser funcionales (Avéros, 1997).

La selección de los indicadores se realizó considerando los siguientes criterios: a) el uso del suelo, b) las relaciones entre las funciones del suelo, c) parámetros fáciles de medir, d) contar con patrones de variación espacial y temporal, e) sensibilidad de las mediciones a los cambios de uso de suelo, f) ser comparables con muestreos rutinarios y programas de monitoreo y g) capacidad del investigador para usar e interpretar los indicadores (Schoenholtz *et al.*, 2000).

Con apoyo de la revisión bibliográfica se realizó la selección de los indicadores ambientales, económicos y sociales para su evaluación. Una vez obtenidos los indicadores se realizó trabajo de campo para definir los sitios de muestreo. Los indicadores de Presión-Estado-Respuesta definidos para este estudio se presentan en la **Figura 4.2**

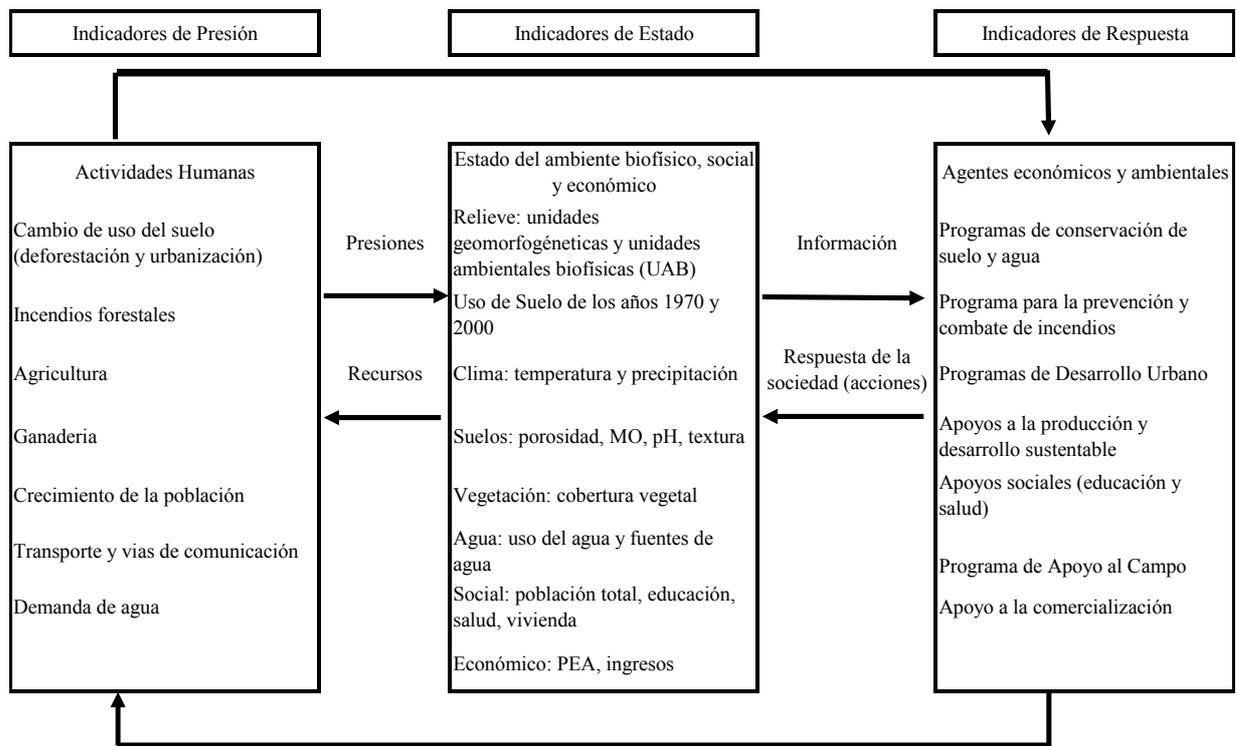


Figura 4.2. Indicadores para la delegación Milpa Alta.

Por lo anterior la metodología para elaborar este estudio consistió, en primera instancia en realizar una revisión bibliográfica y recopilación de información antecedente. Por otra parte se revisaron las cartas topográficas y temáticas de Milpa Alta y Amecameca a escala 1:50,000 (INEGI, 1984 a y b) y las cartas topográficas a escala 1:10,000 (D.D.F., 1984) que sirvieron de base en la elaboración de los mapas del área de estudio. Se obtuvieron las fotografías aéreas a escala 1:75,000 (INEGI, 1994), escala 1:25,000 (INEGI, 1970) y a escala 1:20,000 del Gobierno del Distrito Federal (2000).

4.2.1. Determinación de los indicadores de presión.

Se definieron los indicadores de presión con la finalidad de conocer cómo influyen en los indicadores de estado. Con apoyo de la información del Censo General de Población y Vivienda de INEGI de los años de 1960, 1970, 1980, 1990, 2000 y los conteos de 2005 se determinaron los indicadores demográficos de presión siguientes: a) crecimiento de la

población, b) distribución de la población urbana y rural, c) tasa de crecimiento anual, d) densidad de población, e) cambio de cobertura vegetal y uso del suelo y f) incendios forestales. Los indicadores económicos de presión considerados y definidos fueron los siguientes: a) Población Económicamente Activa, b) pérdida de la superficie agrícola sembrada y cosechada y c) producción ganadera.

a) El indicador de *crecimiento de la población* se definió con la información de INEGI, considerando los años de 1950 al 2000, a nivel de poblados y localidades de la delegación.

b) El indicador de la *distribución de la población urbana y rural*, se obtuvo considerando la población de los principales poblados y de las localidades a nivel de la delegación, se elaboró un mapa con apoyo del SIG, con el objetivo de analizar la distribución de la población y sobre todo hacia donde se está desplazando ésta de manera espacial.

c) El indicador de *tasa de crecimiento anual* se calculó con la aplicación de la fórmula siguiente:

$$Tc = \left[\left[\sqrt[t]{\frac{P_2}{P_1}} \right] - 1 \right] \times 100$$

Donde:

Tc = tasa de crecimiento demográfico

P₁ = población inicial en el período de referencia

P₂ = población final en el período de referencia

t = número de años comprendidos en el período de referencia

d). La *densidad de la población* anual se obtuvo a partir de la relación:

$$DP = \frac{\text{Población total}}{\text{Superficie en km}^2}$$

4.2.1.1. *Indicador de cambio de uso del suelo y cobertura vegetal*

Este indicador se obtuvo con apoyo de los mapas obtenidos de la fotointerpretación y

realizados en el SIG, del programas ILWIS y *ArcView*, se hizo un cruzamiento de las tablas obtenidas de los mapas de uso del suelo de los años 1970 y 2000. Las clases de uso y cobertura vegetal definidas para el cruzamiento de los mapas fueron las siguientes: pastizal natural, pastizal inducido, agricultura de temporal de cultivos anuales, agricultura de temporal de cultivos semipermanentes, matorral, urbano y bosque. Se realizaron los mapas de los principales cambios que se han presentado en el área de estudio de los dos años analizados.

4.2.1.2. Indicador de incendios forestales

Uno de los factores destructivos que inciden en mayor grado en el deterioro de los ecosistemas naturales son los incendios forestales (García, 1998). Un problema ecológico mayor de los incendios es su presencia continua en un mismo sitio, con una frecuencia incompatible con la rapidez de reconstrucción del ecosistema, lo que conlleva a un proceso de degradación del suelo y de las formaciones vegetales (Trápaga, 2002). Considerando lo anterior y para contar con información sobre incendios forestales, se hizo una revisión de los reportes sobre incendios de 1994 a 2003 de la CORENA, la información que se obtuvo fue referida al número de incendios, superficie y vegetación afectada anualmente. Posteriormente los datos obtenidos sobre los sitios incendiados se localizaron por coordenadas UTM en un mapa a escala 1:20,000 utilizando cuadrantes de 1 km por 1 km, de las coordenadas UTM, para cada uno de los años que se analizaron, los cuales corresponden a los cuadrantes definidos por la Comisión de Recursos Naturales (CORENA), que abarcan de los 00 en el sur y a los 21 hacia el norte y de oeste a este de 125 al 147.

4.2.1.3. Indicadores económicos

Con la información de la Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) de los años 1988, 1994 y 2004 se definieron los indicadores de pérdida de la superficie agrícola y de la producción ganadera.

4.2.2 Determinación de los indicadores de estado.

Para conocer el estado de conservación o degradación de los recursos naturales en la delegación se determinaron los siguientes indicadores de estado.

4.2.2.1. Indicador de cobertura vegetal y uso de suelo de 1970 y 2000

La cobertura vegetal y uso del suelo se considera como un indicador ambiental, permite detectar dónde y porqué han estado ocurriendo ciertos cambios, y cómo estos indicadores están afectando el ambiente biofísico, causado principalmente por actividades económicas de las sociedades humanas (Cansen y Di Gregorio, 2002 y Southworth, *et al.*, 2004). Analizando los cambios en términos de patrones espaciales en un cierto periodo facilita la identificación de los procesos sociales y biofísicos que conducen a los cambios en sus usos del suelo y cobertura vegetal (Brown *et al.*, 2000).

Se procedió a obtener el indicador de cambio de uso de suelo de 1970 y 2000 por lo que se realizó trabajo de fotointerpretación para obtener el uso del suelo y la cobertura vegetal en fotografías aéreas a escala 1:25,000 del año 1970 y a escala 1:20,000 del año 2000, con un total de 34 fotografías para el año de 1970 y 15 ortofotos del año 2000, con el fin de realizar un análisis multitemporal de ambos años. Se aplicó una corrección fotogramétrica, posteriormente se digitalizaron con apoyo del Sistema de Información Geográfica, utilizando el programa ILWIS (ITC, 2003) y una vez que se definieron los polígonos se obtuvo un mapa de uso de suelo de 1970 y 2000.

Para la clasificación de uso del suelo y tipos de vegetación se tomó como referencia la de INEGI (1984b), quedando en bosques de *Abies religiosa* “oyamel”, *Pinus* spp. “pinos” y *Quercus* spp. “encinos”; pastizal inducido y natural, matorral; agricultura de temporal de cultivos anuales y semipermantes; urbano (habitacional), considerando las categorías de agricultura con áreas urbanas y urbano con áreas agrícolas para el año 2000.

4.2.2.2. Indicadores de cobertura vegetal

La medición de la cobertura está íntimamente ligada con la espesura de la masa representada en la imagen fotográfica y es una de las mediciones indirectas más frecuentemente usadas para diferenciar masas forestales en el modelo estereoscópico. La medición de la cobertura se hizo por comparación mediante gráficas de densidad en la cual se han presentado diversas coberturas o densidades en porcentaje de ocurrencia para superficies conocidas y para diferentes diámetros de copa. Esta clasificación es subjetiva en cuanto a su comparabilidad, de aquí que fue necesario, antes de emplear las gráficas, establecer los criterios de comparación, definiendo el estrato vertical que se comparó.

Para obtener la cobertura vegetal se utilizaron las fotografías aéreas a escala 1:25,000 de 1971 y 2000, con el fin de realizar una comparación de las coberturas en estos diferentes años. Por lo anterior la clasificación que se empleó en la cobertura vegetal, considerando la densidad de las copas durante la fotointerpretación se presenta en la **Tabla 4.1**.

Tabla 4.1. Clasificación de la cobertura vegetal.

Coberturas	Clases en porcentaje
Alta	> al 50%
Media	25 - 50%
Baja	5 - 25%
Muy Baja	0 - 5%

Fuente: Moncayo (1970)

Estas clases de cobertura se observaron y definieron en las fotografías aéreas de manera visual y subjetiva (**Figura 4.3**).

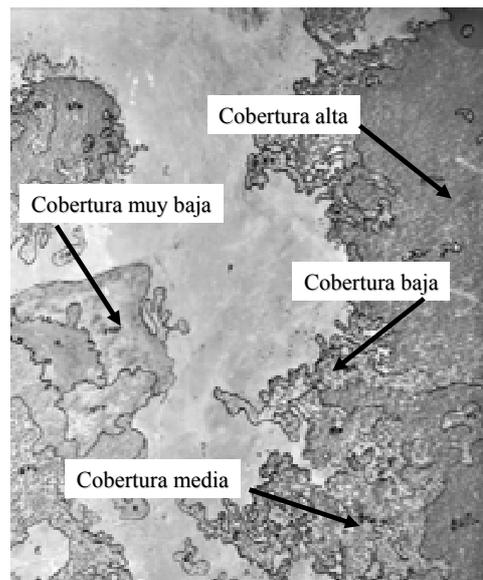


Figura 4.3. En la fotografía aérea se muestran ejemplos de las clases de cobertura vegetal definidas durante la fotointerpretación.

Para conocer el estado actual de la vegetación, se consideraron además de la cobertura vegetal los indicadores siguientes: Índice valor de importancia, el Índice de Similitud de Sorensen (ISS) y el Índice de Diversidad de Shanon-Wiener. El Índice de Valor de Importancia (IVI) refleja las características de las especies en la comunidad (Cox, 1980). Es una medida de cuantificación para asignarle a cada especie su categoría de importancia

(Lamprecht, 1990) y se obtiene de la suma de la densidad relativa, frecuencia relativa y dominancia relativa (área basal) (Trejo, 1983; Ibarra, 1999), con la aplicación de la fórmula siguiente se obtuvo el IVI:

$$\text{IVI} = \text{Densidad relativa} + \text{Dominancia relativa} + \text{Frecuencia relativa}$$

Dónde:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Número de individuos por especie}}{\text{Número total de individuos}} \times 100$$

$$\text{Dominancia relativa} = \frac{\text{Dominancia relativa de una especie}}{\text{Dominancia de todas las especies}} \times 100$$

Dominancia = Área Basal Relativa

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{Frecuencia de una especie}}{\text{Frecuencia de todas las especies}} \times 100$$

Para conocer la diversidad de especies se aplicaron los dos índices más ampliamente usados en ecología como son el Índice de Similitud de Sorensen (ISS), para analizar la similitud florística de los sitios. Este índice se basa sobre la relación de presencia y ausencia entre el número de especies comunes en dos áreas (o comunidades) y el número total de especies (Muller-Dombois, 1974). Este índice se aplicó en los sitios de muestreo de vegetación.

$$\text{Índice de Similitud de Sorensen} = \frac{2c}{A+B}$$

Donde: **c** = Número de especies comunes de dos sitios

A = Número de especies comunes en el sitio A

B = Número de especies comunes en el sitio B

El Índice de Diversidad de Shanon-Wiener que combina dos componentes de la diversidad: 1) el número de especies, y 2) la igualdad y desigualdad de la distribución de individuos en las diversas especies. Un mayor número de especies hace que aumente la diversidad de las mismas, e incluso con una distribución uniforme o equitativa entre ellas también aumentará la diversidad de especies medidas con la función de Shanon-Wiener (Krebs, 1985).

$$H = \text{Suma de } \pi * \log_2 \pi$$

π = abundancia relativa

$$\text{Abundancia relativa} = \frac{\text{Número de individuos de una especie}}{\text{Número de individuos de todas las especies}}$$

4.2.2.3. Indicadores de clima

Se obtuvieron los datos de clima de catorce estaciones meteorológicas con el fin de determinar la temperatura y la precipitación como indicadores ambientales, por lo que a partir de su consulta en el programa ERIC 2 (IMTA, 1996) y considerando el período 1960-2002 se realizó un análisis estadístico para obtener el promedio anual de la temperatura y de la precipitación (**Tabla 4.2**). La Comisión Nacional del Agua (CNA) (2000), proporcionó información sobre observaciones climatológicas (temperatura y precipitación). Con la información anterior se realizaron los mapas de isoyetas e isotermas con apoyo del SIG y del programa *Surfer* (2002).

Tabla 4.2. Estaciones meteorológicas con influencia en Milpa Alta

Nombre de la estación	Período en años	Precipitación	Temperatura media anual	Coordenadas UTM	
		(mm)	(°C)	X	Y
Ajusco	1962-1988	1132.30	11.5	478977	2124686
Km. 39 a Cuernavaca	1965-2002	1521.40	9.5	480719	2115464
Milpa Alta	1964-2002	688.00	15.3	498248	2120986
Moyoguarda	1954-1988	755.60	15.3	489493	2132054
San Francisco Tlanepantla	1967-2002	867.40	13.0	487735	2122834
San Gregorio Atlapulco	1961-1983	739.80	16.3	494745	2128363
Santa Ana Tlacotenco	1980-2002	648.40	15.3	500000	2119142
Tláhuac	1965-2002	535.90	16.4	489476	2102549
Chalco	1967-2002	579.40	14.6	510508	2130210
Juchitepec	1977-2002	704.60	14.2	514025	2111771
Sec. Agropecuaria 32	1971-1990	590.40	16.1	510509	2128366
Cumbres	1967-2002	1544.70	10.3	473698	2108097
San Juan Morelos	1975-1990	1465.50	15.6	489477	2104393
El Vigía	1981-2002	1092.70	17.1	505263	2100702

4.2.2.4. Indicadores de suelos

Las propiedades físicas del suelo son utilizadas como indicadores de calidad, porque reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y trasmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración y el movimiento del agua y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y el espacio poroso (Bautista *et al.*, 2004). Considerando lo anterior se

proponen para el área de estudio los indicadores de suelo como la humedad, color, densidad aparente, porosidad y textura.

Indicador de humedad. Debido a que el agua es una de las principales vías que llevan nutrimentos a las plantas, se considero a la humedad como un indicador, además porque juega un papel vital en el crecimiento de la vegetación y de los organismos (Baver *et al.*, 1980).

El color se definió como indicador porque refleja las propiedades biofísico-químicas de la relación suelo-planta y está influido por los porcentajes y tipo de materia orgánica, y por otra parte el color se ve afectado por los minerales que se encuentran contenidos en el suelo (Aguilera 1989). La densidad aparente como indicador se usa para monitorear el grado de compactación y cimentación, la porosidad permite que exista un balance entre el aire y el agua, en la retención de agua y en el crecimiento de las raíces de acuerdo a Larson y Pierce (1991) y Arshad y Coen (1992). La textura como indicador es fundamental en el control de agua, nutrientes, cambio y retención de oxígeno (Doran y Parkin, 1994).

Los indicadores químicos se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad del agua y nutrientes para las plantas y los organismos (USDA, 1996). Los indicadores químicos de suelo definidos para este estudio fueron; la materia orgánica (MO) y el carbono orgánico (CO), porque como indicadores juegan un papel en la estabilidad de los agregados, esto influye en la porosidad, en la reacción de intercambio gaseoso y en la relación del agua (Karlen y Stott, 1994; Roming *et al.*, 1996), en el caso del Carbono orgánico como indicador constituye un haz crítico en el ciclo del carbono y es un depósito de nutrientes, ya que influye en muchos procesos biológicos y químicos fundamentales, por lo que son importantes en la disponibilidad de nutrientes (Harris *et al.*, 1996; Reganold y Palmer, 1995). El pH como indicador influye en muchas reacciones químicas y en particular en la disponibilidad de nutrientes (Harris *et al.*, 1996; Larson y Pierce, 1991). La capacidad de intercambio catiónico como indicador es usada para diferentes sistemas de manejo (Reganold y Palmer, 1995); Por otra parte las bases intercambiables de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ (Reganold y Palmer, 1995); K^+ (Harris *et al.*, 1996; Aune y Lal, 1997), son indicadores químicos de disponibilidad de nutrientes con funciones específicas para la productividad de las plantas.

Los indicadores anteriores se definieron con apoyo de las fotografías aéreas a escala 1:75,000, 1:20,000 y 1:25,000 y se hace referencia a ellos a partir de las UAB, y sirvieron de

referencia en los muestreos de suelo y vegetación. Es importante aclarar que con respecto a los aspectos sociales y económicos la información se consideró a nivel de los poblados de la delegación, con apoyo de los censos del INEGI y está referida a las localidades que conforman la delegación.

4.2.2.5. Indicadores de agua

Con respecto a este factor se consideraron los siguientes indicadores: uso del agua, demanda de agua, fuentes de agua. Se consultó información sobre fuentes principales, número de pozos y gastos de extracción de agua potable, pozos de agua para riego agrícola, escurrimiento superficial del río Milpa Alta (G.D.F., 2000). Por otra parte y para contar con información de manera particular se entrevistó a los habitantes de la delegación para obtener datos sobre la utilización del agua y quién regula el uso, pozos de agua potable que existen en la comunidad y cuántos son utilizados para la actividad agrícola, problemas con el abastecimiento del agua, carencia de agua para uso diario, los problemas principales con respecto al uso y manejo del agua y sobre infraestructura para la captación de agua. Con respecto a la información es difícil obtenerla de las instituciones públicas, por lo que se consideraron los datos proporcionados por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México.

4.2.2.6. Indicadores sociales

Los indicadores sociales considerados en este trabajo fueron: población total, población alfabeta y analfabeta mayor de 15 años, salud (población con y sin derecho a servicios de salud). Se hizo una revisión y se tomaron datos que se reportan en los censos del INEGI (1970, 1984, 1991 y 2001).

Indicadores de población total. Los datos de población se consultaron por las localidades que conforman la delegación, se obtuvo información sobre los censos de 1950, 1970, 1980, 1990 y 2000 del INEGI, con el fin de contar con datos históricos del crecimiento de la población.

Indicador de población alfabeta y analfabeta. Los datos de población se consultaron por las localidades que conforman la delegación, se obtuvo información sobre el censo de 2000 de INEGI, con el fin de realizar un análisis por localidad de los sistemas educativos en la

delegación.

Indicador de salud. Para el caso de la delegación se consideró la información de INEGI (2001) tomando en cuenta los datos de personas que reciben algún servicio médico en las instancias de gobierno por localidad. Considerando a la población que cuenta con servicio de salud y la cuenta con este servicio asimismo se consideró a la población con derecho al ISSSTE y al IMSS.

4.2.3. Indicadores de respuesta

Los indicadores de respuesta se definieron con apoyo de la información proporcionada por parte de las instituciones de gobierno, se hizo una recopilación de los programas gubernamentales que se han llevando a cabo en el área de estudio. Para ello se acudió a la Comisión de Recursos Naturales (CORENA) del Gobierno del Distrito Federal, a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Delegación Milpa Alta.

4.3. Trabajo de campo

Se llevaron a cabo recorridos para la verificación de las unidades geomorfológicas y/o ambientales biofísicas, los usos de suelo y la cobertura vegetal, definidos durante la fotointerpretación. Con los indicadores determinados y las unidades ambientales biofísicas (UAB), se tomaron muestras de suelo y vegetación. Además se realizaron entrevistas a los productores y comuneros, con el fin de contar con información sobre la problemática que sobre los recursos naturales existe en el área, que sirvió de base para la determinación de los indicadores. Se contactó con la Representación de Bienes Comunales de Milpa Alta, con el fin de tener libre acceso al área de estudio.

4.3.1. Muestreo de suelos

La toma de muestras de suelo y de vegetación se hizo considerando a las unidades ambientales biofísicas, para el caso de los suelo se tomaron muestras superficiales a una profundidad de 0 a 30 cm, con una cantidad de 1.5 kg de suelo. En total fueron 77 sitios muestreados como se puede observar en la **Figura 4.4**. Cada uno de los sitios de muestreo se georreferenció con apoyo de un GPS para posteriormente pasar la información a una base de datos con apoyo de

los Sistemas de Información Geográfica.

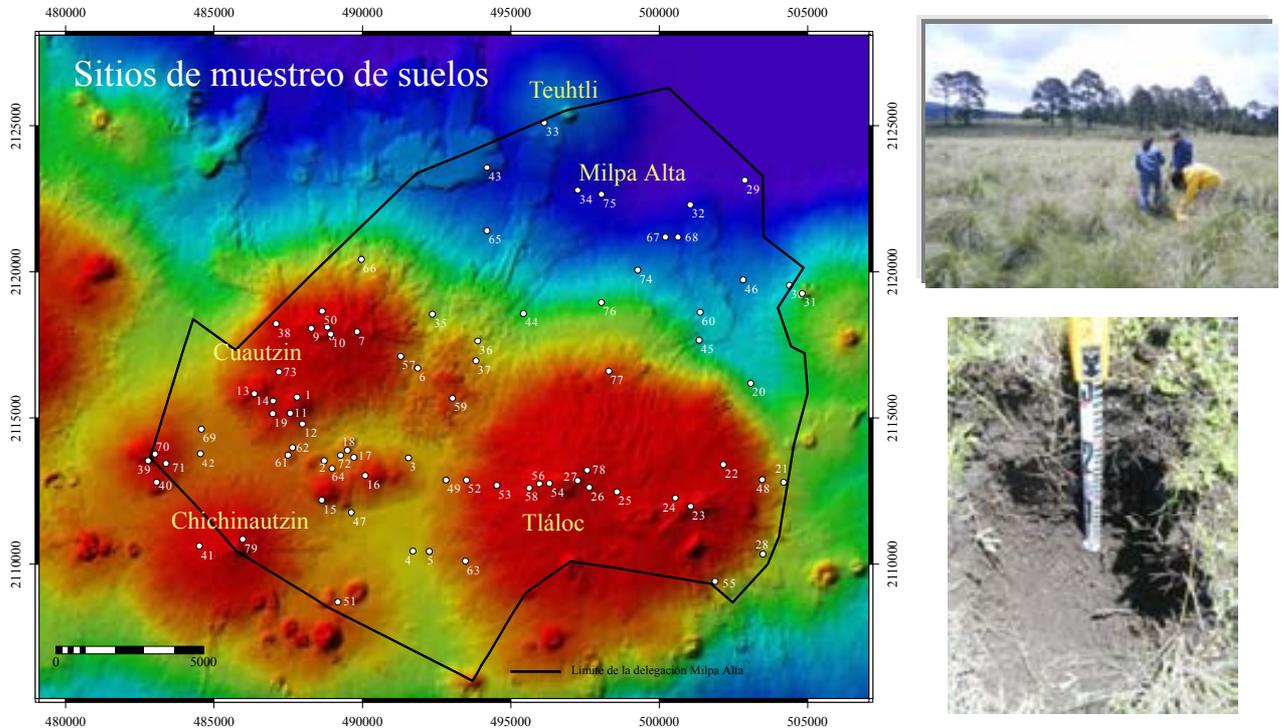


Figura 4.4. En el modelo sombreado se marcan los sitios de muestreo, en las fotografías se observa la toma de muestras a la profundidad de 30 cm, como se muestra con el estadal.

4.3.2. Muestreo vegetación

Para contar con información sobre vegetación, ésta se tomó considerando a las unidades ambientales biofísicas (UAB) con cobertura forestal y los muestreos de suelo.

4.3.2.1. Selección de los sitios de muestreo de vegetación.

Aparte de las características de cobertura vegetal de las UAB y los sitios de muestreo de suelos definidos durante la fotointerpretación, se consideraron los siguientes criterios: 1) la composición de la vegetación, 2) su estado de conservación, 3) alejados de los caminos y 3) las vías de acceso que fue un factor importante para llegar a los sitios, sobre todo en las laderas externas de los conos cineríticos. En total se muestrearon 19 sitios, con tres repeticiones, por lo que en total fueron 57 círculos, cubriendo un círculo una superficie de 1000 m^2 , por lo que cada sitio con tres círculos cubrió una superficie en total de 3000 m^2 . La

elección de los sitios de muestreo se realiza con base en la composición de la vegetación y al muestreo de suelo. La distribución de los círculos dependió de la distribución de la comunidad vegetal.

4.3.2.2. Establecimiento de los círculos muestreo.

El círculo se trazó con apoyo de cintas métricas midiendo un radio de 17.8 m considerando a un árbol como el centro y con apoyo de banderines se estableció el perímetro del círculo. En él se midieron los árboles que tenían un diámetro a altura de pecho (DAP) mayor a 10 cm. Posteriormente se trazó un círculo interno con un radio de 8.9 m, en él se midieron todos los árboles cuyo DAP fue menor a 10 cm. La vegetación que quedaba dentro del círculo se marcó con etiquetas de colores para su posterior medición. Para establecer las repeticiones se trazaron dos círculos uno hacia la derecha y otro hacia izquierda del primer círculo. Considerando el árbol central del primer círculo se midieron 50 metros hacia la derecha e izquierda. Cada uno de los círculos se georreferenció con apoyo del *Global Positioning System* (GPS) para la elaboración de los mapas en un Sistema de Información Geográfica.

4.3.2.3. Medición del DAP

En el círculo externo se tomaron datos a los árboles con un DAP mayor a los 10 cm. El DAP se midió a cada uno de los árboles con apoyo de un *Caliper* y con una cinta diamétrica. El DAP se utilizó para calcular el área basal que sirvió para obtener el Índice de Valor de Importancia.

4.3.2.4. Método de medición y cálculo de alturas

Para medir los árboles se utilizó el método indirecto (Philip, 1994); que consiste en el uso de la trigonometría, midiendo la distancia al árbol con una cinta métrica y los ángulos (oblicuángulos) de la parte superior y el ángulo a la altura de los ojos de la persona que está junto al árbol. Para tomar los ángulos se uso un clisímetro aparato que mide los ángulos verticales.

4.3.2.5. Toma de datos sobre conservación y perturbación

La información sobre áreas conservadas y perturbadas se reporto de manera visual y

cualitativa, se observó dentro de los círculos, si existía regeneración natural, si la vegetación presentaba algún daño ocasionado por incendios, ocotéo, se contaron los tocones y árboles muertos. Esta información se reportó en los formatos, que se elaboraron para tomar la información en campo.

Para verificar las especies arbóreas y arbustivas que se midieron y colectaron en campo, se identificaron con las claves taxonómicas de Rzedowski y Rzedowski (2001) y Sánchez (1980), y con apoyo del personal del Herbario MEXU del Instituto de Biología de la UNAM. En la **Figura 4.5** se presenta un mapa de relieve sombreado en donde se indican los sitios de muestreo y un dibujo de los círculos que sirvieron para tomar los datos de la vegetación.

4.4. Trabajo de laboratorio

Las muestras de suelo se llevaron al laboratorio para determinar sus propiedades físicas y químicas. Se secaron a temperatura ambiente y posteriormente se tamizaron utilizando una malla de 2 mm de abertura. Las propiedades físicas que se obtuvieron fueron porcentaje de humedad, por secado en estufa a peso constante, densidad aparente (D_a), densidad real (D_r) y porosidad (*Soil Survey Staff*, 1999), color en seco y húmedo (Munsell, 1994) y la textura por el método de Bouyucos (SEMARNAT, 2002). Las propiedades químicas que se analizaron fueron el pH en agua por el método del potenciómetro con electrodo de vidrio, materia orgánica (MO) (Walkley y Black, 1934), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), cationes intercambiables Ca^{2+} Mg^{2+} por saturación con Acetato y su titulación con Versanato (SEMARNAT, 2002) Na^+ y K^+ por flamometría (*Soil Survey Staff*, 1999).

4.5. Aplicación de entrevistas

Las entrevistas sirvieron para fortalecer la determinación de los indicadores ambientales y de apoyo con información de los indicadores. El objetivo de realizar las entrevistas fue conocer la opinión que tienen los productores sobre el manejo de los recursos naturales y la problemática de las actividades económicas (**Figura 4.6**).

Se llevaron a cabo 29 entrevistas con los representantes de bienes comunales, productores y representantes territoriales de los pueblos de la delegación Milpa Alta.

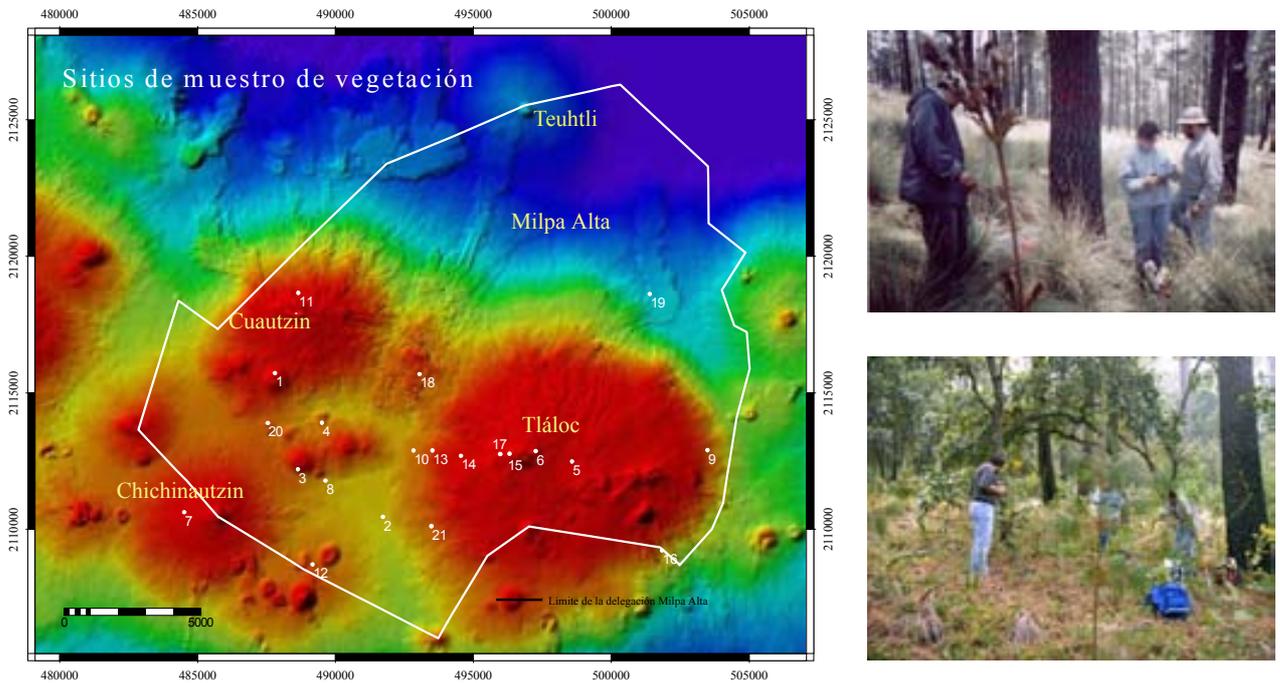


Figura 4.5 Modelo de relieve sombreado con los sitios de muestro de vegetación, el diseño de muestro e imágenes del trabajo de campo para obtener datos de altura y DAP de los árboles y arbustos.

Se preparó un cuestionario con 57 preguntas sobre los sistemas de producción, tipo de tenencia, problemas de invasión de terrenos, producción y mercado, cantidad de personas que se dedican a las actividades agropecuarias, si usan fertilizantes, herbicidas o insecticidas, rendimiento de la producción, si cuentan con maquinaria agrícola (rentada y/o propia), y si tienen acceso a créditos.



Figura 4.6. Realización de entrevistas en campo con los productores de Milpa Alta.

La entrevista se enfocó sobre la percepción del entrevistado sobre cambios en el clima, erosión y degradación de suelos, abastecimiento y carencia de agua, superficie forestal y problemas relacionados con incendios, plagas, enfermedades, tala clandestina y por último, el tipo de fauna que han observado en los últimos años.

También se les cuestionó sobre si contaban con un reglamento escrito para la regulación de las actividades de los comuneros y para el otorgamiento de permisos o sanciones a quienes hacen un mal uso de los recursos naturales. Si reciben apoyos para la producción agropecuaria y forestal.

Con el fin de contar con una opinión sobre la conformación de las Áreas Naturales Protegidas (ANP), las preguntas versaron sobre si ellos ¿saben lo que es una ANP?, si se ¿deberían conformar y que áreas propondrían ellos para ser sujetas como ANP? En el **Anexo 1** se presenta el cuestionario que se aplicó en las entrevistas.

4.6. Análisis multivariado

El objetivo principal del análisis multivariado es resumir grandes cantidades de datos por medio de relativamente pocos parámetros. Además el interés de encontrar relaciones entre las variables de respuesta, la dimensión de sus unidades de medida y de ambas (Johnson, 1998). El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión (número de variables). En general, este tipo de métodos hacen que tengan sentido conjuntos de datos grandes y complejos, que constan de

una gran cantidad de variables medidas en grandes números de unidades (Dallas, 1998).

Para el desarrollo de los métodos multivariados es necesario tener los datos en una forma que sea capaz de contener información de muchas variables (Cole, 1975). Los cálculos elaborados por los métodos multivariados pueden partir de matrices modificadas estadísticamente, como matrices de correlación, de covarianza y varianza. Obtenidas las nuevas matrices estadísticas se buscan las relaciones o valores significativos (Análisis de Componentes Principales), así como sus diferencias o similitudes (*Cluster*). El resultado comúnmente, son nuevas variables o clasificaciones de los datos, con los cuales se facilitan las interpretaciones. Aun así, los métodos multivariados tienden a ser de naturaleza exploratoria en lugar de confirmatoria, es decir, tienden a motivar hipótesis en lugar de comprobarlas (Dallas, 1998).

4.6.1 *Análisis de componentes principales (ACP)*

El análisis de componentes principales es un análisis estadístico que sirve para encontrar patrones en los datos con muchas dimensiones o variables, y sus resultados expresan las variaciones entre ellos, reduciendo las dimensiones de la base de datos, sin perder mucha información (Smith, 2002). Las variables son medidas sobre cada individuo, obteniendo una matriz de datos, en la que es posible usar la matriz de correlaciones o de covarianzas, en la primera se da la misma importancia a todas y cada una de las variables, mientras que la segunda sólo es posible usarla cuando todas las variables tiene la misma unidad de medida y dependen de una variable de mayor importancia en función de su grado de variabilidad. Para esto es necesario que las variables sean continuas y que el número de individuos o elementos sea mayor que las variables (Dallas, 1998; Salinas, 2005).

El ACP se utilizó en la matriz integrada por las variables o indicadores ambientales. Debido a que permite descubrir interrelaciones entre los datos; reduce la dimensionalidad de la matriz y construye variables no observables (componentes) que tienden a covariar, lo que sugiere que expresan las mismas características pero de diferente forma (Aldás, 2003), posteriormente se usaron las mediciones de los componentes principales (CP) para ayudar a validar los resultados de agrupación o *cluster* (Dallas, 1998; Salinas, 2005).

Indicadores de estado: Para obtener la matriz de las variables se realizó un cruzamiento del mapa de las 52 UAB agrupadas en los 12 sistemas morfogénéticos, con los mapas de

altitudes, pendientes, porosidad, materia orgánica, pH, textura (arenas, limos y arcillas), temperatura y precipitación, uso del suelo y tipos de vegetación del año 2000 (agricultura de temporal de cultivos anuales, bosque de pino y matorral) (**Tabla 4.3**), en total se determinaron 13 variables y 52 casos, se introdujeron al programa SYSTAT.

El resultado es una matriz en la cual los eigenvectores señalan el número de factores principales constituidos por sus eigenvalores o cargas estadísticas de las variables, siempre el primer factor explicará la mayor cantidad de varianza de los datos, siendo más importante que los demás. Esto debido a que el primer factor o componente principal (CP) es la línea del espacio p -dimensional que contiene n puntos con respecto a la proyección de su máxima varianza, la línea es una simple representación de un vector “a” de longitud unitaria. Mientras que, el segundo CP es la línea, en el espacio p -dimensional, que es ortogonal a la línea definida como primer CP de la máxima varianza restante (Krzanowski, 1988).

La máxima varianza de cada variable que compone a los factores denota el peso de las variables. Mientras su valor se acerque más a 1, la carga de la variable será alta y viceversa, por otro lado las cargas con valores negativos señalan un comportamiento inversamente proporcional a las variables de cargas positivas.

4.6.2 Determinación de los factores.

Los factores son los productos principales generados por este método. El número de factores que puedan generar los datos varía las cargas de las variables. Esto debido a la cantidad de raíces características obtenidas de la matriz. Existen criterios para determinar la dimensionalidad real del espacio en que caen los datos que contiene una matriz cualquiera. Para este estudio se usó el método de gráfica de factores y se genera al situar el valor de cada eigenvalor contra su recíproco (Dallas, 1998; Salinas, 2005).

De esta forma los valores cercanos a “0” pueden ignorarse, ya que lo más probable es que estén midiendo el ruido aleatorio que no debe tratar de explicarse, así el número determinado, es el de los eigenvectores mayores y que precisamente, se localizan por arriba de la ruptura de pendiente de la relación lineal de los factores (Salinas, 2005). La función de la rotación es la de maximizar la varianza, forzando a las cargas bajas a tender a 0 y las cargas altas a 1. Como los factores son ortogonales y las variables que los constituyen pueden adoptar una posición dentro de cada factor, es posible representar gráficamente los factores, por lo que

una vez maximizados los valores, en la gráfica tenderán a formar grupos.

4.6.3. Análisis de agrupamiento estadístico (*Cluster*)

Una vez resumidos los datos a través del ACP, se obtuvieron las variables de mayor peso dentro de los factores determinados. Después se procedió a realizar una reducción de las UAB por medio del análisis de agrupamiento estadístico (*Cluster*). El propósito del análisis *cluster* es, agrupar los objetos (en este caso unidades ambientales) de forma que, los datos sean homogéneos dentro de grupos (mínima varianza) y que estos grupos, sean lo más heterogéneos posibles entre ellos (máxima varianza) (Aldás, 2003).

Como el análisis *cluster* consiste en dividir un conjunto de objetos en dos o más grupos, basándose en la similitud de un conjunto de variables que los caracterizan, también obtiene una determinada estructura que siguen las variables. Así, la selección de las variables que van a incluirse en el análisis *cluster* es muy importante, ya que sólo deben incluirse aquellas variables que caractericen a las unidades que van a clasificarse y estén vinculadas a los objetivos de su clasificación (FSE, 2003).

Tabla 4.3. Matriz obtenida para realizar el ACP, considerando los factores de relieve, suelos, clima y uso de suelo y vegetación.

Sistema Morfogénico	UAB	Alt	Pen	Ps	MOx	pH	Are	Lim	Arc	T	P	ATca	BP	M
Acopiáxco	AcoLinflav	2950	3	53	10	5.9	63	31	6	10.4	1250.0	1	0	0
	AcoLMflav	2950	6	51	9	5.9	64	31	6	9.9	1500.0	1	0	0
	AcoLSintExtct	3150	24	50	10	5.8	64	30	6	7.9	1400.0	0	1	0
	AcoLSmflav	3050	6	50	11	5.9	64	30	6	9.1	1350.0	1	0	0
	AcoPdacum	2750	6	53	9	6.0	63	31	6	12.5	1000.0	1	0	0
Acusacayo	AcuLinflav	2450	6	55	12	6.1	65	24	10	14.7	700.0	1	0	0
	AcuLMflav	3050	6	53	12	5.7	57	34	8	9.2	800.0	0	1	0
	AcuLSintExtct	3150	24	58	9	5.6	57	40	6	8.6	850.0	0	1	0
	AcuPdacum	2550	24	57	5	6.0	64	26	10	14.0	723.0	1	0	0
	AcuPlaluinter	3150	3	64	9	5.5	54	40	5	8.6	835.6	1	0	0
Ayaquémetl	AyaLinflav	2350	6	51	10	6.3	61	30	8	16.1	676.5	0	0	1
	AyaLMflav	2850	6	53	8	6.4	62	30	8	11.1	686.8	1	0	0
	AyaLSintExtct	2850	24	46	7	6.9	62	30	8	10.9	704.3	0	0	0
	AyaLSmflav	2850	12	50	7	6.5	62	30	8	10.7	699.8	0	0	1
	AyaPdacum	2270	6	50	10	6.3	61	30	9	16.8	673.2	0	0	1
Chichinautzin	ChLinflav	3050	6	55	12	6.0	64	30	6	9.2	1250.0	0	1	0
	ChLMflav	3150	6	54	11	6.0	63	31	6	9.2	1250.0	0	1	0
	ChLSintExtct	3150	24	55	8	6.1	63	31	6	8.0	1250.0	0	0	0
	ChLSmflav	3150	12	54	8	6.0	63	31	6	8.5	1200.0	0	1	0
	ChLSMInFLom	3050	12	60	6	5.8	67	29	4	8.9	1092.4	0	1	0
	ChPlaluinter	3150	12	59	8	5.6	67	29	4	8.8	1082.8	1	0	0
	CoLSMInFLom	3050	12	52	13	6.2	66	29	6	8.5	1000.0	0	1	0
Comalera	CoPdacum	3050	6	52	14	6.0	59	34	7	9.6	950.0	1	0	0
	CoPlaluinter	3050	6	55	9	6.1	71	22	6	9.1	1000.0	0	1	0
	CuaLinflav	2750	12	53	8	6.0	63	31	6	12.3	900.0	1	0	0
Cuautzin	CuaLMflav	3050	12	52	9	6.0	65	31	5	8.5	850.0	0	1	0
	CuaLSintExtct	3250	24	53	9	6.3	64	31	4	7.8	1050.0	0	1	0
	CuaLSmflav	3250	12	50	9	6.2	65	31	4	7.1	900.0	0	1	0
	CuaPdacum	3050	6	52	10	5.9	64	31	5	9.6	1100.0	1	0	0
	CuaPlaluinter	2550	6	54	9	6.1	64	27	9	14.2	772.2	1	0	0
Otates	OtLinflav	3050	3	55	12	5.9	62	31	7	9.9	1400.0	0	1	0
	OtLMflav	3050	1	51	11	5.8	58	31	6	9.7	1150.0	0	1	0
	OtLSintExtct	3150	24	55	8	5.8	63	31	6	8.5	1300.0	0	1	0
	OtPdacum	3050	24	54	8	5.7	61	33	6	9.4	1200.0	0	1	0
	OtPlaluinter	3050	1	55	7	5.8	63	31	6	9.1	1250.0	0	1	0
Planicie Intermontana	PINPlaluinter	3050	6	53	14	6.0	66	30	4	9.7	1100.0	1	0	0
Planicie de Tláhuac	PTLaPlaluinter	2270	1	53	10	6.2	61	30	9	17.0	669.9	0	0	0
Teuhtli	Teu Linflav	2350	6	51	7	6.3	64	27	9	16.1	650.0	0	0	0
	Teu LMflav	2450	6	50	7	6.4	64	27	9	15.1	727.8	1	0	0
	Teu LSintExtct	2650	24	46	5	6.6	67	25	8	12.6	705.5	0	0	1
	Teu LSmflav	2550	6	50	6	6.4	65	26	9	14.2	700.0	1	0	0
	Teu Pdacum	2270	6	53	8	6.3	63	28	9	16.6	650.0	0	0	0
	Teu Plaluinter	2450	1	52	7	6.4	65	24	9	15.2	650.0	1	0	0
Tláloc	TL Linflav	3050	12	56	13	6.3	63	27	8	9.0	950.0	0	1	0
	TL LMflav	3350	12	59	14	6.3	62	26	9	6.6	900.0	0	1	0
	TL LSintExtct	3450	24	56	14	6.1	60	24	7	5.4	800.0	0	1	0
	TL LSmflav	3450	12	60	16	6.1	66	26	7	5.5	850.0	0	1	0
	TL Pdacum	2850	6	55	12	6.4	63	29	8	10.9	684.1	1	0	0
	TL Plaluinter	2950	24	55	8	6.3	62	29	9	9.8	758.0	0	0	0
Xochimilco	Xo Linflav	2550	3	53	7	6.1	64	28	9	15.3	750.0	1	0	0
	Xo Pdacum	2270	3	53	7	6.1	63	29	8	16.5	800.0	1	0	0
	Xo Plaluinter	2270	1	53	7	6.2	63	28	8	17.0	750.0	1	0	0

Nota: La letra con la que inicia el nombre de la UAB (Unidad Ambiental Biofísica) señala el sistema morfogénico al cual pertenece: Aco (Acopiáxco), Acu (Acusacayo), Aya (Ayaquémetl), Ch (Chichinautzin), Co (Comalera), Cua (Cuautzin), Ot (Otates),

PINPI (Planicie intermontana), PTLa (Planicie Tláhuac), Teu (Teuhtli), TL (Tláloc), Xo (Xochimilco). UAB: LSintExtct (Ladera superior interna y externa de cono cinerítico de tefra), LSMflav (Ladera superior de montaña de flujos lávicos),

LMflav (Ladera media de montaña de flujos lávicos), Linflav (Ladera inferior de montaña de flujos lávicos), LSMInFLom (Ladera superior de montaña inferior de lomeríos), Pnacum (Piedemonte acumulativo). Alt (Altitud), Pn (Pendiente),

Ps (Porosidad), Mox (Materia orgánica máxima), Are (Arenas), Lim (Limos), Arc (Arcillas), T (Temperatura), P (Precipitación), ATca (Agricultura de temporal de cultivos anuales), BP (Bosque de *Pino*) y M (Matorral).

CAPITULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Unidades geomorfológicas morfogenéticas

Considerando al relieve, se obtuvieron 801 unidades geomorfológicas morfogenéticas que se delimitaron a partir de cuatro aspectos fundamentales del relieve: 1) origen general y específico, 2) tipo de relieve, 3) edad-litología y 4) clase geométrica del relieve. Con la información anterior se obtuvieron datos sobre pendiente, altitudes y alturas relativas.

Los tipos de relieve que predominan son: Laderas superiores internas y externas de cono cinerítico de tefra; Laderas superiores de montaña de flujos lávicos; Laderas medias de montaña de flujos lávicos; Laderas inferiores de montaña de flujos lávicos; Laderas superiores, medias e inferiores de flujos lávicos de lomeríos medios y bajos de conos cineríticos de tefra; piedemonte mixto (endógeno y exógeno), volcánico acumulativo de flujos lávicos combinado con mantos acumulativos aluviales; piedemonte de lomeríos medios y bajos de conos cineríticos; planicies aluviales holocénicas: generales, internas de cráter e intermontanas (**Figura 5.1**).

5.1.1. Características de los sistemas morfogenéticos

Con base en las morfoestructuras del área de estudio y considerando el origen y la edad de las estructuras se definieron los Sistemas Morfogenéticos (SMG) que se muestran en la **Tabla 5.1**, donde se presenta información de la superficie total de las sistemas morfogenéticos y el porcentaje que ocupan las unidades geomorfológicas morfogenéticas en cada una de ellas. Los grandes sistemas morfogenéticos se mencionan a continuación: 1) SMG-Chichinautzin, 2) SMG-Tláloc, 3) SMG-Otates, 4) SMG-Cuautzin, 5) SMG-Comalera, 6) SMG-Teuhtli, 7) SMG-Ayaquemetl, 8) SMG-Acusacayo, 9) SMG-Acopiaxco, 10) SMG-Xochimilco, 11) SMG-Planicie de Tláhuac, y 12) SMG-Planicies internas.

1) *Sistema Morfogenético Chichinautzin*. Esta unidad se ubica en la parte sur del área de estudio y ocupa una superficie de 4,820 ha. Los flujos lávicos que se extendieron hacia la parte noroeste están disecadas por una cresta de presión, que se acumuló produciendo un abombamiento y rompimiento en el lugar de máxima presión. Las lavas del volcán, en general, son muy extensas, vesiculares, masivas, están compuestas de rocas andesítico-basálticas de grano fino y piroxenos, con abundancia de cristales de olivino. Presentan pendientes que van

de los 4° a los 32°, con altitudes que van de los 3,000 m a los 3,200 m.

Tabla 5.1. Unidades geomorfológicas de los sistemas morfogénéticos de Milpa Alta

No.	Sistemas Morfogénéticos	Superficie (ha)	%	Superficie de las Unidades Geomorfológicas Morfogénéticas						
				Lsmflav	LMmflav	Linfmflav	om	LSintExtect	Pdacum	Plaluinter
S1	SMG-Chichinautzin	4,820	10.3	636.36	1,325.44	2,731.28	21.40	101.40	—	4.40
S2	SMG-Tlálloc	16,808	35.8	1,379.80	4,151.04	7,270.76	—	973.28	3,032.24	1.00
S3	SMG-Otates	2,223	4.7	—	264.40	1,520.24	—	337.16	17.76	83.16
S4	SMG-Cuautzín	7,054	15.0	707.24	1,728.36	2,706.00	—	316.60	1,565.48	30.44
S5	SMG-Comalera	869	1.9	—	—	—	604.04	—	259.32	5.40
S6	SMG-Teuhtli	2,690	5.7	658.76	722.16	598.56	—	36.68	517.04	156.52
S7	SMG-Ayaquemetl	3,583	7.6	517.72	1,863.12	659.28	—	56.00	486.44	—
S8	SMG-Acusacayo	2,554	5.4	—	1,115.56	1,260.00	—	160.60	0.04	16.88
S9	SMG-Acopiaxco	2,259	4.8	725.12	775.76	394.92	—	100.04	263.20	—
S10	SMG-Xochimilco	2,445	5.2	—	—	2,197.24	—	—	135.28	112.28
S11	SMG-Planicie de Tláhuac	1,026	2.2	—	—	—	—	—	—	1,025.84
S12	SME-Planicies internas	565	1.2	—	—	—	—	—	—	564.84
Total		46,894	100.00	4,625.00	11,945.84	19,338.28	625.44	2,081.76	6,276.80	2,000.76

NOTA: Laderas superiores de montaña de flujos lávicos (Lsmflav), Laderas medias de montaña de flujos lávicos (LMmflav), Laderas inferiores de montaña de flujos lávicos (Linfmflav), Laderas superiores, medias e inferiores de lomeríos (LSMInfLom), Laderas superiores internas y externas de cono cinerítico de tefra (LSintExtect), Piedemonte acumulativo (Pdacum) y Planicies aluviales internas (Plaluinter).

2) *Sistema Morfogénético Tlálloc*. Este sistema se localiza en la parte sur del área de estudio, entre los intervalos altitudinales que van de los 2,800 m a los 3,500 m. Las unidades tienen una superficie de 16,808 ha y presentan pendientes que van de los 4° a los 32°. Las unidades están constituidas de un cono principal, Tlálloc I, un cono sobrepuesto más pequeño Tlálloc II, y cuatro conos adventicios. Tlálloc III, IV, V y VI. Los flujos lávicos son de tipo bloque de andesitas basálticas de olivino y augita, los cuales llegan casi hasta el poblado de Villa Milpa Alta. En la parte oriental del volcán están cubiertos por capas de ceniza gris, que alternan con capas de ceniza café más fina.

Por el norte, las lavas llegan hasta Milpa Alta, y por el poniente, hasta el volcán Chichinautzin donde descansan sobre 2 m de cenizas (Martin, 1980). Hacia el sur, cubren parcialmente a los volcanes Pajonal, Ocotecatl I y II, Teconzi, Ololicxa y Tezoncito y descansan sobre lavas y cenizas del Pleistoceno. Dentro de este sistema se localiza el volcán Cerro del Agua I y II. Consiste de una estructura que alcanza los 40 m de altura de donde fluyó una lengüeta con bancos marginales o *levees* muy marcados (Martin, 1980). Esta lavas descansan sobre las del volcán Tlálloc y más al norte sobre una planicie del Pleistoceno.

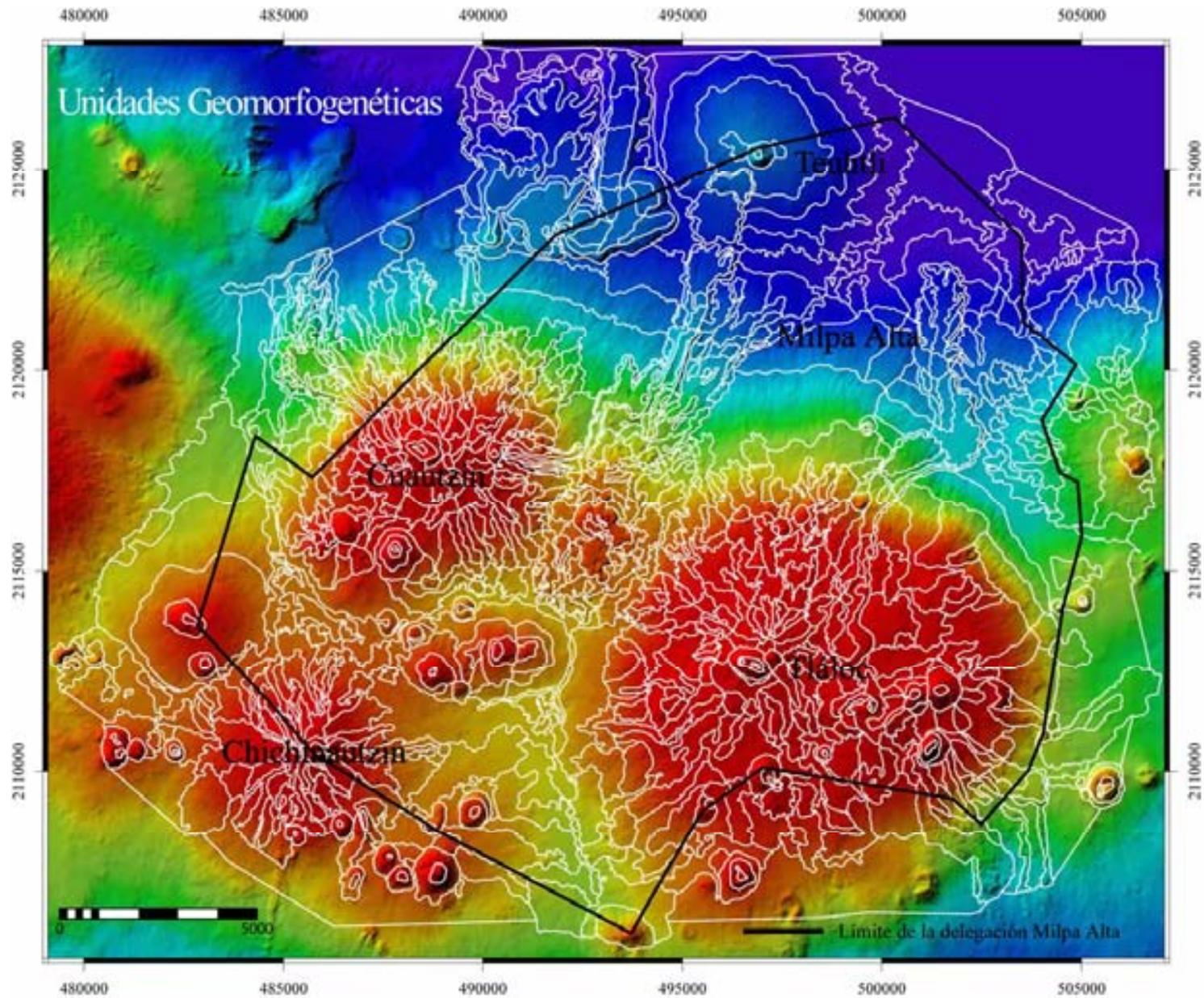


Figura 5.1 Mapa de relieve sombreado con las 801 unidades geomorfológicas.

En este sistema se encuentran los volcanes Pajonal, Tlalocito y Xistune que son conos que en gran parte están cubiertos por las lavas del Tlálloc, son conos compuestos de escoria andesítica con hiperstena y augita (Martin, 1980). El volcán San Miguel que se localiza al norte de los volcanes Tlálloc y Xistunes, tiene características muy similares a éstos, pero no lo llegan a cubrir las lavas del volcán Tlálloc. El volcán San Miguel sobreyace a una planicie de cenizas. Las relaciones del diámetro del cráter, diámetro de base, son bajas para conos de esta edad, debido a la mayor proporción de lava (Martin, 1980).

3) *Sistema Morfogenético Otates*. Esta unidad se localiza al sur del área de estudio, ocupa una superficie de 2,223 ha. Las pendientes van de los 2° a los 32° que se presentan en las laderas externas de los edificios volcánicos que conforman este sistema, y la altitud de este sistema va de los 3,000 m a los 3,200 m. Dentro de este sistema se encuentran los volcanes: Cuiloyo, Cuiloyito, Yecahuazac, Quimixtepec, Tepetl III y los Otates. Los volcanes más antiguos son el Cuiloyo y Cuiloyito, que son dos estructuras de poca elevación y con forma de casquete, cubiertas por los derrames del área. El volcán Yecahuazac es un cono cinerítico que se localiza al sureste del volcán Chichinautzín.

Los Otates son dos volcanes sobrepuestos uno de los cuales presenta dos bocas y el Quimixtepec es lo que se conoce como anidado *nested cone* (Martin 1980). Esto es un anillo de ceniza externo con un anillo de escoria y lava interno, producido por un cambio de la intensidad de la actividad explosiva (Martin, 1990). La secuencia de lavas y cenizas de estos volcanes está compuesta por andesita basáltica de augita y olivino del Pleistoceno.

Los volcanes Tepetl I y Tepetl II se localizan en el flanco meridional del volcán Chichinautzín y se encuentran rodeados por las lavas de este último. El volcán Tepetl III es un cono erosionado, que presenta una lengüeta de lava en su extremo septentrional. En general, la secuencia de lavas y cenizas de estos volcanes está compuesta por andesitas basálticas de augitas y olivino (Martin, 1980)

4) *Sistema Morfogenético Cuautzin*. Este sistema ocupa una superficie de 7,054 ha con pendientes que varían de 8° sobre lavas y en la parte de los conos de 32°. Se encuentra en un intervalo de altitudinal que va de los 2,600 m a los 3,300 m. El volcán Cuautzin está compuesto por cuatro conos. El Cuautzin I, es un cono cinerítico, se observa una serie de

pseudofracturas alineadas en la ceniza café de grano fino, las cuales corresponde al fenómeno conocido como *parasol ribbing*, lo cual puede deberse a avalanchas de cenizas calientes o procesos fluviales (Martin, 1980). Los derrames que fluyeron hacia el norte, el oeste y el sur, se extravasaron por el Cuatzin II y por base del Cuatzin I. Se presenta un derrame del Cuatzin III, que fluyó hacia el este, y rodea al Cuatzin IV. Este derrame presenta bancos laterales (*levees*) muy marcados y se encuentra cubierto por menos ceniza que los derrames en el lado suroccidental de este volcán. Las lavas son rugosas de tipo Aa y de composición andesítico-basáltica con olivino (Martin 1980) Esta lavas y cenizas cubren a los Tetzalcoatl y Tulmiac por el sur, pero subyacen a los derrames de Acusacayo por el oriente.

5) *Sistema Morfogenético La Comalera*. Esta unidad está integrada por el volcán La Comalera y sus dos conos adventicios, el San Bartolo, el San Bartolito, el volcán Chinringuiritería y un cono adyacente con forma de media luna del Pleistoceno (Martin 1980). Las pendientes varían de 12° para el San Bartolo, a 23° para la Comalera. El volcán Piripitillo y los que integran la unidad de la Comalera sobreyacen a una planicie. La superficie que cubre es de 869 ha con alturas que van de los 3,000 a los 3,100 m.

6) *Sistema Morfogenético Teuhtli*. Esta unidad es un volcán de escudo con varios conos cineríticos. El cono cinerítico del Teuhtli consiste principalmente de depósitos de fragmentos de material piroclástico, producido por moderadas erupciones explosivas (Martin 1980). Se localiza al norte del área de estudio con una altitud de 2,795 m. Su parte occidental está cubierta por el domo de Xicomulco y, al sur, con los derrames de los volcanes Acusacayo y Cuatzin. Las lavas de esta unidad están compuestas de andesita basáltica de augita y olivino del Pleistoceno, que están cubiertas por una capa delgada de ceniza café (Martin 1980). Se localiza en la parte norte del área de estudio y ocupa una superficie de 2,690 ha.

7) *Sistema Morfogenético Ayaquémetl*. Esta unidad está constituida por tres conos cineríticos de tefra y flujos lávicos cubiertos de piroclastos del Holoceno. Ocupa una superficie dentro del área de estudio de 3,583 ha. Presenta intervalos altitudinales que van de los 2,300 m a los 2,900 m. Presenta intervalos de pendientes que van de los 4° a los 32°.

8) *Sistema Morfogenético Acusacayo*. Se localiza entre las unidades de los volcanes

Tlálóc y Cuautzin. Está constituido por cuatro pequeños conos sobrepuestos, que se localizan a 6 km al suroeste de Milpa Alta. El derrame más joven es el que se encuentra en el lado sur de los conos donde se observan *levees* o bancos marginales bien delimitados y la boca por donde surgió éste (Martin 1980). Las lavas masivas, que son de andesita de hiperstena del Holoceno, sobreyacen en el lado meridional a los derrames del volcán Cuautzin y a los de la región de la Comalera. Por el lado oriental descansa sobre las cenizas cafés de una planicie hasta San Pedro Actopan, donde están en contacto con el volcán Teuhtli (Martin 1990). La superficie de esta unidad dentro del área de estudio es de 2,554 ha, las pendientes van de los 4° a los 32° y presentan una altura que va desde los 2,300 m a los 2,900 m.

9) *Sistema Morfogenético Acopiaco*. Esta unidad se localiza al poniente de la zona de estudio, ocupa una superficie de 2,259 ha, las pendientes van de los 4° a los 32° y la altura de esta unidad va de los 2,700 a los 3,200 m. Corresponde a un volcán del Pleistoceno, que es una estructura formada por dos volcanes superpuestos. Las lavas asociadas con este volcán se presentan debajo de una delgada cubierta de cenizas grises, las lavas son de andesita de oxihornblenda y piroxenos (Martin 1980). Las dimensiones son mínimas puesto que subyacen a las lavas del volcán Chichinautzín por el sur, a las lavas del volcán Pelado por el poniente y a las lavas del volcán Yololica, por el norte. Las lavas y depósitos piroclásticos del volcán Acopiaco cubren las cenizas del volcán Oyameyo. El volcán El Guarda es un cono adventicio del volcán Acopiaco y se ubica al sureste.

10) *Sistema Morfogenético Xochimilco*. Se localiza en la parte norte del área de estudio, limita al sur con el Lago de Xochimilco, ocupa una superficie de 2,445 ha. Con pendientes que van de los 2° a los 4°. Los intervalos altitudinales de este sistema van de los 2,240 a los 2,600 m. Durante el Holoceno el volcanismo se concentró en el noroeste que corresponde a la zona Tetequillo-Xicomulco, donde se formaron volcanes que produjeron gruesos derrames de lava andesita a dacita y por la misma viscosidad de las lavas, la mayoría no formaron conos. La explosividad de estos volcanes fue baja, porque existe muy poco material piroclástico asociado. Las lavas que variaron de andesitas de piroxeno hasta dacitas de hornblenda (Martin 1980), se presentan en derrames hasta de 300 m de espesor que fluyeron hacia el norte, siguiendo la topografía que descendía hacia el lago de Xochimilco.

Las crestas de presión y líneas de flujo en estas lavas de bloque también indican el punto de emisión de cada volcán. Este sistema está integrado por conos y flujos lávicos de rocas de andesita y dacitas de hiperstena (Martin 1980). Los flujos lávicos bajaron en forma escalonada, lo que sugiere una superficie fracturada antes de la extrusión de los derrames de la Formación Chichinautzin.

11) *Sistema Morfogenético Planicie de Tláhuac*. Esta unidad se encuentra entre los sistemas morfogenéticos Tláloc y Teuhtli, la cual se ha formado por la acumulación de material de estas estructuras, formando una planicie aluvial que limita, por la parte noreste, con la planicie lacustre de Tláhuac. La acumulación de grandes espesores de aluvión se puede explicar debido a un bloqueo del desagüe, causado por el emplazamiento de derrames lávicos y/o por el fallamiento normal del Cuaternario que favorecieron los cambios en la velocidad y dirección de los cauces fluviales, con la consecuente distinta distribución del tamaño de grano en estos depósitos. Corresponde con la acumulación de grandes espesores de aluvión, ocupa una superficie dentro del área de estudio de 1,026 ha. Las pendientes van de los 0° a los 2° y es la parte más baja de la zona de estudio con una altitud de 2,300 m.

12) *Sistema Morfogenético Planicie intermontana Cuautzin-Tláloc*. Este sistema se localiza en las áreas internas y ocupa una superficie de 565 ha entre los sistemas morfogenéticos Tláloc, Cuautzin y Chichinautzin, que han contribuido con material que se ha acumulado en esta área, presenta una pendiente de 2° a 4° y la altura va de los 3,000 a los 3,100 m. En la **Figura 5.2** se presenta el mapa con las 12 grandes sistemas morfogenéticos para la delegación Milpa Alta.

5.1.2. Grupos de unidades ambientales biofísicas de Milpa Alta

Las unidades geomorfológicas morfogenéticas se agruparon en siete grupos de unidades ambientales biofísicas (UAB) como se muestra en la **Tabla 5.2**, las que se caracterizan por ser de origen endógeno volcánico acumulativo de fines del Pleistoceno y principios del Holoceno, conformadas por andesitas-basálticas y andesitas-dacitas. Además, se consideran las características físicas y bióticas de cada una de ellas (**Figura 5.3**).

Tabla 5.2. Grupos de unidades ambientales biofísicas.

No. de Grupo	Grupos de Unidades Ambientales Biofísicas	Superficie	
		ha	%
1	Volcánico acumulativo de laderas superiores de montaña (internas y externas) de conos cineríticos pleisto-holocénicos (andesitas, basaltos y dacitas). Con Andosoles Regosoles y Bosque de <i>Abies</i> y Agricultura.	2,082	4.4
2	Volcánico acumulativo de laderas superiores de montaña de flujos lávicos pleisto-holocénicos (andesitas, basaltos y dacitas). Con Andosoles- Phaeozem y Bosque de <i>Pinus</i>	4,625	9.9
3	Volcánico acumulativo de laderas medias de montaña de flujos lávicos pleisto-holocénicos (andesitas, basaltos y dacitas). Con Andosol y Bosque de <i>Pinus</i> .	11,946	25.5
4	Volcánico acumulativo de laderas inferiores de montaña de flujos lávicos pleisto-holocénicos (andesitas, basaltos y dacitas). Con Andosol-Phaeozem, y Bosque de <i>Pinus</i> y Agricultura.	19,339	41.2
5	Volcánico acumulativo de laderas superiores, medias e inferiores de lomeríos de conos cineríticos del pleistoceno (andesitas y basaltos). Con Andosol y Bosque de <i>Pinus</i> y Agricultura	625	1.3
6	Exógeno acumulativo aluvial y mixto de piedemontes holocénicos de laderas de montaña y lomeríos. Con Phaeozem-Andosol y Bosque de <i>Pinus</i> y Agricultura.	6,277	13.4
7	Exógeno acumulativo de planicies aluviales holocénicas, generales, intermontanas, e internas de cráter de cono cinerítico. Con Andosol-Phaeozem con Agricultura y Urbano.	2,001	4.3
Total		46,894	100.0

Características de los grupos de UAB.

Unidad 1. Volcánico acumulativo de laderas superiores de montaña (internas y externas) de conos cineríticos pleisto-holocénicos (andesitas, basaltos y dacitas), con Andosoles-Regosoles, Bosque de Abies religiosa y Agricultura.

Este grupo de unidades corresponde a los conos cineríticos del área de estudio y representan el 4.4% del total de las UAB. Se encuentran a una altitud de entre los 2,600 y los 3,500 m snm, las pendientes van de los 16° a los 32°.

Se observó que la altura influye en la temperatura, ya que se tiene que en estas unidades las temperaturas van de los 5.4°C en las partes más elevadas, hasta los 12.6°C, en las partes más bajas, con precipitaciones de 704.3 a 1,400 mm. Lo anterior influye de una manera directa en las características físicas y químicas de los suelos, ya que estos presentan altos porcentajes de humedad (>50%), que están relacionados con los altos contenidos de MO, ya que en estas unidades se presentaron de 5 a 14% de MO. La MO influye, además, en que el pH, sea de ácido a ligeramente ácido.

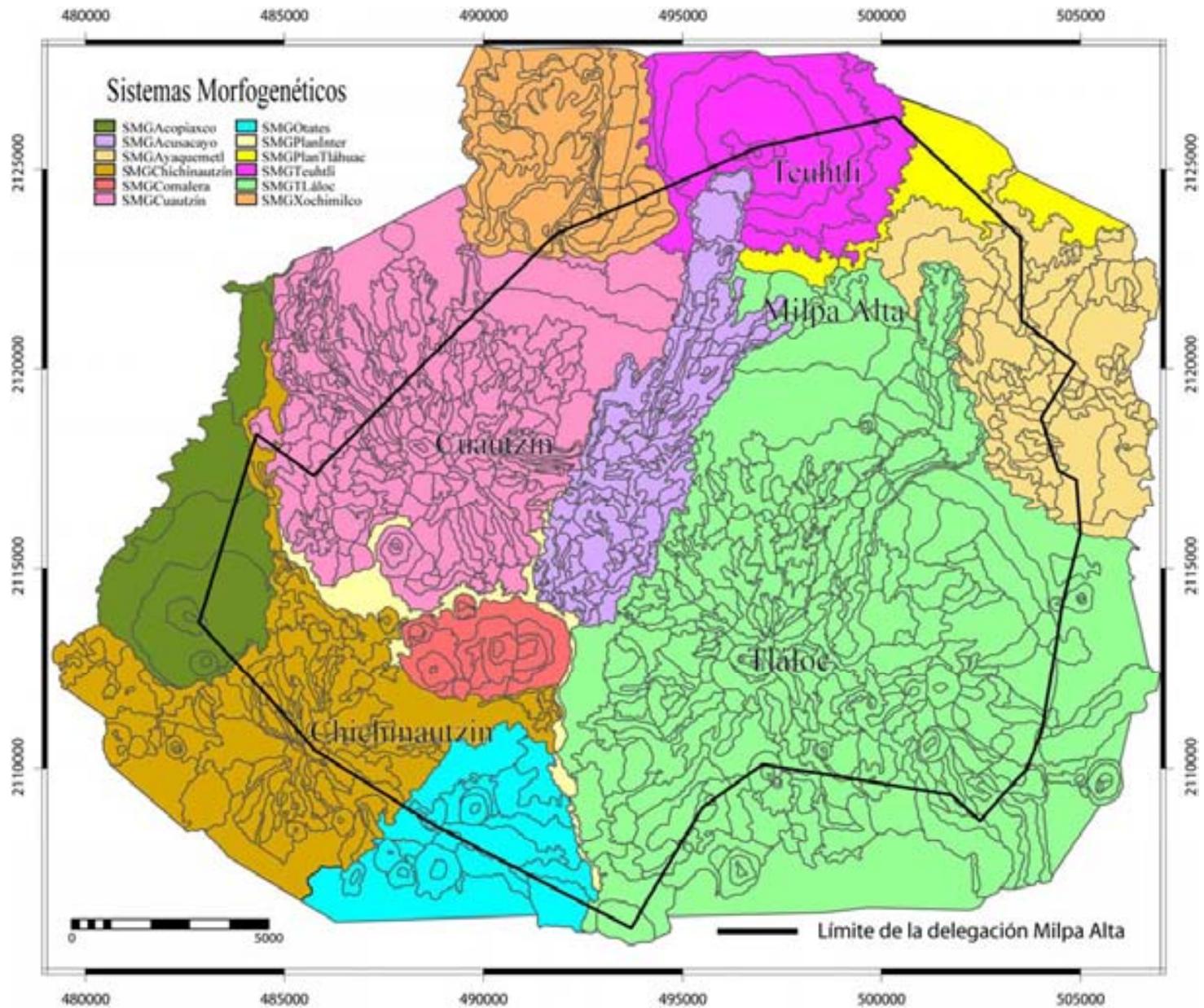


Figura 5.2. Mapa de los Sistemas Morfogenéticos (SMG).

El uso de suelo en la mayoría de las unidades es forestal y los tipos de vegetación están representados por bosque de *Abies religiosa*, bosque de *Pinus hartwegii* y *P. montezumae* en asociación con pastizales, donde predomina la especie *Festuca tollucensis*. Con una cobertura vegetal baja, lo anterior debido al patrón de altitud, temperatura y de precipitación. En las unidades que se encuentran sitios con vegetación de matorral xerófito, están conformados por flujos lávicos de basalto.

Unidad 2. Volcánico acumulativo de laderas superiores de montaña de flujos lávicos pleisto-holocénicos (andesitas, basaltos y dacitas), con Andosoles-Phaeozem y Bosque de Pinus spp.

Este grupo de unidades representan el 9.8% del total de la UAB, se localizan en un intervalo altitudinal que va de los 2,500 hasta los 3,500 msnm y presentan una pendiente de 4 a 16°. La temperaturas es de 5.5°C a los 14.2°C y las precipitación es 699 a 1,350 mm anuales.

El uso de suelo es forestal con una cobertura de alta a media, para el año 2000 la mayoría de los sitios presentan también cobertura forestal, sin embargo, esta cobertura presenta una densidad de media a baja, lo que indica que se ha reducido la cobertura en algunas áreas. La vegetación que predomina es: bosque de *P. hartwegii*, *Abies religiosa* y *Alnus jorullensis*.

Los sitios se encuentran bien conservados en cuanto a su cobertura forestal, ya que se localizan en áreas más alejadas de la población y están menos sujetos a la actividad antrópica a pesar de que en ellos se presentan algunos árboles quemados en su corteza y hay presencia de *Lupinus spp.*, género que se considera indicador de incendios forestales.

Unidad 3). Volcánico acumulativo de laderas medias de montaña de flujos lávicos pleisto-holocénicos (andesitas, basaltos y dacitas), con Andosoles y Bosque de Pinus spp.

Este grupo de unidades ocupan el 25.4% del total de las UAB del área de estudio. Su altitud es de 2,400 a 3,400 m con pendientes que va de los 4° a los 16° en promedio. La altitud ejerce una gran influencia en la temperatura de este grupo de unidades ya que se presentan temperaturas que van de los 6.6°C en las partes más altas a los 15.1°C en las áreas mas bajas. La precipitación va de los 687 a los 1,500 mm anuales. En general los suelos presentan porcentajes altos de humedad (>50%) y una porosidad que va del 50 al 59%.

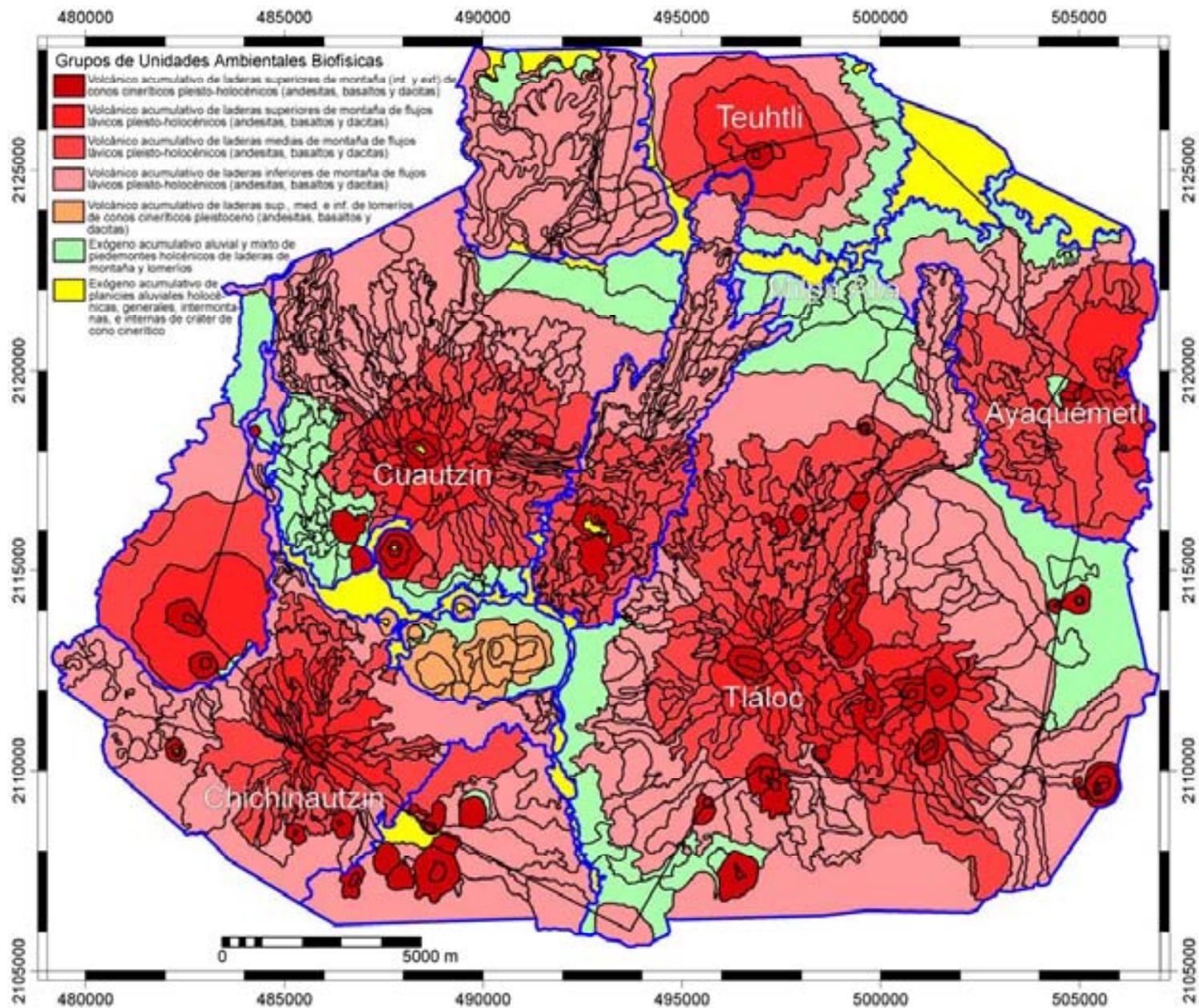


Figura 5.3. Mapa de los grupos de unidades ambientales biofísicas (UAB).

Son unidades con suelos ricos en materia orgánica ya que se presentaron altos porcentajes que van de 8 al 14%, con un pH ácido en la mayoría de las unidades. El uso de suelo es forestal en algunas unidades donde predominan los tipos de vegetación de coníferas que están representados por bosques de *P. hartwegii*, *Pinus montezumae* y *Abies religiosa*. Además, en algunas unidades se llevan a cabo actividades agrícolas donde se cultiva principalmente avena forrajera y maíz.

Unidad 4. Volcánico acumulativo de laderas inferiores de montaña de flujos lávicos pleisto-holocénicos (andesitas, basaltos y dacitas), con Andosoles-Phaeozem, Bosque de Pinus spp. y Agricultura.

Ocupan la mayor superficie dentro del total de las UAB ya que representa el 41.2%. Se encuentran de los 2,300 hasta los 3,100 m de altitud, con pendientes de 2° a 16°. Este grupo de unidades ocupa el 41.24% de la superficie total de las UAB. Las temperaturas se presentan de los 9°C a 16.1°C con precipitaciones que van de los 650 a los 1,400 mm anuales. Los suelos, en general, presentan una humedad superior al 50%. Los porcentajes de materia orgánica son elevados presentándose desde 7 hasta 13%, influyendo en el pH, ya que principalmente es ácido. Los usos del suelo de la mayoría de las unidades es de agricultura de temporal de cultivos anuales como la avena y maíz y de bosque de pino, donde predomina el *Pinus montezumae* principalmente. Además existen áreas con matorral de *Juniperus sp.* y los cuales se encuentran muy dispersos en el terreno, el cual es muy rocoso. En este grupo de unidades se presentan afloramientos rocosos de basalto cubiertos de musgos y líquenes, por la altitud a la que se encuentra, se presentan lluvias abundantes lo cual influye sobre los contenidos de humedad en el suelo.

Unidad 5). Volcánico acumulativo de laderas superiores, medias e inferiores de lomeríos de conos cineríticos del Pleistoceno (andesitas y basaltos), con Andosoles y Bosque de Pinus spp. y Agricultura

Este grupo de unidades representan sólo el 1.3% del total de las UAB. Presentan pendientes que van de los 8 a los 16°, con altitudes de los 3,000 a 3,100 m. La temperatura en promedio que predomina es de 8.7°C con una precipitación media de 1,046.2 mm anuales. Los porcentajes de materia orgánica en los suelos son altos, ya que va de los 6 a los 13%, lo que

influye en la porosidad de 56% y en un pH ligeramente ácido. El uso del suelo de esta unidad es forestal con una cobertura vegetal media donde se ha establecido un bosque de *Pinus montezumae* en asociación con pastizales. Además existen áreas en donde se realizan actividades agrícolas, con cultivo principalmente de avena forrajera.

Unidad 6). Exógeno acumulativo aluvial y mixto de piedemonte holocénico de ladseras de montaña y lomeríos del Holoceno, con Phaeozem-Andosol, Bosque de Pinus spp. y Agricultura.

Estas unidades ocupan el 13.3 % del total de las UAB. Las alturas a las que se encuentran este grupo de unidades va de los 2,240 a 3,100 m, con pendientes de 2° a 8°. Las temperaturas que se presentan en estas unidades son de 9.4°C a 16.8°C. Las precipitaciones son de 650 a 1,200 mm. Los suelos presentan un alto porcentaje de porosidad (50 al 57%). La materia orgánica va del 5 hasta el 12%. El pH es ácido, debido a la gran cantidad de abonos orgánicos aplicados en las actividades agrícolas sobre todo en las parcelas de nopal.

El uso del suelo en la mayoría de las unidades es de agricultura de temporal con cultivos anuales, donde se siembra avena forrajera, y maíz. También existen áreas con cultivos semipermanentes de nopal verdura *Opuntia ficus indica*. Existen áreas en donde los productores cultivan en terrazas donde los suelos son pedregosos y poco profundos. Por otra parte es importante señalar que en este grupo de unidades, se encuentran los principales poblados que constituyen la delegación, como Villa Milpa Alta, San Ana Tlacotenco, San Salvador Cuauhtenco y San Pablo Oztotepec.

Unidad 7). Exógeno acumulativo de planicies aluviales holocénicas generales, internas de cráter de cono cinerítico e intermontanas, con Phaeozem-Andosol, Agricultura y áreas urbanas.

Este grupo representa solo el 4.2% del total de las UAB. Estas unidades se encuentran a una altitud que va de los 2,240 a los 3,200 msnm, con pendientes de 0° a 8°. Las temperaturas van desde los 8.6°C en las planicies de las partes altas y a los 17.7°C, que se presentan en las áreas cercanas a la planicie lacustre hacia en norte de la delegación. Las precipitaciones son de 650 mm a 1,250 mm y están en relación con la temperatura y la altitud del área. Los suelos presentan una porosidad que va del 52 hasta el 64%, por los altos

contenidos de materia orgánica, que son del 7 hasta el 14% lo que influye en un pH ácido del suelo. Estas unidades se caracterizan por ser una superficie plana donde se llevan a cabo actividades agrícolas y existen áreas con pastizales sobre todo en las planicies de los cráteres de los volcanes. Es importante mencionar, que las unidades que se encuentran cerca de la planicie lacustre han presentado durante los últimos treinta años un crecimiento acelerado de la población (INEGI, 2000), lo que ha repercutido en un cambio drástico de uso de suelo, ya que las actividades agrícolas se han abandonado para dar paso a los asentamiento humanos, con todos los efectos en demanda de servicios que esto implica.

5.2. Indicadores ambientales de presión

Los indicadores de presión, estado y respuesta que se definieron para este estudio se presentan en la **Tabla 5.3**, considerando la metodología propuesta por la OCDE, pero tomando en cuenta las características socioambientales del área de estudio

Tabla 5.3. Indicadores aplicados para el área de estudio.

Indicadores de Presión	Indicadores de Estado	Indicadores de Respuesta
Crecimiento demográfico	Relieve: unidades geomorfológicas y unidades ambientales biofísicas (UAB)	Programas de conservación de suelo y agua
PEA	Uso de Suelo de los años 1970 y 2000	Programa para la prevención y combate de incendios
Agricultura	Clima: temperatura y precipitación	Programas de Desarrollo Urbano
Ganadería	Suelos: propiedades físicas y químicas de calidad de suelo	Suelo de Conservación
Cambio de uso del suelo	Vegetación: cobertura vegetal	Programa de Apoyo al Campo
Incendios forestales	Agua: uso del agua y fuentes de agua	
	Población total, educación y salud	

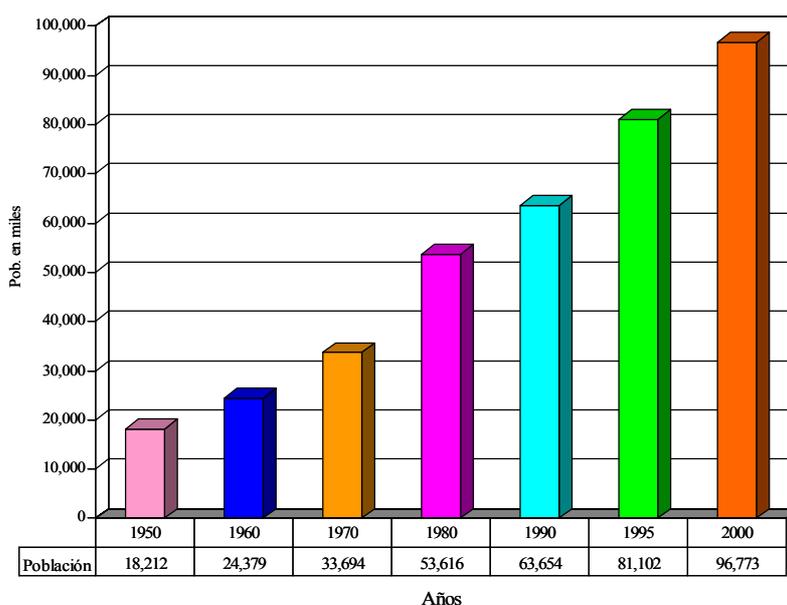
Se presentan a continuación los resultados obtenidos de indicadores de presión que son aquellos que ejercen una presión sobre los recursos naturales y modifican o alteran a los indicadores de estado.

Se realiza una descripción de los indicadores que se determinaron y evaluaron para el área de estudio, para ello se comenzará con una descripción de los indicadores de presión,

considerados para este estudio, que son los que están influyendo en las condiciones actuales de los indicadores de estado.

5.2.1. Indicador de crecimiento de la población

La zona ocupada por los poblados rurales abarca una extensión de 1,445 ha, en nueve poblaciones, que conforman los asentamientos de la delegación. Entre 1950 y 2000, el ritmo de crecimiento de la población se quintuplicó pasando de 18,212 habitantes en el año de 1950 a 96,773 habitantes en el año 2000. En la **Figura 5.4** se presenta información del crecimiento de la población de las delegaciones aledañas a Milpa Alta y con el Distrito Federal. Entre 1970 y 2000, el ritmo de crecimiento de la población en la delegación se quintuplicó pasando de 33,694 a 96,773 habitantes en el año 2000



Fuente: INEGI. Censo General de Población y Vivienda, 1950,1960, 1970, 1980, 1990, 1995 y 2000.

Figura 5.4. Crecimiento de la población de 1950 a 2000 en la delegación Milpa Alta.

La mayor parte de la población se concentra en nueve localidades, aproximadamente el 93.8% de la población, el resto se establece en 162 localidades que tienen entre 1 a 56 viviendas que representa el 6.2% de la población de Milpa Alta (INEGI, 2001).

5.2.2. Indicador de la distribución de la población urbana y rural.

En la delegación la población urbana se encuentra concentrada en ocho localidades, para el año de 2005 según los conteos de INEGI, y con respecto a la población rural se reportaron 162 localidades. Si bien, comparativamente estas localidades son muy pequeñas y su reciente creación muestran un proceso de crecimiento de los principales núcleos urbanos de Milpa Alta. En **Figura 5.5** se muestra la distribución de la población urbana y rural de la delegación y la cantidad de habitantes que se encuentran en las áreas urbanas y las clases definidas de cantidad de habitantes para las localidades rurales. Las UAB donde se está presentando esta distribución de la población es en el piedemonte acumulativo de los SMG-Tláloc y en el SMG-Cuautizín. En las laderas inferiores de montaña de flujos lávicos del SMG-Xochimilco, y en las laderas superiores, medias, inferiores de montaña de flujos de lávicos y en el piedemonte acumulativo del SMG-Teuhtli. Por otra parte en las planicies aluviales del SMG-PlanTláhuac básicamente se presenta una mayor dispersión de la población urbana.

5.2.3 Indicador de la tasa de crecimiento anual de la población

Considerando los datos de INEGI se elaboró el indicador de tasa de crecimiento de la población de Milpa Alta, que se presenta en la **Tabla 5.4**, donde se observa que de las más altas del D. F. Para el Distrito Federal la tasa de crecimiento anual es de 0.32, esto se puede atribuir a las condiciones de ruralidad que prevalecen en la delegación.

Tabla 5.4 Indicador de la tasa de crecimiento anual de la población.

Milpa Alta	Años				
	1960	1970	1980	1990	2000
TCA	3.0	3.3	4.8	1.7	4.3

5.2.4 Indicador de densidad de la población

En los últimos 50 años se registró un incremento de la densidad de la población de 64 hab/km² en 1950 a 340 hab/km² en el año 2000. En la **Tabla 5.5** se muestra la densidad de población anual de 1950 a 2000. Este incremento es particularmente importante en los últimos 30 años.

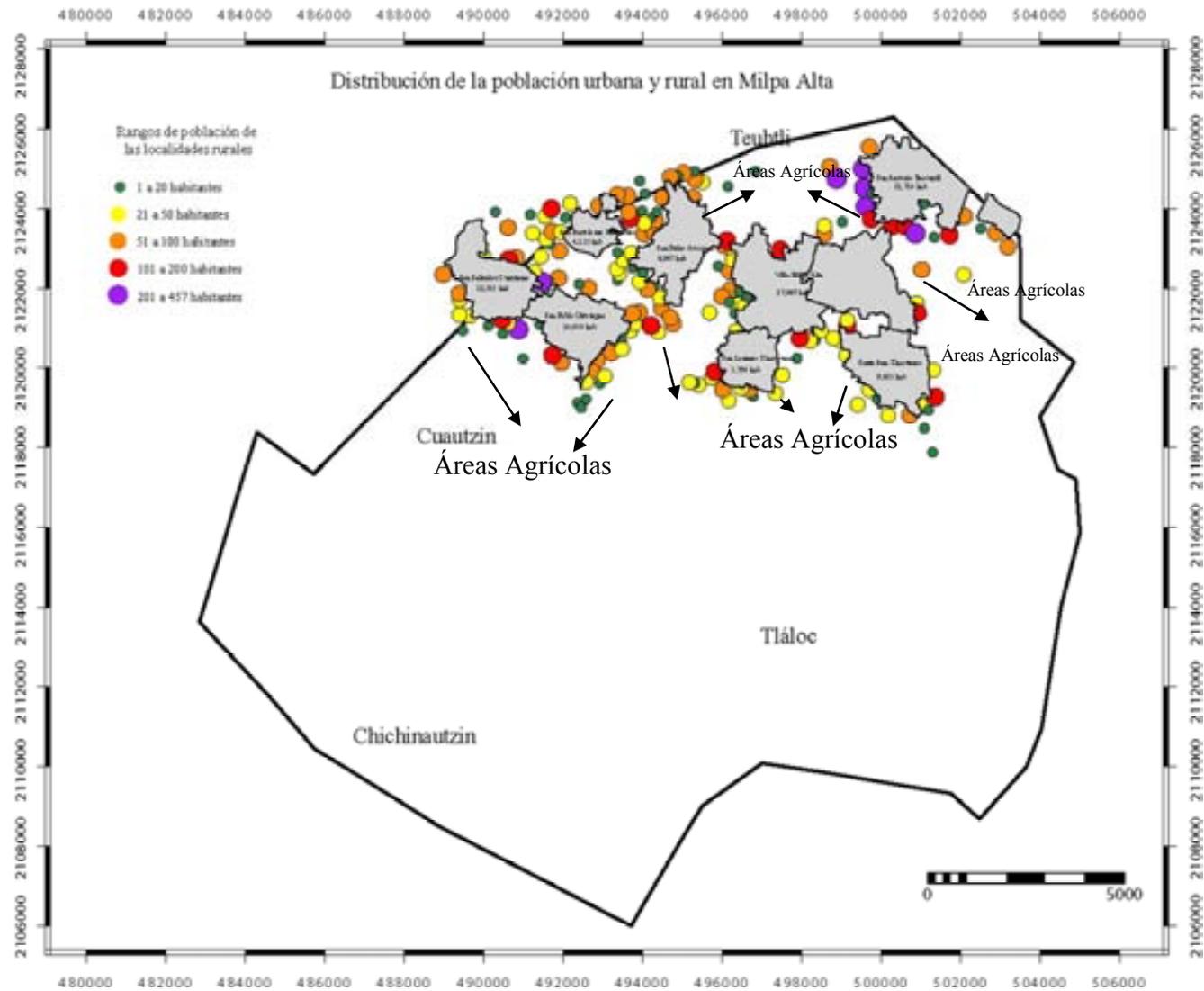


Figura 5.5. En este mapa se muestra la distribución de la población, los polígonos urbanos han tenido un incremento en cuanto a superficie y habitantes. Con respecto a las localidades rurales éstas se están estableciendo sobre los terrenos agrícolas de la delegación y se muestran con colores en los círculos.

Tabla 5.5. Indicador de densidad de la población 1950–2000

Milpa Alta	Años						
	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000
Densidad de población	64.0	85.6	118.4	188.4	223.6	284.9	340.0

5.2.5. Indicador de la población económicamente activa.

La población económicamente activa (PEA) en Milpa Alta, de acuerdo con el INEGI (2000), es de 36,108 y la población económicamente inactiva estaba constituida por 33,620 personas. En la **Tabla 5.6** se presenta la distribución de la población por localidades, donde se observa que la mayor concentración de PEA la tienen San Antonio Tecómitl y Villa Milpa Alta, que está muy relacionada con la cantidad de población total que registraron ambas localidades. De acuerdo con la población total, la menor PEA se localiza en el poblado de San Bartolomé Xicomulco y San Lorenzo Tlacoyucan, estos datos están relacionados con la PEA del sector primario, secundario y terciario.

Con respecto a la ocupación de la población económicamente activa, se distribuye en tres principales sectores: primario, secundario y terciario. La población ocupada en el sector primario es de 5,074 personas que se dedican a las actividades agrícolas y pecuarias, y que representan únicamente el 14.1%, lo que indica que pocos habitantes se dedican a estas actividades, al sector terciario se dedican 22,619 principalmente al comercio, que representa el 61.5% y al sector secundario se dedican 7,203 personas, que representa el 19.9% de la PEA total, lo que implica que la gente está dejando de trabajar en el sector manufacturero.

Durante las entrevistas la mayoría de los productores manifestaron su preocupación, debido a que la población ya no se dedica de tiempo completo a las actividades primarias, a este respecto coincidieron en que “hay poca gente que se dedica a las labores del campo o son profesionistas que solo lo hacen los fines de semana”. Otros productores mencionaron que “los jóvenes ya no quieren sembrar y empeñan sus terrenos para comprar taxis y dedicarse a choferes”. Lo anterior lo atribuyen principalmente a que “no hay apoyo al campo por parte de las instituciones gubernamentales”, o “a que los recursos económicos llegan muy tarde para realizar sus actividades agrícolas”.

Tabla 5.6 Población económicamente activa de las localidades de Milpa Alta.

Nombre de la localidad	PEA					
	Población económicamente activa	Población económicamente inactiva	Población ocupada	Población ocupada en el sector primario	Población ocupada en el sector secundario	Población ocupada en el sector terciario
Villa Milpa Alta	6,725	5,509	6,671	1,528	732	4,269
San Antonio Tecómitl	7,017	6,775	6,904	260	1,870	4,661
San Bartolo Xicomulco	1,231	1,224	1,214	53	351	802
San Francisco Tecoxpa	3,299	2,757	3,271	819	403	2,021
San Pablo Oztotepec	4,304	4,258	4,238	322	1,206	2,573
San Pedro Atocpan	3,197	3,012	3,169	235	544	2,352
San Salvador Cuauhtenco	3,609	3,595	3,502	232	929	2,258
Santa Ana Tlacotenco	3,342	3,332	3,287	591	512	2,102
San Lorenzo Tlacoyucan	1,369	1,136	1,358	668	91	575
Otras localidades	2,015	2,022	1,989	366	565	1,006
Total	36,108	33,620	35,603	5,074	7,203	22,619

Fuente: INEGI, 2000

5.2.6. Sistemas de producción.

Los principales sistemas de producción en Milpa Alta son: la agricultura de temporal con cultivos anuales como la avena forrajera y los cultivos semipermanentes como el nopal verdura que es el cultivo económicamente más importante para la delegación y en el Distrito Federal. La superficie sembrada y cosechada de nopal en Milpa Alta es superior comparativamente con la ocupada por otros tipos de cultivos. Incluso, el volumen de su producción están por encima de cualquier otro cultivo (INEGI, 2001).

Milpa Alta ocupa el primer lugar en el país como productora de nopal verdura, con una producción anual de 211,916 toneladas, que se cultivan en 4,057 hectáreas, es decir, el 41.3% de la superficie total agrícola (INEGI, 2001).

Los entrevistados comentaron que “el nopal verdura lo venden en la Central de Abastos, en el Centro de Acopio de Milpa Alta, en los mercados locales y mercados sobre-ruedas”. Otros productores mencionaron que “también se vende en los mercados de Monterrey, Toluca, Guadalajara y Querétaro y en algunas ocasiones es exportado a otros países”.

Asimismo mencionaron que la producción de nopal “ya no es tan rentable” y que la mejor época de producción fue hasta el año 2000”. El costo es muy barato para su venta, además de las helas fuertes que se presentan y ahora tienen que competir con el nopal que

producen los de Tlanepantla, Morelos”.

Otro producto importante desde el punto de vista económico para la delegación “es la producción de mole, que se da en el poblado de San Pedro Atocpan”, así lo manifestaron los productores durante la entrevista.

5.2.7. Indicador de pérdida de superficie sembrada y cosechada.

Considerando tres períodos, con respecto a la superficie sembrada, se tiene que para el cultivo de maíz grano se ha presentado un decremento, ya que para el año 1988 se tenía una superficie de 11,732 ha, para el año 1994 fue de 8,702 y ya para el año 2004 sólo se tenía una superficie sembrada de 2,957 ha. La avena forrajera también ha presentado una reducción en cuanto a la superficie sembrada, ya que en el año de 1988 existían 10,820 ha, en 1994 eran de 9,414 y ya para el año 2004 sólo se reportan 1,618 ha.

Otro cultivo que ha perdido superficie en la delegación es el frijol, ya que de 470 ha que se reportaban en 1988 bajo hasta 88.4 ha en el año de 2004. El cultivo de haba también ha perdido superficie ya que en 1988 se reportan 349 ha y ya para el año 2004 solo existían 134 ha. Los cultivos anteriores han permanecido dentro de las actividades agrícolas de la delegación, pero por ejemplo chícharo solo se reporta en 1988 con 437 ha y para el año 2004 264 ha, pero para el año de 2004 ni siquiera se reporta, lo mismo sucede para el trigo que ya no se siembra en la delegación (**Figura 5.6**).

Por lo que respecta a los cultivos perennes, el nopal ha presentado un incremento en su superficie sembrada, ya que pasó de 3,372 ha en el año 1988 a 4,326 ha para el 2004. Se siembra maíz, frijol, haba, chícharo, únicamente para el autoconsumo, porque ya no es redituable, o lo siembran por costumbre.

Con respecto a la superficie sembrada, en una entrevista realizada al Ing.Vela trabajador de la CORENA, menciono que esta reducción de la superficie sembrada de 1988 a 1994 se debe a que los campesinos recibían un Fondo de Mandato de COCODER, que consistía dar créditos a la palabra y a partir de que terminó el programa se observa una reducción. “Lo que sucedió es que los campesinos declaraban siniestro total de sus cultivos, aunque a veces no sembraban, pero la COCODER le reportaban la superficie que aparentemente sembraban”. Por lo tanto, cuando se terminó ese apoyote crédito a la palabra la superficie sembrada fue la que realmente reportaban”.

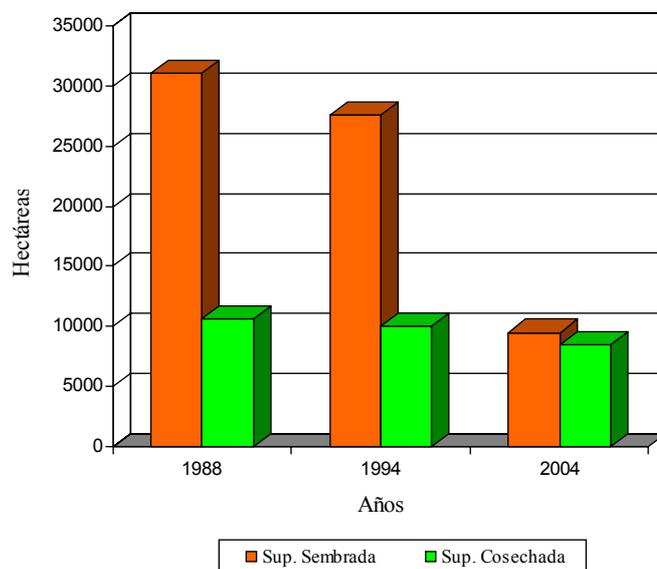


Figura 5.6. Indicador de la superficie sembrada y cosechada

5.2.8. Indicador del valor de la producción.

Este indicador muestra un incremento en el valor de la producción, ya que para el año de 1993 fue de \$98,154,500, donde a los cultivos cíclicos le corresponden \$ 19,199,500. Para este mismo año los cultivos perennes aportaron \$78,955,000 y le corresponde al cultivo nopal el que obtuvo la cifra más alta con respecto a los otros cultivos, ya que solo el cultivo de nopal tuvo un valor de la producción de \$ 77,289,300 pesos.

En el año 2004 el valor más alto de producción fue nuevamente para los cultivos perennes, ya que este se incrementó hasta los \$ 460,207,299 y sólo el cultivo de nopal representó un valor en la producción de \$ 438,525,689 pesos, lo que significa, que es una fuente importante de ingresos para la población de Milpa Alta como se observa en la gráfica de la **Figura 5.7** (INEGI, 1995 y SAGARPA, 2004).

Es importante mencionar, que los cultivos más importantes en la delegación son el nopal verdura y la avena forrajera, que son los que aportan una derrama económica a la población. Los otros cultivos se han venido abandonando, además de que los campesinos ya no se dedican en un 100% al campo, lo anterior se debe a que no hay apoyo por parte del gobierno para seguir incentivando la actividad agrícola en la delegación,

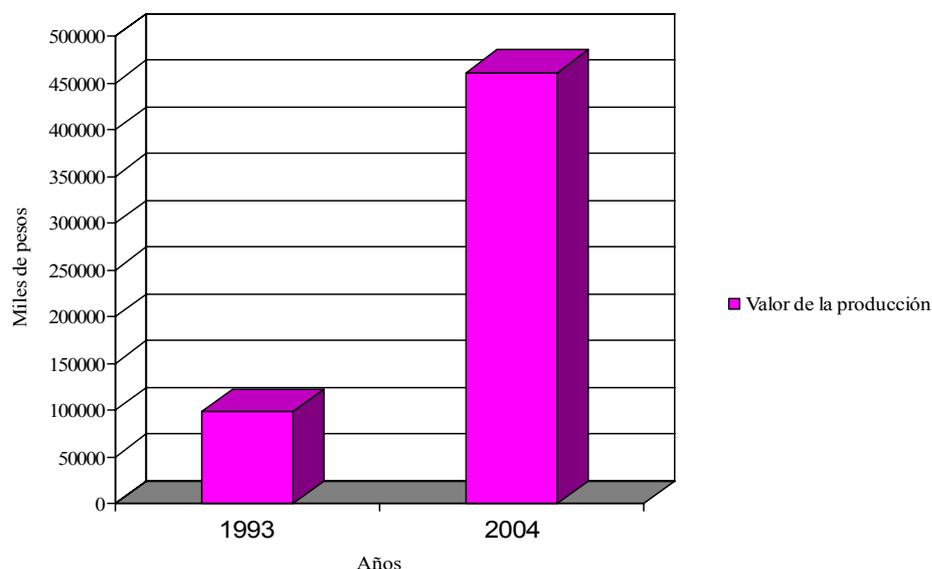


Figura 5.7. Gráfica que muestra el indicador del valor de la producción

A pesar de que no reciben apoyo por parte del gobierno, los campesinos se resisten a abandonar las actividades agrícolas. Con respecto al empleo de tecnología para obtener buenos rendimientos y calidad en los cultivos, los campesinos mencionaron que “usan fertilizantes pero de una manera desordenada” además no contamos con maquinaria agrícola, no empleamos semilla certificada, en nuestras parcelas no se llevan programas para el control de plagas, ni enfermedades, por que tampoco recibimos asistencia técnica”, lo anterior se aplica tanto a los cultivos anuales y al nopal verdura. Además indicaron que no reciben créditos debido que no cuentan con garantías, no están organizados en sociedades de producción y además porque “no están registrados en la SAGARPA”.

5.2.9. Indicador de producción pecuaria

Con respecto a la actividad pecuaria, ésta ha mantenido una tendencia a la baja en los últimos años, como se observa en la **Figura 5.8**, debido a la falta de incentivos, manifestándose este hecho en el decremento de las especies ganaderas. Además, la ganadería en la delegación se ha caracterizado por ser fundamentalmente extensiva (bovino y ovinos), con la presencia de animales de traspatio como aves de corral y cerdos, que son básicamente para el autoconsumo (INEGI, 2001).

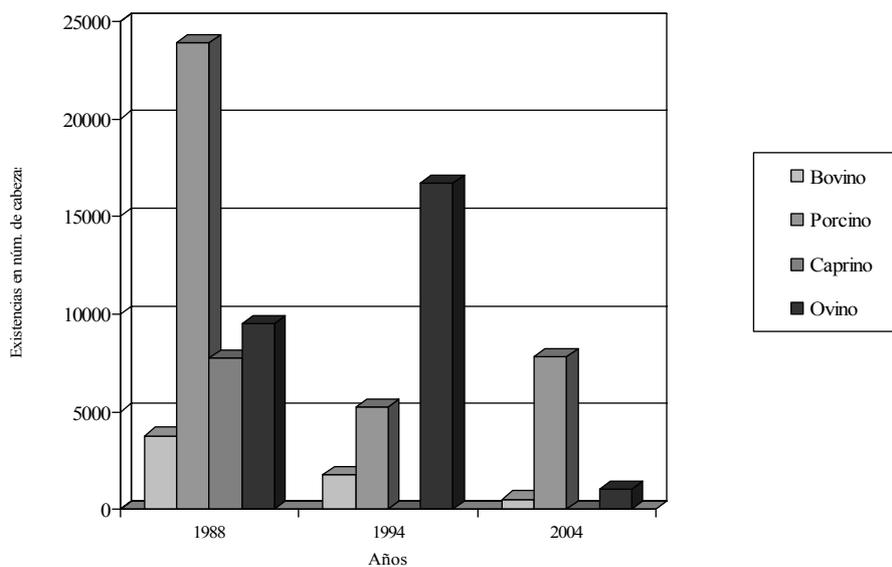


Figura 5.8. Indicador de pérdida de la producción pecuaria

El Ing. Vela responsable del Área Crédito, mencionó que este aumento de cabezas de porcinos y ovinos en el año de 1988 y 1994, se debió a un Programa de Aparcerías que estableció la COCODER, que consistió en dar paquetes de porcinos, pero que los campesinos los declaraban como muertos para no regresar el dinero, que se les prestaba. Con respecto a los ovinos se apoyó con créditos, además de la construcción de obras de infraestructura para apoyar la producción de ovinos. Para el 2004, ya no existen apoyos por parte de la CORENA, lo cual se ve reflejado en la producción.

Por lo anterior, se tiene que para el año de 1988 se contaba con 3,794 cabezas de ganado de bovino en el año de 1994 existían solo 1,765 cabezas y ya para el año 2004 sólo se reporta la existencia de 531 cabezas. Los porcinos también presentan una disminución, ya que para el año de 1988 había 23,885, para el año 1994 solo 5,265 y aunque tuvo un incremento en el año 2004 sólo se reportan 7,811 cabezas.

Los ovinos presentaron una mayor producción, en el año de 1988 se reportó la existencia de 8,530 cabezas, en 1994 hubo un incremento de 16,700 cabezas, pero al igual que para los bovinos y porcinos, también bajo su número de cabezas quedando únicamente ya para el año 2004 solamente 1,047 cabezas (INEGI, 1995 y SAGARPA, 2004).

Es lamentable que la producción agropecuaria por falta de apoyos e incentivos gubernamentales esté perdiendo productividad y rendimientos, lo que hace que los campesinos

estén perdiendo interés por desarrollar estas actividades dentro de sus comunidades.

5.2.10. Cambio de uso de suelo

Este es uno de los principales indicadores de presión, ya que los cambios de uso de suelo se están dando por la presión que el crecimiento de la población ejerce sobre los recursos naturales. Aunque es importante mencionar que el crecimiento de la población ha sido de manera natural, sin embargo, todos los pueblos han tenido un incremento en su superficie urbana, ocupando terrenos agrícolas principalmente, aquí es importante mencionar que después del análisis multitemporal que se realizó se pensaría que el cambio de uso de suelo y la deforestación se iban a presentar de una manera drástica pero no fue así.

De los años analizados de 1970 a 2000 el cambio más drástico se presentó en el uso de suelo urbano, ya que los polígonos de los poblados tuvieron un incremento en su superficie, estableciéndose en las parcelas agrícolas aledañas al polígono urbano definido en 1970 (**Figura 5.9**)

Además, en el poblado de Villa Milpa Alta hubo un crecimiento urbano, sobre todo en las parcelas agrícolas donde se han establecido casas de manera aislada en los terrenos dedicados al cultivo de nopal, sobre todo en lo que corresponde a las unidades de piedemonte.

Otro cambio en el uso de suelo fue en las áreas que en 1970 ocupaban los pastizales, los cuales en el año 2000 pasaron a ser áreas agrícolas, como se observa en la **Figura 5.10**, sobre todo en las áreas de bosque, ya que los campesinos aprovechan algunas áreas donde no hay vegetación o solo existen algunos árboles para sembrar avena forrajera debido a que este cultivo se siembra al voleo. En la **Figura 5.11** se presenta un mapa general del área en donde se muestran con colores los principales cambios de uso de suelo. Con respecto a la deforestación en general para el área de estudio, no se presentan pérdidas de bosque en cuanto a superficie, ya que con el análisis de la cobertura vegetal, se puede decir que en los años considerados, no hay deforestación (**Tabla 5.7**).

Sin embargo las personas entrevistadas comentaron que antes de 1970 se dio un fenómeno de incendios forestales con el fin de deforestar para abrir tierra a los cultivos de temporal y sobre todo en las planicies y en los piedemontes donde hay una mayor acumulación de suelo.

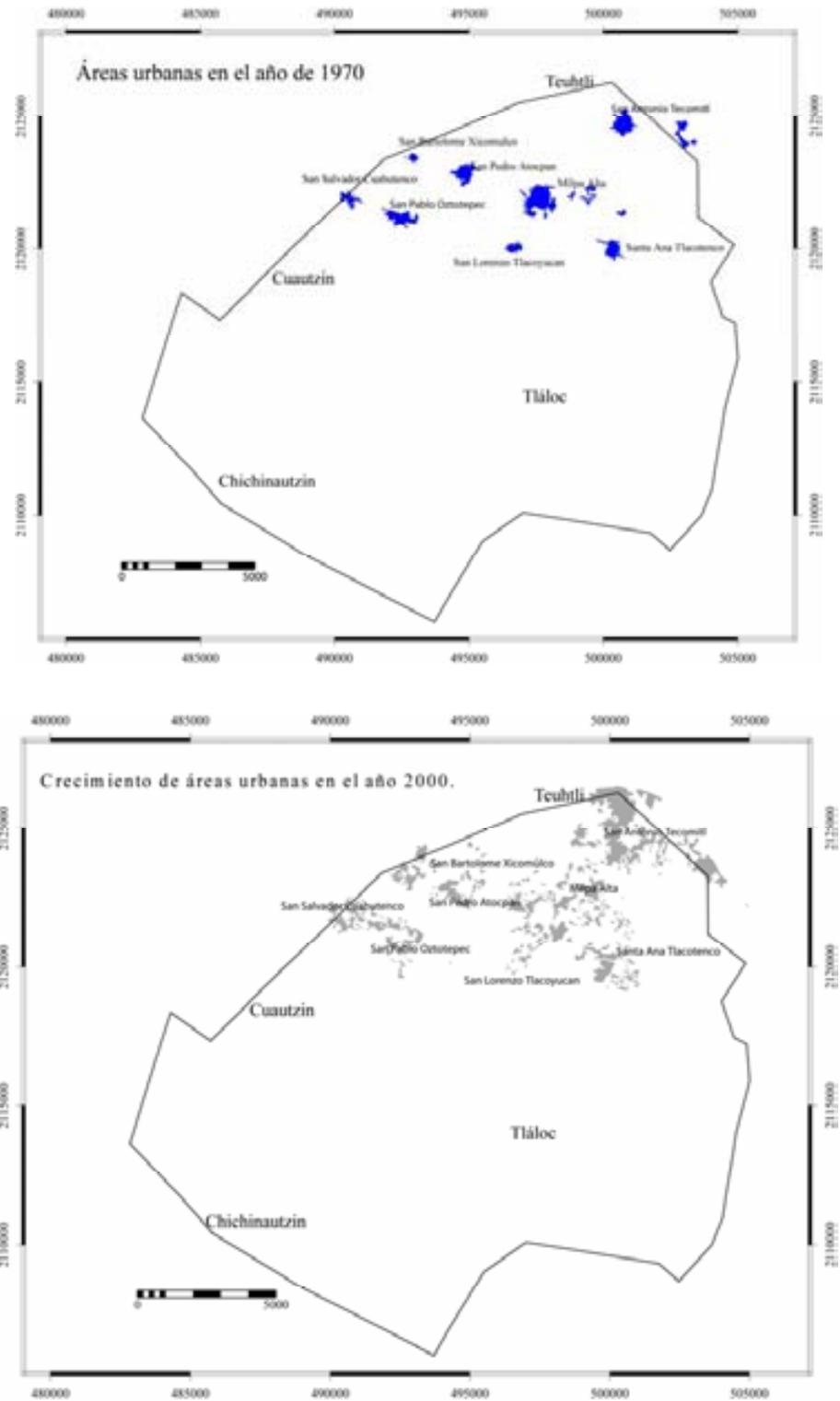


Figura 5.9 Cambios de cobertura vegetal y uso de suelo de 1970 a 2000, incremento de áreas urbanas de los polígonos de los poblados de la delegación Milpa Alta.

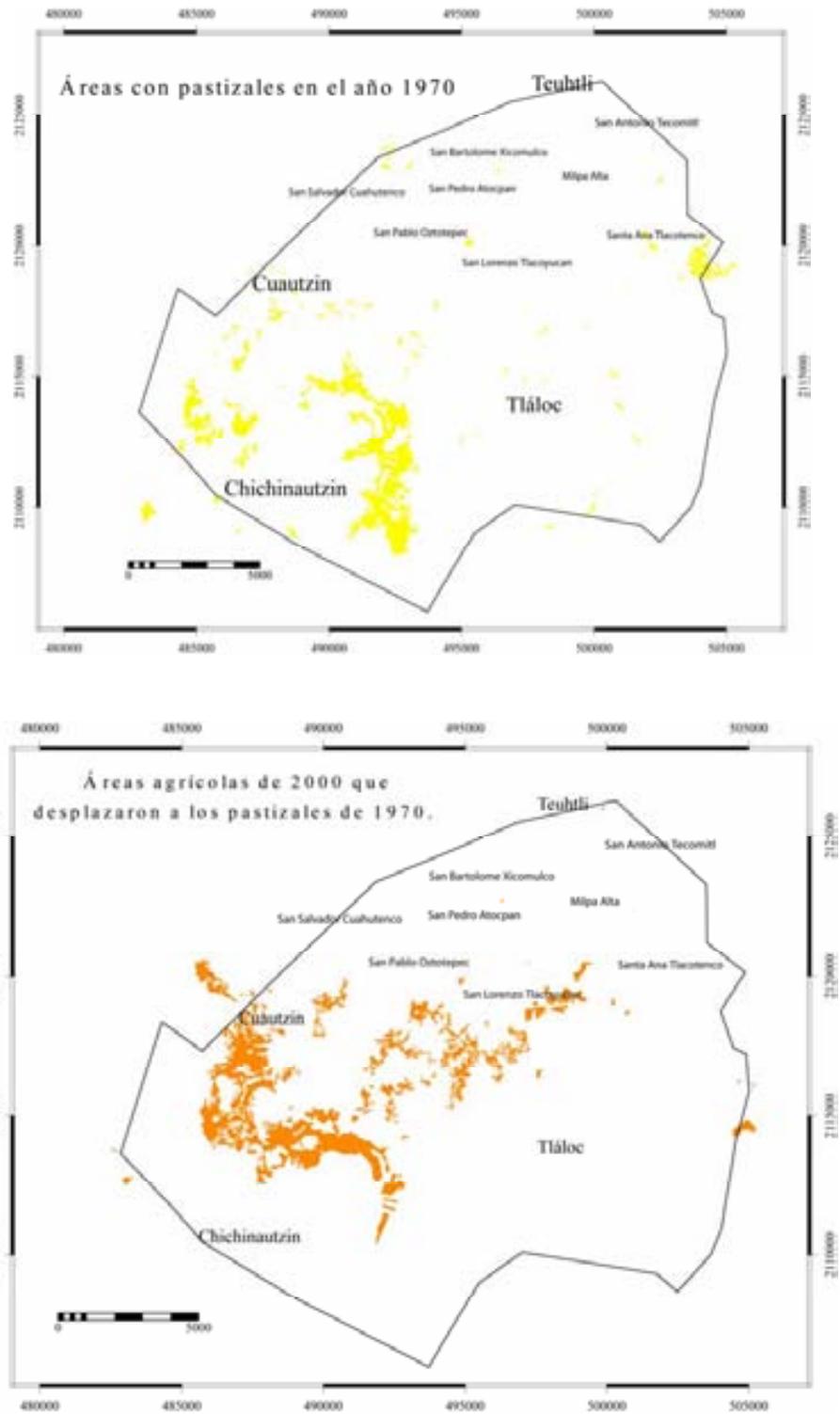
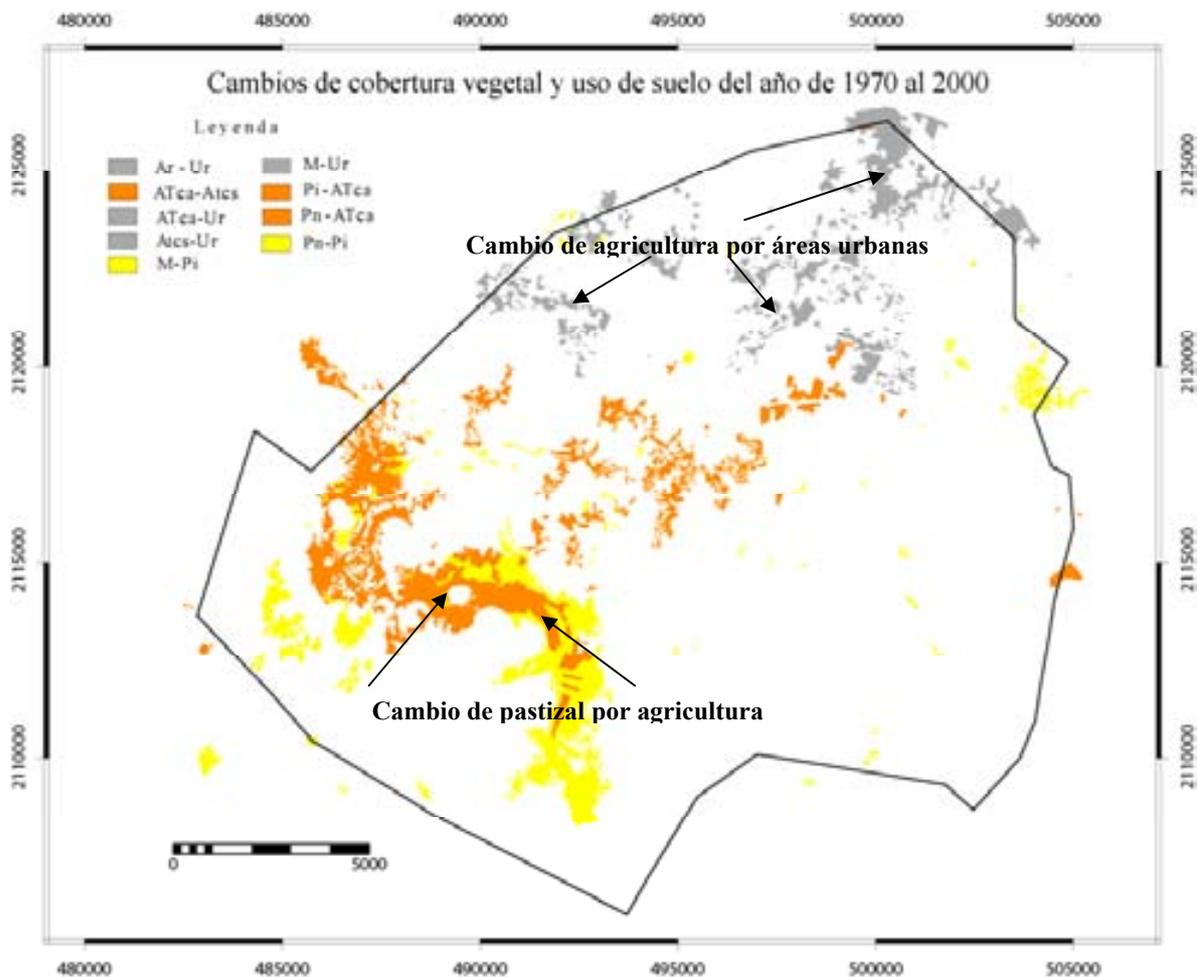


Figura 5.10. Cambios de cobertura vegetal y uso de suelo de 1970 a 2000, áreas de pastizales en 1970, para el año 2000 fueron áreas agrícolas.



Nota: ATca (Agricultura de temporal de cultivos anuales), Atcs (Agricultura de temporal de cultivos semipermanentes), Ar (Agricultura de riego), Pn (Pastizal natural), Pi (Pastizal inducido), M (Matorral), Ur (Urbano)

Figura 5.11. Cambios de cobertura vegetal y uso de suelo de 1970 a 2000 de la delegación Milpa Alta.

5.2.11. Indicador de incendios

A pesar de que el fuego es un elemento en el proceso sucesional del bosque, éste se ha vuelto el principal destructor, ya que afecta la vegetación, la fauna, el suelo, el aire, el agua, entre otros elementos de la vida. Los incendios en el área de estudio aunque son de baja intensidad afectan al bosque, pues hay una constante alteración del hábitat y de la regeneración natural. Los incendios son superficiales y perturban la regeneración, sotobosque pastos y quemaduras en la corteza de los árboles; en virtud de que son constantes, a largo plazo también afectan sus raíces provocando su muerte. La ganadería es la principal promotora y causante de incendios

en el área de Milpa Alta, pues para la manutención de los borregos se necesita quemar el pasto seco para obtener el brote tierno.

Tabla 5.7 Principales cambios de cobertura vegetal y uso del suelo de 1970 a 2000.

Cobertura vegetal y uso de suelo en 1970	Cobertura vegetal y uso de suelo en 2000	Superficie (ha)	Principales cambios en %	Cambios Acumulados en %
Pn	ATca	1,339.16	29.08	-----
Pn	Pi	849.56	18.45	47.53
ATca	Ur	446.20	9.69	57.22
Atcs	Ur	392.04	8.51	65.74
M	Pi	359.12	7.80	73.54
Pi	ATca	248.24	5.39	78.93
M	Ur	140.64	3.05	81.98
AR	Ur	94.04	2.04	84.02
ATca	Atcs	90.16	1.96	85.98
Pn	BP	77.08	1.67	87.66
M	ATca	76.72	1.67	89.32
ATca	M	51.44	1.12	90.44

Nota: Pn (Pastizal natural); Pi (Pastizal inducido); ATca (Agricultura de temporal de cultivos anuales); Atcs (Agricultura de temporal de cultivos semipermanentes); M (Matorral); Ur (Urbano); BP (Bosque de pino)

Los incendios son provocados año con año en la delegación y son un indicador de degradación en las áreas forestales. Durante el período de 1994 a 2003 la superficie afectada fue de 3,215 ha y el número de incendios en total fue de 2,249. El tipo de vegetación más afectada por este fenómeno fueron los pastizales con 2,192 ha, seguido de las áreas con reforestación con 657 ha, los arbustos con 240 ha. También se ha reportado la quema de hojarasca en 38 ha, renuevo con 68.6 ha y árbol adulto con sólo 17 ha (**Figura 5.12**). El periodo de 1997 a 1998 fue en donde se presentó la mayor superficie quemada con 824.6 ha y el año que menos incendios sufrió fue el período de 1999 a 2000 con solo una superficie quemada de 18.8 ha (**Figura 5.13**).

El 90% de los incendios que se han presentado en el área de estudio han sido superficiales afectando la regeneración, sotobosques, pastos y quemaduras en la corteza de los árboles; en virtud de que son constantes, a largo plazo también afectan sus raíces provocando su derribo. Solo un 10% ha sido de afectación de copa, estos incendios regularmente inician como incendios superficiales, sin embargo, al encontrar material combustible se incrementa la intensidad y quema corteza, fuste y copa de los árboles. Siendo las zonas de mayor riesgo las UAB de laderas medias e inferiores de montaña de flujos lávicos y en el piedemonte acumulativo del SMG-Tlálóc.

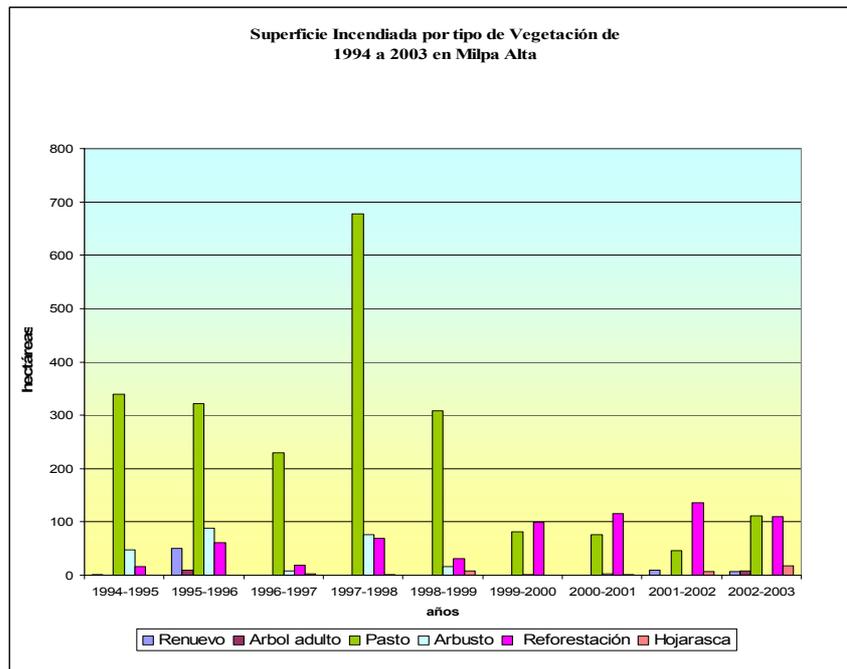


Figura 5.12. Se observan los diferentes tipos de vegetación que se quemaron durante el período de 1994 a 2003.

Es importante mencionar que otros factores que influyen en los incendios son las condiciones climáticas. Diez de Bonilla (2007), determinó un índice de peligrosidad, considerando la temperatura máxima y la precipitación de febrero a mayo, meses donde ocurren más del 85% de los incendios. Se establecieron tres niveles de peligro, bajo (23°C y 13.3 mm), medio (20.5°C y 14.5 mm) y alto (16°C y 10.9 mm); el nivel bajo es de menor superficie y se ubica al noroeste del volcán Chichinautzin, el nivel medio se presenta en áreas agrícolas y urbanas, y se extiende hacia las laderas superiores internas y externas de conos cineríticos de tefra y en las laderas superiores de montaña de flujos lávicos de los SMG-Tláloc y del SMG-Cuautzin. Otra área que presenta un alto peligro de incendios son las UAB de laderas superiores de montaña e inferiores de lomeríos del SMG-La Comalera.

Con respecto a este indicador de incendios forestales la mayoría de los entrevistados comentaron que hace 30 años había más incendios que hoy día, pero estos se han reducido debido a los programas para el control y combate de incendios que ha establecido el Gobierno desde 1990.

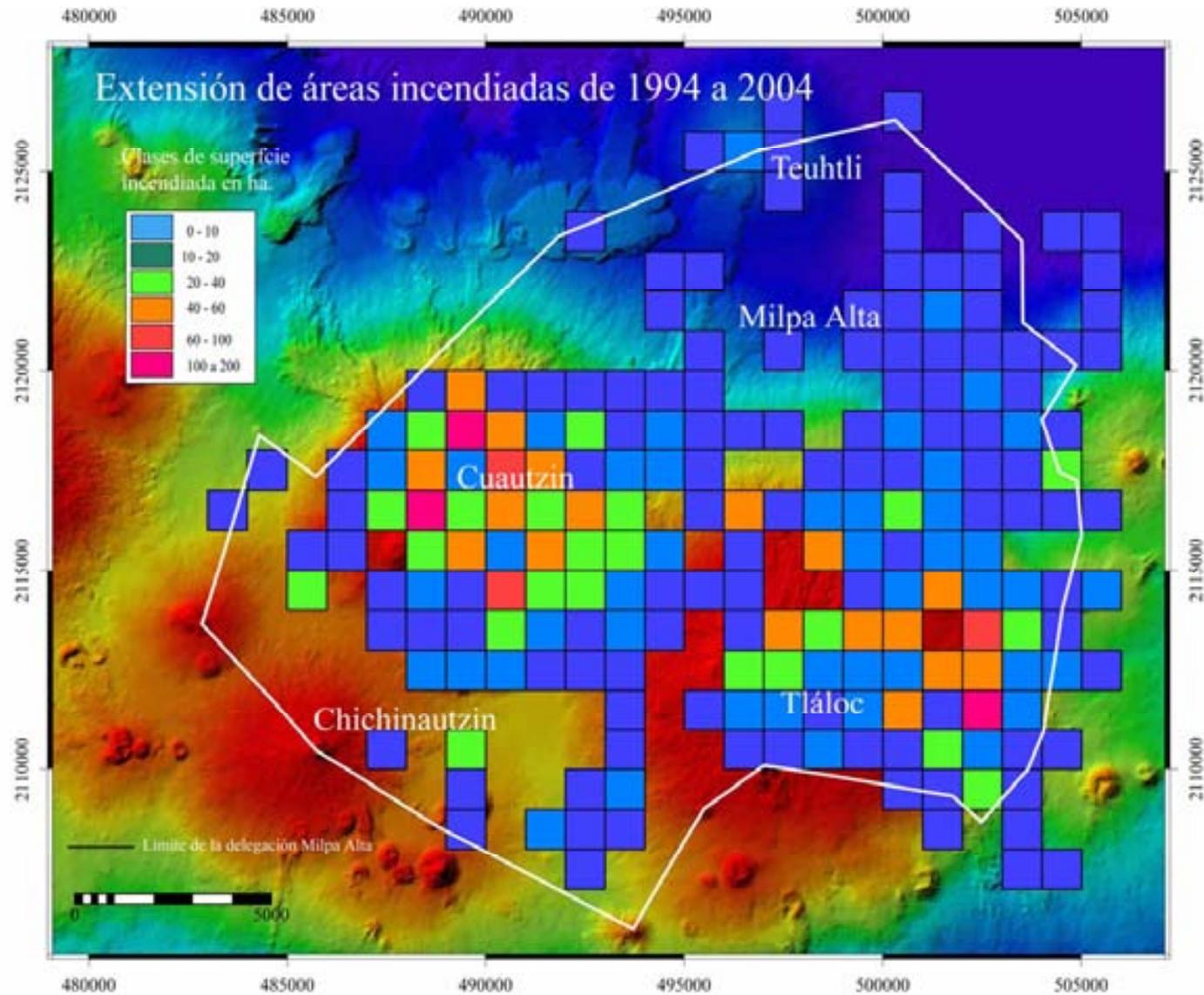


Figura 5.13. Extensión de áreas incendiadas de un periodo que abarca los años de 1994 a 2003.

Sobre el problema de los incendios el Sr. Armando Jiménez Jiménez mencionó que “en el año de 1970 se presentaban una mayor cantidad de incendios debido a que los campesinos abrían tierras para el establecimiento de cultivos”.

5.3. Indicadores ambientales de estado

Se presenta una caracterización y evaluación de los indicadores de estado que permitieron contar con información sobre cómo se encuentran los recursos naturales.

5.3.1. Indicadores ambientales biofísicos de estado

Indicadores de relieve. Con las unidades morfogénicas, se obtuvo información sobre la pendiente y alturas relativas. El área de estudio presenta un relieve montañoso con una altura de 3,960 m que corresponde al volcán Tláloc y un área plana que pertenece a la planicie aluvial, con una altitud de 2,240 m siendo el área más baja del área de estudio.

5.3.1.1. Indicador de uso de suelo y cobertura vegetal

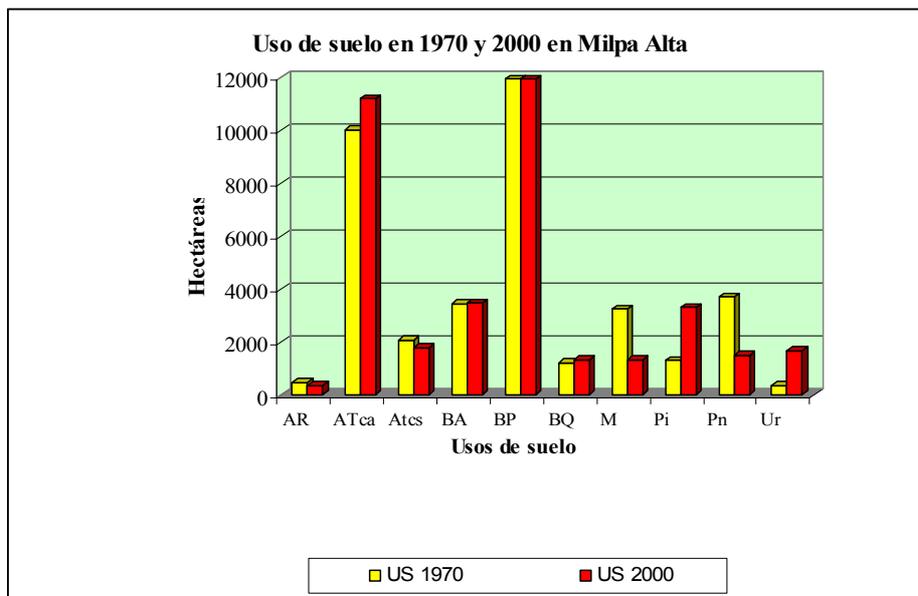
Se presentaron los siguientes usos del suelo durante los años de 1970 y 2000: Agricultura de riego, agricultura de temporal, bosque, matorral, pastizal, áreas sin vegetación aparente y área urbana. En la **Figura 5.14** se observa que el uso de suelo urbano tuvo el mayor incremento en su superficie, al igual que la agricultura, presentó un incremento, mientras que los pastizales perdieron extensión. Los bosques y los matorrales se mantuvieron igual en superficie. Se obtuvieron los mapas de uso de suelo y cobertura vegetal para 1970 y 2000, como se muestran en las **Figuras 5.15 y 5.16**.

Agricultura de Riego. La agricultura de riego tuvo un decremento en los treinta años analizados, ya que pasó de 467 ha en 1970 a 362 ha en el 2000, debido al crecimiento urbano sobre las áreas de cultivo, esto se observa en el poblado de San Antonio Tecómitl, el cual ha sufrido un crecimiento muy acelerado de su población, lo que ha dado como consecuencia la pérdida de las actividades agrícolas. Además de su cercanía con las delegaciones Tláhuac y Xochimilco, lo que ha favorecido el incremento urbano y han influido en el crecimiento hacia Milpa Alta, principalmente en las UAB de Piedemonte acumulativo del SMG-Teuhtli.

Agricultura de temporal. La agricultura de cultivos anuales como la avena y el maíz, tuvieron un incremento de 9,083 ha en 1970 a 10,088 ha en el año 2000, este incremento en la

superficie se debe a que los campesinos han abierto tierras al cultivo de avena que en 1970 eran de pastizales. La agricultura de temporal de cultivos anuales (Atca) y semipermanentes (Atcs) corresponde a áreas donde se cultiva maíz y donde se establecieron parcelas de nopal verdura en 1970, estas áreas ocupaban en ese año 660 ha pero para el año 2000 se incrementaron a 797 ha.

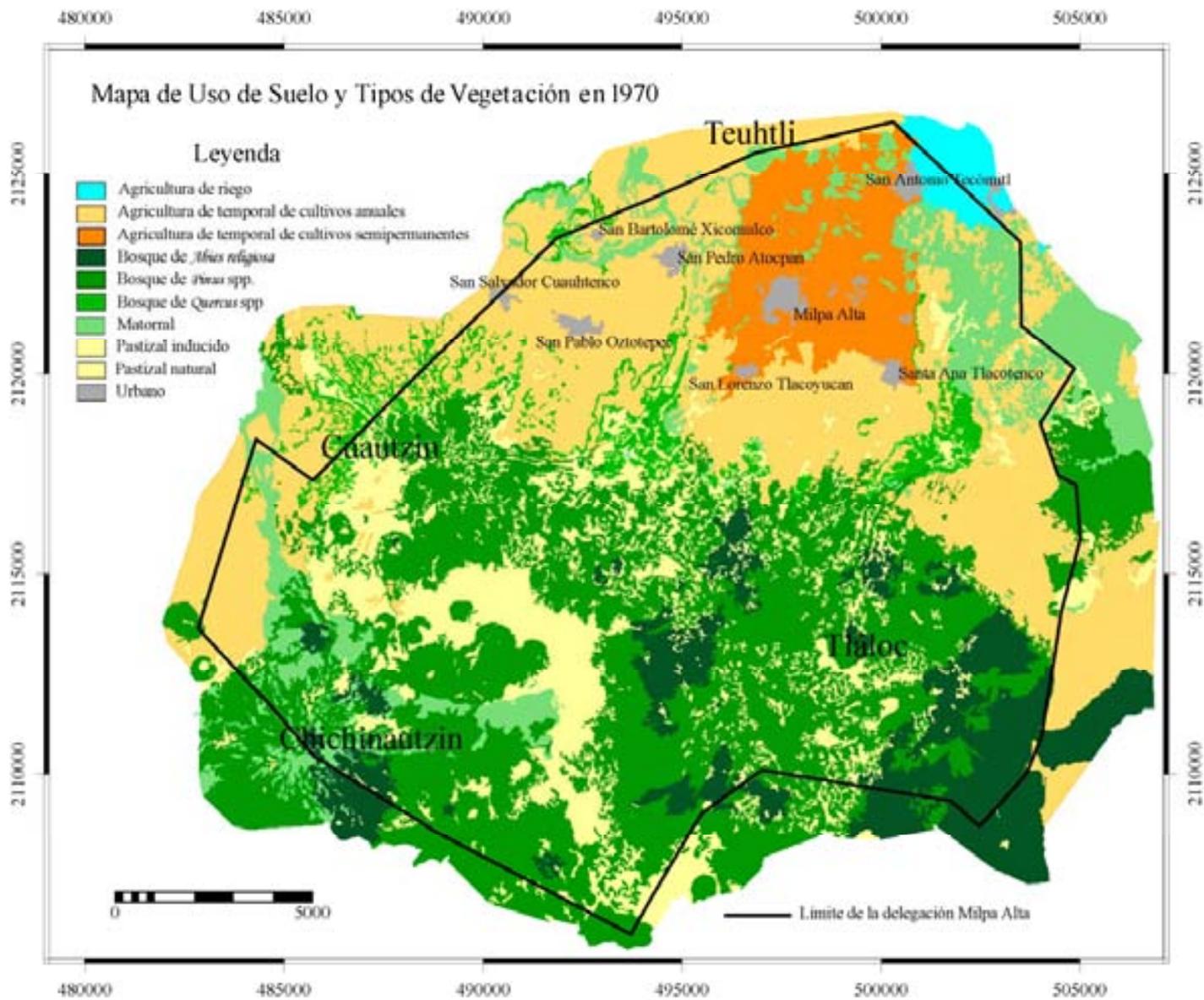
La agricultura de cultivos semipermanentes (Atcs) de nopal verdura, en 1970, ocupaba una superficie de 2,082 ha, pero se incrementaron sobre áreas de matorral y fue desplazando a los terrenos donde se sembraba maíz. El nopal verdura tiene un rendimiento de 60 ton/ha y un valor en la producción de \$ 437,354,689 (SAGARPA, 2004), lo que representa una derrama económica para la población bastante redituable, ya que el maíz es solo un cultivo de autoconsumo. Existen áreas con bosques de pino, donde se siembra avena forrajera en los claros del bosque, sobre todo en el área de la montaña.



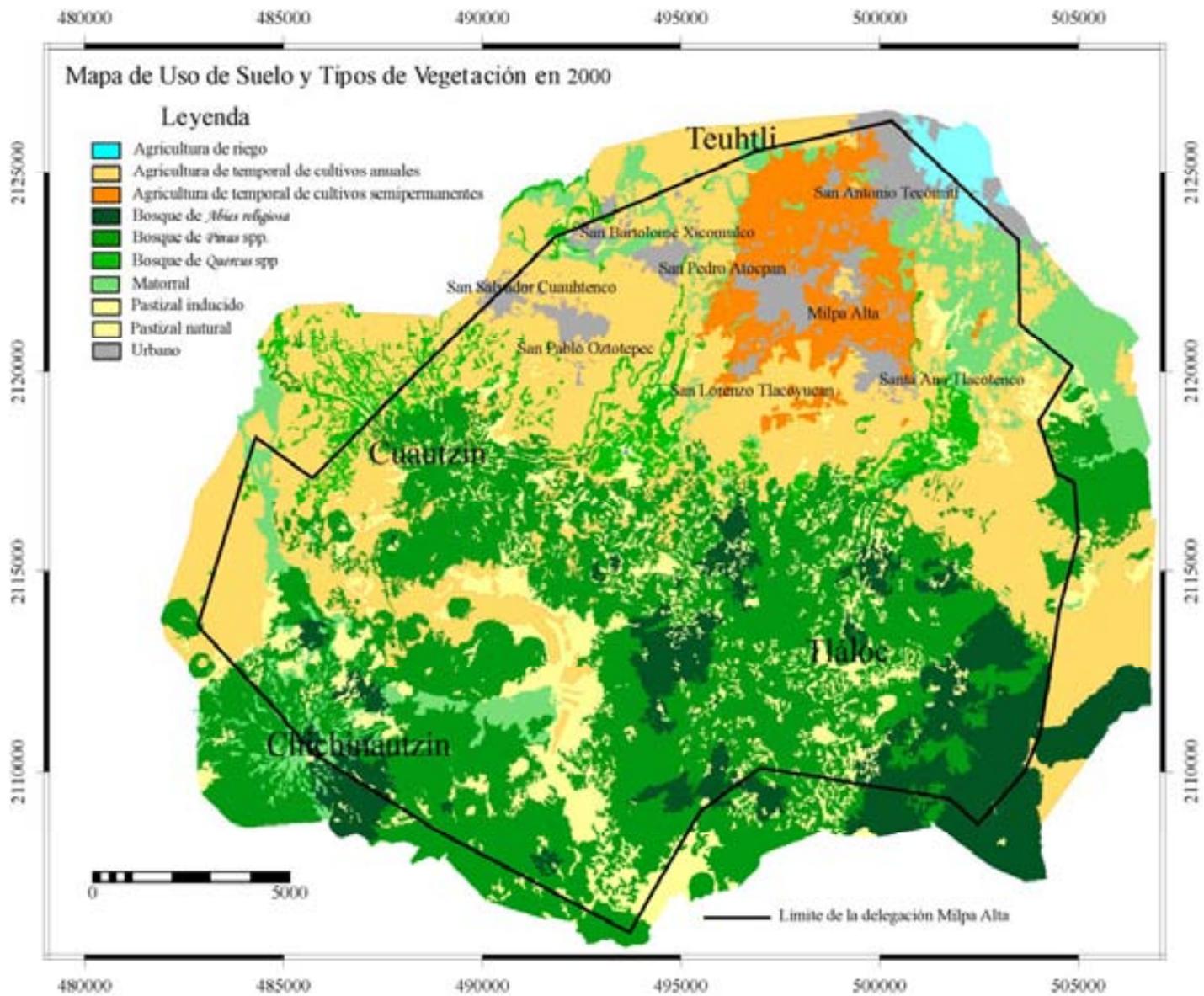
Nota: AR (Agricultura de Riego); ATca (Agricultura de temporal cultivos anuales), Atcs (Agricultura de temporal cultivos semipermanentes), BA (Bosque de *Abies*), BP (Bosque de *Pinus*), BQ (Bosque de *Quercus*), M (Matorral), Pi (Pastizal inducido), Pn (Pastizal natural) y Ur (Urbano).

Figura 5.14. Usos del suelo de 1970 y 2000 en Milpa Alta.

Para el año de 2000 se definieron dentro de este uso de suelo el que corresponde a la agricultura de temporal con cultivos semipermanentes con matorral xerófito (AtcsM) y con uso de suelo urbano (AtcsUr).



Figuras 5.15. Uso de suelo y tipos de vegetación para el año 1970.



Figuras 5.16. Uso de suelo y tipos de vegetación para el año 2000.

El AtcsM, corresponde a áreas que se han abierto al cultivo de nopal en los ejidos de San Francisco Tecoxpa y San Antonio Tecómitl y representa 33 ha, son terrenos pedregosos, donde los campesinos aprovechan las áreas donde se ha formado suelo, conocidos localmente como terrazas en áreas pedregosas de las UAB laderas inferiores de montaña de flujos lávicos del SMG-Tlálloc, ubicadas al norte del área de estudio.

La clase AtcsUr se definió para el año 2000, ya que para el año 1970 no existía y corresponde a áreas donde hay cultivo de nopal, con casas que se encuentran aisladas del polígono de los poblados y que pertenecen a los campesinos que se dedican a la producción de nopal verdura. Se encuentra principalmente en las UAB de las laderas inferiores del SMG-Tlálloc, en las áreas de los poblados de Villa Milpa y Santa Ana Tlacotenco.

Uso de suelo forestal. En esta clase se incluye a los bosques de coníferas que están representados por las asociaciones de bosque de *Abies religiosa*, *Abies religiosa-Pinus* spp., *Pinus* spp. y *Pinus* spp.-*Abies religiosa*; en 1970 el uso de suelo forestal en total ocupaba una superficie de 3,462 ha y, en el año 2000, de 3,470 ha, por lo que se observa a partir de estas cifras que durante este periodo la superficie no ha sufrido una reducción significativa.

Por lo que respecta al bosque de *Abies religiosa* en 1970 ocupaba una superficie de 1,563 ha y en 2000 de 1,561 ha, lo que significa que no ha sufrido una reducción a pesar de la presión que los campesinos ejercen sobre ellos y por la tala clandestina que sobre estos bosques existe. Los bosques de *Abies* sp -*Pinus* spp., ocupaban en 1970 una superficie de 1,899 ha y, en el 2000, de 1,909 ha, en realidad no presenta cambios marcados, estas áreas se encuentran dentro de la zona montañosa de Milpa Alta.

Urbano. El uso de suelo urbano tuvo un incremento mayor en período analizado, aunque se puede considerar que no fue muy drástico, si se compara con el crecimiento urbano de otras delegaciones del Distrito Federal, ya que pasó de 356 ha, en 1970, a 1,359 ha, en el año 2000. En la **Figura 5.17** se observa el incremento de los polígonos de los poblados que se han establecido en las áreas agrícolas. Los pueblos que más han sufrido cambios son San Antonio Tecómitl Villa Milpa Alta y San Pedro Actopan ubicados en el piedemonte acumulativo del SMG-Teuhtli, SMG-Tlálloc y SMG-Cuautzin que tienen relación con el incremento de la población. Para el año 2000 se estableció la categoría urbano-agrícola con cultivo de nopal verdura que incluye parcelas, donde se han construido casas, estas áreas ocupan una superficie de 1,359 ha.

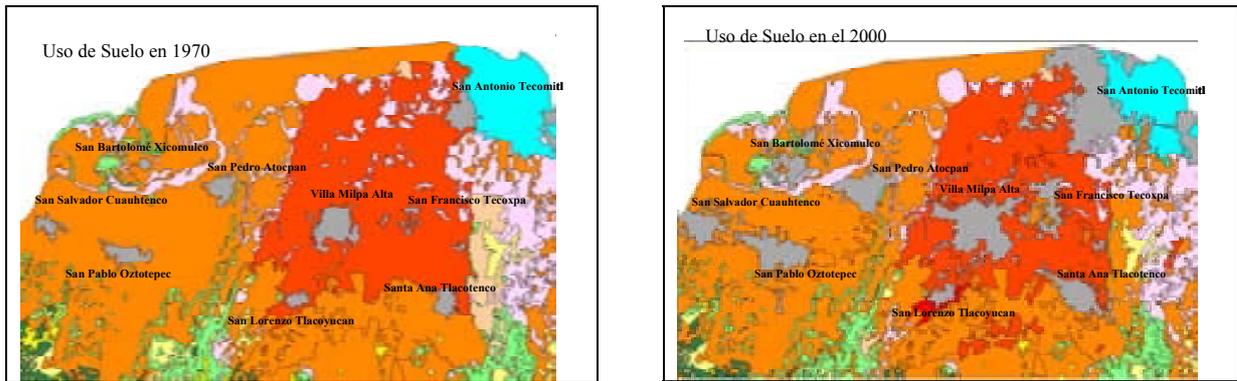


Figura 5.17. Se muestran los polígonos de los poblados de 1970 y su incremento en el año 2000, las áreas en color gris indican el uso de suelo urbano.

5.3.1.2. Cobertura vegetal

En cuanto a la cobertura vegetal en el área, existen bosques de coníferas que están integrados por un bosque de *Abies*, bosque de *Pinus* spp., bosque mixto de *Pinus-Abies-Alnus*, matorral y pastizal.

El bosque de *Abies religiosa* presentó en el período analizado una cobertura alta y se encuentra en las unidades de laderas superiores, medias e inferiores, ya que su distribución en el área de estudio está dada por la orientación de las laderas hacia el noroeste y en las áreas de barrancos dentro de las unidades mencionadas anteriormente. Estos bosques se desarrollan, en lugares con pendientes de moderadas a fuertes y en suelos profundos, bien drenados, con condiciones de alta humedad y concentración de materia orgánica.

Está constituido por varios estratos, es posible encontrarlos entre los 2,980 y los 3,460 msnm. En general, la cobertura vegetal es alta donde predominan las especies *Abies religiosa* en asociación con arbustos de *Senecio angulifolius*, y *Senecio barba-johannis*. Por la cercanía de este bosque a las áreas agrícolas y de pastizales se presentan árboles que han estado sujetos a incendios forestales y ocoteo. El bosque de *Abies religiosa* se presenta principalmente en las UAB de Laderas de montaña superiores, medias e inferiores de flujos lávicos de los SMG-Chichinautzin, SMG Tláloc, SMG-Cuautzin y en SMG-Acopiaxco.

Bosque de *Pinus* spp. En general el bosque de pino presenta una cobertura media en las unidades de laderas de montaña medias e inferiores de flujos lávicos. Este bosque está representado por *Pinus hartwegii*, *Pinus montezumae* y *Alnus jorullensis*. Se encuentra

asociado con pastizales donde predominan las especies *Muhlenbergia macroura* y *Stipa* spp. Ocupan la mayor superficie en el área de Milpa Alta, ya que en 1970 cubrían una superficie de 8,461.64 ha y en el año 2000 de 8,633 ha.

Bosque de *Pinus hartwegii*. Son bosques que se encuentran entre los 2,980 y los 3,690 msnm. Esta especie alcanza 20 m de altura, donde generalmente forman bosques abiertos con una cobertura de zacatón en el estrato bajo. Puede presentarse con un sotobosque arbustivo que le confiere diferentes niveles de estratificación dependiendo de su composición florística. Las especies características de este bosque son: *Muhlenbergia quadridentata* y *Festuca tolucensis*.

Bosque de *Pinus montezumae*. Estos bosques miden entre 20 y 30 m de altura, están presentes entre los 2,900 y los 3,320 msnm. Forman bosques más ó menos densos y en ocasiones abiertos. Presentan una estratificación variada, debido a la presencia de un sotobosque herbáceo y ocasionalmente arbustivo. Las especies características son: *Festuca tolucensis* y *Muhlenbergia macroura*.

Bosque de *Pinus* spp. en asociación con *Abies religiosa* ocupaban en 1970 una superficie de 3,289 ha y de 3,289 ha, en el año 2000. Como se puede observar no existen cambios el uso de suelo forestal, ya que la superficie se ha mantenido constante.

Bosque mixto de *Pinus-Abies-Alnus*. El bosque mixto es una comunidad en donde conviven especies de pinos y árboles de hoja ancha, se encuentra entre los 3,280 y los 3,560 msnm. Puede presentarse un estrato herbáceo de gramíneas donde la cobertura vegetal es alta y predominan las especies de y en el estrato arbustivo *Senecio angustifolia*, *Senecio barbajohanis*, *Buddleia cordata*, *Buddleia parviflora*, *Salix* sp. *Muhlenbergia macroura* y *Muhlenbergia quadridentata*. Este tipo de cobertura se encuentra en las UAB de Laderas inferiores de montaña de flujos lávicos de los SMG Tláloc y SMG-Cuautzin.

El Bosque de latifoliadas ocupaba 1,257 ha en 1970 y 1,321 ha en el año 2000, lo que significa que no ha sufrido cambios significativos en su superficie, se encuentra en áreas cercanas a los poblados y áreas de cultivo de maíz y nopal verdura. Este bosque se localiza en las laderas de montaña inferiores de flujos lávicos del los SMG-Tláloc y SMG-Cuautzin y presenta una cobertura vegetal alta, generalmente se encuentra cerca de las áreas agrícolas y urbanas, y en algunos sitios sólo quedan como relictos en la delimitación de las parcelas. Las especies representativas de este bosque son los *Quercus laurina*, *Q. cassipress* y *Q. rugosa*,

asociado con especies de *Arbutus xalapensis* y *Pinus teocote*.

Matorral. Este tipo de vegetación se encuentra principalmente en las UAB de laderas medias e inferiores de flujos lávicos del SMG-Chichinautzin, que corresponde al flujo lávico de roca andesítica basáltica, donde se encuentran especies arbustivas como el *Juniperus deppeana*, *Sedum oxypetalum*, *Arbutus xalapensis*, *Opuntia* spp, *Senecio praecox*, *S. barba-johannis*, entre otras. El matorral ocupa una superficie de 2,753 ha. Otra área importante con este tipo de vegetación son las laderas medias e inferiores de flujos lávicos del SMG-Ayaquémétl y en las laderas inferiores de montaña de flujos lávicos del SMG-Tlálóc con orientación hacia el norte y donde se encuentran especies como *Opuntia* spp, *Calliandra grandifolia*, *Senecio praecox* y *Prunus serotina* subsp. capuli.

Pastizales. Ocupaban 5,054 ha en 1970 y en el año 2000 abarcan una superficie de 3,396 ha, lo anterior indica que la superficie se redujo en un 67%, debido a que el uso del suelo cambió a zonas agrícolas. Dentro de esta clase de cobertura de suelo se definieron otras categorías considerando al pastizal con relictos de bosque de *Pinus*, pastizales inducidos y naturales, y pastizal con matorral.

Los pastizales con relictos de bosque son áreas que se han deforestado y donde se llevan a cabo actividades agrícolas con algunos árboles relictos de pinos. De acuerdo a la superficie definida en 1970 y 2000 esta área de pastizal sufrió una reducción ya que paso de 149 ha a 46 ha en 2000. La cobertura vegetal de pastizales es la que ha perdido superficie, ya que los campesinos, han convertido las áreas de pastizales en áreas agrícolas para establecer el cultivo de avena forrajera.

Los pastizales presentan una cobertura vegetal de alta a media (75%), se encuentran en las unidades de Piedemonte acumulativo de los SMG-Tlálóc y Cuautzin y en la Planicies internas de los conos cineríticos de SMG-Tlálóc, SMG-Cuautzin y en el SMG-Acusacayo y está en asociación con los bosques de *Pinus montezumae* y *Pinus hartwegii*. Las principales especies que constituyen este tipo de vegetación son: *Festuca tolucensis*, *Muhlenbergia macroura*, *Calamagrostis tolucensis*, *Stipa ichu*, *Alchemilla procumbens* y *Potentilla candican*.

La cobertura vegetal del área de estudio se muestra en la **Tabla 5.8**, donde se observa que no se han presentado cambios significativos en cuanto a este indicador en Milpa Alta. Los bosques de coníferas presentaron una cobertura alta para los años de 1970 y para el 2000 se ha

mantenido igual en cuanto a su cobertura.

La clase sin vegetación aparente (SVA) incluye sitios donde existe una vegetación de matorral que no se observó en la fotografía aérea, estas áreas se encuentran en las UAB de laderas de montaña medias e inferiores de flujos lávicos del SMG-Chichinautzin y ocupan una superficie de 3,378 ha. Las especies que predominan en estos sitios son el *Sedum oxypetalum*, *Senecio praecox* y *Opuntia spp.* Las áreas con matorral, se han mantenido conservadas, debido a que se localizan sobre flujos de roca volcánica, esta condición hace que no sean aptas para realizar actividades agropecuarias, además de que el suelo tiene de 10 a 20 cm de profundidad

Tabla 5.8 Porcentaje de cobertura vegetal en Milpa Alta (1970 y 2000).

Cobertura Vegetal	Clases de cobertura en 1970	Clases de cobertura en 2000
Bosque de Abies	Alta (>de 50%)	Alta (>de 50%)
Bosque de Abies-Pinus	Alta (>de 50%)	Alta (>de 50%)
Bosque de Pinus	Alta (>de 50%)	Alta (>de 50%)
Bosque de Pinus Abies	Media (25 - 50%)	Media (25 - 50%)
Bosque de Quercus	Alta (>de 50%)	Alta (>de 50%)
Matorral	Media (25 - 50%)	Media (25 - 50%)
Matorral-Agricultura de temporal	Media (25 - 50%)	Media (25 - 50%)
Matorral-Bosque de Pinus	Baja (5 - 25%)	Baja (5 - 25%)
Pastizal inducido	Alta (>de 50%)	Alta (>de 50%)
Pastizal natural	Alta (>de 50%)	Alta (>de 50%)
Pastizal - Matorral	Media (25 - 50%)	Media (25 - 50%)
Pastizal relictos de Bosque de Pinus	Baja (5 - 25%)	Baja (5 - 25%)

De acuerdo con el análisis realizado, se tiene que para el año 2000 la agricultura se incrementó y se extendió sobre las áreas de pastizales que se delimitaron en el año de 1970. Esto se debe a que los campesinos han incorporado tierras a la agricultura, principalmente para el cultivo de avena forrajera. Los polígonos urbanos se han incrementado, y sobre todo existen casas aisladas fuera de los poblados, donde la gente vive y realizan sus actividades agropecuarias.

Durante las entrevistas a los campesinos se les preguntó si había menos bosques que hace 30 años, algunos mencionaron que “si se ha perdido”, sobre todo cuando la fábrica de papel Loreto y Peña Pobre explotaba el bosque de manera comercial, a pesar de que se hacía un aprovechamiento de madera muerta. Por ejemplo el Sr. Julián Flores mencionó que en la actualidad hay más bosque, por los programas de reforestación que lleva a cabo la comunidad

y en coordinación con el gobierno”. Otros entrevistados del pueblo de San Salvador Cuautenco mencionaron “que existe un problema de tala clandestina y de tala hormiga”, del cual “están enterados las autoridades pero no hacen nada”

5.3.1.3. Indicadores de vegetación

A continuación se hace una descripción de los indicadores que se consideraron para la descripción de la vegetación en el área de estudio, como la composición florística, índice de valor de importancia, índice de similitud de Sorensen y el índice de diversidad de Shannon.

Composición florística. Se encontró en el estrato arbóreo un total de once especies, pertenecientes a nueve géneros y a ocho familias, como se muestra en la **Tabla 5.9**. De estas familias las más abundantes fueron las Pinaceae y las Loganiaceae, que son las que se encuentran en la mayoría de los sitios, debido a que el área de estudio se caracteriza por tener un bosque templado principalmente.

Tabla 5.9. Número de especies por familia y su proporción con respecto al total.

Familia	Núm de especies	% con respecto al total
Agavaceae	1	9
Loganiaceae	2	18
Betuláceas	1	9
Cupressaceae	1	9
Ericaceae	1	9
Fagaceae	1	9
Pinaceae	3	27
Silicáceas	1	9

Estructura de la vegetación. Para caracterizar la estructura de la vegetación se obtuvieron las alturas promedio que se presentan en la **Tabla 5.10**. La altura promedio de las especies arbóreas va de los 9 a 34 m y se encuentra en los sitios 2 y 3, que se encuentran en las UAB de laderas superiores de montaña e inferiores de lomeríos del SMG-La Comalera, en el sitio 14 de la UAB laderas medias de montaña de flujos lávicos del SMG-Tlálloc y en el sitio 18 que pertenece a la UAB de laderas superiores e inferiores de montaña de lomeríos del SMG-Chichinautzin, que es donde predominan las especies de *Pinus hartweggi*, *P. montezumae* y *Abies religiosa*, que en general presentan altura superiores a los 30 metros..

Tabla 5.10. Altura promedio e intervalos de alturas de las especies por sitio en Milpa Alta.

SMG	UBA	Sitio	Altura promedio (m)	Intervalos de alturas (m) y número de individuos por sitio					
				0 a 10	> 10 a 20	> 20 a 30	> 30 a 40	> 40 a 50	> de 50
SMG-Chichinautzin	LInfmflva	1	10	14	14	1	----	----	----
SMG-Chichinautzin	LMmflav	5	15	30	121	21	2	----	----
SMG-Chichinautzin	LSMInfLom	18	32	----	2	9	22	2	1
SMG-Chichinautzin	LMmflav	19	18	16	14	8	6	1	1
SMG-Tlálóc	LSmflav	7	15	6	15	3	1	----	----
SMG-Tlálóc	LSIntExtcct	8	14	15	48	8	1	----	----
SMG-Tlálóc	LInfmflva	9	20	39	21	5	11	8	7
SMG-Tlálóc	Pmacum	11	28	----	2	25	12	1	----
SMG-Tlálóc	LSIntExtcct	13	6	16	2	----	----	----	----
SMG-Tlálóc	LMmflav	14	30	5	7	15	16	6	4
SMG-Tlálóc	LInfmflva	17	9	72	41	1	----	----	----
SMG-Otates	LInfmflva	12	16	47	32	11	23	2	1
SMG-Cuatzin	LSIntExtcct	4	17	39	86	24	12	4	2
SMG-Cuatzin	LSmflav	10	11	58	53	3	----	----	----
SMG-Cuatzin	LMmflav	15	17	21	30	7	6	4	1
SMG-La Comalera	LSMInfLom	2	32	----	2	7	19	3	----
SMG-La Comalera	LSMInfLom	3	34	1	2	11	17	9	2
SMG-La Comalera	LSMInfLom	6	9	18	14	1	----	----	----
SMG-Acusacayo	LSIntExtcct	16	15	35	11	13	5	1	----

NOTA:UAB (Unidad Ambiental Biofísica), LSIntExtcct (Ladera superior interna y externa de cono cinerítico de tefra), LSmflav (Ladera superior de montaña de flujos lávicos), LMmflav (Ladera media de montaña de flujos lávicos), LInfmflav (Ladera Inferior de montaña de flujos lávicos), LSMInfLom (Ladera superior de montaña inferior de lomeríos) y Pmacum (Piedemonte acumulativo).

Los árboles de más de 50 metros se localizaron en ocho sitios.

En el sitio 5 de la UAB laderas medias de montaña de flujos lávicos del SMG-Chichinautzin se presentan un total de 121 árboles con una altura que va de los 10 hasta los 20 metros de los *Abies religiosa*. Además, en los sitios como el 3 que se ubica en la UAB laderas superiores de montaña e inferiores de lomeríos del SMG-La Comalera, 9 de la UAB laderas inferiores de montaña de flujos lávicos del SMG-Tlálloc, el sitio 12 de la UAB laderas inferiores de montaña de flujos lávicos del SMG-Otates, el sitio 15 de la UAB laderas medias de montaña de flujos lávicos del SMG-Cuautzin y el sitio 18 de laderas superiores de montaña e inferiores de lomeríos del SMG-Chichinatzin, por ejemplo se presentaron los *Abies religiosa* con altura superiores a los 50 metros. Esto confirma lo mencionado por Rzedowsky (1981) que con respecto a la altura de este tipo de árboles oscila entre 8 y 25 m, pero pueden alcanzar hasta alturas superiores a los 40 m.

Estructura diamétrica. Con respecto al diámetro a la altura de pecho (DAP), en la mayoría de los sitios, las especies se encuentran de los 10 a 50 cm de DAP aproximadamente. En el sitio 4, perteneciente a las laderas inferiores de montaña de flujos lávicos del SMG Chichinautzin, en los sitios 9, 14 y 17 de las laderas superiores, medias e inferiores de montaña de flujos lávicos del SMG Tlálloc, el 15, ubicado en las laderas medias de montaña del SMG Cuautzin y el sitio 16, en las laderas superiores internas y externas de cono cinerítico de tefra del SMG Acusacayo, en estas unidades se encontraron especies arbóreas de más de 90 cm de DAP, como es el caso de los *Pinus hartwegii*, *P. montezumae* y *Abies religiosa*. Las especies que presentaron DAP de 10 a 30 cm corresponden a las especies de *Alnus firmifolia*, *Buddleia cordata* y *B. parviflora*, *Arbutus xalapensis* y los *Quercus* spp. (**Tabla 5.11**).

Densidad. Las especies con mayor densidad en las unidades son el *Pinus hartwegii*, *Pinus montezumae* y *Abies religiosa* que se presentaron en las laderas superior, media e inferior de montaña de flujos lávicos de los SMG Chichinautzin, La Comalera, Cuautzin, Tlálloc, Los Otates y Acusacayo. El *Quercus* spp. tuvo una densidad alta solo en el sitio 17 que se encuentra en las laderas inferiores de montaña de flujos lávicos del SMG Tlálloc y la especie *Buddleia parviflora* en el sitio 10 de las laderas superiores de montaña de flujos lávicos del SMG Cuautzin.

Tabla 5.11. Estructura diamétrica e intervalos de DAP de las especies por sitio en Milpa Alta.

SMG	UBA	Sitio	DAP y número de individuos por sitio									
			< 10 cm	> 10-20 cm	> 20-30 cm	> 30-40 cm	> 40-50 cm	> 50-60 cm	> 60-70 cm	> 70-80 cm	> 80-90 cm	> 90 cm
SMG-Chichinautzin	LInfmflva	1	----	3	9	9	4	4	----	----	----	----
SMG-Chichinautzin	LMmflav	5	28	67	42	20	13	2	2	----	----	----
SMG-Chichinautzin	LSMInfLom	18	----	1	3	7	10	13	4	1	----	----
SMG-Chichinautzin	LMmflav	19	19	15	11	7	4	4	4	----	1	----
SMG-Tlálóc	LSmflav	7	1	1	7	8	4	2	3	----	----	----
SMG-Tlálóc	LSIntExtect	8	2	10	25	16	10	8	1	----	----	----
SMG-Tlálóc	LInfmflva	9	15	33	22	4	8	8	10	2	3	1
SMG-Tlálóc	Pmacum	11	----	----	1	16	11	8	4	----	----	----
SMG-Tlálóc	LSIntExtect	13	13	12	3	2	1	----	----	----	----	----
SMG-Tlálóc	LMmflav	14	----	6	4	7	4	6	11	4	4	7
SMG-Tlálóc	LInfmflva	17	2	39	41	13	9	2	4	3	1	2
SMG-Otates	LInfmflva	12	29	39	33	14	9	15	6	----	----	----
SMG-Cuatzin	LSIntExtect	4	37	70	16	14	9	4	----	5	6	6
SMG-Cuatzin	LSmflav	10	46	47	27	25	9	4	----	----	----	1
SMG-Cuatzin	LMmflav	15	6	15	17	12	15	3	3	2	----	1
SMG-La Comalera	LSMInfLom	2	----	1	4	4	16	4	2	----	----	----
SMG-La Comalera	LSMInfLom	3	----	2	3	10	11	10	6	----	----	----
SMG-La Comalera	LSMInfLom	6	6	10	8	7	2	----	----	----	----	----
SMG-Acusacayo	LSIntExtect	16	42	26	16	2	16	7	2	1	----	1

NOTA: UAB (Unidad Ambiental Biofísica), DAP (Diamétero a la altura de pecho), LSIntExtect (Ladera superior interna y externa de cono cinerítico de tefra), LSmflav (Ladera superior de montaña de flujos lávicos), LMmflav (Ladera media de montaña de flujos lávicos), LInfmflva (Ladera Inferior de montaña de flujos lávicos), LSMInfLom (Ladera superior de montaña inferior de lomerios) y Pmacum (Piedemonte acumulativo).

Dominancia. Las especies con una mayor dominancia son el *Pinus hartwegii*, *Pinus montezumae* y *Abies religiosa* en 18 sitios que se ubican en las laderas de flujos lávicos superior, media e inferior de montaña de flujos lávicos de los SMG Chichinautzin, La Comalera, Cuautzin, Tláloc, Los Otates y Acusacayo. El *Quercus* spp. presentó una dominancia alta solo en el sitio 17 que se localiza en las laderas inferiores de montaña de flujos lávicos del SMG Tláloc.

En el caso del *Alnus firmifolia*, éste domino sólo en los sitios 8 y 9 ubicados en las laderas superior, media e inferior de montaña de flujos lávicos del SMG Tláloc, los sitios 10 y 15 localizados en las laderas superior y media de montaña de flujos lávicos del SMG Cuautzin y el sitio 16 que pertenece a las unidades laderas superiores internas y externas de cono cinerítico de tefra del SMG Acusacayo.

Frecuencia. Las especies como el *Pinus montezumae*, *P. hartwegii*, *Abies religiosa*, presentaron los valores más altos de frecuencia en 17 sitios. El *Alnus firmifolia* presentó una frecuencia en doce sitios. Las especies como *Arbutus xalapensis*, *Buddleia cordata*, *Buddleia parviflora* se encontraron en cinco sitios.

Se encontró la especie *Yuca filifera* únicamente en el sitio 16 ubicado en la UAB de laderas superiores internas y externas de cono cinerítico de tefra del SMG Acusacayo y el *Quercus* spp. del sitio 17 que se localiza en las laderas inferiores de montaña de flujos lávicos del SMG Tláloc, que se encuentra a una altitud de los 2,900 m sobre un flujo lávico que constituye un relicto en el área de estudio.

Índice de valor de importancia (IVI)

Las especies arbóreas presentaron un VIR mayor a 180% lo que indica que es alto (Krebs, 1985). En general las especies de *Pinus hartwegii* y *P. montezumae* presentan un mayor valor de importancia que oscila entre los 180 hasta los 270%, lo que se puede observar en la **Tabla 5.12**. En dos sitios el *Pinus hartwegii* presentó un VIR de 300%, debido a que fue la única especie que dominó en el sitio en cuanto al estrato arbóreo.

El *Abies religiosa* presentó un VIR de 251% de los sitios, debido a que son árboles con un mayor un DAP y con alturas superiores a los 40 m.

Tabla 5.12. Índice de valor de importancia relativa de las especies en los sitios de estudio

SMG	SMG-Chichinautzin						SMG-Tláloc				SMG-Otates		SMG-Cuatzin		SMG-La Comalera			SMG-Acusacayo		No. de individuos
	UAB	LInfmflva	LMmflav	LSMInfLom	LMmflav	LSmflav	LSIntExtct	LInfmflva	Pmacum	LSIntExtct	LMmflav	LInfmflva	LInfmflva	LSIntExtct	LSmflav	LMmflav	LSMInfLom	LSMInfLom	LSMInfLom	
Especies/Sitios	S-1	S-5	S-18	S-19	S-7	S-8	S-9	S-11	S-13	S-14	S-17	S-12	S-4	S-10	S-15	S-2	S-3	S-6	S-16	
<i>Pinus montezumae</i>	270.7		271.5	240.1			193.2	300.0				153.1			100.3			101.3	186.4	272
<i>Juniperus deppeana</i>	29.3																			1
<i>Pinus hartwegii</i>					300.0	167.1			254.9							300.0	268.2	118.2		184
<i>Alnus firmifolia</i>		23.9	28.5	59.9		132.9	106.8		45.1	30.5		146.9	26.9	189.7	163.4		31.8		90.4	18
<i>Abies religiosa</i>		234.9								247.4			273.1					42.9		368
<i>Arbutus xalapensis</i>		19.8								22.0	38.1							37.1		9
<i>Salix spp.</i>		21.3													14.4					8
<i>Buddleia cordata</i>											12.3									1
<i>Buddleia parviflora</i>														87.8	21.9					39
<i>Pinus spp.</i>											27.5			22.5						7
<i>Yuca filifera</i>																			23.3	3
<i>Quercus sp.</i>											222.9									108

NOTA: LSIntExtct (Ladera superior interna y externa de cono cinerítico de tefra), LSmflav (Ladera superior de montaña de flujos lávicos), LMmflav (Ladera media de montaña de flujos lávicos), LInfmflva (Ladera Inferior de montaña de flujos lávicos), LSMInfLom (Ladera superior de montaña inferior de lomeríos) y Pmacum (Piedemonte acumulativo).

El *Quercus* spp. presentó un valor de importancia de 222% a pesar de que sólo existen relictos de este género en la delegación, pues sólo se presentan en barrancos y en las coladas de lava que se encuentran cercanas a las áreas urbanas de la delegación. Otras especies como el *Alnus firmifolia*, *Arbutus xalapensis*, *Salix* spp., presentaron menores porcentajes en su valor de importancia porque que se caracterizan por tener un DAP de 10 a 20 cm.

Similitud de Sorensen entre sitios

El índice de similitud de Sorensen aplicado a los 19 sitios del área de estudio, mostró que los sitios no son semejantes, ya que la mayoría de los sitios, presentaron un valor de similitud a uno (Muller-Dombois, 1974; Kent y Coker, 1998). Como es el caso de cinco sitios donde la especie presente es el *Pinus hartwegii* y en cuatro sitios se presentó la especie de *Pinus montezumae*.

Algunos sitios presentaron un valor de 0 en similitud, como el sitio 1, que se ubica dentro de la UAB de laderas inferiores de montaña de flujos lávicos del SMG-Chichinautzin, el sitio 2 de la UAB laderas superiores de montaña e inferiores de lomeríos del SMG-La Comalera y en los sitios 7 y 11, el primero ubicado en las laderas superiores de montaña de flujos lávicos y el segundo en el piedemonte acumulativo del SMG Tlálloc, donde se encuentra el bosque de *Abies religiosa* y donde únicamente se presentó esta especie o en el caso de los bosques de *Pinus montezumae* y *Pinus hartwegii*. En el caso del sitio 17 de la UAB laderas inferiores de montaña de flujos lávicos del SMG-Tlálloc, no tuvo similitud con los otros sitios, debido a que es un bosque de *Quercus* spp. y es el único sitio con esta especie (**Tabla 5.13**). En general, los sitios comparten de una a dos especies principalmente al *Pinus montezumae*, *Pinus hartwegii*, *Abies religiosa*, *Alnus firmifolia* y *Arbutus xalapensis*.

En la gráfica de la **Figura 5.19**, se presentan los sitios agrupados por intervalos del valor del índice de similitud de Sorensen, donde se observa que más del 30% de los sitios se encuentran de 0 a 20 % de similitud, y el 5% de los sitios se presentaron una similitud de 100%, lo que significa que son similares, principalmente el bosque de *Pinus hartwegii*, *Pinus montezumae* y *Abies religiosa* que son especies que dominan en los sitios.

Diversidad entre sitios

De acuerdo con el índice de diversidad de Shannon en el área de estudio es baja, se tiene que

la mayoría de los sitios presentaron una diversidad <1 (Muller-Dombois, 1974; Kent y Coker, 1998).

Tabla 5.13. Índices de similitud Sorensen y especies compartidas entre sitios

Sitio	Especies compartidas																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1		0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1
2	0		1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0.6		1	1	1	1	1	1	1	0	1	2	1	1	1	0	1	1
4	0	0	0.5		2	1	0	1	1	1	0	1	1	2	1	1	0	1	1
5	0	0	0.3	0.6		2	1	1	1	1	0	1	1	2	2	1	1	1	1
6	0.3	0	0.3	0.3	0.5		1	1	1	0	1	1	1	2	1	1	1	1	1
7	0	1	1	0	0	0.4		1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
8	0	0.6	1	0.5	0.3	0.3	0.66		1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1
9	0.5	0	0.5	0.5	0.3	0.3	0	0.5		1	0	1	1	1	2	2	0	2	2
10	0	0	0.5	0.5	0.3	0.3	0	0.5	0.5		0	1	1	1	1	1	0	1	1
11	0.6	0	0	0	0	0.4	0	0	0.66	0		1	0	0	1	1	0	1	1
12	0.5	0	0.5	0.5	0.3	0.3	0	0.5	1	0.5	0.66		1	1	2	2	0	2	2
13	0	0.6	1	0.5	0.3	0	0.66	1	0.5	0.5	0	0.5		1	1	1	0	1	1
14	0	0	0.4	0.8	0.8	0.5	0	0.4	0.4	0.4	0	0.4	0.4		1	1	1	1	1
15	0.5	0	0.3	0.3	0.5	0.25	0	0.33	0.66	0.66	0.4	0.66	0.33	0.28		2	0	2	2
16	0.5	0	0.4	0	0.2	0.57	0	0.4	0.8	0.4	0.5	0.8	0.8	0.33	0.57		0	2	2
17	0	0	0	0	0.2	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
18	0.5	0	0.5	0.5	0.3	0.33	0	0.5	1	0.5	0.66	1	0.5	0.4	0.66	0.8	0	0	2
19	0.5	0	0.5	0.5	0.3	0.33	0	0.5	1	0.5	0.66	1	0.5	0.4	0.66	0.8	0	1	2

Valor alto
 Valor bajo
 Índice de similitud

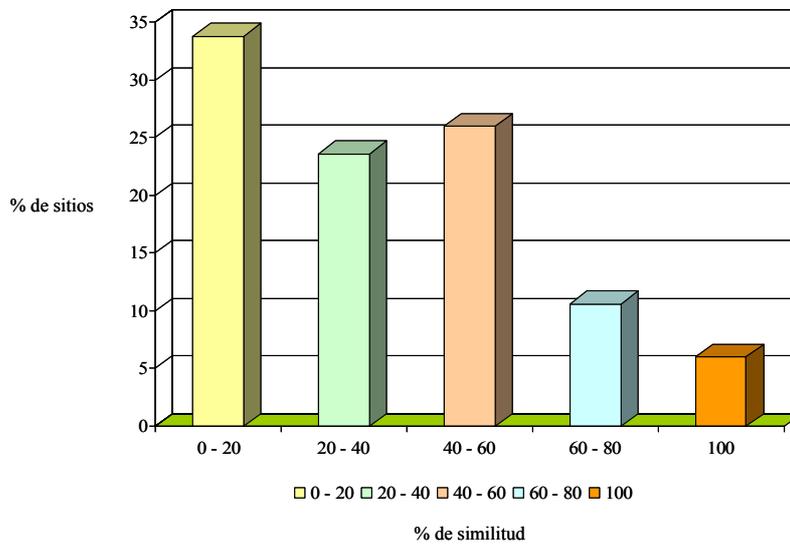


Figura 5.18 Gráfica de % de sitios y % de similitud.

El sitio 6 que se localiza en las UAB de laderas superiores de montaña e inferiores de lomeríos del SMG-La Comalera, es el único que presentó una diversidad mayor a uno con cuatro especies *Pinus hartwegii*, *Pinus montezumae*, *Abies religiosa* y *Arbutus xalapensis*. El

sitio 16 ubicado en la UAB de laderas superiores internas y externas de cono cinerítico de tefra del SMG Acusacayo, presentó una diversidad de 0.9 en la cual se encuentran las especies *Pinus montezumae*, *Alnus firmifolia*, *Buddleia parviflora* y *Salix* spp.

En tres sitios se presentaron valores de diversidad de cero, esto se debe que sólo existe una sola especie como el *Pinus hartwegii* que dominó en los sitios 2 de laderas superiores de montaña e inferiores de lomeríos del SMG-La Comalera y 7 de laderas superiores de montaña de flujos lávicos del SMG-Tláloc, y en el sitio 11 el *Pinus montezumae* que se ubica en la UAB de piedemonte acumulativo del SMG-Tláloc.

Este valor de cero en diversidad se debe a que el área presenta un grado alto de perturbación propiciado por las actividades agropecuarias y por los incendios que cada año se realizan por parte de los campesinos con el fin de obtener renuevo para el ganado ovino (Tabla 5.14). En general, la mayoría de los sitios presentan de dos a tres especies, lo que influye en las cifras de diversidad.

Características de los sitios. En cuanto a parámetros cualitativos observados en campo se muestra información sobre el número de tocones y de árboles muertos, regeneración natural, áreas perturbadas y conservadas.

Número de tocones y árboles muertos: el número total de tocones para toda el área es de 151. Los sitios donde se presentaron la mayor cantidad de tocones es en el bosque de *Pinus hartwegii* y *P. montezumae* debido a la tala clandestina que realizan los comuneros de la delegación. El total de árboles muertos es de 152. Los sitios donde se localizaron la mayor cantidad de árboles muertos es en los bosques de *Pinus hartwegii* y *P. montezumae* que se localizan en las unidades de laderas de montaña superiores, medias e inferiores de flujos lávicos de los SMG Cuautzin, SMG La Comalera y en el SMG Los Otates, por los incendios y al ocoteo con el fin de obtener resina y posteriormente derribarlos.

Regeneración natural: Del total de los sitios estudiados la regeneración natural se presentó en los bosques de *Abies religiosa* y *Alnus firmifolia* que se encuentran en las laderas de montaña superiores y medias de flujos lávicos del SMG-Chichinautzin y del SMG Tláloc, y en las cañadas en donde la humedad es más abundante y la presencia de incendios es menos frecuente, lo que restringe el acceso a la población y, por lo tanto, el desarrollo de actividades agrícolas y pecuarias.

Los renuevos de *Alnus firmifolia* presentaron condiciones de desarrollo para su

crecimiento, lo que se observó en campo. Por otra parte, los sitios con menos regeneración se presentan en los bosques de *Pinus hartwegii* y *P. montezumae*, que son los que se localizan cercanos a las áreas de pastizal y de cultivos agrícolas, donde los campesinos cada año queman el pasto para obtener renuevos que sirven de alimento al ganado ovino, por lo que se presentan las áreas más perturbadas y, por lo tanto, no hay regeneración natural. Además, como hay libre pastoreo por todo el bosque el ganado pisotea y se come los renuevos de la regeneración natural y los árboles reforestados.

Tabla 5.14. Índice de diversidad de Shannon por sitio y UAB.

SMG	UAB	Sitio	Especies totales	Índice de Shannon
SMG-Chichinautzin	LInfmflva	1	2	0.149
SMG-Chichinautzin	LMmflav	5	4	0.455
SMG-Chichinautzin	LSMInflom	18	5	0.543
SMG-Chichinautzin	LMmflav	19	2	0.402
SMG-Tlálloc	LSmflav	7	1	0.000
SMG-Tlálloc	LSIntExtect	8	2	0.692
SMG-Tlálloc	LInfmflva	9	4	0.820
SMG-Tlálloc	Pmacum	11	1	0.000
SMG-Tlálloc	LSIntExtect	13	2	0.239
SMG-Tlálloc	LMmflav	14	3	0.404
SMG-Tlálloc	LInfmflva	17	4	0.259
SMG-Otates	LInfmflva	12	4	0.697
SMG-Cuatzin	LSIntExtect	4	2	0.091
SMG-Cuatzin	LSmflav	10	4	0.889
SMG-Cuatzin	LMmflav	15	4	0.779
SMG-La Comalera	LSMInflom	2	1	0.000
SMG-La Comalera	LSMInflom	3	2	0.261
SMG-La Comalera	LSMInflom	6	4	1.142
SMG-Acusacayo	LSIntExtect	16	5	0.914

NOTA: LSIntExtect (Ladera superior interna y externa de cono cinerítico de tefra),

LSmflav (Ladera superior de montaña de flujos lávicos), LMmflav (Ladera media de montaña de flujos lávicos),

LInfmflav (Ladera Inferior de montaña de flujos lávicos), LSMInflom (Ladera superior de montaña inferior de lomeríos),

Pmacum (Piedemonte acumulativo).

En los bosques de pinos existen pocos árboles productores de semilla en condiciones apropiadas para desarrollarse, hecho que limita la cantidad suficiente de semilla para garantizar una óptima regeneración. Situación que se agrava con la presencia de incendios, con la compactación del suelo y el pastoreo.

Áreas perturbadas: Las unidades con mayor perturbación son las de laderas inferiores de montaña de los SMG Cuatzin, Tlálloc y La Comalera, además los piedemontes cercanos a las laderas inferiores. A pesar de que esta zona está sujeta a una fuerte presión por parte de los

pobladores, se observaron básicamente alteraciones por incendios forestales y tala clandestina, principalmente en el bosque de pino y en las áreas más cercanas a las zonas agrícolas y de pastizales, ya que presentan una mayor perturbación y no hay regeneración natural y los árboles se encuentran ocoteados y los troncos cubiertos de tizne, lo que indica que estuvieron sujetos a incendios.

Áreas conservadas: Los sitios mejor conservados se localizan en las laderas superiores de montaña de flujos lávicos del SMG-Chichinautzin y en las laderas superiores de montaña de flujos lávicos del SMG-Tláloc, sobre todo porque son áreas que se encuentran más alejadas de la población y son de difícil acceso. Un factor importante que hay que considerar es la tenencia de la tierra, ya que ésta influye en la conservación y/o degradación de la vegetación, se localizan en la comunidad de Milpa Alta, y las áreas más perturbadas, con excepción de los pedregales, que se encuentran en las laderas inferiores de montaña de flujos lávicos del SMG-Chichinautzin, son terrenos que pertenecen al pueblo de San Salvador Cuauhtenco.

En cuanto a la superficie de los bosques, los campesinos mencionaron que tienen más de 17,000 ha, aunque hay algunos que desconocen la superficie de bosques con que cuenta su comunidad, sin embargo comentaron que la superficie de bosque no se ha perdido y esto ratifica los resultados obtenidos en esta investigación.

Algunos productores manifestaron que “el bosque lo utilizamos para sembrar, pastoreo de borregos, extracción de leña y hongos” Otros entrevistados mencionaron que el bosque es “para conservarlo y para reforestarlo”. Otros productores dicen que “se ha perdido bosque por incendios, plagas y enfermedades, y que un problema grave en el bosque es la tala ilegal, sobre todo en el pueblo de San Salvador Cuautenco”.

5.3.1.4. Indicador de distribución de la temperatura

La temperatura promedio anual es de 14.5°C y la precipitación es de 901.9 mm anuales en promedio de acuerdo con el análisis realizado a partir de los datos de 16 estaciones meteorológicas (**Tabla 5.15**) con influencia en el área de estudio.

La temperatura está relacionada con la altitud, se tiene que en el área las temperaturas van de los <3° a los 7°C abarcan altitudes que van de los 3,200 m a los 3,600 m, se presentan en las planicies internas de cráter. Además en las UAB de laderas superiores y medias de montaña de flujos lávicos y en las UAB denominadas laderas superiores internas y externas de

cono cinerítico de tefra de los SMG-Tlálloc, SMG-Cuautzin, SMG-Acopiaxco, SMG-Chichinautzin y SMG-Otates.

Las temperaturas que van de los 7° a los 13°C abarcan altitudes que van de los 3,000 m a los 3,200 m, se presentan en las planicies intermontanas y en el piedemonte acumulativo del SMG-Tlálloc y del Cuautzin. Por otra parte en las UAB de laderas, medias e inferiores de montaña de flujos lávicos de los SMG-Tlálloc, SMG-Cuautzin, SMG-Acopiaxco y SMG-Chichinautzin.

Tabla 5.15. Temperatura y precipitación de las estaciones meteorológicas

Nombre de la estación	Período en años	Precipitación	Temperatura media anual	Coordenadas UTM	
		(mm)	(°C)	X	Y
Ajusco	1962-1988	1132.30	11.5	478977	2124686
Km. 39 a Cuernavaca	1965-2002	1521.40	9.5	480719	2115464
Milpa Alta	1964-2002	688.00	15.3	498248	2120986
Moyoguarda	1954-1988	755.60	15.3	489493	2132054
San Francisco Tlanepantla	1967-2002	867.40	13.0	487735	2122834
San Gregorio Atlapulco	1961-1983	739.80	16.3	494745	2128363
Santa Ana Tlacotenco	1980-2002	648.40	15.3	500000	2119142
Tláhuac	1965-2002	535.90	16.4	489476	2102549
Chalco	1967-2002	579.40	14.6	510508	2130210
Juchitepec	1977-2002	704.60	14.2	514025	2111771
Sec. Agropecuaria 32	1971-1990	590.40	16.1	510509	2128366
Cumbres	1967-2002	1544.70	10.3	473698	2108097
San Juan Morelos	1975-1990	1465.50	15.6	489477	2104393
El Vigía	1981-2002	1092.70	17.1	505263	2100702

De los 2,240 a 3,000 metros se presentan intervalos de temperaturas que van de los 13 a los 17°C. Estas temperaturas se presentan en las UAB de piedemonte acumulativo del SMG-Teuhtli. En las laderas inferiores del SMG-Xochimilco y en planicie de Tláhuac, además abarca las UAB de laderas superiores, medias e inferiores del SMG-Teuhtli y Ayaquémel (**Figura 5.19**).

Los meses más fríos se presentan en los meses de noviembre a febrero, siendo enero el mes más frío y los meses más calientes se presentan de marzo a octubre. Este patrón de distribución de temperatura al igual que la precipitación influye en la distribución de la

vegetación y en las actividades agrícolas, ya que la producción de nopal se distribuye de los 2,240 a los 3,000 metros donde la temperatura es de 13.5 a 16°C.

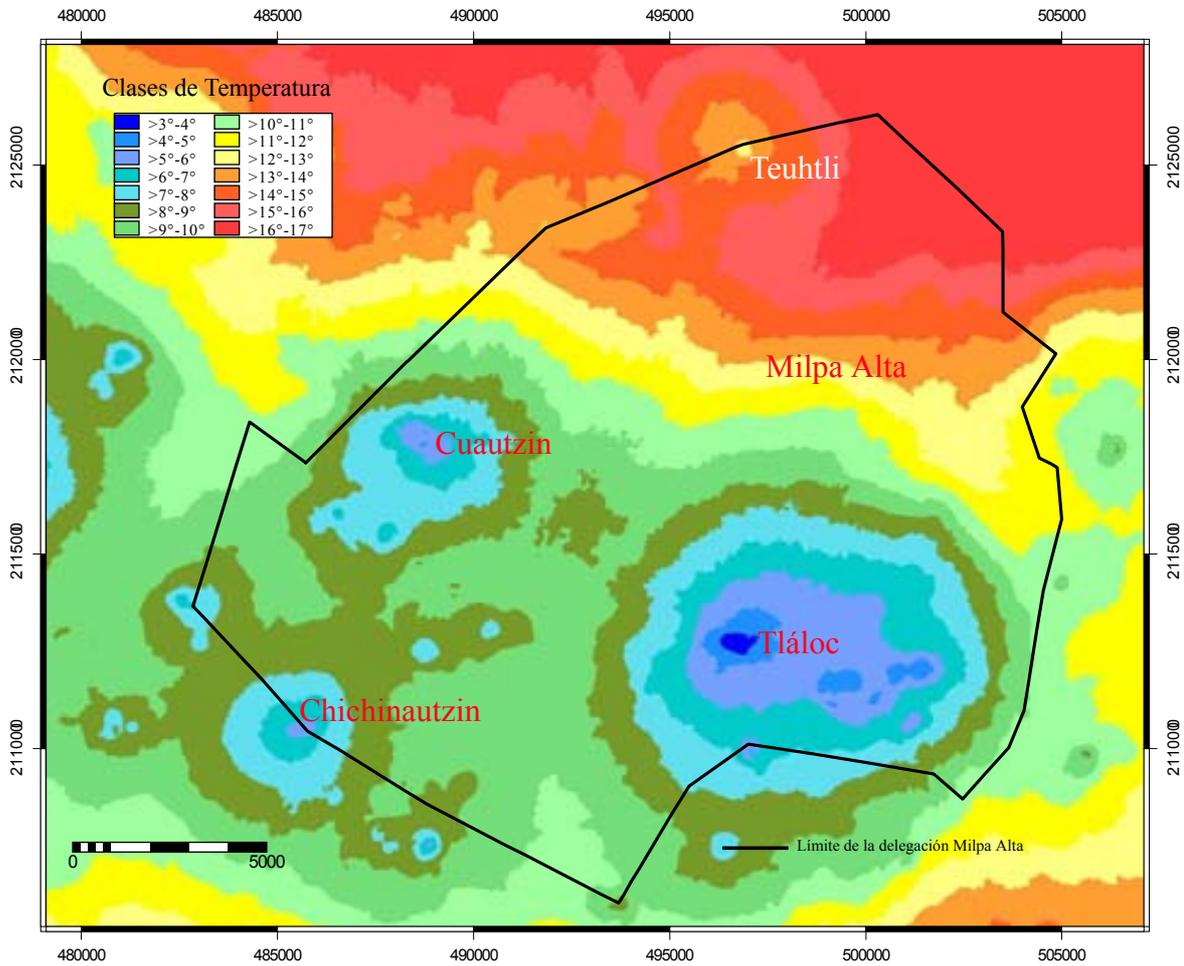


Figura 5.19. Distribución de la temperatura en Milpa Alta

5.3.1.5 Indicador de distribución de la precipitación.

Con respecto al análisis sobre los datos de precipitación, considerando las 16 estaciones analizadas de 901.9 mm anuales en promedio. Sin embargo, se tiene una marcada heterogeneidad en su distribución en el área de Milpa Alta. La precipitación se encuentra definida por pisos altitudinales dentro del área de estudio, ya que se presentan dos áreas bien definidas principalmente, entre las altitudes de 2,240 y 3,000 metros los intervalos de precipitación se encuentran entre 600 y 900 mm anuales; y en el intervalo altitudinal que va de los 3,000 a los 3,600 metros la precipitación va de los 900 a los 1,500 mm anuales (**Figura 5.20**).

Por altitud se definieron tres rangos de precipitación que son: a) 600 a 900 mm, b) 900 a 1,200 mm y c) 1,200 a 1,500 mm.

El primero que va de los 600 a 900 mm se presenta en las UAB laderas superiores medias e inferiores de montaña de flujos lávicos del SMG-Teuhtli. En las laderas inferiores de montaña de flujos lávicos del SMG-Xochimilco, de la planicie acumulativa del SMG-Planicie de Tláhuac. Además abarca el piedemonte acumulativo y las laderas inferiores y medias de montaña de flujos lávicos de los SMG-Tláloc, SMG-Cuautzin y SMG-Ayaquémetl.

El segundo que va de los 900 a 1,200 mm se presenta en las UAB laderas medias e inferiores de montaña de flujos lávicos de los SMG-Tláloc, SMG-Cuautzin, SMG-Acusacayo, SMG-Acopiaxo, en el SMG-Chichinautzin y en el SMG-Planicie intermontana Cuautzin-Tláloc

El tercero que va de los 1,200 a 1,500 mm se presenta en las UAB laderas superiores internas y externas de montaña de conos cineríticos de tefra de los SMG-Tláloc y SMG-Acopiaxo. Además en las laderas superiores de montaña de flujos lávicos del SMG-Acopiaxo y Chichinautzin.

La precipitación influye principalmente en la distribución de la vegetación, esto es, los bosques de coníferas que demandan más cantidad de agua se localizan donde la precipitación es superior a los 1,000 mm anuales, en cambio las latifoliadas se encuentran en el área donde la cantidad de lluvia es menor a los 1,000 mm. Además, influye en algunas de las propiedades del suelo y en las actividades agrícolas que se llevan a cabo en el área de Milpa Alta.

A pesar del análisis de la información obtenida de las estaciones meteorológicas, en las entrevistas realizadas a los productores se le preguntó si ellos consideraban que se presentaron cambios en temperatura y la precipitación, la mayoría de los entrevistados comentó que ahora la precipitación es menor y que la temperatura ha aumentado, “hay un retraso en las lluvias”, otros dijeron que “el ciclo agrícola se ha modificado”, otros comentaron que “hay un atraso en la siembra del maíz”.

5.3.1.6. Indicadores de calidad de suelo

Propiedades físicas como indicadores de calidad de suelo. Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad de suelo son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se

puedan encontrar en el crecimiento de las raíces y de las plántulas, la infiltración y el movimiento del agua dentro del perfil, y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros (Bautista, 2004).

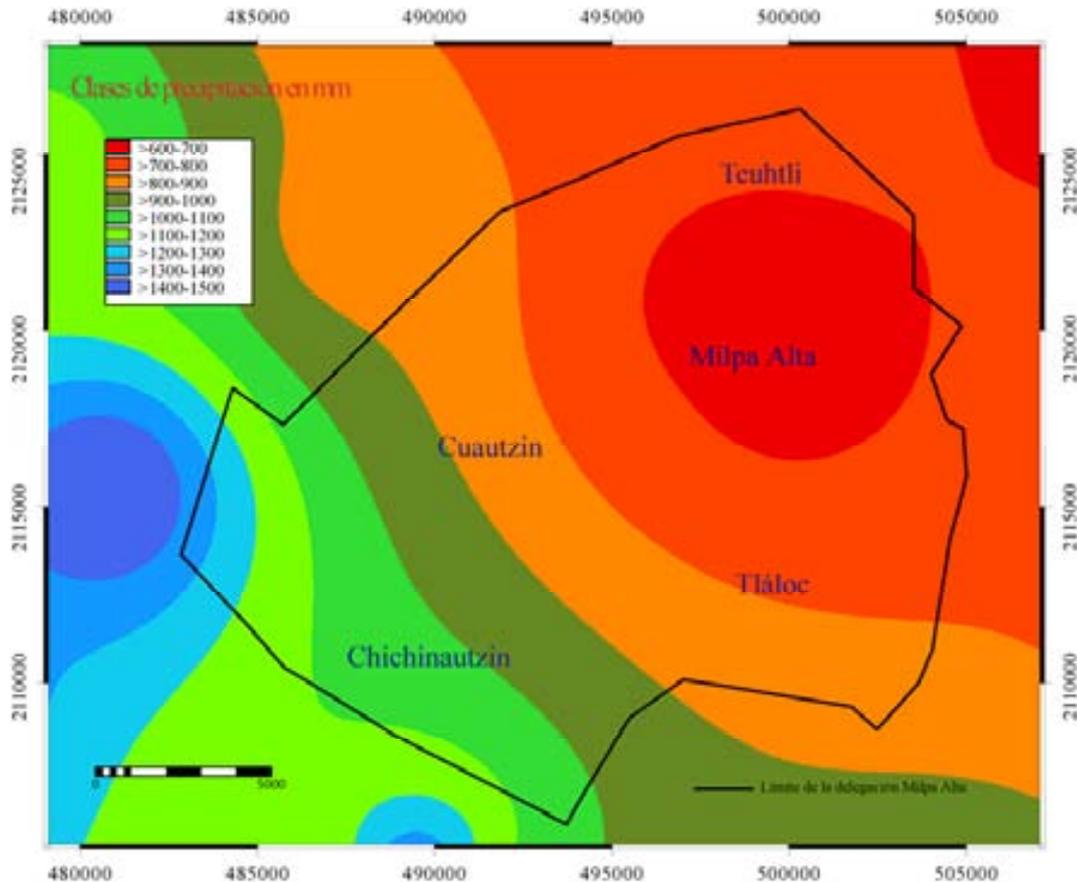


Figura 5.20. Distribución de la precipitación en Milpa Alta.

La estructura, densidad aparente, textura y la capacidad de almacenamiento del agua, son indicadores propuestos para monitorear los cambios que ocurren en el suelo. En la **Tabla 5.16** se presentan los resultados de las propiedades físicas de los suelos en Milpa Alta.

Humedad. La cantidad de agua en el suelo tiene relación con la cantidad y tamaño de los espacios porosos. El agua es retenida por los suelos debido a la fuerza de adsorción de las partículas de materia orgánica y de los elementos inorgánicos. En el área de estudio los intervalos de humedad se presentaron con porcentajes bajos que van de los 10.3 hasta los 39.8%.

Tabla 5.16 Propiedades físicas de los suelos de Milpa Alta

SGM	UAB	Sitios	H	DA	DR	Pr	Color				Partículas del Suelo			Clasificación textural
							Seco		Húmedo		Arenas	Arcilla	Limos	
							Clave	Nombre	Clave	Nombre				
SMG-Cuautzin	LSIntExtcct	1	35.29	0.74	0.90	18.00	10 YR 3/4	Pardo oscuro amarillento	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	62.0	2.0	36.0	Migajón Arenosa
SMG-Cuautzin	Lsmflav	7	52.38	0.60	1.30	53.54	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	10 YR 2/1	Negro	52.0	6.0	42.0	Migajón Arenosa
SMG-Cuautzin	LSIntExtcct	8	66.67	0.67	1.40	52.36	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	10 YR 2/1	Negro	70.0	2.0	18.0	Migajón Arenosa
SMG-Cuautzin	Plaluinter	9	68.42	0.71	1.20	40.92	10 YR 3/3	Pardo oscuro	10 YR 2/1	Negro	56.0	6.0	42.0	Migajón Arenosa
SMG-Cuautzin	LSIntExtcct	10	36.84	0.77	1.20	35.50	10 YR 4/2	Pardo oscuro grisaseo	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	76.0	4.0	20.0	Migajón Arenosa
SMG-Cuautzin	LSIntExtcct	11	42.86	0.76	1.50	49.27	10 YR 4/2	Pardo oscuro grisaseo	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	68.0	2.0	30.0	Migajón Arenosa
SMG-Cuautzin	LSIntExtcct	12	31.25	0.78	1.50	47.73	10 YR 5/2	Pardo grisáceo	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	74.0	4.0	22.0	Migajón Arenosa
SMG-Cuautzin	LSIntExtcct	13	47.37	0.70	1.40	50.29	10 YR 5/3	Pardo	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	54.0	7.2	38.8	Arena Migajosa
SMG-Cuautzin	Pmacum	14	45.00	0.72	1.80	60.06	10 YR 4/3	Pardo	10 YR 2/1	Negro	52.0	6.0	42.0	Migajón Arenosa
SMG-Cuautzin	LSIntExtcct	19	36.36	0.72	1.40	48.64	10 YR 4/3	Pardo	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	74.0	6.0	20.0	Migajón Arenosa
SMG-Cuautzin	LMmflav	35	20.69	1.00	1.50	33.33	10 YR 5/3	Pardo	10 YR 3/1	Gris muy oscuro	63.2	11.2	25.6	Migajón Arenosa
SMG-Cuautzin	LSmflav	38	32.14	0.70	1.50	53.33	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	10 YR 2/1	Negro	67.6	5.2	27.2	Migajón Arenosa
SMG-Cuautzin	LSmflav	50	68.22	0.57	1.65	65.45	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	10 YR 2/1	Negro	48.0	2.8	49.2	Migajón Limoso
SMG-Cuautzin	Pmacum	72	16.60	0.79	2.34	57.69	10YR 3/3	Pardo oscuro	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	65	7.2	27.8	Migajón Arenosa
SMG-Cuautzin	Pmacum	64	25.29	1.01	2.47	59.11	10 YR 6/4	Pardo amarillento claro	10 YR 4/4	Pardo amarillento oscuro	66.0	10.4	23.6	Migajón Arenoso
SMG-Cuautzin	LMmflav	65	33.23	1.00	2.45	59.18	10 YR 6/4	Pardo amarillento claro	10 YR 3/4	Pardo amarillento oscuro	70.0	3.2	26.8	Arena Migajosa
SMG-Tláloc	LInfmFlav	20	41.18	0.76	1.60	52.63	10 YR 6/4	Pardo amarillento claro	10 YR 3/3	Pardo oscuro	66.0	10.0	24.0	Migajón Arenosa
SMG-Tláloc	LInfmFlav	21	50.00	0.70	1.50	53.27	10 YR 6/4	Pardo amarillento claro	10 YR 3/3	Pardo oscuro	66.0	6.0	28.0	Migajón Arenosa
SMG-Tláloc	LInfmFlav	22	53.85	0.54	1.40	61.29	10 YR 5/3	Pardo	10 YR 3/1	Gris muy oscuro	62.0	32.0	6.0	Franco arcillo arenosa
SMG-Tláloc	LSIntExtcct	23	61.00	0.64	1.30	50.85	10 YR 4/3	Pardo	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	90.0	4.0	6.0	Arenosa
SMG-Tláloc	LSIntExtcct	24	40.00	0.62	1.30	52.31	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	10YR 2/1	Negro	76.0	2.0	22.0	Migajón Arenosa
SMG-Tláloc	LSmflav	25	36.36	0.58	1.50	61.13	10 YR 5/2	Pardo grisáceo	10 YR 4/1	Gris oscuro	72.0	2.0	26.0	Migajón Arenosa
SMG-Tláloc	LSmflav	26	63.16	0.67	1.40	52.50	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	67.0	4.0	29.0	Migajón Arenosa
SMG-Tláloc	LSmflav	27	50.00	0.61	1.40	56.64	10 YR 5/2	Pardo grisáceo	10 YR 2/1	Negro	73.0	2.0	25.0	Arena Migajosa
SMG-Tláloc	LInfmFlav	28	48.00	0.72	1.40	48.43	10 YR 5/3	Pardo	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	81.0	2.0	17.0	Arena Migajosa
SMG-Tláloc	LInfmFlav	32	48.00	0.57	1.70	66.53	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	41.6	7.2	51.2	Migajón-limosa
SMG-Tláloc	LInfmFlav	48	39.80	0.76	2.00	62.00	10YR 5/4	Pardo amarillento	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	46.0	4.8	49.2	Migajón Arenosa

Continuación de la tabla 5.16

SGM	UAB	Sitios	H	DA	DR	Pr	Color				Partículas del Suelo			Clasificación textural
							Clave	Nombre	Clave	Nombre	Arenas	Arcilla	Limos	
%	- - g cm ⁻³ -	%												
SMG-Tlálloc	Pmacum	49	77.97	0.69	2.17	68.20	10 YR 3/3	Pardo oscuro	7.5 YR 3/2	Pardo oscuro	54.0	4.8	41.2	Migajón Arenosa
SMG-Tlálloc	LInfmFlav	45	14.29	0.80	1.51	47.02	10 YR 5/3	Pardo	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	61.0	4.0	35.0	Migajón Arenosa
SMG-Tlálloc	LInfmFlav	52	19.22	0.78	2.09	62.52	10 YR 5/4	Pardo amarillento	10 YR 3/1	Gris muy oscuro	54.0	6.8	39.2	Migajón Arenosa
SMG-Tlálloc	LMmflav	53	27.17	0.63	1.75	63.90	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	10 YR 2/1	Negro	58.0	6.8	35.2	Migajón Arenosa
SMG-Tlálloc	LSIntExtcct	54	37.62	0.70	2.00	65.00	10 YR 3/3	Pardo oscuro	10 YR 2/1	Negro	52.0	4.0	48.0	Migajón Arenosa
SMG-Tlálloc	LMmflav	55	34.96	0.76	2.04	62.75	10 YR 4/3	Pardo	10 YR 3/3	Pardo oscuro	66.0	3.2	30.8	Migajón Arenosa
SMG-Tlálloc	LSmflav	56	26.83	0.90	1.75	48.57	2,5 Y 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	10 YR 2/1	Negro	29.06	59.05	11.89	Franco limosa
SMG-Tlálloc	LMmflav	57	36.59	0.80	2.09	61.72	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	10 YR 2/1	Negro	23.67	58.39	17.94	Franco limosa
SMG-Tlálloc	LInfmFlav	59	15.78	0.68	1.88	63.83	10 YR 5/4	Pardo amarillento	10 YR 4/1	Gris oscuro	44.0	8.4	47.6	Migajón Limoso
SMG-Tlálloc	LInfmFlav	62	35.00	0.70	2.15	67.44	10 YR 4/4	Pardo amarillento oscuro	10 YR 4/1	Gris oscuro	48.0	4.8	47.2	Migajón Arenosa
SMG-Tlálloc	Pmacum	66	27.78	0.96	2.40	60.00	10 YR 5/4	Pardo amarillento	10 YR 4/4	Pardo amarillento oscuro	58.0	5.2	36.8	Migajón Arenosa
SMG-Tlálloc	Pmacum	67	16.86	1.10	2.47	55.47	10 YR 5/3	Pardo	10 YR 3/4	Pardo amarillento oscuro	56.0	7.2	36.8	Migajón Arenosa
SMG-Tlálloc	Pmacum	73	20.50	0.87	2.50	65.20	10 YR 5/3	Pardo	10 YR 3/3	Pardo oscuro	84.00	12.00	4.00	Arena Migajosa
SMG-Tlálloc	LInfmFlav	75	57.38	0.99	2.61	62.00	10 YR 5/3	Pardo	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	86.00	2.00	12.00	Arena Migajosa
SMG-Tlálloc	LMmflav	76	66.29	0.61	2.30	73.45	10 YR 4/2	Pardo amarillento oscuro	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	63.00	3.80	33.20	Migajón Arenosa
SMG-Tlálloc	LSmflav	77	59.71	0.46	1.19	61.40	10 YR 3/1	Gris muy oscuro	10 YR 2/1	Negro	61.00	34.20	4.80	Migajón Arenosa
SMG-Comalera	LSMinfLom	2	55.56	0.81	1.10	26.82	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	66.0	6.0	28.0	Migajón Arenosa
SMG-Comalera	Pmacum	3	38.46	0.65	1.30	50.23	10 YR 4/3	Pardo	10 YR 2/1	Negro	58.0	6.0	36.0	Migajón Arenosa
SMG-Comalera	LSMinfLom	15	32.00	1.00	1.50	33.33	10 YR 5/4	Pardo amarillento	10YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	76.0	2.0	22.0	Migajón Arenosa
SMG-Comalera	LSMinfLom	16	57.00	0.76	1.50	49.47	10 YR 4/3	Pardo	10 YR 2/2	Pardo muy oscuro	74.0	4.0	22.0	Migajón Arenosa
SMG-Comalera	Pmacum	17	55.00	0.67	1.60	58.13	10 YR 3/3	Pardo oscuro	10 YR 3/1	Gris muy oscuro	70.0	12.0	18.0	Migajón Arenosa
SMG-Comalera	LSMinfLom	18	41.00	0.66	1.40	52.93	10 YR 4/4	Pardo oscuro amarillento	10YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	80.0	2.0	18.0	Migajón Arenosa
SMG-Comalera	LSMinfLom	60	49.09	0.84	2.16	61.11	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	10 YR 3/1	Gris muy oscuro	64.0	3.2	32.8	Migajón Arenosa
SMG-Comalera	LSMinfLom	61	49.10	0.81	2.26	64.16	10 YR 5/3	Pardo	10 YR 2/1	Negro	64.0	2.8	33.2	Migajón Arenoso
SMG-Comalera	Pmacum	71	23.00	0.77	2.25	65.78	10YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	10YR 3/1	Gris muy oscuro	70.52	5.96	25.52	Migajón Arenosa
SMG-Comalera	LSMinfLom	63	27.17	0.75	2.00	62.50	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	10 YR 2/1	Negro	52.0	6.8	41.2	Migajón Arenosa
SMG-Chichinautzin	LInfmFlav	4	50.00	0.73	1.00	27.50	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	10 YR 3/1	Gris muy oscuro	62.0	2.0	36.0	Migajón Arenosa

Continuación de la tabla 5.16

SGM	UAB	Sitios	H	DA	DR	Pr	Color				Partículas del Suelo			Clasificación textural
							Clave	Nombre	Clave	Nombre	Arenas	Arcilla	Limos	
%	- - g cm ⁻³ -	%												
SMG-Chichinautzin	LMmflav	41	20.00	0.40	1.46	72.60	7.5 YR 4/2	Pardo	7.5 YR 3/2	Pardo oscuro	66.0	4.0	30.0	Migajón Arenosa
SMG-Chichinatzin	LInfmFlav	42	35.71	0.60	1.51	60.26	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	10 YR 2/1	Negro	50.0	12.0	38.0	Migajosa
SMG-Chichinatzin	LInfmFlav	47	15.00	0.66	1.41	53.19	10 YR 3/1	Gris muy oscuro	10 YR 3/4	Pardo amarillento oscuro	34.0	10.4	55.6	Migajón Limoso
SMG-Acusacayo	LMmflav	6	50.00	0.60	0.90	33.33	10 YR 3/3	Pardo oscuro	10 YR 3/1	Gris muy oscuro	76.0	2.0	22.0	Migajón Arenosa
SMG-Acusacayo	LMmflav	36	22.73	0.80	1.40	42.86	10 YR 3/4	Pardo amarillento oscuro	10 YR 2/1	Negro	50.0	7.2	42.8	Migajosa
SMG-Acusacayo	LMmflav	37	43.75	0.70	1.50	53.33	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	10 YR 2/1	Negro	58.0	8.0	34.0	Migajon-limosa
SMG-Acusacayo	LSIntExtcct	58	20.00	0.60	1.87	67.91	10 YR 4/3	Pardo	10 YR 3/1	Gris muy oscuro	52.0	3.2	44.8	Migajón Arenosa
SMG-Acusacayo	LInfmFlav	44	21.05	0.70	1.70	58.82	10 YR 5/3	Pardo	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	52.0	16.0	32.0	Migajón Arenosa
SMG-Ayaquemétl	LInfmFlav	29	26.32	0.67	1.10	38.73	10 YR 5/3	Pardo	10 YR 3/3	Pardo oscuro	62.0	10.0	28.0	Migajosa
SMG-Ayaquemétl	Pmacum	30	29.03	0.97	1.50	35.53	10 YR 6/6	Pardusco amarillento	10 YR 3/6	Pardo amarillo oscuro	54.0	11.0	35.0	Arena Migajosa
SMG-Ayaquemétl	LSIntExtcct	31	31.25	0.79	1.50	47.53	10 YR 5/4	Pardo amarillento	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	65.6	5.2	29.2	Migajón Arenosa
SMG-Ayaquemétl	LMmflav	46	12.12	0.70	1.65	57.58	10 YR 5/3	Pardo	10 YR 4/2	Pardo grisáceo muy oscuro	67.0	10.0	23.0	Migajón Arenosa
SMG-Acopiaxco	LSIntExtcct	39	28.57	0.80	1.50	46.67	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	10 YR 2/1	Negro	64.0	3.2	32.8	Areno-migajosa
SMG-Acopiaxco	LSmflav	40	13.79	1.10	1.80	38.89	7.5 YR 4/2	Pardo	7.5 YR 2.5/1	Negro	80.0	6.0	14.0	Arena-migajosa
SMG-Acopiaxco	LMmflav	68	40.68	1.05	2.48	57.66	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	10 YR 2/1	Negro	66.0	5.2	28.8	Migajón Arenosa
SMG-Acopiaxco	LSIntExtcct	69	76.49	0.86	1.80	52.22	10 YR 3/1	Gris muy oscuro	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	50.0	7.1	42.9	Migajón Arenosa
SMG-Acopiaxco	LSIntExtcct	70	47.87	0.69	1.45	52.41	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	10 YR 2/1	Negro	68.8	2.9	28.3	Migajón Arenosa
SMG-Otates	LInfmFlav	51	51.27	0.65	1.65	60.61	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	10 YR 3/1	Gris muy oscuro	62.0	8.4	29.6	Migajón Arenosa
SMG-Teuhtli	LSmflav	33	23.53	0.94	1.50	37.20	10 YR 6/6	Pardo amarillento	10 YR 4/3	Pardo	68.0	7.2	24.8	Areno-migajosa
SMG-Xochimilco	LInfmFlav	43	10.34	0.90	2.19	58.90	10 YR 5/4	Pardo amarillento	10 YR 4/3	Pardo	66.0	14.0	20.0	Migajón Arenosa
SMG-PlanTláhuac	Plaluinter	34	17.95	0.98	1.50	34.40	10 YR 6/4	Pardo amarillento claro	10 YR 4/2	Pardo amarillo oscuro	61.2	13.2	25.6	Migajón Arenosa
SMG-PlanTláhuac	Plaluinter	74	30.87	0.66	2.46	73.20	10 YR 5/3	Pardo	10 YR 3/3	Pardo oscuro	84.00	14.00	2.00	Arena Migajosa
SMG-PlanInter	Plaluinter	5	50.00	0.59	1.20	50.67	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	10 YR 2/1	Negro	54.0	2.0	44.0	Migajón Arenosa

NOTA: LSIntExtcct (Ladera superior interna y externa de cono cinerítico de tefra), LSmflav (Ladera superior de montaña de flujos lávicos), LMmflav (Ladera media de montaña de flujos lávicos),

LInfmflav (Ladera Inferior de montaña de flujos lávicos), LSMInflom (Ladera superior de montaña inferior de lomeríos), Pmacum (Piedemonte acumulativo).

SMG (Sistema morfológico), UAB (Unidad Ambiental Biofísica), H (Humedad), DA (Densidad aparente), DR (Densidad real), Pr (Porosidad).

Se ubican en las UAB de las laderas superiores, medias, e inferiores de montaña de flujos lávicos y en el piedemonte acumulativo del SMG-Teuhtli, en la planicie del SMG-Planicie de Tláhuac en las UAB de las laderas inferiores de montaña de flujos lávicos del SMG-Xochimilco, asimismo en las laderas medias e inferiores de montaña del SMG-Ayaquémétl.

Los intervalos de humedad medios se encuentran entre los 40% y los 60% se presenta en las UAB laderas medias e inferiores de montaña de flujos lávicos de los SMG-Tláloc, SMG-Cuautzin, SMG-Acusacayo, SMG-Acopiaxo, en el SMG-Chichinautzin y en el SMG-Planicie intermontana Cuautzin-Tláloc

Los porcentajes más elevados se encuentran de 61 a 78% los cuales se presentan en las UAB laderas superiores internas y externas de montaña de conos cineríticos de tefra de los SMG-Tláloc, SMG-Acopiaxo y en las UAB de laderas superiores de montaña de flujos lávicos del SMG-Acopiaxo y SMG-Chichinautzin.

Lo anterior está influido por el relieve y el clima, ya que a los 3,000 m la precipitación es superior a los 1,000 mm anuales. Por otra parte, los porcentajes más bajos de humedad en el área corresponden a las planicies, en ellas, las precipitaciones más bajas que se presentan en la zona lacustre van de los 650 a los 1,000 mm.

Porosidad. La porosidad para todas las unidades ambientales biofísicas (UAB) se presentó en rangos que van de los 18 a 39% y de 40 a 73% esto indica un buen nivel de porosidad, debido al origen volcánico de los suelos, además por los elevados contenidos de materia orgánica. Lo anterior se debe a que la densidad aparente que oscila de 0.5 a 0.8 g/cm³, significa que los suelos tienen una alta retención de humedad y altos contenidos de materia orgánica, dado por la cobertura vegetal. Sin embargo, donde la densidad aparente va de 0.9 g/cm³ a 1.0 g/cm³ los suelos presentan problemas de compactación provocada por el peso de la maquinaria que se emplea en los cultivos agrícolas.

Color: El color que predomina en la mayoría de las unidades es el pardo en seco y el pardo grisáceo oscuro en húmedo, lo anterior por los contenidos altos de materia orgánica que se presentan en las unidades. En las UAB de piedemonte acumulativo del SMG-Tláloc, predomina el color pardo amarillento por la presencia de depósitos piroclásticos. Los colores pardos se localizan en las laderas superiores, medias e inferiores de montaña de flujos lávicos de los SMG-Tláloc, SMG-Cuautzin y en el SMG La Comalera. Los colores pardos oscuros se

encuentran en las laderas superiores, medias e inferiores de flujos lávicos de montaña de los SMG-Chichinautzin y SMG-Acopiaco.

Textura. En todas las UAB la textura se clasificó como migajón arenosa donde predominan altos porcentajes de arenas que va de 24 a 90%. Los suelos son derivados de depósitos piroclásticos, en donde predominan los limos que van de 10 a 51%, esto se debe a los suelos poco evolucionados, estas se presentan en el área forestal principalmente de las UAB de laderas superiores y medias de montaña de flujos lávicos de los SMG-Tláloc, SMG-Cuautzin, SMG-Chichinautzin y SMG-Acopiaco.

Las que en menor cantidad se presentan son las arcillas que se encuentran sólo con el 2% al 12%, se observaron en áreas donde se han dado procesos de acumulación como en las UAB de piedemontes acumulativo y en las planicies acumulativas principalmente.

Propiedades químicas como indicadores de calidad de suelo. Los indicadores químicos propuestos se refieren a las condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo-planta, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas y microorganismos (Bautista, 2004). Algunos indicadores son la disponibilidad de nutrimentos, carbono orgánico, pH, capacidad de intercambio de cationes y cambios en la materia orgánica. Anexo En la **Tabla 5.17** se presentan los resultados obtenidos de las propiedades químicas de los suelos en Milpa Alta.

Materia Orgánica. La materia orgánica del suelo representa un sistema complejo de sustancias cuya dinámica es gobernada por el aporte de residuos orgánicos de diversa naturaleza y por la transformación continua a través de factores biológicos, químicos y físicos. La MO proporciona nitrógeno fósforo y azufre para el crecimiento de las plantas y sirve como fuente de energía para la microflora y microfauna del suelo, por lo que se considera uno de los mejores indicadores de calidad de suelo (Bohn *et al.*, 1993). Además, la MO protege al suelo contra la erosión, suministra sustancias para la formación de agregados, favorece la aireación y el movimiento del agua (Donahue *et al.*, 1988).

La materia orgánica se clasificó de acuerdo a Etchevers (1971) y los resultados obtenidos en laboratorio. Se presentaron unidades con el 1.2 a 3.9% como muy bajos; sitios con 4.1 a 5.9% como bajos; con porcentajes medios de 6.1 a 10.8%, altos porcentajes con rangos de 11.1 a 14.8% y por último porcentajes muy altos con rangos que van de los 16.6 al 20.3%. Lo anterior está relacionado con la cobertura vegetal y los usos del suelo. Es

importante mencionar que la agricultura es uno de los principales factores que influyen en esta propiedad del suelo, debido a las labores de laboreo que se realizan con la maquinaria agrícola, porque modifican la estructura del suelo.

Los porcentajes altos se presentan en los sitios ubicados en las UAB de laderas de superiores, medias e inferiores de los SMG-Tlálloc, SMG-Cuautzin, SMG-Acopiaco y SMG-Acusacayo, SMG-Comalera y los SMG-Otates, lo anterior se debe a las condiciones del bosque de pino, oyamel, aile y encino.

Los porcentajes medios de materia orgánica se localizan en las UAB de piedemonte acumulativo y en las laderas superiores, medias e inferiores del SMG-Teuhtli, y en la planicie intermontana del SMG-Planicie intermontana Cuautzin-Tlálloc y en la planicie del SMG-Planicie de Tláhuac, con usos de suelo agrícola, debido al empleo de abonos orgánicos y fertilizantes y una cobertura vegetal con una densidad baja, esto influye en la modificación de las propiedades del suelo ya que presentan una densidad aparente cercana a 1 g/cm^3 , lo que indica menor porosidad y una mayor compactación del suelo.

Los porcentajes bajos de materia orgánica se localizaron en las UAB de laderas medias e inferiores de montaña de flujos lávicos del SMG-Chichinautzin, donde la cobertura vegetal es escasa, formada básicamente por matorrales, por lo que el aporte de hojarasca al suelo es muy pobre, caracterizado por tener menos de 10 cm de espesor, donde su formación es *in situ* en las oquedades que se presentan en los afloramientos rocosos.

pH. Para el área de estudio el pH que se presenta es ligeramente ácido, debido a la cobertura vegetal de bosque mixto (pino, oyamel y encino). En las UAB unidades con uso de suelo agrícola el pH es ácido, por el alto contenido de materia orgánica, debido a la aplicación de abonos y fertilizantes, para el cultivo de nopal verdura.

El pH de 4.3 a 5.1 se localiza en las UAB de laderas superiores internas y externas de montaña de cono cinerítico de tefra del SMG-Tlálloc, SMG-Chichinautzin, SMG-Cuautzin y el SMG-Acopiaco. El pH de 5.1 a 5.8 se presentan en los sitios ubicados en las UAB de laderas de superiores, medias e inferiores de los SMG-Tlálloc, SMG-Cuautzin, SMG-Acopiaco y SMG-Acusacayo, SMG-Comalera y los SMG-Otates, lo anterior se debe a las condiciones del bosque de pino, oyamel, aile y encino, y a los altos contenidos de materia orgánica.

Los valores de pH de 5.8 a 7.0 se localizan en las UAB de piedemontes acumulativos y en las laderas superiores, medias e inferiores del SMG-Teuhtli.

Tabla 5.17 Propiedades químicas de los suelos de Milpa Alta

SMG	UAB	Sitios	pH		M.O.	C	Iones Intercambiables				CIC	Fósforo
			H ₂ O	NaF	%	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	-----meq/100g-----		
SMG-Cuautzin	LSIntExtect	1	6.78	11.26	9.22	5.35	28.8	4.0	2.0	1.10	31.80	2.49
SMG-Cuautzin	LSmflav	7	6.68	11.33	11.77	6.83	30.4	4.8	1.5	0.56	32.40	0.70
SMG-Cuautzin	LSIntExtect	8	6.79	11.48	10.84	6.29	21.6	0.8	1.5	0.51	36.00	0.66
SMG-Cuautzin	Plaluinter	9	6.79	11.38	8.57	4.97	17.6	0.6	1.3	0.38	32.40	0.38
SMG-Cuautzin	LSIntExtect	10	6.50	11.48	8.15	4.73	16.0	4.0	1.4	0.51	25.20	0.30
SMG-Cuautzin	LSIntExtect	11	6.81	11.23	9.60	5.57	30.4	4.8	1.8	1.10	31.80	0.85
SMG-Cuautzin	LSIntExtect	12	5.82	10.96	2.74	1.59	24.0	4.8	1.5	0.85	29.10	2.49
SMG-Cuautzin	LSIntExtect	13	6.67	11.12	9.43	5.47	40.0	3.2	2.6	1.51	36.60	0.71
SMG-Cuautzin	Pmacum	14	6.37	11.03	10.12	5.87	21.6	2.4	1.0	0.33	30.60	1.15
SMG-Cuautzin	LSIntExtect	19	6.23	11.02	9.77	5.67	24.0	9.6	1.9	1.08	29.40	1.93
SMG-Cuautzin	LMmflav	35	5.95	11.15	4.15	2.41	16.0	8.8	1.5	1.08	33.90	2.45
SMG-Cuautzin	LSmflav	38	5.25	11.40	10.21	5.92	29.6	4.0	1.3	0.74	30.00	1.28
SMG-Cuautzin	LSmflav	50	4.74	9.37	5.01	2.90	40.0	1.6	1.7	1.18	38.50	1.78
SMG-Cuautzin	Pmacum	72	5.03	8.71	6.88	3.99	20.25	3.45	0.99	0.31	26	1.78
SMG-Cuautzin	Pmacum	64	5.90	9.81	3.51	2.04	20.8	20.8	1.6	1.38	16.53	0.78
SMG-Cuautzin	LMmflav	65	5.89	10.93	3.03	1.76	14.40	2.4	0.9	0.64	18.15	0.94
SMG-Tláloc	LInfmflav	20	6.93	10.48	6.69	3.88	20.0	9.6	3.6	2.77	28.80	1.08
SMG-Tláloc	LInfmflav	21	6.70	11.11	7.91	4.59	27.2	7.2	2.0	1.79	28.80	6.60
SMG-Tláloc	LInfmflav	22	6.23	10.41	13.18	7.64	22.4	6.4	1.3	0.95	31.50	2.58
SMG-Tláloc	LSIntExtect	23	6.67	11.46	9.72	5.64	20.0	6.4	1.4	0.56	28.20	0.75
SMG-Tláloc	LSIntExtect	24	5.70	11.21	14.66	8.50	24.8	10.4	2.0	1.72	43.80	1.28
SMG-Tláloc	LSmflav	25	6.42	11.18	9.22	5.35	14.4	4.0	0.9	0.56	22.50	0.70
SMG-Tláloc	LSmflav	26	6.63	11.30	9.88	5.73	21.6	2.4	1.3	0.95	29.40	0.09
SMG-Tláloc	LSmflav	27	6.27	11.12	12.85	7.45	20.8	2.4	1.3	0.95	28.80	0.70
SMG-Tláloc	LInfmflav	28	6.62	10.92	10.71	6.21	32.0	8.0	2.0	1.38	38.40	0.78
SMG-Tláloc	LInfmflav	32	6.34	9.75	14.00	8.12	52.8	11.2	2.9	2.13	48.60	3.95
SMG-Tláloc	LInfmflav	48	5.70	10.53	3.95	2.29	36.8	2.4	2.2	2.00	38.50	4.30
SMG-Tláloc	Pmacum	49	5.51	10.93	4.09	2.37	20.0	5.6	1.3	0.85	33.00	1.75
SMG-Tláloc	LInfmflav	45	6.80	10.97	13.64	7.93	20.0	4.0	0.8	0.44	30.90	1.08
SMG-Tláloc	LInfmflav	52	6.27	11.84	2.90	1.68	34.4	0.0	1.5	0.95	29.70	1.50
SMG-Tláloc	LMmflav	53	5.59	11.18	14.83	8.60	76.8	5.6	1.5	0.85	35.10	0.80
SMG-Tláloc	LSIntExtect	54	5.69	11.05	3.95	2.29	20.0	0.8	1.3	0.64	28.49	0.83
SMG-Tláloc	LMmflav	55	6.65	10.43	5.53	3.21	84.0	10.4	1.9	1.38	47.00	3.13
SMG-Tláloc	LSmflav	56	5.43	8.74	11.39	6.60	12.4	2.6	0.4	0.4	26.25	1.82
SMG-Tláloc	LMmflav	57	5.54	8.59	10.01	5.80	17.6	5.9	1.7	0.2	45.45	3.82
SMG-Tláloc	LInfmflav	59	5.44	10.47	4.74	2.75	28.0	8.0	1.7	1.41	32.12	3.10
SMG-Tláloc	LInfmflav	62	5.59	11.01	3.69	2.14	21.6	6.4	0.9	0.54	22.11	3.60
SMG-Tláloc	Pmacum	66	6.95	9.56	5.01	2.90	40.80	10.4	0.0	0.00	26.29	15.29
SMG-Tláloc	Pmacum	67	6.10	9.71	4.78	2.77	24.00	20.0	1.8	1.67	20.80	0.78
SMG-Tláloc	Pmacum	73	6.62	9.88	1.20	0.69	14.85	3.85	2.50	1.12	13.12	3.10
SMG-Tláloc	LInfmflav	75	6.77	7.93	1.33	0.77	7.15	4.95	2.71	1.12	19.55	15.29

Continuación de la tabla 5.17

SMG	UAB	Sitios	pH		M.O.	C	Iones Intercambiables				CIC	Fósforo
			H ₂ O	NaF	%	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na+	K+	-----meq/100g-----		
SMG-Tlálloc	LMmflav	76	6.53	8.46	7.97	4.62	15.68	4.13	1.63	0.53	35.08	3.82
SMG-Tlálloc	LSmflav	77	5.41	10.57	20.335	14.42	19.8	5.15	1.77	0.555	57.2	3.10
SMG-Comalera	LSMinfLom	2	6.21	11.33	8.24	4.78	20.8	7.2	1.5	0.64	30.00	0.98
SMG-Comalera	Pmacum	3	6.75	11.24	9.72	5.64	22.4	4.8	1.5	0.56	34.20	0.58
SMG-Comalera	LSMinfLom	15	6.95	10.91	5.44	3.15	27.2	1.6	2.4	1.41	28.20	4.78
SMG-Comalera	LSMinfLom	16	6.55	11.06	7.03	4.08	21.6	4.0	1.7	0.74	26.70	3.24
SMG-Comalera	Pmacum	17	6.52	11.08	11.14	6.46	27.2	4.8	1.4	0.56	32.10	0.83
SMG-Comalera	LSMinfLom	18	6.20	11.18	6.86	3.98	28.8	12.0	1.9	1.08	35.40	3.18
SMG-Comalera	LSMinfLom	60	5.44	10.38	3.76	2.18	25.6	8.0	1.4	1.10	28.38	3.88
SMG-Comalera	LSMinfLom	61	5.89	10.87	3.23	1.87	28.0	4.8	0.9	0.64	23.65	3.30
SMG-Comalera	Pmacum	71	5.37	8.55	16.61	9.63	39	13.5	0.93	0.47	29.9	2.63
SMG-Comalera	LSMinfLom	63	5.25	10.63	4.61	2.68	24.0	8.0	0.9	0.54	25.08	3.25
SMG-Chichinautzin	LInfmflav	4	6.75	11.39	11.60	6.73	16.8	1.6	1.7	0.64	18.67	1.33
SMG-Chichinautzin	LMmflav	41	6.49	8.77	6.05	3.52	48.8	6.4	1.5	1.03	36.60	0.85
SMG-Chichinautzin	LInfmflav	42	6.09	10.95	12.00	6.98	20.0	5.6	1.3	0.85	30.60	2.63
SMG-Chichinautzin	LInfmflav	47	4.18	10.73	6.38	3.71	20.8	7.2	0.8	0.38	19.80	3.03
SMG-Acusacayo	LMmflav	6	5.08	11.11	12.10	7.02	28.0	1.6	1.5	0.46	35.10	0.98
SMG-Acusacayo	LMmflav	36	5.27	11.20	11.53	6.69	31.2	12.0	1.1	0.85	43.20	1.50
SMG-Acusacayo	LMmflav	37	5.54	10.98	11.20	6.50	32.0	12.0	1.7	1.23	40.20	1.26
SMG-Acusacayo	LSIntExtect	58	5.25	10.13	5.80	3.36	40.8	2.4	1.7	1.38	33.99	6.30
SMG-Acusacayo	LInfmflav	44	6.02	11.03	13.97	8.12	16.0	4.0	1.0	0.56	26.40	2.84
SMG-Ayaquémel	LInfmflav	29	5.90	9.51	10.21	5.92	23.2	8.0	1.3	0.95	30.30	0.94
SMG-Ayaquémel	Pmacum	30	6.45	10.31	2.77	1.61	28.0	8.0	3.1	2.33	30.60	0.85
SMG-Ayaquémel	LSIntExtect	31	6.97	11.33	7.91	4.59	35.2	9.6	1.9	1.67	46.20	0.74
SMG-Ayaquémel	LMmflav	46	6.74	10.19	8.22	4.78	22.4	3.2	1.3	0.95	22.80	1.50
SMG-Acopiaxco	LSIntExtect	39	5.14	11.36	9.55	5.54	20.8	4.0	0.8	0.51	32.40	3.53
SMG-Acopiaxco	LSmflav	40	6.93	11.19	3.94	2.29	9.6	4.0	0.7	0.33	17.07	3.38
SMG-Acopiaxco	LMmflav	68	5.16	10.94	4.61	2.68	13.60	4.0	0.6	0.23	16.80	1.79
SMG-Acopiaxco	LSIntExtect	69	6.53	11.48	5.73	3.33	17.60	0.8	1.0	0.69	30.60	3.10
SMG-Acopiaxco	LSIntExtect	70	5.41	11.35	14.33	8.31	28.80	4.0	1.4	1.15	32.40	0.78
SMG-Otates	LInfmflav	51	5.15	10.39	5.93	3.44	36.8	4.8	1.3	0.69	33.00	1.78
SMG-Teuhtli	LSmflav	33	7.08	10.80	2.90	1.68	28.8	17.6	18.7	7.15	31.20	6.56
SMG-Xochimilco	LInfmflav	43	6.46	9.80	4.93	2.87	20.0	7.2	2.0	1.77	25.20	0.74
SMG-PlanTláhuac	Plaluinter	34	5.60	9.19	3.10	1.80	24.0	9.6	3.3	2.44	30.60	3.45
SMG-PlanTláhuac	Plaluinter	74	6.91	9.39	5.37	3.11	17.05	8.25	2.99	2.56	12.00	3.45
SMG-PlanInter	Plaluinter	5	6.22	11.19	13.53	7.85	29.6	5.6	2.4	1.33	37.20	2.35

NOTA: LSIntExtect (Ladera superior interna y externa de cono cinerítico de tefra, LSmflav (Ladera superior de montaña de flujos lávicos), LMmflav (Ladera media de montaña de flujos lávicos), LInfmflav (Ladera Inferior de montaña de flujos lávicos), LSMinfLom (Ladera superior de montaña inferior de lomeríos), Pmacum (Piedemonte acumulativo).

Asimismo, en la planicie intermontana del SMG-Planicie intermontana Cuautzin-Tlálóc y en la planicie del SMG-Planicie de Tláhuac, con usos de suelo agrícola, debido al empleo de abonos orgánicos y fertilizantes y una cobertura vegetal con una densidad baja, esto influye en la modificación de las propiedades del suelo ya que presentan una densidad aparente cercana a 1 g/cm^3 , lo que indica menor porosidad y una mayor compactación del suelo.

La *capacidad de intercambio catiónico* es la única propiedad de intercambio que parece tener importancia para ser usada como indicador de diferenciación en la categorización de suelos (FitzPatrick, 1993).

Esta propiedad es una medida de capacidad de intercambio o cargas negativas de las arcillas constituyentes, el alófono y el humus, expresada como miligramos equivalentes por kg^{-1} del suelo (FitzPatrick, 1993). En el área de estudio la CIC se presenta de 17.1 a 57.2 meq/100g de suelos, lo que indica que los suelos en general son de buena calidad para que se realicen las actividades forestales y agrícolas.

En el área de estudio los iones intercambiables se encuentran presentes en el orden de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ . El alto contenido de Ca^{2+} indica un pH casi neutro, deseable para la mayoría de los vegetales y microorganismos. El calcio es un ión nutriente esencial y solo en raras ocasiones los suelos tienen deficiencias en Ca^{2+} . El Mg^{2+} es el segundo catión intercambiable más abundante en los suelos y es un constituyente importante de muchos minerales aluminosilicatos primarios y secundarios (con excepción de los feldespatos).

A menudo, el magnesio de los minerales *máficos* (ricos en Mg^{2+} y Fe^{2+}), conduce a la formación de cloritas y montmorillonitas. Con respecto al potasio es el tercer elemento fertilizante más importante después del nitrógeno y el fósforo. El sodio, es de interés químico para el suelo cuando se presenta en exceso, pero no es el caso para el área de estudio.

Los suelos presentaron una buena calidad para todas las UAB, esto coincide con las entrevistas realizadas a los productores, ya que ellos comentaron sobre suelos que “las áreas mejor conservadas con suelos se encuentran en los bosques y en las áreas agrícolas”, sin embargo mencionaron que se presentan problemas de erosión sobre todo en las zonas agrícolas.

5.3.1.7. Indicador de demanda de agua

Las principales fuentes de agua potable son los pozos profundos ubicados en la porción baja del área de estudio (zona de descarga). Por medio de sistemas de bombeo se hace llegar a la parte alta, media y baja de la delegación (GDF, 2007).

La delegación sólo cuenta con un manantial (Tulmiac), de donde se obtiene agua potable que abastece al pueblo de Parres de la delegación Tlalpan. El agua de este manantial los pobladores de Milpa Alta la usan para el consumo de ganado ovino. Existen problemas serios con el abastecimiento de agua, ya que sólo reciben agua de 3 o 4 días a la semana, y no existe infraestructura para la captación de agua.

En la **Tabla 5.18** se presenta la cantidad de pozos que se encuentran dentro del área de estudio y los gastos en l/s de cada uno de ellos, a pesar de la gran cantidad de agua que se extrae, la población no recibe beneficios ni económico ni de abastecimiento de agua. Milpa Alta tiene un abasto de agua que depende de dos sistemas de pozos profundos, uno ubicado en las UAB de planicies acumulativas del SMG-PlanTláhuac donde se ubica el poblado de San Antonio Tecómitl y el otro en las UAB piedemonte acumulativo del SMG-Tláloc donde de encuentra en el poblado de San Francisco Tecoxpa. Otra fuente de abasto es la red del acueducto Chalco-Xochimilco (DGCO, 1999).

En cuanto a la disposición o frecuencia de recepción del líquido por día, también Milpa Alta ocupa los niveles más bajos de todo el Distrito Federal. Solamente el 53.9% de sus viviendas, la reciben diariamente, pero solamente el 30.7% durante todo el día, mientras que el 61.8% sólo en parte del día. De ahí, el 22.8% la recibe cada tercer día y un 21.1% con un nivel de frecuencia muy bajo que va de dos a tres veces por semana.

Lo anterior se ratifica con las entrevistas que se llevaron a cabo ya que los entrevistados coincidieron en que la delegación cuenta con un manantial conocido como Tulmiac, de donde se obtiene agua potable que abastece al pueblo de Parres de la delegación Tlalpan. También mencionaron que los pobladores de Milpa Alta usan el agua de este manantial para el consumo de ganado ovino. Con respecto al abastecimiento de agua los entrevistados coincidieron en que existen problemas serios, ya que solo reciben agua de 3 a 4 días a la semana, y no existe infraestructura para la captación de agua de lluvia.

Por otra parte, los productores entrevistado manifestaron que la población no obtiene ningún beneficio económico del agua que se filtra dentro de la delegación; asimismo, es una

de las principales abastecedora de agua potable para la Ciudad de México, y esto genera que los habitantes sólo reciban agua de dos a tres veces a la semana.

Tabla 5.18 Fuentes de agua potable.

Núm de pozo	Gasto en litros por segundo
Pozo Tecómitl No. 8	40
Pozo R-18	48
Pozo R-19	19
Pozo R-21	4
Pozo R-22	41
Pozo R-24	25
Pozo R-25	30
Pozo R-26	66
Pozo R-28	46
Pozo San Juan Tepenáhuac	46
Pozo San Pedro Atocpan	40

5.3.2. Indicadores sociales y económicos de estado

Los indicadores sociales y económicos que consideraron son: indicador de población total, indicadores de alfabetos y analfabetos, indicadores de derecho y no derecho a servicios de salud población económicamente activa y como indicadores económicos los sistemas de producción, diversidad de cultivos, rendimientos, áreas de producción, valor de la producción.

5.3.2.1. Indicador de crecimiento de la población

La zona ocupada por los poblados rurales abarca una extensión de 1,445 ha, en nueve poblaciones, que conforman los asentamientos de la delegación. En la Tabla 5.19 se presenta información del crecimiento de la población de las delegaciones aledañas a Milpa Alta y con el Distrito Federal.

La mayor parte de la población se concentra en nueve localidades, aproximadamente el 93.8% de la población, el resto se establece en 162 localidades que tienen entre 1 a 56 viviendas que representa el 6.2% de la población de Milpa Alta (INEGI, 2001).

Tabla 5.19 Crecimiento de la población de 1950 a 2000

Delegación	Años						
	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000
Milpa Alta	18,212	24,379	33,694	53,616	63,654	81,102	96,773
Tláhuac	19,511	29,880	62,419	146,923	206,700	255,891	302,790
Tlalpan	32,767	61,195	130,719	368,974	484,866	552,516	581,781
Xochimilco	47,082	70,381	116,493	217,481	271,151	332,314	369,787
Distrito Federal	3'050,442	4'870,876	6'874,165	8'831,079	8'235,744	8'489,007	8'605,239

Fuente: INEGI, Cuadernos Delegacionales, 2001.

En la **Tabla 5.20** se presentan datos sobre el crecimiento de la población de las localidades que integran la delegación. Los pueblos con una mayor cantidad de habitantes en 1970 son en primer lugar Villa Milpa Alta (a la cual se integran los pueblos de San Agustín Othenco, San Jerónimo Miacatlán y San Francisco Tecoxpa) que representaba 32.7% del total de la población de la delegación, seguido de San Antonio Tecómitl con el 16.1%, Santa Ana Tlacotenco con el 12.1% y San San Pablo Oztotepec con el 12.0%. Las localidades con menor población para el mismo año son: San Bartolomé Xicomulco que representaba en porcentaje del total de la delegación apenas el 2.0% y San Francisco Tecoxpa con el 3.1% del total de la delegación.

Para el año 2000 el poblado de San Antonio Tecómitl presenta una mayor cantidad de población ya que pasó de 5,419 en 1970 a los 18,931 habitantes en el año 2000, lo que significa que en treinta años triplicó su población. Este crecimiento se debe a los límites que este poblado tiene con las delegaciones de Xochimilco y Tláhuac, las cuales han presentado un crecimiento más acelerado de su población y además a tipo de tenencia de la tierra que es ejidal y que permite a los campesinos vender sus terrenos.

5.3.2.2. *Indicador de alfabetismo y analfabetismo*

Con respecto a este indicador se observa para el año de 2000 una población de 15 años y más, que es alfabeto, con 60,325 personas, esto representa el 62.3% del total de la población de la delegación. La población de 15 años y más, que son analfabetas está constituida por 4,562 personas, apenas el 3.68% de la población total.

Tabla 5.20 Población de las localidades de Milpa Alta (1970 y 2000).

Localidad	Población en 1970	%	Población en 2000	%
Villa Milpa Alta	11,014.0	32.7	16,536.0	17.1
San Antonio Tecomitl	5,419.0	16.1	18,931.0	19.6
San Bartolomé Xicomulco	689.0	2.0	3,423.0	3.5
San Francisco Tecoxpa	1,040.0	3.1	8,549.0	8.8
San Pablo Oztotepec	4,054.0	12.0	11,932.0	12.3
San Pedro Atocpan	3,596.0	10.7	8,575.0	8.9
San Salvador Cuauhtenco	2,351.0	7.0	10,323.0	10.7
Santa Ana Tlacotenco	4,069.0	12.1	9,130.0	9.4
San Lorenzo Tlacoyucan	1,462.0	4.3	3,373.0	3.5
Otras localidades			6,001.0	6.2
Total	33,694.0	100.0	96,773.0	100.0

Fuente: INEGI, 1970 y 2000.

Esto significa que la mayoría de la población ha recibido alguna vez una instrucción de alfabetización. Con respecto a la alfabetización se tiene que San Antonio Tecómitl es el poblado que concentra la mayor cantidad de población de más de 15 años que es alfabeto, con 12,139 personas y 473 personas que son alfabetas. Villa Milpa Alta también concentra un mayor número de personas alfabetas con 10,635. Lo anterior se debe a que son los dos poblados que presentaron una mayor cantidad de población a nivel delegación (**Tabla 5.21**).

5.3.2.3. *Indicador de población con derecho y sin derecho a los servicios de salud*

De acuerdo a los resultados del Censo del 2000, con respecto a los servicios de salud a que tienen derecho los habitantes, de la población total de la delegación se tiene que solo 32,813 personas tiene derecho a los servicios de salud lo que representa el 33.9%, mientras que 62,490 habitantes o sea el 64.5% de la población no tiene derecho o no cuenta con los servicios de salud.

Tabla 5.21 Indicador de población alfabeta y analfabeta de los poblados de Milpa Alta.

Localidad	Población de 15 años y más alfabeta	Población de 15 años y más analfabeta
Villa Milpa Alta	10,635	671
San Antonio Tecomitl	12,139	473
San Bartolome Xicomulco	2,186	100
San Francisco Tecoxpa	5,218	336
San Pablo Oztotepec	7,524	326
San Pedro Atocpan	5,322	360
San Salvador Cuauhtenco	6,264	303
Santa Ana Tlacotenco	5,626	484
San Lorenzo Tlacoyucan	2,093	196
Otras localidades	3,318	313
Total	60,325	3,562

Fuente: INEGI, 2000

Con respecto a las personas que están inscritas a instituciones de seguridad social, se tiene que 13,075 personas, que representan el 13.5% del total de la población de la delegación, pertenecen o son derechohabientes al IMSS y la población derechohabiente al ISSSTE es de 18,998 que representa el 19.6%.

Esto indica que falta integrar a una gran cantidad de población a algún servicio de salud, a pesar de que existen centros de salud de apoyo a la comunidad. En la **Tabla 5.22** se observa que la que más población tiene con apoyo en salud es Villa Milpa Alta, San Antonio Tecómitl y San Pedro Atocpan.

Es importante mencionar que la población económicamente activa en la mayoría de la población se dedica a las actividades terciarias y primarias, esto influye en la cantidad de personas que están inscritas a los servicios de salud, ya que existe una mayor población sin derechos a servicios de salud, los cuales acuden a las clínicas de Salubridad, del Gobierno del Distrito Federal y consultorios particulares, que existen en el área de la delegación. La delegación posee un solo hospital general, en las afueras de la cabecera de la demarcación, éste depende de la Secretaría de Salud del Distrito Federal (SS-DF). Además, hay varios centros de salud, también administrados por la Secretaría de Salud del D.F. a través de la Jurisdicción Sanitaria de Milpa Alta.

Tabla 5.22. Población con derecho y sin derecho a los servicios de salud, Milpa Alta.

Localidad	Población sin derecho al servicio de salud	Población derechohabiente a servicio de salud	Población derechohabiente al IMSS	Población derechohabiente al ISSSTE
Villa Milpa Alta	11,971.00	4,332.00	960.00	3,328.00
San Antonio Tecomilt	10,287.00	8,410.00	4,181.00	3,972.00
San Bartolome Xicomulco	1,905.00	1,436.00	733.00	692.00
San Francisco Tecoxpa	5,522.00	2,908.00	522.00	2,355.00
San Pablo Oztotepec	6,839.00	4,930.00	2,675.00	2,141.00
San Pedro Atocepan	7,474.00	979.00	453.00	503.00
San Salvador Cuauhtenco	5,770.00	4,306.00	2,097.00	2,041.00
Santa Ana Tlacotenco	5,586.00	3,473.00	580.00	2,857.00
San Lorenzo Tlacoyucan	2,710.00	621.00	116.00	489.00
Otras localidades	4,426.00	1,418.00	758.00	620.00
Total	62,490.00	32,813.00	13,075.00	18,998.00

Fuente: INEGI, 2000

5.3.2.4. Tenencia de la Tierra

La superficie de la delegación Milpa Alta está considerada en su totalidad como Suelo de Conservación. Su superficie abarca una extensión total de 28,464 hectáreas (ARDF; 1995-2000), de las cuales solamente 1,496. ha (5.26%) son ocupadas para uso urbano de sus 12 localidades.

La situación agraria y su proceso de conformación ha contribuido de manera muy importante en la productividad agropecuaria y en el aprovechamiento de los recursos naturales de Milpa Alta. La mayor parte de la delegación está bajo régimen de tenencia comunal. Aunque, como en el resto del país, todavía existen una serie de litigios históricos que están en proceso de definición para que se regule la situación jurídica. Conforme a la serie de resoluciones otorgadas por la autoridad agraria, el desglose de la superficie por tipo de tenencia y conflictiva en Milpa Alta como se puede observar en la **Tabla 5. 23**.

La tenencia de la tierra en la delegación es predominantemente comunal 24,857 hectárea, la zona ejidal se estima en 1,790 ha. y la propiedad privada en 1,728 ha., situadas al oriente de la delegación; el régimen comunal se presenta aún en los cascos urbanos de los poblados. En términos porcentuales la tenencia del suelo se distribuye de la siguiente manera: La tierra ejidal y comunal asciende a 26,647-87-92 hectáreas (**Tabla 5.24**).

Tabla 5.23. Superficie comunal y su situación agraria de Milpa Alta

Situación Jurídica Agraria	Hectáreas
Terreno comunal	
1. Decreto 1952*	17,948-00-00
2. Bajo conflicto con San Salvador Cuauhtenco**	6,057-88-00
3. En conflicto con Tlanepantla (pendiente)	1,097-40-00
<i>Total de terrenos comunales</i>	<i>25,099-28-00</i>
Terrenos ejidales	
4. Con 5 núcleos agrarios con derechos otorgados	1,795-15-00

* Según Diario Oficial de la Federación del 17 octubre de 1952.

Plano Proyecto de confirmación de terrenos comunales aprobado por el Cuerpo Consultivo Agrario el 18 de marzo de 1952. INEGI; 2000 (a).

Los entrevistados coinciden en el tipo de tenencia de la tierra que es principalmente comunal para toda la delegación y que en este momento no existen problemas de reparto de tierra, sin embargo, algunos expresaron el problema con el pueblo de San Salvador Cuauhtenco, desde hace 70 años.

Tabla 5.24. Tenencia de la tierra de régimen social

Tierras comunales	Superficie
1. Milpa Alta	17,944-00-00
*Pequeña propiedad	7,948-00-00
*Zona boscosa	9,996-00-00
2. San Salvador Cuauhtenco	6,913-60-00
* Pequeña propiedad	1,800-00-00
* Zona boscosa	5,133-60-00
Total 1 y 2	24,857-60-00
Ejidos	
* San Francisco Tecoxpa	82-16-81
* San Antonio Tecómitl	1,275-94-92
* San Jerónimo Miacatlán	59-50-05
* San Juan Tepenáhuac	27-49-99
* Santa Ana Tlacotenco	345-18-15
T o t a l	1,790-29-92

Fuente: Secretaría de la Reforma Agraria.

Por otra parte el Sr. Julián Flores Aguilar Representante de Bienes Comunales de Milpa Alta, mencionó con respecto a la tenencia de la tierra que “existe un conflicto desde 1555 y en 1713 hubo un reclamo de terrenos de la cual hubo una resolución en 1974, pero no hay acuerdos y existen fuertes conflictos con el pueblo de San Salvador Cuautenco”.

5.4. Indicadores de respuesta

5.4.1 Instituciones para apoyar las actividades rurales y de conservación de recursos naturales

Las instituciones gubernamentales con injerencia en el área de estudio se han concretado en la operación de programas con objetivos, metas y líneas de trabajo específicos, enmarcadas dentro de una forma particular de ver la problemática de la delegación Milpa Alta. Se encuentran una gran cantidad de instituciones que trabajan en la zona, desde las gubernamentales (Delegación, Gobierno del Distrito Federal y de la Federación), llámese estatales como universidades, institutos, centros de investigación, y otras como las no gubernamentales, asociaciones civiles, etc, que van enfocadas hacia la conservación de los recursos naturales.

No se pretende hacer una revisión minuciosa de todas las instituciones que trabajan en el área de estudio, sino de las instituciones que mayor injerencia tienen como indicadores de respuesta, en este caso, para los productores de Milpa Alta.

Por lo anterior, se hace referencia a tres instituciones con injerencia central en la zona: la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) mediante el Distrito de Desarrollo Rural 042, la Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales, (CORENA) dependiente de la Secretaría de Medio Ambiente (SMA) del Gobierno del Distrito Federal y la Delegación Milpa Alta.

1) La SAGARPA ejecuta los Programas de Alianza para el Campo (APC), se operan cinco subprogramas: Programa de Apoyo a los Proyectos de Inversión Rural (PAPIR), Program de Desarrollo de Capacidades (PRODESCA), Programa de Fortalecimiento de Empresas y Organización Rural (PROMEFOR), PROCAMPO-subsidios al maíz y el Programa de Diesel Agropecuario.

En la delegación Milpa se han establecido programas con la finalidad de incentivar las actividades agrícolas y de arraigar al campesino a su lugar de origen, tal es el caso del programa Procampo y Alianza para el Campo, pero los campesinos durante las entrevistas

mencionaron que “los recursos económicos no llegan a tiempo para realizar sus actividades agropecuarias, y además por los tramites burocráticos, un campesino dijo que el prefiere sembrar y no perder el tiempo en trámites administrativos”.

2) *Comisión de Recursos Naturales (CORENA)*. Ante la problemática del campo del área rural del Distrito Federal, el gobierno creó diversas instituciones para promover el desarrollo rural circundante a la capital, para ello estableció lo que antes era la Coordinación para el Desarrollo Agropecuario (COCODA) que más tarde se convirtió en la Comisión Coordinadora de Desarrollo Rural (COCODER), después se llamó CORENA, CORENADER y actualmente es la dirección General de la CORENA, sin desarrollo rural.

Para la conservación de los recursos naturales la COCODER crearon los programas siguientes: conservación de suelo y agua (construcción de represas y ollas de agua); reforestación y establecimiento de áreas naturales protegidas; y para apoyar el desarrollo rural se establecieron los programas de asistencia técnica, mecanización, créditos, organización campesina, aparcerías, paquetes de especies menores, y control y vigilancia de asentamientos humanos irregulares. A pesar de los programas establecidos por esta institución se intensificaron los problemas de la pérdida de rentabilidad de los cultivos mercado extraformal de tierras ejidales y de comuneros con miras a la urbanización

Actualmente la CORENA para cumplir sus objetivos se diseñaron programas de apoyo a actividades productivas bajo un enfoque de cuidado de los recursos naturales, resaltando el Fondo Comunitario para el Desarrollo Rural Equitativo y Sustentable (FOCOMDES) y el Programa Integral de Empleo Productivo y Sustentable (PIEPS), por la cantidad de recursos con los que cuenta, por la estrategia de pretender implantar y por la demanda que ha generado en los productores para acercarse a ellos.

Programa de Prevención y combate de incendios. Esta institución ha implementado diversos programas, que cuentan con brigadas, infraestructura y brechas cortafuego construidas en lugares estratégicos. La Comisión de Recursos Naturales, institución encargada de llevar a cabo la protección de recursos naturales en la delegación Milpa Alta cuenta con brigadas comunitarias, que cuentan con camionetas para la supervisión, infraestructura como brechas cortafuego, caminos primarios y secundarios, el problema de los incendios no radica en al infraestructura, equipo y personal, sino en la búsqueda de alternativas técnicas para los productores de ovinos, así como la aplicación de acuerdos internos, normas legales y

promoción de la cultura forestal.

3) *Delegación Milpa Alta*. La delegación a través de la Dirección de Ecología lleva acabo los Programas de Recuperación del Suelo de Conservación, a partir de la conservación de barrancas y proyectos de reconversión productiva; programa para controlar y combatir incendios forestales; programa de rescate y mantenimiento de barrancas; programa de forestación y reforestación, programa de conservación y manejo sustentable de recursos naturales y programa de reestructuración y restitución de la flora y fauna.

Programa integral de fortalecimiento agrario. Como parte de las acciones de recuperación, control y la generación de alternativas de solución en los suelos de conservación del Distrito Federal, la Secretaría de Gobierno participa de manera activa en el Consejo para el Desarrollo Sustentable del Suelo de Conservación, Áreas Naturales Protegidas y Zonas Rurales. El Consejo propicia la coordinación interinstitucional, realiza diagnósticos y valoraciones sociales y políticas; interviene en el manejo de conflictos con los grupos involucrados; coadyuva en el diseño de estrategias de desarrollo urbano, de atención, solución y su instrumentación; y se participa de manera directa en la planeación y ejecución de operativos de desalojo y/o contención de zonas de conservación.

Apoyo al campo en la delegación Milpa Alta. El contacto entre el campo y la ciudad en torno a la Ciudad de México se remonta a la relación tributaria entre los pueblos aledaños y el imperio azteca, mas tarde, en periodos históricos como la colonia, la independencia, las intervenciones extranjeras, época Juarista, el Porfiriato y la Revolución, la articulación entre el campo y la ciudad mantuvo un carácter de subordinación, pero a la vez en términos políticos los sujetos sociales rurales siempre tuvieron una relativa importancia en lo que toca al dominio político de la región.

En los años noventas, hubo cambios en la relación campo-ciudad. Por una parte, los servicios, productos y mercados brindados por los habitantes rurales la ciudad se desvalorizó brutal y rápidamente debido a la entrada de mercancía importada, asimismo la apertura externa agravo las tendencias a incrementar el desempleo y la informalización de la economía. Ante esta situación los habitantes rurales del Distrito Federal respondieron mediante una mayor diversificación económica, una mejor inserción laboral en el sector informal de servicios y una participación más activa en el comercio informal de las tierras del sector social.

Programa de Alianza para el Campo. Para apoyar a los productores rurales del Distrito Federal se han establecido programas como el de *Alianza para el Campo*, que es una Alianza entre los productores, entre las autoridades locales y entre el Gobierno de la República. Con la Alianza para el Campo se apoya a los productores para que aumenten su producción, su productividad, con mejores sistemas de producción, de riego, con nuevas tecnologías. Con este programa de la Alianza para el Campo se llevaron a cabo los subprogramas para el Apoyo a la Producción de Nopal y Avena y de Equipamiento, como la mecanización, ferti-irrigación, el de capacitación y el de extensionismo.

En la delegación Milpa se han establecido programas con la finalidad de incentivar las actividades agrícolas y de arraigar al campesino a su lugar de origen, tal es el caso del programa “Procampo” el cual tuvo un aumento relativo en los montos, en términos reales el apoyo disminuyó en un 52% productor/ha, con un decremento de variación media anual del orden del 6.84%. Para 1997, el programa marginó a más de la mitad de productores de granos básicos al incorporar solamente el 42.25% de la superficie de maíz y frijol, beneficiándose sólo a 1,622 agricultores.

El Gobierno del Distrito Federal, por conducto de la Secretaría de Gobierno, ha establecido dos programas tendientes a dar certeza jurídica a la mujer del campo. El primero se refiere al desarrollo de la Jornada por el *Reconocimiento de los Derechos de las Mujeres de los Núcleos Agrarios*. El segundo es el *Fomento al Autoempleo de Mujeres Rurales del Distrito Federal*, que consiste en la integración de cooperativas de producción y servicios, que se está llevando a cabo en coordinación con la Secretaría del Trabajo y Fomento al Empleo de la Ciudad (GDF, 2007).

A pesar de los programas que se han llevado a cabo por estas instituciones, los resultados no son muy alentadores, además de que los recursos económicos no llegan a los campesinos, pues se pierden en la burocracia, desde la definición de quien puede recibir los apoyos, los requisitos exigidos, las formas que se deben llenar, los tiempos para dar respuesta efectiva, etc. Marca transversalmente la interacción técnico-productor, donde el técnico como mediador de las políticas irá moldeando el accionar institucional, muchas veces presionando y obligado por el productor a negociar. Así lo manifestaron la mayoría de los productores entrevistados, por lo que ellos prefieren utilizar sus propios recursos para seguir cultivando, y no abandonar el campo.

5.4.2. Creación del Suelo de Conservación

Desde la definición y establecimiento del Suelo de Conservación, constituida por 88,442 ha, éste ha sido desde la década de los 70's el reservorio tanto para la explotación de recursos naturales, como para reserva territorial y crecimiento económico y social.

Sin embargo las actividades de la ciudad a través de tres décadas han convertido al Suelo de Conservación en un polo para el desarrollo urbano y económico. Lo anterior, sin considerar ni aplicar medidas de planeación a mediano y largo plazo. En este proceso de urbanización en los 70's y finales de los 80's, la instrumentación de políticas centralistas y la orientación del crecimiento económico han impulsado que el capital inmobiliario, en busca de valorizar el uso del suelo, impacte en las tendencias de crecimientos demográficos en la ciudad de México.

Para la década de los 90's, con la ratificación del Suelo de Conservación donde existen masas forestales y zonas de producción agrícola pecuaria de extensión importantes; la planeación ha intentado mediante las políticas públicas el reconocimiento y valoración ambiental de esta zona. Sin embargo la tendencia de ocupación del territorio ha continuado en el mismo sentido: la urbanización de zonas con baja pendiente y la falta de políticas más específicas y detalladas en materia ambiental.

Bajo estas premisas el Suelo de Conservación ha sufrido cambios diferenciales en las nueve delegaciones que lo conforman en cuanto a la afectación de los recursos naturales y cambios de uso del suelo. Durante la década de los 90's las delegaciones de Cuajimalpa, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco han sido las más impactadas por el surgimiento y crecimiento de los asentamientos humanos irregulares. Estas delegaciones intentan controlar dichos asentamientos, a través de políticas como desalojo, reubicación ó consolidación mediante Programas Parciales de Desarrollo Urbano, tomando en cuenta aspectos de los asentamientos como antigüedad, grado de consolidación y cercanía a zonas urbanizadas, entre otras.

De esta manera, además de los 35 poblados rurales, en el Suelo de Conservación se tienen registrados 890 asentamientos humanos. De estos, 86 son regulares y 804 son irregulares. Hasta septiembre de 2002, estos asentamientos albergaban poco más de 59,000 familias.

Sobre la creación de áreas naturales protegidas algunos comuneros no quieren que se establezcan, porque piensan que esto implica la expropiación de sus terrenos y la pérdida de

derechos, sin embargo algunos consideran que “si se deberían establecer áreas naturales, siempre y cuando sea la misma comunidad quien las administre”, pero esto lo ven muy complicado, porque no están organizados.

5.4.3 Programa de Desarrollo Urbano

Los *Programas Delegacionales de Desarrollo Urbano del Distrito Federal*, dan respuesta a la necesidad de adecuar los instrumentos de planeación en materia de uso de suelo, a la dinámica social y económica del Distrito Federal, así como para que estos sean congruentes con lo que establece la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, el Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal y otras normatividades en la materia.

El *Programa Delegacional de Desarrollo Urbano*, se constituye en un instrumento clave para orientar el proceso de desarrollo urbano en la Delegación Milpa Alta como expresión de la voluntad ciudadana para la transparente aplicación de los recursos públicos disponibles en un marco de acción coordinada para las distintas instancias a quienes corresponde operarlo, pero también se convierte en un factor fundamental para promover y estimular la participación de todos los agentes sociales interesados en mejorar la capacidad productiva del Distrito Federal y generar la elevación del nivel de vida de su población.

Este programa se rige en forma específica por lo dispuesto en los artículos 17o. y 19o. de la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, por lo que el mismo se subordina al Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000, al Programa Nacional de Desarrollo Urbano 1995-2000, al Programa General para el Desarrollo del Distrito Federal y su contenido deberá ser congruente con el objetivo general establecido en el Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal.

A pesar de todos los programas que se han realizado por parte de las instituciones gubernamentales para dar respuesta a la problemática sobre los recursos naturales y el cambio de uso de suelo, en la delegación, falta mucha mayor inversión y trabajo con las comunidades, sobre todo en el aspecto agropecuario.

5.5 Análisis multivariado

5.5.1 Análisis de componentes principales

Los resultados obtenidos del análisis estadístico de componentes principales, entre las

unidades ambientales biofísicas, consideradas aquí como casos u objetos de estudio, con respecto a las propiedades físicas y químicas del suelo, del relieve, del clima, el uso del suelo y la cobertura vegetal, se muestran a continuación. Los resultados manifiestan que el CP1 explica el 37% del total de la varianza, del grupo de variables consideradas, el CP2 el 16% y el CP3 el 12% (**Tabla 5.25**).

Tabla 5.25. Los tres primeros componentes principales, sus eigenvalores y la varianza explicada.

Componente	Eigenvalores	Varianza explicada (%)
1	4.804	37.0
2	2.050	15.8
3	1.579	12.1

5.5.2 Determinación de los factores a considerar

Los factores son eigenvectores, que denotan la dimensionalidad de la matriz. Cada variable compone a un factor, por lo que en este estudio se tienen veinticuatro eigenvectores, de longitudes definidas por el grado de correlación de las variables. Para cada uno de esos factores o componentes que pueden generar los datos varían las cargas de las variables en ellos. Existen criterios para determinar la dimensionalidad real del espacio en que caen los datos que contiene una matriz cualquiera. Para el desarrollo del trabajo se usó el método de gráfica de factores o *scree plot*. Se genera al situar el valor de cada eigenvalor contra su recíproco. (**Figura 5.21**).

En la **Tabla 5.26** se presentan los factores que se obtuvieron con el análisis de componentes, se observa que en el factor uno, la variable que influye más y que tiene mayor nivel de correlación sobre las otras variables es la altitud con 0.919, el más cercano a 1, así se tiene que para los 52 casos u objetos (UAB) la altitud está relacionada inversamente con la temperatura, es decir que a mayor altitud la temperatura es menor.

En el mismo primer componente, la siguientes variable en importancia por su influencia y por su nivel de correlación con respecto de las variable es la temperatura, con una carga de -0.904, posteriormente está el % de contenido de arcillas con -0.759. después la presencia de bosque de pino (0.745), la precipitación (0.717), y finalmente el pH con -0.667. Por lo tanto este factor podría ser nombrado como Factor *Altitud-Temperatura*

Scree Plot

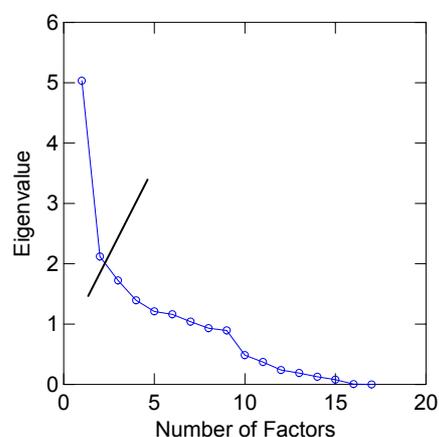


Figura 5.21. Gráfica de los eigenvalores encontrados en los componentes principales, se distingue que el número de factores a considerar es cuando menos de dos, debido a la marcada ruptura de pendiente.

Tabla 5.26 Matriz de factores o eigenvectores producto del análisis de los componentes principales. Presenta cuatro factores en donde sobresalen las cargas estadísticas de cada variable mayor a 0.5.

Variables	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Altitud	<i>0.919</i>	0.194	-0.048	-0.056
Pendiente	0.301	<i>0.563</i>	0.264	0.221
Porosidad	0.488	-0.341	-0.102	<i>-0.431</i>
Materia orgánica	0.444	-0.008	-0.061	<i>-0.660</i>
pH	<i>-0.667</i>	<i>0.557</i>	0.021	-0.127
Arenas	-0.157	0.464	<i>-0.787</i>	0.232
Limos	0.466	<i>-0.518</i>	<i>0.598</i>	0.275
Arcillas	<i>-0.759</i>	0.070	0.143	<i>-0.456</i>
Temperatura	<i>-0.904</i>	-0.244	0.045	0.047
Precipitación	<i>0.717</i>	-0.071	-0.253	0.378
Agricultura	-0.357	<i>-0.671</i>	<i>-0.430</i>	0.114
Bosque de Pino	<i>0.745</i>	0.385	0.036	-0.201
Matorral	-0.396	0.344	<i>0.493</i>	0.184

De igual forma, en el componente 1 la altitud está relacionada directamente con la precipitación ya que se tiene que a mayor altitud mayor cantidad de precipitación, lo cual se presenta en el área de estudio, asimismo esto se observa con la presencia del bosque de pino, por sus propios requerimientos de altitud y de mayor cantidad de humedad, el cual está en las UAB de laderas superiores, medias e inferiores de montaña, que se encuentran a una mayor altitud.

El comportamiento de las cargas o niveles de correlación de valor negativo entre la temperatura y el % de contenido de arcillas indica que se presentan simultáneamente áreas con valores bajos de temperatura, en suelos que tienen valores bajos de % de arcillas, dentro de las 52 UAB. Por otro lado la mayor cantidad de arcillas se encuentra en las UAB de piedemontes y planicies aluviales acumulativas.

Asimismo, el comportamiento de las cargas o niveles de correlación de valor negativo entre la temperatura y el pH, indica que se presentan simultáneamente áreas con valores bajos de temperatura, en suelos que tienen valores bajos de pH, considerando a las 52 UAB. Esto es, el suelo que está en las porciones altas de las laderas de montaña tiende más a valores de cierta acidez. Esto se observa principalmente en las UAB de las laderas superiores internas y externas de conos cineríticos.

En el segundo componente, la primer variable en importancia por su influencia y por su nivel de correlación con respecto al resto de las variables, es la presencia de uso agrícola del suelo, con una carga de -0.671, posteriormente está la inclinación de la pendiente con 0.563, después el valor del pH (0.557), y finalmente el valor de % de contenido de limos en el suelo con -0.518. Por lo tanto este factor podría ser nombrado como *Factor Agricultura-Pendiente*.

En este segundo componente, las áreas con presencia de agricultura se relacionan de manera inversa con respecto a la pendiente, es decir, en áreas con mayor presencia de agricultura existen valores más bajos de pendiente, lo cual se observa de manera muy clara en que la mayor presencia de ese uso está en las UAB de los piedemontes y planicies aluviales acumulativas del Holoceno.

En este mismo componente dos, la variable de presencia de uso agrícola del suelo tiene una relación directa con el valor de % de contenido de limos en el suelo, esto es, que de las 52 UAB, las áreas en donde hay poca presencia de agricultura, también se presenta poca cantidad

limos y con valores mayores de pH, esto es ligeramente ácido o neutro. Asimismo la agricultura se desarrolla en áreas con pendientes mayores a los 15°, sobre todo en el área en donde predomina el cultivo de nopal, sobre terrazas agrícolas.

De acuerdo al análisis de componentes los indicadores que permiten evaluar las condiciones biofísicas de las UAB en Milpa Alta son: del factor relieve, la altitud y la pendiente; del factor suelos, la textura dentro de la propiedades físicas, y el pH como propiedad química; con respecto al factor uso del suelo, la agricultura de temporal y la presencia del bosque de pino, son las variables que caracterizaron de mejor forma a dichas unidades, por lo tanto pueden ser consideradas, para el área evaluada, como buenos indicadores de estado.

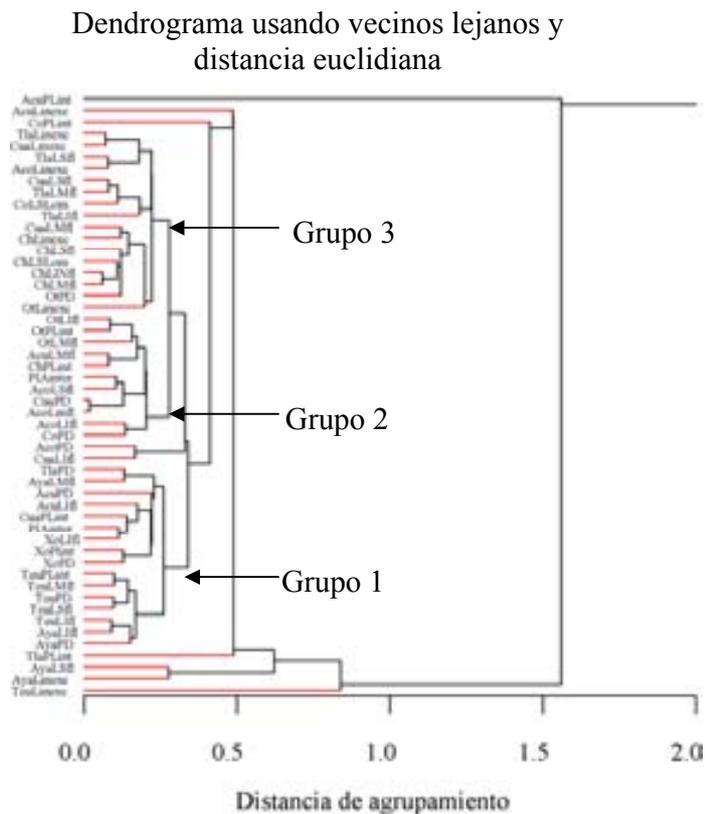
Es importante mencionar que otras variables como la materia orgánica, a pesar de que presentaron bajos valores de cargas estadísticas entre las 52 UAB, por su inherente homogeneidad y similitud de valores, es una variables que influye de manera directa en los valores de pH y textura. Estas variables se pueden considerar como los principales indicadores de suelo, debido a que pueden obtenerse directamente en campo. Con respecto a las variables de los factores de relieve y uso del suelo, se pueden obtener de una manera relativamente económica y sencilla a partir del uso de los mapas topográficos y las fotografías aéreas de fecha reciente. Es por ello que dichas variables pueden seguir siendo utilizadas como indicadores de estado para el área de estudio, dentro del proceso de seguimiento de la condición y cambio de los recursos naturales en Milpa Alta.

5.5.3 Análisis de agrupamiento estadístico (Cluster)

Una vez resumidos los datos a través del ACP, se obtuvieron las variables de mayor peso dentro de los factores determinados. Después se procedió a realizar una reducción de las UAB por medio del análisis de agrupamiento estadístico (*Cluster* ó cúmulos) (**Figura 5.23**), en esta figura se observan los diferentes niveles de agrupamiento de acuerdo con su grado de similitud que existen entre las UAB, formando tres grupos principales y siete grupos secundarios, estos últimos formados por pocos elementos. Para fines de una interpretación más sencilla de los 10 grupos formados, sólo se describirán aquí los tres más importantes que agrupan entre 11 (Grupo 2) y 16 (Grupos 1 y 3) unidades ambientales.

En el Grupo 1, se encuentran las unidades que se caracterizan por estar entre los 2,300

a los 2,900 m de altitud, con valores altos de temperatura, valores bajos de precipitación, mayor presencia de actividades agrícolas, en tipos de unidades de laderas inferiores de montaña, piedemontes y planicies aluviales acumulativas, como la del SMG-Xochimilco, SMG-Teuhtli, SMG Ayaquémel y en SMG-PlaTláhuac, los cuales se encuentran en la parte norte de la delegación y tienen amplias áreas con agricultura de temporal.



Nota: El significado de la clave de cada UAB se encuentra en la Tabla 4.3.

Figura 5.23 Dendrograma de los grupos de Unidades Ambientales Biofísicas de Milpa Alta.

El Grupo 2 integra a las UAB de laderas inferiores, piedemontes y planicies internas de los sistemas morfogénéticos SMG-Cuautzin, SMG-Chichinatzin y SMG-Otates, los cuales se caracterizan por tener altitudes entre los 3,000 a los 3,600 msnm, presentan valores bajos de temperatura, valores altos de precipitación, existen amplias áreas con presencia de bosques de pino, asimismo en algunas áreas se llevan a cabo actividades de agricultura de temporal de cultivo de avena, de igual forma se caracterizan porque sus suelos presentan valores bajos de

pH.

El tercer grupo conjunta a las UAB de laderas superiores internas y externas de conos cineríticos, laderas de montaña superiores y medias, como las de los sistemas morfogenéticos SMG-Tláloc, SMG Chichinautzin y SMGP-La Coralera, en donde las variables que caracterizan a este conjunto de unidades es, con respecto a la altitud, se encuentran entre los 3,000 a los 3,600 m, hay alta presencia de áreas con bosque de pino, y en el suelo existen valores bajos de pH, ricos en materia orgánica.

Con el apoyo de la definición de los cúmulos formados, el agrupamiento de las UAB permite contar con información sobre las características de homogeneidad que presentaron dichas unidades con respecto a las 13 variables analizadas. Considerando los indicadores que caracterizaron a estos grupos de unidades, se podrán plantear las políticas ambientales de uso de los recursos más apropiadas, dentro del proceso planeación territorial de Milpa Alta.

5.6. Análisis de resultados

Los indicadores ambientales determinados para este estudio permiten contar con información sobre el estado ambiental, económico y social en que se encuentra la delegación Milpa Alta. Por lo que se definieron y evaluaron los indicadores de los factores: relieve, vegetación, suelo, clima dentro de los aspectos biofísicos, y en los aspectos sociales el crecimiento de la población, la PEA, educación, salud, ingresos, actividades económicas, entre otros.

Los indicadores ambientales son parámetros importantes dentro de los procesos de planeación, se han definido principalmente en la elaboración de proyectos de ordenamiento ecológico territorial (SEDUE, 1988).

Las Unidades Ambientales Biofísicas (UAB) se utilizaron con el fin de tener una delimitación cartográfica de referencia y tener una visión particular del terreno con el propósito de dar propuestas de manejo de los recursos naturales. Considerando los aspectos geomorfológicos, las unidades ofrecieron un principio de integración en estudios dinámicos que consistió en definir los tipos de ambientes en función de su grado de estabilidad morfodinámica (Verstappen y van Zuidam, 1991).

Esto facilita el estudio con otros componentes del sistema natural y una mejor integración con las actividades humanas como lo menciona Tricart (1992). Por otra parte, las UAB son un común denominador que permite sintetizar información desde la perspectiva de

las diferentes subdisciplinas cuyo objeto de estudio es el ambiente (Eswaran *et al.*, 2000).

La determinación de las unidades ambientales biofísicas (UAB), considerando los aspectos geomorfológicos morfogenéticos permitió contar con información sobre los procesos de génesis que influyen en las diferentes formas del relieve y por lo tanto en la altura relativa, pendiente, orientación de laderas, que determinan las características de suelo, clima, y vegetación.

Por otra parte influyen también en las actividades económicas que desarrolla la población de manera local. Para este estudio las UAB fueron una fuente fundamental de información en la determinación de los indicadores del relieve.

Los indicadores que se consideraron para caracterizar a las unidades ambientales biofísicas permiten contar con información sobre los procesos que se están presentando en cada una de las unidades, generados por los cambios en el uso de suelo y a las prácticas de manejo que determinan la productividad y sustentabilidad de los recursos naturales (Browman *et al.*, 2003).

Las unidades ambientales permitieron sintetizar la información sobre los aspectos biofísicos y socioeconómicos, los cuales estarán encaminados hacia la definición de proyectos de ordenamiento territorial que es una herramienta de gran utilidad en la planeación para el área de estudio (Mendoza y Bocco, 1998).

La propuesta de proyectos de ordenamiento ecológico considera, dentro de la fase metodológica, la definición de unidades ambientales, las cuales se delimitan a partir de criterios de geomorfología, hidrología, vegetación y edafología (SEDUE, 1988). De ahí la importancia de considerarlas dentro del análisis de los indicadores determinados para este estudio.

Para este trabajo la pendiente y la altitud se consideraron como indicadores importantes del relieve, ya que son factores que influyen en la distribución de la vegetación y en las propiedades físicas y químicas de los suelos. Los sitios según su posición topográfica, presentan modificaciones en las propiedades del suelo y en los patrones de distribución de la vegetación (Tsui *et al.*, 2004). Gerrad (1992), menciona que las propiedades de los suelos están relacionadas con el gradiente altitudinal y la pendiente. Esto resulta de la interacción entre la forma de la ladera y los procesos de erosión y depositación.

Verstappen (1983), menciona que la geomorfología influye en el desarrollo de los

ecosistemas, en el caso de la vegetación interviene en los patrones de distribución, aunque actualmente estos patrones están influenciados por las actividades humanas que interfieren en el ambiente biofísico en general y particularmente en la cobertura vegetal.

Los indicadores de altitud y pendiente tienen una clara influencia en los parámetros de temperatura y precipitación, las condiciones de clima cambian. Por otra parte tienen influencia en las propiedades físicas y químicas de los suelos, aunque estas propiedades han sido modificadas por las actividades humanas. Por lo que respecta a la vegetación, ésta se encuentra distribuida por la influencia altitudinal y por las características geomorfogenéticas que se presentan en las unidades.

El indicador de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo permitió observar cómo se han incrementado las áreas urbanas y los cambios que se han presentado en los pastizales y en las áreas agrícolas, por lo que es el indicador que ha sufrido una mayor dinámica, lo anterior confirma lo que Southworth (2003), menciona sobre el uso de suelo que lo considera como una indicador fundamental, ya que tiene un impacto sobre el ambiente biofísico y humano. Por lo anterior, este es uno de los mejores indicadores, debido a que dan información sobre los recursos naturales y permitió hacer una evaluación multitemporal.

Se observó que los cambios más importante se presentaron en las UAB de piedemonte, donde se localizan los pastizales y las áreas agrícolas, cercanas a los poblados de la delegación. Las áreas de pastizales que fueron ocupadas por cultivos agrícolas y el incremento en el uso de suelo urbano sobre áreas agrícolas cercanas a los poblados de la delegación. Este es un fenómeno que se está presentando a nivel mundial, ya que se observa las áreas rurales rápidamente se están transformando en áreas urbanas.

Las áreas forestales de la delegación no presentan problemas de deforestación ya que de 1970 a 2000 no se perdió superficie, sin embargo, se tienen problemas de degradación provocados principalmente por incendios, ya que en los sitios muestreados no se encontró sotobosque y además existe tala clandestina, originada por la falta de vigilancia (Naranjo *et al.*, 2002).

La cobertura vegetal es considerada como indicador ambiental, ya que permite detectar ¿dónde, cuándo y por qué? se están presentando ciertos cambios que afectan a los recursos naturales (Jansen, 2002). Por otra parte, el cambio en la cobertura forestal es un indicador de los cambios globales que están afectando a los sistemas ecológicos (Southworth, 2003).

La mayoría de las UAB presentaron un uso de suelo forestal con una cobertura vegetal alta, por lo que son fuente importante de nutrimentos por parte de la vegetación, incluyendo Ca, Mg, Na y K y algunos micronutrientes. En algunos casos, el relieve influye en las propiedades físicas y químicas de los suelos que afectan el crecimiento y la distribución de la vegetación, ya que controlan la disponibilidad de nutrientes del suelo (Tsui *et al.*, 2004).

Esto se observa en las unidades con una cobertura vegetal de densidad alta, en donde el bosque mixto de *Abies religiosa*, *Pinus* spp. y *Alnus* spp., presenta un buen estado de conservación, la densidad baja se localiza donde existen bosques de pino y matorrales cuyas especies vegetales se encuentran dispersas en el terreno. La densidad media de cobertura vegetal se presenta en el bosque de pino, el cual se encuentra disperso en los sitios y donde además predominan los pastizales.

Las unidades con uso de suelo forestal y pastizal, están sujetas a incendios frecuentes, aunque estos constituyen un elemento importante en el proceso sucesional del bosque, para el área de estudio dado el mal manejo que se ha hecho de él, este se ha vuelto el principal destructor de los bosques, afectando vegetación, fauna, suelo y aire, entre otros elementos fundamentales para la vida (Naranjo *et al.*, 2002). Para el área en estudio el empleo de pastizales para el ganado ovino es la principal causa de perturbación del bosque, ya que los campesinos provocan incendios a fin de propiciar el renuevo de pastizales.

Los patrones de vegetación están influidos por factores climáticos como la precipitación, temperatura y humedad que a veces muestran una relación con la situación topográfica, como lo menciona Verstappen (1983). Así se tiene que para el área de estudio, la vegetación está influida por la altitud, la temperatura y la precipitación, ya que en altitudes superiores a los 3,000 m se establecen los bosques de coníferas, donde se presentan precipitaciones de 1,000 mm anuales y temperatura de 11°C.

Por el contrario en altitudes menores a los 3,000 se localizan los bosques de encino con una temperatura de 17°C y una precipitación de 700 mm al año. La razón de esto es que el relieve y principalmente la altitud, afectan al clima o al microclima e influyen en las condiciones ambientales para el crecimiento de las plantas (Verstappen, 1983).

El índice de valor de importancia (IVI) presentó un porcentaje alto en la mayoría de los sitios, debido a que las especies de bosque de pino y oyamel presentaron un área basal grande, y esto influyó en el IVI. La mayoría de los sitios tienen similitud, debido a que el área de

estudio presenta un bosque templado el cual está establecido por patrón altitudinal, además porque se tomaron datos únicamente del estrato arbóreo y no se consideraron los arbustos ni las herbáceas, aunque es importante mencionar que en muchos de los sitios no existe sotobosque debido a que el gobierno lleva cabo un programa de *chaponeo*, que consiste en tirar los arbustos y pastos generadores de combustible como medida de prevención de incendios.

El índice de Shannon es muy bajo en todos los sitios de muestreo, lo que indica que hay poca biodiversidad de especies arbóreas, principalmente se concentra en las especies de *Pinus montezumae*, *P. hartwegii* y *Abies religiosa*.

La estructura de los bosques de pino manifiesta un espaciamiento entre árboles debido a varios factores naturales e inducidos, como es la poca producción de semilla, poca regeneración, tala, ocotéo y principalmente incendios y pastoreo, condiciones que provocan la poca densidad del arbolado y la falta de estratos intermedios, lo cual indudablemente repercute en las existencias reales e incrementos volumétricos en las diferentes especies (Naranjo *et al.*, 2002).

El bosque del área de estudio se encuentra en un estado de madurez y la especie *Abies religiosa* puede llegar a presentar crecimiento similar en diámetro y altura en comparación con los pinos de menor edad (Naranjo *et al.*, 2002)

Por lo que respecta a los indicadores de suelo, éstos están relacionados con el relieve, así se tiene que los mayores contenidos de humedad son afectados por la pendiente y su posición en el relieve. A este respecto Birkeland (1999), argumenta que la topografía es el factor principal que explica la variación del suelo de acuerdo con su situación en el terreno. La pendiente afecta la distribución de la materia orgánica y las diferencias de los porcentajes de materia orgánica probablemente resultan de una gran cantidad de humedad en el suelo y de la cobertura vegetal sobre las unidades.

Así se tiene que los mayores porcentajes de humedad se presentan en las laderas de montaña y laderas de lomeríos que se encuentran a altitudes mayores a los 3,000 m snm. El clima juega un papel importante, ya que a esa altitud, la temperatura promedio anual es de 12°C y la precipitación es de 1,250 mm anuales, lo que influye directamente en los altos porcentajes de humedad.

Los porcentajes medios de humedad en el suelo se localizan en las laderas y

pedemonte. Estos porcentajes de humedad se deben a que los sitios se encuentran a una altitud promedio de 2,700 m snm donde las precipitaciones son de 900 mm y la temperatura promedio es de 14°C.

Los porcentajes más bajos de humedad en el suelo se encuentran a una altitud promedio de 2,300 m snm donde las precipitaciones son de 700 mm y la temperatura es mayor de 15.5°C. Aunado a lo anterior el uso de suelo dominante es agrícola, por lo que las parcelas se encuentran sin cultivar durante seis meses y se encuentran desprovistas de vegetación, por lo tanto, la cobertura vegetal durante parte del año presenta una densidad baja, debido a que la vegetación de matorral sirve únicamente para delimitar las parcelas agrícolas.

La densidad aparente en la mayoría de los sitios de las unidades oscila en un intervalo que va de 0.54 mg/cm³ a 1 mg/cm³, esto significa en términos generales que los suelos tienen una buena estructura, una alta retención de humedad y altos contenidos de materia orgánica, influenciado por la cobertura vegetal de *Abies religiosa*, *Pinus* spp. y *Alnus* spp.

Por otra parte en las unidades donde los terrenos son agrícolas, éstos presentan una mayor compactación del suelo, provocada principalmente por el peso de la maquinaria que se emplea en las actividades agrícolas para el cultivo de la avena forrajera y de nopal verdura, reflejándose en que la porosidad sea más sensitiva a las diversas prácticas de manejo (Dexter, 2003).

El uso de suelo agrícola influye en la modificación de las propiedades del suelo, esto se observó en las unidades con actividades agrícolas y pecuarias donde la acumulación de materiales y el empleo de abonos y fertilizantes modifican las propiedades del suelo, presentado altos contenidos de materia orgánica, con una densidad aparente cercana a 1 g/cm³, lo que indica menor porosidad y mayor compactación del suelo.

Los cambios en la materia orgánica son una función directa de los remanentes de residuos de los cultivos y del clima, como en las unidades en donde se práctica la agricultura y se presentaron altos contenidos de materia orgánica.

Los suelos en la mayoría de las unidades tienen altos porcentajes de materia orgánica (>10%) lo que da como resultado una buena agregación, lo que permite una buena infiltración de agua y aire, son resistentes a la erosión y ayudan a proveer favorablemente de hábitat. Sin embargo en las unidades donde se está dando la conversión de suelos forestales a suelos agrícolas o pastizales, se reduce la materia orgánica y por lo tanto su nivel de mantenimiento

es bajo en cuanto a la productividad (OCDE, 2001).

Con respecto al pH y la saturación de bases tienden a ser paralelos con la profundidad y esto se explica en términos de vegetación y presencia de incendios (Birkeland, 1999). El pH en el suelo determina la disponibilidad de nutrimentos y está generalmente en función del contenido de materia orgánica. Los altos contenidos de materia orgánica están asociados con las propiedades físicas y la productividad del suelo, este fenómeno se presenta en la mayoría de las unidades ambientales biofísicas caracterizadas en este estudio (Browman *et al.*, 2002).

El pH es neutro en las unidades donde la cobertura vegetal es alta, principalmente de bosque mixto de *Abies* sp., *Pinus* sp. y *Alnus* sp. El pH moderadamente ácido se presenta en las unidades donde el contenido de materia orgánica es bajo y la cobertura vegetal es media, principalmente de bosque de pino y matorral. La unidad que corresponde a una planicie aluvial presenta un pH fuertemente ácido con un alto contenido de materia orgánica, debido a la aplicación de abonos orgánicos, para realizar actividades agrícolas.

Con respecto al indicador de presión, cambio de cobertura y uso del suelo, es éste el que más presión ejerce sobre los indicadores de estado. Con el análisis temporal de este indicador se observó que no se han presentado cambios de cobertura significativos, ya que el bosque ha conservado la superficie que tenía en 1970 con respecto al año 2000.

Los cambios de uso de suelo más específicos se presentaron en las áreas de pastizal que se localizan en las unidades de la planicie local intermontana, las cuales para el año 2000 se emplearon para realizar actividades agrícolas de cultivo de avena. Otro fenómeno importante es que los campesinos siembran la avena en el área boscosa, aprovechando la distancia que hay entre los árboles.

La dinámica del cambio de uso de suelo y cobertura vegetal está influenciada por los tipos de cobertura de tierras, mecanismos ecológicos de sucesión y regeneración, y los componentes biofísicos del ambiente, actividades socioeconómicas dentro del contexto cultural, fenómenos meteorológicos y desastres naturales.

Sin embargo, la dinámica en el cambio de uso de suelo y cobertura vegetal incluye procesos de regeneración así como pérdida de cobertura; el balance neto es el resultado de substracción y adición derivada de ambas tendencias. Muchos estudios de la dinámica en el cambio de uso de suelo y cobertura vegetal están considerando este balance entre la pérdida y la regeneración, particularmente en áreas de alta heterogeneidad ambiental y socioeconómica.

Así el análisis de cambio de uso de suelo y cobertura vegetal es una base fundamental para la propuesta de estrategias de conservación (Flamenco-Sandoval *et al.*, 2007).

Las acciones humanas que están forzando a la naturaleza son la fuente de muchos cambios contemporáneos en la biósfera. Muchas causas de cambios ambientales globales se están dando por las actividades antropogénicas no solo del presente sino también del pasado. Los cambios del uso del suelo y la cobertura vegetal es uno de los más visibles resultados de las modificaciones de los ecosistemas terrestres y tienen un impacto negativo en los ambientes locales, regionales y globales (Xiaoa y Weng, 2007)

Un factor de destrucción que se observó en la mayoría de la unidades con uso de suelo forestal son los incendios, plagas y enfermedades, que disminuyen su sanidad y estado nutricional del árbol, sin embargo, dado el mal manejo que se ha hecho de él, éste se ha convertido en el principal destructor de los bosques, afectando la vegetación, fauna el suelo, agua y aire, entre otros elementos importantes para la vida.

En la delegación los incendios aunque sean de baja intensidad son constantes, han afectado los bosques, pues hay una persistente afectación del hábitat y de la regeneración, como se observó en las unidades estudiadas.

El indicador de crecimiento de la población permitió contar con información sobre cómo se está dando el proceso de urbanización en la delegación de manera particular, en cada uno de los pueblos que la integran y por la presión que la población ejerce sobre los recursos naturales del área.

Este indicador influye en el cambio de uso de suelo, principalmente de agrícola a urbano. Además existe una presión muy fuerte por parte de los campesinos sobre el área boscosa y las zonas agrícolas para obtener recursos económicos. Es importante mencionar que a pesar de que la delegación forma parte de la zona metropolitana de la Ciudad de México, aún conserva un aspecto de ruralidad (Ramírez, 1997).

Como parte integrante de la periferia metropolitana, la delegación Milpa Alta, se ubica en una franja rural-urbana que constituye el espacio de encuentros de la realidad urbana y rural propiamente dichas (Aguilar y Escalona, 2000). Con respecto a la zona periférica o suburbana, Aguilar (2000) menciona que es la superficie que rodea a la ciudad, la cual sufre los cambios espaciales más dinámicos y constantes, y está ocupada por residentes de la zona misma, como sucede en el área de estudio. La existencia de los poblados tradicionales en la periferia de la

mancha urbana, que datan de decenas de años atrás representa poblaciones con un amplio arraigo a su espacio local, con actividades económicas generalmente de carácter agropecuario (Aguilar, 2000).

El crecimiento de la población está ejerciendo presión sobre los servicios de educación, salud y vivienda, ya que con el aumento de la población las necesidades son mayores, ya que la gente se traslada a distancias mayores para poder recibir servicios médicos o para asistir a las escuelas de educación superior.

Por otra parte hay una presión sobre los servicios de agua, ya que a pesar de que la delegación se localiza en la Sierra Chichinautzin, que es la principal abastecedora de agua potable para la ciudad de México, no es utilizada para satisfacer las necesidades de la población de Milpa Alta, por lo que los problemas de abastecimiento se han incrementado en la delegación. La medición de las necesidades insatisfechas de agua permite el reconocimiento de varios problemas: el que se presenta entre la oferta y la demanda de este servicio; el segundo concierne a problemas de suministro.

La última forma de déficit se encuentra asociada a la conexión de las redes hidráulicas a la vivienda, que asciende aproximadamente al 10% y que aumentaría si se tomaran en cuenta los predios que acceden al agua fuera de la vivienda. De esta manera se puede afirmar, que la delegación Milpa Alta tiene una cobertura más baja entre 30 y 60% en cuanto al suministro de agua (Ramírez, 1997). Con respecto al drenaje se presentan carencias, donde los porcentajes de vivienda sin drenaje se ubica en un rango del 10 al 35% (Ramírez, 1997), lo mismo sucede para el año 2000 donde el suministro de agua sigue presentando carencias en la población.

La rápida urbanización y crecimiento poblacional, además del consumo de energía y materiales en las principales ciudades del país han resultado en una gran presión sobre los ecosistemas rurales colindantes y sus actividades agrícolas como es el caso de la delegación Milpa Alta (Torres, 2000).

Estas presiones conllevan al deterioro del ambiente, riesgos en la salud, deterioro de la calidad de vida y sus actividades agrícolas. Las decisiones y acciones del gobierno han contribuido en el desarrollo urbano, el cual está amenazando las áreas rurales en aspectos como la calidad y cantidad de recursos naturales que precisamente necesitan las ciudades, como el agua, suelo y la biodiversidad (Torres, 2000).

La delegación Milpa Alta en su posible integración a la mancha urbana o al proceso de

urbanización no necesariamente es vista por la población, como un proceso natural. Por el contrario, existen comunidades que ofrecen una amplia oposición a esta tendencia y, por lo tanto, a las políticas locales de uso del suelo, aunque existen grupos sociales que participan en el proceso de urbanización, a través de la especulación o venta ilegal de tierras (tierras ejidales y comunales) (Aguilar, 2000).

La incorporación de Milpa Alta, que se ubica en la periferia al proceso urbano tiene implicaciones muy importantes a nivel socioeconómico, ambiental y de política urbana. Por otra parte, la población que vive en los poblados rurales ve el crecimiento urbano como una amenaza que seguramente provocará especulación de tierra, presiones para la venta, cambio en las actividades económicas, entre otras (Aguilar, 2000).

A nivel ambiental los efectos sobre estas áreas serán muy negativos. La presión sobre la tierra rural conducirá a la pérdida de tierras agrícolas de alta productividad, a la destrucción de las áreas boscosas y a la pérdida de espacios abiertos, como consecuencia la contaminación de ríos, suelo y en la sobreexplotación del manto acuífero (Aguilar, 2000).

Los indicadores de sistemas de producción como la agricultura y la ganadería, mostraron que la delegación Milpa Alta ha sostenido su economía gracias al cultivo de nopal verdura, debido a que es el principal productor de este cultivo a nivel nacional e internacional, ya que presentó altos rendimientos y valor en su producción. Se observó que otros cultivos como la avena forrajera y el maíz han bajado en sus rendimientos y en su valor de la producción, y en el caso del maíz solo es de autoconsumo, a pesar de que forma parte de la dieta de la población.

A pesar de la problemática a la que se enfrenta la actividad agropecuaria en Milpa Alta, la rentabilidad de la agricultura también ha impulsado el crecimiento de algunos pueblos. En ellos, el proceso urbano se ha presentado como un complemento del auge de la producción agrícola, ya que elevan la calidad de vida de los campesinos mediante la instalación de servicios y la ampliación de la infraestructura de los medios de comunicación, lo que ha convertido a los pobladores rurales en demandantes de servicios urbanos para sus comunidades (Cruz, 2002).

Además, el fenómeno de la urbanización se ha motivado, en gran medida, por el crecimiento demográfico de la población ejidal, que ha obligado a la división de las parcelas y a la creación de solares urbanos para los hijos de los ejidatarios, como es el caso del pueblo

San Antonio Tecómitl, donde los terrenos ejidales que se dedicaban, hace treinta años a agricultura de riego, hoy son áreas urbanas principalmente habitacionales (Cruz, 2002).

A pesar de los esfuerzos realizados desde la década de los setentas, por parte del gobierno, para atender las demandas del campo del Distrito Federal, se crearon instituciones con el fin de promover el desarrollo del área rural, pero actualmente con la llegada de nuevos partidos al gobierno los apoyos institucionales han sido menores para apoyar las actividades agropecuarias.

CONCLUSIONES

- Los indicadores ambientales determinados y evaluados a escala local, de las características biofísicas y socioeconómicas, permiten contar con información sobre el estado actual en que se encuentran los recursos naturales de la delegación Milpa Alta. Los indicadores aplicados a escala detallada, permiten contar con bases científicas y metodológicas para la planeación a nivel local. Los indicadores ambientales constituyen una herramienta de evaluación del progreso hacia el desarrollo sustentable y de toma de decisiones.
- Con el empleo del modelo PER se definieron indicadores que muestran el nivel de presión sobre las propiedades de los indicadores de estado, para el caso de la zona de estudio el crecimiento de la población como indicador, está influyendo en el cambio de uso de suelo de agrícola a urbano principalmente, por otra parte los incendios provocados por los campesinos para establecer áreas de pastoreo.
- Las UAB definidas a partir de parámetros geomorfológicos, fueron una referencia cartográfica indispensable para la evaluación de los indicadores ambientales, ya que la heterogeneidad del relieve (altura y pendiente) tienen una clara influencia sobre la temperatura y precipitación que determinan los patrones de distribución de la vegetación, las propiedades físicas y químicas de los suelos, así como a las actividades agropecuarias que se realizan en la delegación.
- El crecimiento de la población es un indicador de presión, ya que una gran cantidad viviendas se han establecido en terrenos agrícolas y donde la población aún sigue cultivando maíz y nopal verdura principalmente.
- Los indicadores económicos de presión mostraron que la población dedicada a las labores agrícolas y pecuarias presentó una reducción importante, y que el sector comercio y servicios tuvieron un incremento. La actividad agrícola aporta ingresos significativos a la economía de la delegación, a pesar de las prácticas tradicionales, la falta de tecnología y de recursos económicos a los productores, y que la mayor parte es superficie de temporal. La

agricultura se basa en la producción de nopal verdura destinada al comercio y en la producción destinada al autoconsumo con costos de producción que son absorbidos por los propios productores.

- Los indicadores de producción mostraron que la superficie sembrada y cosechada de nopal verdura es superior comparativamente con la ocupada para otros tipos de cultivos. Incluso, los valores del volumen de su producción están por encima de cualquier otro cultivo. Esto no sólo refuerza la valoración de su importancia en la producción agrícola, sino además la idea de que los cultivos como el nopal verdura, con un alto valor comercial son los que sostienen de manera importante la actividad agrícola en Milpa Alta.
- Los indicadores de la actividad pecuaria mostraron que la producción ha tenido un decremento en el número de cabezas, ya que esta actividad está destinada a la autosubsistencia. De ahí, que parte de la producción sea destinada al autoconsumo y de ayuda para casos de necesidad familiar. Lo anterior generado por una comercialización no planificada, irregular y de la generación de ingresos bajos.
- Uno de los indicadores de presión más importante es el de cobertura vegetal y uso de suelo, porque permitió analizar de manera multitemporal los principales cambios que se están dando en el área de estudio. Los patrones espaciales que se están dando se caracterizan por el establecimiento de viviendas en las áreas agrícolas aledañas a los poblados rurales. Además, estos cambios tienen relación con el crecimiento de la población de las localidades de Milpa Alta. La extensión de la cobertura vegetal de las áreas forestales de la delegación Milpa Alta no sufrió una reducción drástica de 1970 a 2000.
- Los incendios forestales que son provocados por los campesinos año con año, aunque son superficiales, ejercen una presión sobre la vegetación, sobre todo en las áreas de bosques de pino y oyamel, ya que no permiten la regeneración natural y el crecimiento de los árboles producto de la reforestación.

- El uso de suelo como indicador mostró que los principales usos son el forestal, agrícola, pastizal. Algunas áreas matorral y el urbano en los poblados principalmente.
- Los indicadores de suelo definidos para este estudio, mostraron una buena calidad, tanto en las UAB con uso de suelo forestal como en el agrícola. Se puede decir entonces que las características físicas y químicas de los suelos en el área, están determinadas por los factores formadores de suelo y por su origen volcánico. Sin embargo algunas UAB de laderas de montaña de flujos lávicos, donde la cobertura vegetal es escasa, formada principalmente por matorrales, por lo que el aporte de hojarasca al suelo es muy pobre, por lo tanto los suelos son de formación *in situ* en las oquedades de los afloramientos rocosos.
- La mayoría de las UAB presentaron altos contenidos de materia orgánica, debido a que la cobertura vegetal es alta, principalmente constituida por bosque de pino y mixto, los cuales son los principales generadores de hojarasca, que mediante su descomposición forman humus y por lo tanto propician que el pH sea ligeramente ácido, contribuyendo así a que exista una buena actividad microbiana en el suelo.
- Los indicadores sobre vegetación mostraron que las especies arbóreas presentaron un índice de valor de importancia alto en la mayoría de la UAB. Lo anterior se debe a que las especies que predominan son los *Pinus hartwegii*, *P. montezumae* y *Abies religiosa*, debido a que son especies que presentan un mayor DAP y con alturas superiores a los 40 m. No se encontró similitud entre sitios debido a que las especies arbóreas están determinadas por pisos altitudinales y aunque solo se consideraron los árboles para su medición.
- Los indicadores de respuesta mostraron que se han establecido programas para apoyar a las actividades agrícolas y pecuarias, con el fin de arraigar al campesino a su lugar de origen y de esta manera que sean ellos mismos los que conserven los recursos naturales. Para lo cual las instituciones gubernamentales se han esforzado por apoyar con recursos económicos a la delegación, sin embargo, no se han obtenido resultados favorables, y los campesinos están abandonando las actividades agropecuarias que repercutirá en un futuro

en la conservación de los recursos naturales, ya que al no tener otras alternativas de desarrollo, propiciarán un cambio acelerado del suelo, el cual no presentó cambios significativos en el análisis realizado durante este estudio.

- La información obtenida al evaluar los indicadores ambientales servirá de base en el proceso de toma de decisiones durante el establecimiento de los programas de manejo de los recursos naturales en el área de estudio, ya que el empleo y la medición de indicadores permitirá entender como evolucionan las características biofísicas y socioeconómicas con diferentes usos de suelo.
- Cualquier marco metodológico para evaluar la sustentabilidad de los recursos naturales incluyendo los aspectos biofísicos y socio-económicos, necesitan aplicarse periódicamente a estudios de caso a fin de fortalecerlos.

Recomendaciones

Del análisis obtenido de este trabajo, se recomienda la realización de monitoreos permanentes, por ejemplo, cada 5 años sobre los indicadores ambientales para la delegación, considerando los costos, funcionalidad y temporalidad, derivados de este trabajo se proponen los siguientes: 1) Cambio de cobertura vegetal y uso del suelo, con el empleo de las técnicas de la fotointerpretación o de imágenes de satélite, para realizar monitoreos permanentes a partir del empleo de un SIG, 2) Dentro del factor suelo los indicadores considerados en las propiedades físicas son la textura, y de las propiedades químicas el pH, 3) Dentro del análisis de la cobertura vegetal se proponen el Índice de Valor de Importancia y el Índice de Diversidad de Shannon, 4) Indicadores sociales como el crecimiento de la población, distribución de la población, tasa anual de crecimiento y densidad de población, 5) De los indicadores económicos serían la PEA, el valor de la producción, la superficie sembrada y cosechada y producción pecuaria, 6) Con respecto a los indicadores de respuesta la evaluación de los programas que llevan a cabo las instituciones con mayor injerencia en el área como la CORENA; SAGARPA y la Delegación Milpa Alta, con el fin conocer los resultados que se estén obteniendo de los programas y proyectos que realizan en el área de estudio.

LITERATURA CITADA

- Adriaanse, A., Bringezu, S., Hammond, A., Moriguchi, Y., Rodenburg, E., Rogich, D. and Schütz, H., 1997. Resources Flows: The material basis of industrial economies. World Resources Institute: Washington, D.C.
- Aguilar, A. G. y Escalona, M. M. 2000. Expansión metropolitana de la ciudad de México y el ámbito rural de Texcoco. En: Procesos metropolitanos y agricultura urbana. Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco. pp: 87-116.
- Aldás M. J. 2003. El análisis cluster. Universidad de Valencia, 20 p. Consultado en el sitio <http://www.uv.es/~aldas/ficheros/DOCTDE/5.analisis%20cluster.PDF>, en el mes de octubre del 2008
- Arce, R. and Gullón N., 2000. The application of strategic environmental assessment to sustainability assessment of infrastructure development. *Environmental Impact Assessment Review* 20: 393-402.
- Arshad, M. A. and. Coen, G. M. 1992. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *Am. J. Alt. Agric.* 7. 25-31
- Aune, J. B. and Lal, R. 1997. The tropical soil productivity calculator a model for assessing effects of soil management on productivity. *In: Lal, R., and B.A., Stewart. (eds). Soil Management Experimental Basis for Sustainability and Environmental Quality. Adv. Soil Sci. Lewis Publishers, London, UK. pp: 499-520.*
- Avérous, Ch. P. 1997. Evaluación del desempeño ambiental. *In: Desarrollo Sustentable: estrategias de la OCDE para el siglo XXI. Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico. (OCDE). pp: 41-52.*
- Bautista, C. A., Etchevers B. J., del Castillo R.F. y Gutierrez C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. Año XIII. Núm. 2.*
- Baver, L. D., W. H. Gardner, and W. R. Gardner. 1980. Física de Suelos. Ed. UTEHA. México. 529 p.
- Bell, S., Morse, S., 2001. Breaking through the glass ceiling: who really cares about sustainability indicators? *Local Environmental* 6: 291-309.
- Bräver I. 2003. Money as an indicator: to make use of economic evaluation for biodiversity conservation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98: 483-491.

- Bindraban, P., Stoovogel, J.I., Jansen D.M. 2000. Land quality indicators for sustainable land management: proposed method for yield gap and soil nutrient balance. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 81: 103-112.
- Birkeland W. P. 1999. *Soils Geomorphology*. Oxford University Press, Third edition.
- Bolós, C. M., Turba B. P. M., Estruch, G. X., Pena, V. R., Ribas, V. J. y Soler, I. J., 1992. *Manual de Ciencia del Paisaje. Teoría, métodos y aplicaciones*. Colección Geografía. Ed. Masson, S.A. España. pp: 135-153.
- Bowman, R., Sucik, M., Rosales, M., Saunders J. 2002. Soils quality indicators for Whole-farm management in the Central Great Plains. *Conservation Tillage Fact Sheet No. 2-98*. USA-ARS, USDA-NRCS and Colorado.
- Brown, D.G., Duh, J. D., Drzyzga, S.A. 2000. Estimating error in analysis of forest fragmentation change using North America Landscape Characterization (NALC) data. *Remote Sens. Environmental* 71: 106-117.
- Buchs, W. 2003. Biodiversity and agri-environmental indicators-general scopes and skills with special reference to the habitat level. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 98: 35-78.
- Camacho, S. J. y Duque, H. 2001. Indicators for biodiversity assessment in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystem and Environmental* 87: 141-150.
- Carruthers, G., Tinning, G. 2003. Where, and how, do monitoring and sustainability indicators fit into environmental management system? *Australian Journal of Experimental Agriculture* 43: 307-323.
- CEPAL, 1995. Descripción de los indicadores de ingresos y salarios y su implementación en el Uruguay. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Oficina de Montevideo.
- CNA. 2000. Observaciones Climatológicas. Gerencia Regional de Aguas del Valle de México. Comisión Nacional del Agua (CNA). México.
- Coque, R. 1984. *Geomorfología*. Ed. Alianza. España. 475 p.
- Corbiere-Nicollier, T., Ferrari, Y., Jemelin, C., Jolliet, O. 2003. Assessing sustainability: an assessment framework to evaluate Agenda 21 actions at the local level. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology* 10: 225-237.

- CSIRO 1998. A Guidebook to Environmental Indicators. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO). Australian. 20 p.
- Dallas, E. J. 1998. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. México, International Thomson, Edts (ITP). 566 pp.
- DDF. 1984. Cartas topográficas a escala 1:10,000. Tesorería del Departamento del Distrito Federal. México.
- Diez de Bonilla, S. E. 2007. Evaluación del peligro por incendios forestales en la Delegación Milpa Alta, Distrito Federal. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México. 79 p.
- Dexter, A. R. 2003. Soils physical quality. Part I. Theory, effects of soils texture, density and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma* 120: 204-214.
- Doran, J. W. and T. B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. *In*: Doran, J.W., D.C. Coleman, D.F., Bezdick, and B.A., Stewart. (eds). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America, Special Publication No. 35: 3-21
- Dumanski, J., and Craswell, E. 1998. Resource management domains for evaluation and management of agro-ecological system. *In*: Syers, J.K. (Ed.), *Proceedings of Conference on Resources Management Domains*, Kuala Lumpur. International Board for Soils Research and Management (IBSRAM), Proceeding 16: 1-16
- Dumanski, J. and Pieri C. 2000. Land quality indicators: research plan. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 81: 93-102.
- Eswaran, H. Beinroth F. H. Virmani, M.S. 2000. Resource management domains: a biophysical unit for assessing and monitoring land quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 81: 155-162.
- Flamenco-Sandoval, A. Martínez, R, M., Masera, O., R. 2007. Assessing implications of land-use and land-cover change dynamics for conservation of a highly diverse tropical rain forest. *Biological Conservation* 138: 131–145.
- Fraser, E. D.G., Dougill, A. J., Mabee W.E., Redd, M. McAlpine, P. 2006. Bottom up and top down: Analysis of participatory processes for sustainability indicator identification as a pathway to community empowerment and sustainable environmental management. *Journal on Environmental Management* 78: 114-127

- Freebairn, D.M., King, C.A., 2003. Reflections on collectively working toward sustainability: indicators for indicators! *Australian Journal of Experimental Agriculture* 43: 223-238.
- FSE (2003) Análisis cluster. *Informática aplicada al análisis económico*, 15 pp. Consultado en el sitio www.uam.es/departamentos/economicas/econapli/fse/cluster.PDF, en el mes de octubre del 2008.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Ed. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 90 p.
- Gallopín, G.C. 1997. Situational indicators: *In* Sustainability indicators. Ed. Wiley and Sons LTD. England. 415 p.
- Gaunt, J. L., Riley, J., Stein A., Penning de Vries F.W.T. 1997. Requirements for effective modeling strategies. *Agriculture Systems*, V. 54 (2): 153-168.
- GDF. 1996. Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal. Territorial Distrito Federal.
- GDF. 1997. Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Milpa Alta. Gobierno del Distrito Federal (GDF). México.
- GDF. 2000. Fotografías aéreas a escala 1:20,000 de Milpa Alta. Secretaria de Desarrollo Urbano y Vivienda. Gobierno del Distrito Federal (GDF). México.
- GDF. 2006. Información uso de agua en Milpa Alta. Oficina de Información Pública. Gobierno del Distrito Federal. México.
- GDF. 2007. Primer informe de labores. Secretaria de Gobierno. Gobierno del Distrito Federal. México.
- GDF. 2007. Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Milpa Alta 2007 (PDDUMA). Gobierno del Distrito Federal.
- Godínez, I. O. 1999. Regeneración natural, riqueza y diversidad de especies en una selva mediana subperennifolia. Veracruz. Tesis de Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- Gerrard, J. 1992. *Soils Geomorphology: and integration of pedology and geomorphology*. Ed. Chapman & Hall. 1^a. ed. London. pp: 1-68.
- Hammond, A., Adriaanse, A., Rodenburg, E., Bryant, D. and Woodward, R. 1995. *Environmental indicators: A systematic Approach to measuring and reporting on*

- environmental policy performance in the context of sustainable development. World Resources Institute. Washington, DC, USA.
- Harris, R. F., D. L. Karlen, and D. J. Mulla. 1996. A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health. *In*: Doran, J. W., and A.J., Jones. (eds.). *Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Science Society of America, Special Publication No. 49. pp: 61-82.
- Honglin Xiaoa, Qihao Weng. 2007. The impact of land use and land cover changes on land surface temperature in a karst area of China. *Journal of Environmental Management* 85: 245–257.
- Huffman, E., Eirles, R.G., Padbury, G. Wall, G., Mac Donald K.B. 2000. Canadian agri-environmental indicators related to land quality: integrating census and biophysical data to estimate soil cover, wind erosion and soil salinity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 81: 113-123.
- IMTA. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 1996. Extractor rápido de información climatológica (ERIC). Ed. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. Discos compactos.
- INE. 1997. Avances en el desarrollo de indicadores para la evaluación del desempeño ambiental en México, 1997. Ed. SEMARNAP. Ed. Instituto Nacional de Ecología (INE). México. pp: 11-21
- INE. 2002. Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental. SEMARNAT. México.
- INEGI. 1971. IX Censo General de Población y Vivienda, 1970. Distrito Federal. Volumen I Tomo 9. Ed. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), México.
- INEGI. 1984. X Censo General de Población y Vivienda, 1980. Distrito Federal. Volumen I Tomo 9. Ed. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). México.
- INEGI. 1984. Carta Edafológica, y de Uso de Suelo y Tipos de Vegetación de Milpa Alta (E14-A49) y Amecameca (E14-B41) a escala 1:50,000. Ed. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). México.
- INEGI. 1994. Fotografías aéreas de Milpa Alta a escala 1:75,000. Ed. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). México.

- INEGI. 1991. XI Censo General de Población y Vivienda, 1990. Distrito Federal Resultados Definitivos. Ed. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) México.
- INEGI. 1995. Cuaderno Delegación de Milpa Alta. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Delegación en el Distrito Federal. Ed. Instituto Nacional Estadística Geografía e Informática (INEG). México.
- INEGI. 2001. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000. Distrito Federal Tabulados Básicos. Ed. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). México.
- INEGI. 2001. Cuaderno estadístico delegacional Milpa Alta, Distrito Federal. Ed. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). México. 156 p.
- IUSS Working Group WRB. 2006. World Reference Base for Soil Resources. 2nd edition. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
- Jackson E. E., Kurtz C. J., Fisher S. W. 2000. Evaluation guidelines for ecological indicators. U. S. Environment Protection Agency. Office of Research and Development. Research Triangle Park, NC. 107 p.
- Jansen, L.J.M. and Di Gregorio A. 2002. Parametric land cover and land-use classifications as tools for environmental change detection. *Agriculture, Ecosystems and Environmental* 91,pp: 89-100.
- Jáuregui, O. E. 1980. Capítulo 1. Características físico-geográficas y primeros pobladores de la Cuenca de México. *In: La Ciudad de México en el fin del segundo milenio*. Colegio de México y Gobierno del Distrito Federal. pp: 31-86.
- Johnson, D. E. 2000. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. Internacional Thomson Editores. México.
- Kammerbauer, J., Cordoba, B., Escolán, R., Flores, S., Ramírez V., Zeledón, J. 2001. Identification of development indicators in tropical mountainous regions and some implications for natural resource policy designs: an integrated community case study. *Ecological Economics* 36: 45-60.
- Karlen, D. L. and Stott, D. E 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality: *In: Doran, J. W., and T.B. Parkin. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdick, D.F., Stewart, B.A. (eds.). Defining*

- Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America. Special Publication No. 35. pp: 53-72.
- Krzanowski, W. J. (1988) Principles of multivariate analysis, A user's perspective. Dublin Oxford University Press. 563 pp.
- Kent, M. and Coker P. 1998. Vegetation description and analysis. Ed. John Wiley and Sons. Great Britain. 363 p.
- Kirby, M.J., Bissonais L.Y., Coultherd T.J., Doroussin J. and McMahon, M.D. 2000. The development of land quality indicators for soil degradation by water erosion. *Agriculture Ecosystems and Environmental* 81: 125-135.
- Krebs, Ch. J. 1985. *Ecología: Estudio de la distribución y la abundancia*. 2da. ed. Ed. Harla. México. 753 p.
- Kreutzman, H. 2001. Development indicators for mountain regions. *Mountain Research and Development*. 21 (2): 132-139.
- Larson, W. E., and F.J. Pierce. 1991. Conservation and enhancement of soil quality. *In: Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World*. Vol. 2 IBSRAM Proc. 12 (2). Int. Board for Soil. Res. and Manage. Bangkok, Thailand. pp: 175-203.
- LGEEPA. 1998. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación 28 de enero de 1988.
- López-Blanco, J y Villers-Ruiz, L. 1998. Delimitación de las unidades ambientales biofísicas aplicando un enfoque geomorfológico y SIG, para el ordenamiento territorial de los Cabos, Baja California Sur. *Geografía y Desarrollo* 16: 85-99.
- María, F. P., Ciampalini, F., Tiezzi, E. y Zappia, C. 2006. The index of sustainable economic welfare (ISEW) for a local authority: A case study in Italy. *Ecological Economics* 60: 271–281.
- Martin, P. A. 1982. Monogenetic Vulcanism in Sierra Chichinautzín. *Bull. Volcano*. Vol. 45-1. p. 9-24.
- Martín, P. A. 1980. Vulcanología de la Sierra Chichinautzin. Tesis de Maestría en Geología. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 131 p.

- Masera, O., Astier, M., López, R. S. 2000. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación MESMIS. Ed. Grupo Interdisciplinario de Tecnología rural apropiada (GIRA, A.C.). Michoacán. México. 109 p.
- Mendoza, M. E. y Bocco, G. 1998. La regionalización geomorfológica como base geográfica para el ordenamiento del territorio: una revisión bibliográfica. Serie varia Núm. 17. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Moldan, B. y Billharz, S. 1997. Sustainability Indicators. Report of the proyect on indicators of Sustainable development. Ed. Wiley and Sons LTD. England. 415 p.
- Moncayo, R. F. 1970. Manual para uso de fotografías aéreas en dasonomía. Subsecretaria Forestal y de la Fauna. Dirección General del Inventario Nacional Forestal. México, 120, 119 p.
- Mosser, F. H. 1986. Capítulo 1. Características físico-geográficas y primeros pobladores de la Cuenca de México. *In*: La Ciudad de México en el fin del segundo milenio. Colegio de México y Gobierno del Distrito Federal. pp: 31-86.
- Muller-Dombois, D. and Ellenberg, H. 1974. Aims and Methods of Vegetation Ecology. Ed. John Wiley & Sons, Inc. USA. 546 p.
- Munsell. 1994. Munsell soils color charts. United States Department Agriculture Handbook 18. Soil Survey Manual.
- Naranjo A. J. L., Jiménez Mendoza J., Ramírez Hernández R., Tena Carranza V., Robles Becerril E., Montiel, Pérez R., Molina Ramos E. 2002. Programa de manejo forestal persistente para Pino (*Pinus hartwegii* y *Pinus montezumae*) y oyamel (*Abies religiosa*) en 5000.00 ha de bosque comunal en Milpa Alta. Servicios Forestales y Ambientales. México.
- Nijkamp, P. and Vreeker, R. 2000. Sustainability assessment of development scenarios: methodology and application to Thailand. *Ecological Economics* 33: 7-27.
- OECD. 1994. Environmental Monographs No. 84, Natural Resources Accounts: Taking Stock in OECD Organization for Economic Co-operation and Development Countries, Paris.
- OCDE. 1997. Desarrollo Sustentable. Estrategias de la OCDE para el siglo XXI. Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico. OCDE.
- OCDE. 2003. Environmental Indicators. Development measurement and use. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)

- Osinki, E., Meier U., Bruchs W., Weickel, J., Matzdorf, B. 2003. Application of biotic indicators for evaluation of sustainable land use-current procedures and future developments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98: 407-421.
- Osinki, E., Kantelhardt, J., Heissenhuber, A. 2003. Economic perspective of using indicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 209: 1-6.
- Palma M., Cram S., Bocco G., Velázquez, A. 1999. Caracterización abiótica de la región de montaña del sur de la cuenca de México. *In: Velázquez. A. y Romero, F. J. Biodiversidad de la región de montaña del sur de la Cuenca de México.* Ed. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. Secretaria del Medio Ambiente. 351 p.
- Pensado L. M. 2003. Las políticas públicas y las áreas rurales en el Distrito Federal. *Sociología* año 18 número 51. p.73-98.
- PNUD, 1998. Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo. Organización de las Naciones Unidas(ONU).
- PNUMA. 2000. América Latina y el Caribe. Perspectivas del medio ambiente Mundial. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- PNUMA. 2001. Informe sobre los indicadores ambientales y de la sustentabilidad en América y el Caribe. XIII Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América y el Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- Poop J., Hoag, D., Hyatt D. E. 2001. Sustainability indices with multiple objectives. *Ecological Indicators* 1: 37-47.
- Quiroga, R. M. 2001. Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas. CEPAL-Serie Manuales. No. 16. 122 p.
- Ramírez, B. 1997. Diagnóstico integrado. *In: Bases para la planeación del desarrollo urbano en la Ciudad de México. Tomo II: Estructura de la ciudad y su región.* Coordinador Eibenschutz, Hartman Roberto. Ed. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. pp: 353-412.
- Reed, M.S., Fraser, E.D.G., Andrew J. Dougill, A. J. 2006. An adaptative learning process for developing and applying sustainability indicators with local communities. *Ecological Economics* 59: 406-418.

- Reganold, J. P. and Palmer, A. S. 1995. Significance of gravimetric versus volumetric measurement of soil quality under biodynamic, conventional and continuous grass management. *Journal Soil Water Conservation*. 50 (3): 298-305.
- Rennings, K. and Wiggering H. 1997. Steps towards indicators of sustainable development: Linking economic and ecological concepts. *Ecological Economics and Ecological* 20: 25-36.
- Resources Flows: The material Basis of industrial Economies. World Resources Institute: Washington, D.C.
- Ribaudo, O. P., Hoag D. L., Smith, M. E., Heimlinch, R. 2001. Environmental indices and the politics of the conservation reserve program. *Ecological Indicators* 1: 11-20.
- Rivas, V. Rix K., Francés, E., Cendrero, A., Brunsden, D. 1997. Geomorphology indicators for environmental impact assessment: consumable and non-consumable geomorphological resources. *Geomorphology* 18: 169-182.
- Roming, D. E., Garlynd, M. J. and Harris, R. F. 1996. Farmer-based assessment of soil quality: a soil health scorecard. *In: Doran, J W., and T.B. Parkin, 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdick, D.F., Stewart, B.A. (eds.). Methods for Assessing Soil Quality. Soil Science Society of America. Special Publication No. 49. pp: 39-60.*
- Rosenstrom, U. 2002. The potencial for the use of sustainable development indicators in policy-making in Finland. *Futura* 2: 19-25.
- Rzedowski C. G. y Rzedowski R. J. 2001. Flora Fanerogámica del Valle de México. Segunda edición revisada, actualizada e integrada en un sólo volumen. Co-edición entre el Instituto de Ecología, A.C. y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 1006 p.
- Rzedowski, J. y G.C. Rzedowski. 1991. Datos sobre la dinámica de la flora fanerogámica del valle de México, con énfasis en especies nativas raras, en peligro de extinción y aparentemente extintas. *Acta Botánica Mexicana*, 25: 81-108.
- Sánchez, S. O. (1980). La flora del Valle de México. Ed. Herrero. 6a. ed. México. 519 p.
- Salinas S. S. 2005. Mapeo morfogenético y análisis cuantitativo del depósito de avalancha de detritos del volcán Jocotitlán, Estado de México. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México.

- Schwab A., Dubois D., Fried P.M. and Edwards P.J. 2002. Estimating the biodiversity of hay meadow in north-eastern Switzerland on the basis of vegetation structure. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93: 197-209.
- Schlöter, M., Dilly O., Munch, J. C. 2003. Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 98: 255-262.
- SEDUE, 1988. Manual de Ordenamiento Ecológico del Territorio. Ed. Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE). Subsecretaria de Ecología. Dirección de General de Normatividad y Regulación Ecológica. 356 p.
- Siebe C, Arana-Salinas L, Abrams M, 2005. Geology and radiocarbon ages of Tlaloc, Tlacotenco, Cuauhtzin, Hijo del Cuauhtzin, and Ocusacayo monogenetic volcanoes in the central part of the Sierra Chichinautzin, Mexico. *Journal Volcanic Geotherm Res*, 141: 225-243.
- Siebe S, Rodriguez-Lara V, Schaaf P, Abrams M, 2004. Geochemistry, Sr-Nd isotope composition, and tectonic setting of Holocene Pelado, Guespalapa and Chichinautzin scoria cones, south of Mexico City. *J Volc Geotherm Res*, 130: 197-226.
- Segnestam, L. 2002. Indicators of environmental and sustainable development. Theories and practical experience. Environmental economies series. The International Bank for reconstruction and development. The World Bank. No. 89. Washington, D.C.
- Silva L.C. Romero, F.J., Velázquez A., Almeida, L.L. 1999. La vegetación de la región de montaña sur de la Cuenca de México. *In: Velázquez, A. y Romero, F. J. Biodiversidad de la región de montaña del sur de la Cuenca de México*. Ed. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. Secretaria del Medio Ambiente. 351 p.
- Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil survey. *Agriculture handbook 436*. 2nd ed. US Department of Agriculture and Natural Resources Conservation Service. Washington DC.
- Southworth, J., Munroe, D., Nagendra H. 2004. Land cover change and landscape fragmentation-comparing the utility of continuous and discrete analyses for a western Honduras region. *Agriculture, Ecosystems and Environmental* 101: 185-205.
- Stein, A., Riley, J., Halberg, N. 2001. Issues of scale for environmental indicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 87: 215-232.

- Tapia-Varela G. y López-Blanco, J. 2002. Mapeo geomorfológico analítico de la porción central de la Cuenca de México: unidades morfogenéticas a escala 1:100,000. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 19 (1): 50-65.
- Torres L. P. y Cruz C. J. 1999. Indicadores del Desarrollo Sustentable: su construcción y usos. *Argumentos* 34. UAM-X. México.
- Trejo, V. I. 1983. Estudio de vegetación en la zona de Tlacoztitlan en la depresión oriental del Río Balsas Gro. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- Tricart, J. 1992. *Ecogeography and rural management*. Ed. Longman Scientific Technical. N.Y. 263 p.
- United States Department Agriculture. 1996. Indicators for soil quality evaluation. National Soil Survey Center. Soil Quality Institute, NRCS, USDA and National Soil Tilth Laboratory, Agriculture Research Service, USDA. 6 p.
- Valentin, A., Spangenberg J. H. 2000. A guide to community sustainability indicators. *Environmental Impact Assessment Review* 20: 381-392.
- van den Bergh, J.C.J.M., Verbruggen, H. 1999. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the ecological footprint. *Ecological Economies* 29: 61-72.
- van Zuidam, R. A. 1986. Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. International Institute for Aerospace Survey and Herat Sciences (ITC). Netherlands. 441 p.
- Verstappen, H.Th. y van Zuidam, R.A. 1991. The ITC system of geomorphologic survey: a basis for the evaluation of natural resources and hazards. ITC Publication 10. 89 p.
- Waldhardt, R., Simmering, D. and Albrecht, H. 2003. Floristic diversity at the habitat scale in agricultural landscape of Central Europe -summary, conclusions and perspectives. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98: 79-85.
- Walkley A., Black I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
- Winograd M., y Farrow A. 2000. Desarrollo de indicadores. Lecciones aprendidas de América Central. Proyecto Centro Internacional de Agricultura Tropical-Banco Mundial-Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 49 p.

WCED. 1987. World Commission on Environment and Development in its 1987 report entitled Our Common Future.

ANEXO 1.

Diseño de la entrevista aplicada a los productores, comuneros y pobladores de la delegación Milpa Alta.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
DETERMINACIÓN Y APLICACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES EN MILPA ALTA,
DISTRITO FEDERAL.

ENTREVISTA: (Cambios presentados de 1970 a 2000).

I. Tenencia de la tierra:

- 1.- ¿Con quiénes colindan?
- 2.- ¿Cuánto tienen de terrenos de uso común?
- 3.- ¿A los hijos se les dan nuevas tierras?
- 4.- ¿Qué problemas de reparto de tierra existen en la comunidad?

II. Demográficos:

- 5.- ¿Ha crecido o disminuido el número de familias?
- 6.- ¿Qué tanto se va la gente a trabajar temporal o definitivamente a otros lugares y a Estados Unidos?
7. ¿En la delegación se presentan problemas de asentamientos irregulares?

III. Sistemas de producción:

- 8.- ¿A qué se dedica la gente en la comunidad?
- 9.- ¿Qué producen para vender y en donde lo venden?
- 10.- ¿Cuántos se dedican a las actividades agropecuarias?
- 11.- ¿Usan fertilizantes, herbicidas o insecticidas?
- 12.- ¿Aplican tecnología en el cultivo de nopal verdura?
- 13.- ¿Cuál es el rendimiento de la producción de avena?
- 14.- ¿Dentro de la comunidad cuántas personas se dedican al cultivo de avena?
- 15.- ¿Dónde siembran el cultivo de maíz y donde lo venden?

IV. Recursos naturales:

Clima

- 16.- ¿Considera que llueve menos?
- 17.- ¿La temperatura ha incrementado?
- 18.- ¿Se han presentado sequías en la delegación?

19.- ¿Hay más incendios ahora que antes?

Suelos

20.- ¿Cuales son las áreas con suelos mejor conservados?

21.- ¿Donde se encuentran los suelos más fértiles?

22.- ¿Se presentan problemas de erosión, en que áreas?

23.- ¿Cree usted que los suelos se han visto alterados tanto en el bosque como en las áreas agrícolas?

Agua

24.- ¿Cuántos manantiales permanentes y/o arroyos tienen dentro de la comunidad?

25.- ¿Para qué utilizan el agua y quién regula el uso?

26.- ¿Cuántos pozos de agua potable existen en la comunidad y cuántos son utilizados para la actividad agrícola?

27.- ¿Tienen problemas con el abastecimiento del agua?

28.- ¿Existe carencia de agua para uso diario?

29.- ¿Cuales son los problemas principales con respecto al uso y manejo del agua?

Vegetación

30.-¿Cuántas hectáreas de bosque tienen?

31.-¿Cuánto es de uso común?

32.-¿Para qué lo utilizan?

33.-¿Quién o quiénes regulan el uso del bosque?

34.-¿Cuántos tienen el derecho de uso de los bosques?

35.-¿Considerando 30 años ¿Hay menos bosque que antes? y ¿Por qué?

36.-¿Han aprovechado sus bosques de manera comercial? ¿Cuándo?

37.-¿Se han perdido bosques por causa de los incendios?

38.-¿Se han perdido bosques por causa de plagas y enfermedades, dónde?

39.- ¿Existe tala clandestina en los bosques?

Geomorfología

40.- ¿Se han presentado derrumbes en la delegación, dónde? y cuándo?

41.- ¿Se han presentado inundaciones, dónde? y cuándo?

42.- ¿Hay extracción de arena o piedras, como lo regulan?

V. Reglamento y normatividad:

43.- ¿Existe un reglamento escrito para la regulación de las actividades de los comuneros?

44.- ¿Quién da el permiso para el uso de los recursos agua y bosque en la comunidad?

45.- ¿Hay sanciones para quienes abusen del agua y bosques de la comunidad?

VI. Infraestructura:

- 46.- ¿Cuentan con caminos para ir a sus parcelas y sacar sus cosechas?
- 47.-¿Han perdido cosechas por la falta de transporte y caminos?
- 48.- ¿Hace cuántos años que tienen caminos?

VII. Áreas Naturales Protegidas

- 49.- ¿Se deberían conformar Áreas Naturales Protegidas en Milpa Alta?
- 50.- ¿Qué áreas podrían ser sujetas a conservación como ANP.?

VIII.- Programas de Gobierno

- 51.- ¿Qué apoyos reciben por parte del gobierno para las actividades agropecuarias y forestales?
- 52.- ¿En que los aplican?
- 53.- ¿Reciben asistencia técnica? En que actividades?

Entrevistados

- Sr. Armando Jiménez Jiménez. San Salvador Cuautenco, Milpa Alta
- Sr. Gregorio Jiménez Jiménez. San Salvador Cuautenco, Milpa Alta
- Sr. Julián Flores Aguilar. Villa Milpa Alta
- Sr. Guillermo Carrillo Miranda. San Lorenzo Tlacoyucan. Milpa Alta
- Sr. Agustín Aguilar Segundo. San Pablo Oztotepec. Milpa Alta
- Sr. Joaquin Alvarado Galindo. Santa Ana Tlacotenco. Milpa Alta
- Sr. Pascual Gallegos Palma. San Pablo Oztotepec. Milpa Alta
- Sr. Pablo Llanos Alarcón. San Pablo Oztotepec. Milpa Alta
- Sra. Teresa Molina Alunizar. San Pablo Oztotepec. Milpa Alta
- Sr. Gaudencio Palma Domínguez. San Pablo Oztotepec. Milpa Alta
- Sr. Sergio Macillas Rosas. San Salvador Cuautenco. Milpa Alta
- Sr. José García Flores. San Jerónimo Miacatlán. Milpa Alta
- Sr. Estanislao García Olivos. Villa Milpa Alta
- Sr. Rumualdo Perez Ruíz. San Francisco Tecoxpa. Milpa Alta
- Sr. Octavio Martínez Bonilla. San Juan Tepenahuac. Milpa Alta
- Sr. Angel González Rosas. San Agustín Othenco. Milpa Alta
- Sr. Ernesto González Reyes. San Lorenzo Tlacoyucan. Milpa Alta
- Sr. Martín Segura. San Lorenzo Tlacoyucan. Milpa Alta
- Sr. Miguel Toledo Arenas. San Salvador Cuautenco. Milpa Alta
- Sr. Luis Alberto Quevedo. San Pablo Oztotepec. Milpa Alta.
- Sr. Wulfrano Acosta Rosales. San Salvador Cuautenco. Milpa Alta
- Sr. Hedilberto Ramírez Lozada. San Salvador Cuautenco. Milpa Alta

Sr. Galo Gustavo Suárez Cordón. San Pedro Atocpan. Milpa Alta
Sr. Juan Navarro Martínez. San Jerónimo Miacatlán. Milpa Alta
Sr. Efrén Ibáñez Olvera. San Juan Tepenahuac. Milpa Alta
Sr. Servando Gallardo Silva. San Francisco Tecoxpa. Milpa Alta
Sr. Alberto Meza melo. San Lorenzo Tlacoyucan. Milpa Alta

ANEXO 2. FOTOGRÁFICO



Figura A2.1. Laderas y planicie internas del Volcán Cuautzin, con bosque de *Pinus hartwegii* y pastizales de la especie *Festuca toluensis*



Figura A2.2. Trabajo de campo en la toma de muestras de suelo en el paraje Los Otates.



Figura A2.3. Laderas externas del Volcán Tláloc, constituida por Bosque de *Pinus hartwegii* y pastizales



Figura A2.4. Pastoreo de ovinos, principal actividad ganadera en el área de estudio



Figura A2.5. Cobertura vegetal con Matorral de *Sedum* spp. en las laderas de flujos lávicos del Volcán Chichinautzin



Figura A2.6. Incendios en el bosque de *Pinus* spp. en el Volcán la Comalera.



Figura A2.7. Cultivo de nopal verdura en el pueblo de San Lorenzo Tlacoyucan.



Figura A2.8. Laderas de flujos lávicos, piedemonte mixto y planicie intermontana en el Volcán Tláloc.