



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA**

**“EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA DEGRADACIÓN
DE TIERRAS DE LA CUENCA DE ZAPOTITLÁN SALINAS,
PUEBLA”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G O

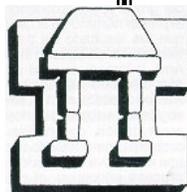
PRESENTA:

ISMAEL HERNÁNDEZ ARZATE

DIRECTOR DE TESIS: M en C. FRANCISCO LÓPEZ GALINDO

LOS REYES IZTACALA, ESTADO DE MEXICO

2005.





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.

Posado en la cima de la cumbre,
Su mirada clavada en el horizonte.
A sus pies mira el pueblo que lo vio nacer,
Don Leo como le conocen, sabe muy bien
Lo que se hace y lo que hay que hacer,
Para que la Tierra siga dando sus frutos.
Yo nací aquí, y aquí me moriré,
La tierra nos ha dado vida, cobijo y sustento,
Y es nuestra obligación preservarla,
Y así, nuestros hijos y los hijos de nuestros hijos,
Seguirán viviendo de la tierra.

Ismael H. Arzate.

DEDICATORIAS

A mis padres

Josefina Arzate Guzmán e Ismael Hernández Ramírez

Por su apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida, por confiar en mí y por ser cómplices de todas las aventuras que he emprendido; por que gracias a ustedes he podido lograr este trabajo; y muchas cosas más, por ser unos excelentes padres y por que son un ejemplo de lucha incansable. Los quiero.

A mi hermana Maribel

Por compartir juntos toda una vida, por estar a mi lado cuando te he necesitado,
Te quiero.

A mí segunda madre

Mercedes Hernández Ramírez, por su valioso apoyo a lo largo de mi vida, por enseñarme a nunca rendirme ante las adversidades que se susciten.

A mis abuelas Anita Ramírez, Guadalupe Guzmán† y a mis Abuelos Leonardo Hernández†, Ponciano Arzate†, por sus invaluable consejos.

A Andrés Garza Díaz Barriga†, por haber sido un gran amigo.

AGRADECIMIENTOS

M. en C. Francisco López Galindo, por tu colaboración en este trabajo y sobre todo por tu valiosa amistad. Gracias Pancho.

M. en C. Daniel Muñoz, por enriquecer en este trabajo con sus importantes anotaciones.

Dr. Diodoro Granados Sánchez, por haber considerado este trabajo y por su valioso apoyo recibido para el mismo.

Biól. Rosario Fernández Barajas, por sus importantes observaciones para mejorar este trabajo.

Biól. Arnulfo Reyes por sus valiosas revisiones y aportaciones, para el mejoramiento de este trabajo.

Biól. Alfonso Soler Aburto, por sus comentarios acertados y su importante participación para enriquecer este trabajo y por su invaluable amistad.

M en C. Mayra Hernández Moreno, por sus aportaciones en este trabajo.

Dr. Humberto Macias Cuellar, por su importante contribución y tus aportaciones para la mejoría de este trabajo.

Dr. Rafael Lira Saade, por su valiosa amistad.

Dr. Oswaldo Téllez, por su colaboración en este trabajo.

Dr. Saúl Maya Flores, por haber sido parte de mi formación académica.

Dr. Rodolfo de la Torre, por su notable colaboración y participación en campo.

Dr. Miguel Jiménez Valdez, por sus aportaciones para la mejoría de este trabajo.

C. Juan Ismael Calzada, por su conocimiento aportado acerca de la flora existente en la zona de estudio.

Ing. Gilberto Galeote Rivera, por permitirme ser parte de su equipo de trabajo, y por su valiosa amistad.

Ing. Sergio Cruz Velazco, por considerarme en la participación de los proyectos en los cuales pude participar.

Ing. Santiago Zepeda González, por brindarme su apoyo en los diferentes proyectos llevados a cabo.

Ing. Álvaro Acevedo Hernández, por darme la oportunidad de colaborar en su departamento a su cargo.

A los Ingenieros: Gabriela Vilchis García, Daniel Moreno Flores, Rosy Tinajero, Armando Lorenzana Fernández, Luis Ramón Moreno Chávez, Juan Díaz Reyes, Silvestre Pliego Omaña, Alfredo Arciniega, Leopoldo Zamacona, Hermenegildo Guadarrama, Isabel Mendoza, Rafael Candelas, Rubén Peña, Rubén Huerta Paniagua, Guillermo García, Carmen Zapata, Manuel Herrera, Oscar Morquera, Sonia Mosquera, Mario León Olguín, Carlos Herrera, Francisco Herrera, Paul Sanguino; a los Biólogos: Magdalena Azamar Oviedo, Sergio Caballero, Elinor, a las Licenciadas: Norma Elena González, Adriana Reynoso Patiño, Carmen Santana, Yolanda Moya; a los Geógrafos: Juan Carlos Serrano, Edith Gómez, Reyes Hurtado, Javier Jiménez, Ricardo Manzano, Segio Cuevas, Gabriela Orozco, Gerardo Valdez, Beatriz Pichardo y Eric Salazar.

A mis tías: Ernestina Hernández, Catalina Hernández, Guadalupe Lara, Lilia Lara, Eugenia, Hernández, Mis tíos: Gabriel Hernández, Silvestre Hernández, Arturo Paredes, Arturo Lara, Ernesto Arzate, Gonzalo Arzate, A mi cuñado Carlos Ceballos Téllez.

A los amigos, colegas y compañeros: Lic. Juan García González, Dr. Daniel Montaña Vargas, Dra. Dalila Jaramillo, Lic. Oscar Montaña Vargas, Lic. Rodolfo Vázquez Solano, Ing. Edgar Gutiérrez Boyzo, Ing. Salvador Gutiérrez Boyzo, Lic. Uriel González, Lic. Cesar Chávez Ruiz, Lic. Luis García Barroso, Lic. Armando Flores, Lic. Horacio Quiroz, Lic. Alejandro Benítez Fuentes, Lic. Luis Bustos, Lic. Tomas Sarti Guerrero, Lic. Laura Vilchis, Lic. Mariana Rosas, Ing. Mónica Silva, Lic. Edith Benítez, Lic. Elizabeth Vilchis, Lic. Laura Caballero, Lic. Indira Prado, Arq. Pulina Díaz Barriga, Lic. Rosario Altamirano, Ing. Carlos Castillo, Ing. Carlos Mora, Lic. Francisco Padilla, Arq. Alejandro Barrera, Alan Sánchez, Erika Barajas Olivares, Claudio Cesar Noria Melgoza, Mauricio Ibarra, Carmen Castillo, Miguel Castillo, Marcos Zarate, Eufrosina Hinojosa, Concepción Pérez, Ediht Rangel, Manuel Ayala, Mayela Chairez, Omar Ángeles, Ángel Piña, Ricardo Gózález, Chistian Colín, Genesis Reynoso, Arely Hernández, Vanesa, Ligeia y Carolina Garza, Vladimir Nabor, Areth Arzaluz, Fermín Feria, Dalia Goldhaber, Arlette Robledo, Sandro Muñoz, Esmeralda Cortes, Eva García, Luis Morales, Sofía Gutiérrez, Benjamín Marín, Edmundo Flores, Sajid Vega, Alfonso del Valle, Buena Ventura Domínguez, Alejandro Evangelista, Alfonso Frías, Ulises Torres, Alejandro Castellanos, Antonio Toro, Juan Mendoza, Juan Carlos Ochoa, Antonio Moreno, Enrique y Gerardo Armas.

Al Orfelinato (los Ozomatli de Aragón), La Julia, La Calle, Oveja Negra y por Supuesto al Apeiron: Alejandro Araiza, Jorge Lázaro, Flavio Lara y Gabriel Hernández.

CONTENIDO		PÁGINA
RESUMEN		1
1. INTRODUCCIÓN		2
2. JUSTIFICACIÓN		4
3. HIPOTESIS		5
4. ANTECEDENTES		5
5. OBJETIVOS		7
5.1. Objetivo General.....		7
5.2. Objetivos Particulares.....		7
6. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA		8
6.1. Antecedentes históricos de las investigaciones relacionados con la erosión y degradación del suelo.....		8
6.2. Importancia de las zonas áridas y semiáridas en México.....		16
6.3. Procesos de desertificación.....		16
6.4. Conceptos sobresalientes en el marco de la Degradación de Tierras.....		17
6.4.1. La Degradación del Suelo.....		17
6.4.2. Factores causativos de la degradación.....		20
6.4.3. Tipos de degradación.....		22
6.4.4. Formas de evaluación de la degradación del suelo.....		23
6.5. La importancia de los sistemas de información geográfica (SIG's) y su utilización en la evaluación de la degradación y toma de decisiones con una dimensión espacial.....		24
6.6. La Cuenca Hidrográfica como unidad de gestión holística del manejo de suelo y agua.....		25
6.7. Medidas de protección y rehabilitación para contrarrestar la degradación del suelo.....		25
6.8. Restauración y Conservación de Áreas Degradadas.....		27
7. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO		28
7.1. Ubicación del Área de Estudio.....		28
7.2. Fisiografía.....		28
7.3. Geología.....		28
7.4. Edafología.....		29
7.5. Clima.....		30
7.6. Hidrología.....		30

7.7. Vegetación.....	30
7.8. Unidades Administrativas de la Tenencia de la Tierra.....	31
8. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
9.1 Evaluación del estado actual de la degradación de tierras de la Cuenca.....	35
9.1.1. Erosión Hídrica (Wt/Wd).....	35
9.1.2. Erosión Eólica (Et/Ed).....	36
9.1.3. Degradación Física (Pc, Pk).....	36
9.1.4. Degradación Química (Cn,Cp).....	36
9.1.5. Degradación Biológica (A, Bl, Pu).....	37
9.1.6. Factores Causativos (f/s/p/i/m).....	37
9.1.7. Tierras Estables (Shc, Shp, Shr).....	38
9.1.8. Tierras con tasas de degradación nula (Sn, Snv).....	38
9.1.9. Áreas de Regeneración de Cobertura Vegetal Natural (R).....	38
9.1.10. Evaluación temporal del procesos de la Degradación de Tierras, distribución y superficies.....	39
9.1.11. Estrategias de conservación biológica y/o reversión de la Degradación para la zona.....	46
10. CONCLUSIONES.....	48
11. SUGERENCIAS.....	50
12. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	52
13. ANEXOS.....	62
13.1. Criterios de evaluación GLASOD modificados para Zapotitlán.....	62
13.2. Flora silvestre local recomendada para efectuar acciones de restauración, rehabilitación y revegetación en la Cuenca de Zapotitlán Salinas Puebla....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA No.	PÁGINA
1. Ubicación del área de estudio.....	31
2. Región Hidrológica del Río Papaloapan.....	32
3. Gráfica comparativa de los Tipos de Degradación de Tierras entre los años 1970 y 2003.....	39
4. Panorámicas y distribución de los tipos de Degradación de Tierras identificados para la zona.....	41
5. Factores causativos de la Degradación de Tierras identificados para la zona....	42
6. representación Ortofotográfica de la estructura física de la Cuenca de Zapotitlán Salinas.....	43

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA No	PÁGINA
1. Degradación de Tierras de la Republica Mexicana.....	13
2. Superficies de Tierras determinadas en función al tipo de Degradación.....	40

ÍNDICE DE MAPAS

MAPA No.	PÁGINA
1. Mapa de las clases de degradación de tierras de la cuenca para 1970.....	44
2. Mapa de las clases de degradación de tierras de la cuenca para 2003.....	45

RESUMEN

La degradación de los recursos naturales en zonas áridas y semiáridas, es un tema de creciente preocupación a nivel mundial y en nuestro país no ha sido la excepción; de tal manera que, la degradación del suelo es un problema bastante grave y causado por diversos factores. Dado que la degradación del suelo se extiende a gran velocidad día con día, es necesario mitigar, restaurar y conservar el suelo productivo, e impedir que se extienda a las áreas no afectadas. La presente investigación tiene por objetivo evaluar el estado actual de la degradación de tierras de la Cuenca de Zapotitlán Salinas, comparando los procesos de degradación a través de un periodo de 33 años; así mismo, proponer estrategias de manejo dirigidas a disminuir la degradación de tierras, dentro del marco del desarrollo sustentable. El trabajo se inició con una exhaustiva revisión bibliográfica y cartográfica; posteriormente, se realizó una foteointerpretación, comparando fotografías aéreas pancromáticas b/n de contacto (1970), ortofotos digitales (1995) e imágenes satelitales falso color. Para definir los tipos y grados de degradación de tierras se aplicó como criterio el sistema internacional “Global Assessment of the Current Status of Human-Induced Soil Degradation (GLASOD)”, complementado con la guía “The Assessment of the Status of Human-Induced Soil Degradation in South and Southeast Asia (ASSOD)”, modificados de acuerdo a la escala regional y condiciones naturales de la zona de trabajo, determinando así los sitios de verificación. Los cuales fueron evaluados en campo y estableciendo los límites espaciales definitivos; con la información generada se elaboró la cartografía de degradación correspondiente a escala 1: 25,000, e impresión a 1: 250,000, empleando los Sistemas de Información Geográfica Ilwis 3.1 y Arc view 3.2. Los resultados indican, que de las 40,275.31 ha que comprende la cuenca, los tipos de degradación que más han afectado la zona, a lo largo de 33 años son: la Erosión Hídrica, que para 1970 afectó 3,397.87 ha, actualmente se ha incrementado a 10,629.34 ha; Degradación Biológica que en un principio alteró 126.73 ha, aumentó a 2,714.79 ha y Degradación Química que hoy en día se ha manifestado en 649.44 ha. En contraste, existen tierras con tasas de Degradación Nula que al principio de la evaluación constituían una superficie de 27,408 ha disminuyendo a 19,236.86 ha; de igual forma, se determinaron Terrenos Estables con Sistemas de Conservación que abarcaban 5,674.14 ha y que se han reducido a 4,314.87 ha; por otra parte, también se identificaron 4, 819.92 ha en proceso de Revegetación Natural, para los 70’s y que se han visto decrementadas a 1,247.22 ha. Los factores causativos que propician la degradación son: la erosión hídrica y eólica, el cambio de uso de suelo de forestal a agrícola, la extracción de materiales para la minería, la obtención de sal, la compactación y los altos índices de salinidad en el suelo. Se recomienda ejecutar acciones de restauración y conservación de suelo y captación de agua, preservar los sistemas naturales, puesto que gran parte de la fauna y flora existente son de suma importancia ecológica y económica, reglamentando el uso del suelo y elaborando programas de conservación y manejo racional de recursos comunitarios.

1. INTRODUCCIÓN

Distribuidas a lo largo y ancho del territorio Mexicano se encuentran las zonas áridas y semiáridas con una de las riquezas biológicas más grandes del mundo (Rzedowski, 1978; Toledo, 1988); estos tipos de ecosistemas ocupan alrededor del 60 % del territorio y constituyen la mayor parte de los paisajes que dominan el escenario ambiental del país.

Dentro de esta gama de diversidad biológica, relacionadas en su origen con el patrón general de circulación de la atmósfera, que crea a nivel mundial una franja de aridez entre los 15 ° y 35 ° de latitud Norte y, particularmente en nuestro país, como resultado del efecto de la sombra orográfica producida por las cadenas montañosas, los desiertos mexicanos concentran un alto porcentaje de plantas y animales endémicos y una considerable proporción de la diversidad biológica, que se acentúa hacia las proporciones más tropicales de su distribución geográfica (Valiente-Banuet, 1991).

Dichas zonas constituyen un mosaico pluriétnico con más de 20 grupos indígenas cuya subsistencia depende de actividades tales como: la agricultura en muchos casos dirigida al autoconsumo, el pastoreo extensivo de cabras y vacunos, así como la recolección de plantas silvestres; junto a esta economía campesina tradicional, se desarrollan importantes polos de desarrollo agroindustrial y pecuario. Todos estos procesos productivos constituyen la base de la subsistencia de muchas comunidades campesinas e importantes piezas para el desarrollo económico regional y nacional (Dávila, 1997).

Sin embargo, existen hoy día graves problemas ambientales como resultado de un desenvolvimiento inadecuado de los procesos de uso y manejo de los recursos naturales que ponen en riesgo la integridad del gran reservorio de diversidad biológica y cultural, así como la base material para el sostenimiento de los procesos productivos (Valiente-Banuet *et al.*, 1996). El impacto que ha ocasionado el proceso de degradación natural y antrópica sobre la estabilidad estructural y funcional de los ecosistemas de la tierra, ha sido resentido por los organismos que la han habitado y utilizado desde tiempos inmemoriales; no obstante, la apreciación y el análisis de este proceso se empezó a desarrollar en el presente siglo (FAO, 1980).

Por otra parte, la degradación de los recursos naturales de zonas áridas es un tema de creciente preocupación mundial en la actualidad; que ha sido denominada globalmente como **desertificación**, y constituye un proceso generalizado de deterioro de la tierra que afecta la regularización del ciclo hidrológico, el amortiguamiento de los cambios climáticos, la permanencia de la biodiversidad y la fijación de la energía, además afecta la capacidad biológica del ecosistema (FAO, 2000), lo que a su vez provoca el deterioro económico y social de la población asentada en las áreas afectadas (Ortiz-Solorio *et al.*, 1994).

Estos procesos de deterioro que en su conjunto han sido integrados dentro del concepto de desertificación, constituyen una de las problemáticas más grandes de los países de América Latina y frente a la cual llama la atención la insuficiencia de información sobre los procesos de deterioro natural, así como los mecanismos involucrados en el mantenimiento de la diversidad en las comunidades áridas (Valiente-Banuet, 1991).

Para varios autores la degradación de suelos es considerada como una amenaza para la seguridad alimenticia de una creciente población mundial; se estima que cada año se pierden entre 5-6 millones de hectáreas por degradación severa, según la Global Assessment of the Current Status of Human-Induced Soil Degradation (GLASOD) (Oldeman, 1988), las principales causas de la degradación de los suelos en forma general son: deforestación (29 %), sobre pastoreo (35 %) y mal manejo de la tierra (28 %), mientras que la sobre utilización y la contaminación tiene un menor porcentaje (Baumman, 1999).

En México, la cifra oficial sobre la superficie de suelos con algún tipo de degradación es de aproximadamente a 125,460.475 ha., lo que equivale a un 64% del territorio nacional (SEMARNAP, 1999; INE, 2004). La principal causa de la degradación de suelos es la deforestación asociada al cambio de uso con fines de producción agropecuaria, lo cual genera el 53 % de la superficie afectada, siguiéndole el sobrepastoreo asociado, generalmente, a la ganadería extensiva, que es el causante del deterioro de tierras en el 25 % y en tercer lugar, las prácticas agrícolas no sostenibles que originan los problemas de degradación en alrededor del 20 % de la superficie afectada. En menos de 200 años el hombre habrá agotado todas las tierras productivas del planeta y pareciera que no se tiene conciencia de que si se destruye este recurso, se destruye la posibilidad de sobrevivencia de la humanidad (Becerra, 1999).

En las últimas décadas, en los países en desarrollo se ha ido haciendo más crítico el deterioro y la pérdida de los recursos naturales: suelo, aire y elementos bióticos, como producto del cambio abrupto o desaparición del ecosistema con el fin de producir alimentos y otros satisfactores, para cubrir las necesidades de una población humana creciente, que han implicado actividades como: la explotación destructiva del bosque, para la producción de madera y la incorporación de nuevas superficies para producción agrícola y pecuarias; la urbanización creciente derivada del incremento de la población y por consiguiente, el aumento de la proporción urbana y la industrialización. De tal manera que en México la erosión acelerada es un fenómeno que afecta al 70 % de su superficie (León- Arteta, 1976; *In*: Volke, 1984).

Por otra parte, la reserva de la biósfera de Tehuacán-Cuicatlán en el Estado de Puebla, es considerada por la International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN) como un centro de mega diversidad y endemismo a nivel mundial (Dávila, 1997); también es un sitio universalmente reconocido por su relevancia paleontológica (Aguilera, 1906; Alencaster, 1956; Buitrón, 1970) y antropológica que hacen de la reserva una zona de gran importancia para su conservación. En esta reserva se encuentra el cuenca de Zapotitlán, que presenta una problemática ambiental bien definida: baja productividad, desertificación y desertización, alteración de los sistemas naturales, desequilibrio en los procesos e interacciones ecológicas; disminución y pérdida de la biodiversidad, pérdida de los servicios ecológicos; aunado a altos niveles de pobreza y marginación de múltiples comunidades humanas (SEMARNAP, 1996).

Por estas razones, el presente trabajo tiene como finalidad evaluar los procesos de degradación natural y antrópica, para definir estrategias de manejo, restauración y conservación de los sistemas naturales degradados en la cuenca de Zapotitlán Salinas.

2.JUSTIFICACIÓN

Las zonas áridas y semiáridas son ecosistemas complejos con potencial natural suficiente para propiciar una buena calidad de vida para sus poblaciones si se adopta una concepción del desarrollo que sea socialmente justo ecológicamente sustentable, culturalmente apropiado y basado en una visión holística de la ciencia y la naturaleza.

Una de las zonas de gran importancia para México, se encuentra en la Reserva de la Biósfera de Tehuacán-Cuicatlán esta es de gran importancia ecológica, pues entre otras cosas, es un sitio que expone ejemplos vivos de la gran diversidad biótica de zonas secas, sus múltiples formas biológicas y variadas expresiones de estrategias de adaptación, y en general a sus asociaciones, se les confiere un carácter de exclusividad y otorga una gran importancia biogeográfica, a tal grado de que existe gran cantidad de sus especies en *status* de endémicas. Además de que se cuenta con una amplia historia cultural, que desde tiempos prehispánicos hasta la actualidad han caracterizado la zona.

A su vez se presentan grandes extensiones de áreas conservadas, en donde el uso ha sido mínimo; son sitios en que los pobladores locales se han dedicado a la recolección de productos animales y vegetales, así como a la introducción de ganadería caprina y de cultivos temporales. También se encuentran terrenos deteriorados con diversos niveles de degradación natural. Este mosaico de formas de uso y conservación del paisaje se considera un modelo ideal para el estudio de la degradación de tierras.

Además, considerado en el marco jurídico, por medio de la Ley de Aguas Nacionales, la Ley Forestal Sustentable y La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente, las cuales hacen énfasis en la conservación de suelo y agua ya que estos recursos son considerados de seguridad nacional, a través del manejo integral de cuencas, esta es una de las estrategias para el combate a la desertificación y al desarrollo rural sustentable, con el propósito de contribuir a la conservación de la biodiversidad y a la creación de planes de manejo y uso sustentable de los ecosistemas.

Así mismo, nuestro país es miembro de la Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Manejo de Cuencas Hidrográficas. (REDLACH), auspiciada por FAO. Por lo cual adquirió el compromiso de cumplir con los objetivos que establece esta red.

Sin embargo, a pesar de que se tienen múltiples estudios de diversas disciplinas, aún es de suma importancia información acerca de la evaluación de los sistemas deteriorados y los que están altamente afectados, como base para restaurar ecosistemas degradados con el fin de reactivar su productividad y procesos naturales, determinar acciones para rehabilitar ecosistemas degradados con sus especies nativas, desarrollo de mecanismos de conservación *in situ* y *ex situ* de biodiversidad, proponer proyectos productivos alternativos, crear una cultura que vincule el desarrollo económico de la zona con el manejo y aprovechamiento racional de los recursos locales.

3. HIPOTESIS

Los procesos de degradación de la Cuenca provocan cambios en el suelo, disminuyendo su calidad y aptitud natural; de igual afectara considerablemente el deterioro de los ecosistemas, por lo tanto, la calidad de vida de los pobladores se vera mermada a consecuencia de la degradación de la tierra.

4. ANTECEDENTES

La Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, en donde se encuentra la zona de estudio ha sido investigada de manera muy extensa en múltiples aspectos y diversos temas de los cuales los más sobresalientes son:

Estudios paleontológicos

Félix (1891) y Lenk (1891) estudian la geología de la región de Tehuacán y sus alrededores, ubicando y caracterizando las formaciones pertenecientes a los periodos Jurásico y Cretácico.

Villada (1905) realizó una expedición paleontología y estratigráfica en la región de San Juan Raya - Zapotitlán.

Aguilera (1906) publicó una lista de invertebrados fósiles de la región de San Juan Raya.

Müllerried (1934) registró las especies de nerineos descritos por Félix (1891) y Lenk (1891) en San Antonio de las Salinas y San Juan Raya.

Alencáster (1956) realizó un estudio de los pelecípodos y gasterópodos de San Juan Raya.

Calderón-García (1956) estudió la estratigrafía y tectónica del Sur de Puebla, donde encuentra gruesos bancos de calizas con monopleuros y nerineos en localidades de las formaciones de Zapotitlán y San Juan Raya.

Buitrón (1970) realizó un estudio sobre los equinodermos de la región de San Juan Raya-Zapotitlán.

Buitrón y Barcelo (1980) describieron la diversidad de nerineidos del Cretácico Inferior de la región de San Juan Raya.

Investigaciones de vegetación y recursos naturales

Gold y Matuda (1956) describieron las relaciones entre cactáceas y otras fanerógamas de Tehuacán.

Meyrán (1973) publicó una guía botánica de cactáceas y otras suculentas del Valle de Tehuacán.

El Instituto Nacional de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos inició la clasificación del estudio de la vegetación de la región de Tehuacán-Cuicatlán por métodos cuantitativos y estadísticos. De este trabajo derivó el diseño y la creación del jardín botánico y vivero de cactáceas “Dra. Helia Bravo”. (INE-SEMARNAP, 1997).

Villaseñor *et al.* (1990) realizaron un estudio fitogeográfico del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.

García (1991) analizó las unidades del paisaje en la cuenca del Río Zapotitlán y la relación de la vegetación con estas unidades.

Valiente-Banuet *et al.* (1991) investigaron la relación espacial entre las cactáceas y los arbustos nodrizas en el Valle de Zapotitlán.

Casas (1994), analizó las relaciones hombre-naturaleza en la región desde la perspectiva del aprovechamiento de los recursos naturales y su impacto sobre los mismos.

Valiente-Banuet *et al.* (1995) evaluaron aspectos de desarrollo sustentable para los bosques de cactáceas columnares en el Valle de Tehuacán.

La International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN), reconoce al Valle de Tehuacán-Cuicatlán como una área de alta concentración de endemismos (Dávila, 1997).

Osorio (1996) evaluó los tipos de vegetación y diversidad *beta* en la zona.

Arizmendi y Espinosa (1996) realizaron una lista de la avifauna de los bosques de cactáceas columnares en el Valle de Tehuacán.

Se debe a los Doctores Faustino Miranda, Maximino Martínez, Jerzy Rzedowski, Helia Bravo, Hernández Xolocotzin, entre otros, los estudios sistemáticos y completos de la flora de la región, con especial énfasis destaca la Doctora Helia Bravo Hollis, quien durante más de 50 años se dedicó al estudio e identificación de las cactáceas de todo México (INE-SEMARNAP, 1997).

Cardel *et al.* (1997) evaluó el estatus ecológico y la densidad poblacional de *Beaucarnea gracilis*.

Flores-Hernández *et al.* (1999) describieron la vegetación esclerófila perennifolia del Valle de Tehuacán.

Oliveros (2000) caracteriza la estructura de las comunidades vegetales en las terrazas fluviales del río Salado en el Valle de Zapotitlán.

Casas *et al.* (2001) evaluaron la riqueza de los recursos vegetales, así como sus formas de uso y manejo en la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán.

Esparza-Olguín *et al.* (2002) realizaron un análisis demográfico de *Neobuxbaumia macrocephala* en el Valle de Tehuacán.

Téllez y Dávila (2003) examinaron los efectos del cambio climático sobre los futuros patrones de distribución de 20 especies de *Cactaceae* en la reserva de la biosfera de Tehuacán-Cuicatlán.

Morín (2003) realizó un inventario florístico de las terrazas aluviales de Zapotitlán.

Estudios edafológicos, geológicos y geográficos

Aguilera (1970) estudió los suelos de lomeríos en los alrededores de Tehuacán, encontrando suelos calcáreos, salino-calcáreos, yesosos y calcáreo-yesosos. Señala que la distribución de las cactáceas varía con las propiedades de los suelos estudiados.

Fuentes *et al.* (1971) efectuaron un análisis geográfico de la zona de San Juan Raya.

Barcelo (1978) evaluó la estratigrafía y petrografía detallada de San Juan Raya.

Neri (2000) elaboró la caracterización Hidrológica de la Subcuenca Baja del río Zapotitlán.

Barrera (2001) hizo la descripción y regionalización fisiográfica del Valle de Zapotitlán.

García (2001) realizó el mapeo y caracterización de las terrazas aluviales del Valle de Zapotitlán.

Rivas (2003) caracteriza los suelos de la parte norte de la cuenca de Zapotitlán.

Santillán (2003) elabora el levantamiento de suelos de la parte suroeste de la cuenca de Zapotitlán.

López *et al.* (2003) establecen la relación entre los factores del medio físico y la distribución de los tipos de vegetación de la cuenca a lo largo de una toposecuencia.

Hinojosa (2004) realiza una clasificación de tierras por capacidad de uso agrícola y pecuario de la cuenca de Zapotitlán Salinas.

Castillo (2004) Caracterizó el impacto de la degradación de tierras y fragmentación de hábitats en el valle aluvial de Zapotitlán Salinas, Puebla.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Hacer una evaluación del estado actual de la degradación de las tierras de la Cuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla.

5.2. Objetivos Particulares

- Determinar el uso del suelo y tipos de cobertura vegetal y su relación con la degradación de suelos.
- Definir los factores causativos y el grado de influencia de actividad humana.
- Elaborar la carta de degradación de tierras.
- Comparar los procesos de degradación a través de un periodo de 33 años.

6. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

6.1. Antecedentes históricos de las investigaciones relacionados con la erosión y degradación del suelo.

Al celebrarse, la conferencia de la Naciones Unidas sobre la Desertización fue la primera ocasión, en que dirigentes mundiales consideraron activamente las amenazas que encierra la degradación de los suelos. Esta degradación, sin embargo, no se limita a las áreas áridas o semiáridas, sino se extiende también a las templadas húmedas y tropicales húmedas.

El PNUMA, FAO y UNESCO (1975) iniciaron un proyecto encaminado a crear una metodología para evaluar la degradación de los suelos y valorar esa degradación en escala global. Los resultados de la evaluación y la representación cartográfica de la parte de África situada al norte del Ecuador, así como del Cercano y Medio Oriente se recogieron por un lado, en cuatro mapas publicados a escala 1:5 000,000 en los cuales se indica: (a) las velocidades de degradación de los suelos y el estado actual de estos, y (b) los riesgos de la degradación de los suelos, para cada una de las dos áreas de ensayo, y, por otro, un texto explicativo que acompañan a los mapas. Los mapas trazados muestran claramente que existe degradación del suelo en extensas áreas y que las áreas que actualmente no están degradadas están amenazadas en un futuro.

En 1977, la Conferencia de la Naciones Unidas sobre la Desertificación (CNUD) aprobó un Plan de Acción para la Lucha contra la Desertificación (PACD), pero desafortunadamente, a pesar de estos y otros esfuerzos, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, concluyendo, en 1991, que si bien se han registrado ejemplos locales de éxito, el problema de la degradación de tierras en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas se ha intensificado. El abordaje de la desertificación era todavía una preocupación mayor para la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente y Desarrollo (CNUMAD) de 1992, que se celebró en Río de Janeiro, la cual apoyo un nuevo enfoque integrado del problema, adoptando medidas tendientes a fomentar el desarrollo sostenible a nivel comunitario.

Las investigaciones en los suelos se inician de manera sistemática en México en 1929, con los primeros levantamientos de tipo agrológico realizados por la Comisión Nacional de Irrigación; continuando hasta la década de los treinta y cuarentas, dirigidas básicamente a clasificación y cartografía de los suelos.

Los informes sobre cartografía de la erosión a nivel nacional fueron dos: uno realizado por FAO y USDA en los cincuentas y el otro por la SARH en la década de los sesentas. El primero fue publicado en 1954 por el Departamento de Agricultura Estadounidense (USDA) y FAO. En este estudio, escala 1:10,000,000, con una presentación cartográfica de cinco niveles de erosión. Este trabajo mostró que entre los países de América Latina, México, es quizá el más afectado por la erosión de los suelos llegando a dar cifras de que el país está afectado en un 66%. El segundo estudio realizado por la Dirección General de Conservación del Suelo y del Agua, en 1972-3, es una estimación de las superficies erosionadas del país. De los datos reportados se interpreta que el Estado más erosionado en diversos grados es Guanajuato, y el menos afectado es Guerrero. En

general, señala que en un 80% de la superficie de México está afectada por la erosión en diversos grados (Estrada, 1982).

León, en 1976, llevó a cabo el levantamiento fisiográfico y la caracterización de los suelos en nueve cuencas del Exvaso de Texcoco, Estado de México. El reconocimiento cartográfico de la erosión se hizo mediante la fotointerpretación, considerando las características del terreno como: geoformas, topografía, vegetación, pendiente general, etc. Concluyéndose que dicho levantamiento es un auxiliar en la planeación de un programa de conservación (Volke.H.1984).

Trueba *et al.* (1980) realizaron un inventario de áreas en el Estado de Guanajuato mediante interpretación de imágenes de satélite, éste se elaboró a través de dos procesos: 1) análisis visual, que comprende la utilización de un MINIADDCOL para la interpretación visual de las imágenes Landsat. 2) análisis automático, que comprende la utilización de la computadora para la interpretación de las imágenes Landsat. Para realizar la clasificación de la erosión, con base a la relación que existe entre la erosión, la vegetación, y el manejo de los suelos, regionalizando el Estado; se concluyó que la región fisiográfica es buen parámetro para estudios de este tipo, ya que los procesos de erosión son semejantes dentro de una misma región. Todos los resultados se almacenaron en cintas magnéticas que se pueden imprimir a la escala deseada (desde 1:50,000 hasta 1:1, 000,000).

Ponce (1987) propuso un sistema digital de información de recursos de tierra de México (SIRTMEX): proyecto de un prototipo, en donde, por medio de dicho sistema, concluyó que tenía que ser accesible para el usuario, de bajo costo, flexible, en el sentido de compatibilidad. El diseño de SIRTMEX es una red de sistemas regionales o provinciales de información de las tierras enlazados por una estructura organizacional, todos estos datos almacenados en discos "floopy".

González (1987) realizó la caracterización edáfica, evaluación de la degradación de los suelos y clasificación agrológica de los mismos en un área del Municipio de Salamanca Guanajuato. De los resultados que obtuvo en la evaluación de la degradación, estos suelos presentaron niveles muy bajos de deterioro; sin embargo, el riesgo de degradación potencial se considera de moderado a alto.

Alvarado (1988) utilizó la cartográfica edafológica en el proyecto ordenamiento ecológico de la cuenca del Río San Juan, observó que una de las ventajas de utilizar la cartografía edafológica en este estudio disminuyó aproximadamente en un 25% el costo del proyecto. También se presentan las áreas más degradadas y las causas de esta alteración; así como posibles soluciones a su restauración. La zona oeste resultó ser la más degradada por sales y erosión, y la del este por sales de sodio intercambiable y erosión, por lo cual será necesario llevar a cabo en más de 50% del área de la Cuenca acciones como lavado de suelos, construcción de bordos y cortinas rompe vientos.

Sandoval y Estrada (1988) realizaron una evaluación de la desertificación en el Municipio de Cuauhtémoc, Colima, utilizaron fotografías aéreas y cartas topográficas basándose en los criterios de FAO 1980 y 1983, concluyendo que de los seis sistemas terrestres y las 19 facetas incluida su geoforma existe degradación y desertificación del ambiente en grado elevado, siendo la desertificación con el 40% muy severa, provocado por erosión hídrica y química y el 60% severo por las mismas condiciones.

Jacinto y Estrada (1990) evaluaron del riesgo de la degradación de los suelos en el Estado de Michoacán. El trabajo se hizo con la finalidad de contar con información de

tipo cuantitativo, que puedan indicar de clase, los valores numéricos del riesgo de degradación por: erosión hídrica, lixiviación de bases, mineralización del humus, aumento de la densidad aparente, salinización y sodificación. Así como elaborar un plano global del riesgo de degradación para el Estado, a escala 1:50,000. Para esto hicieron uso de la metodología propuesta por FAO (1980), concluyeron que Michoacán presenta un alto riesgo de erosión hídrica y mineralización del humus en un 80%, lixiviación de bases en un 17% y la sodificación afecta a un 2% de la superficie.

Martínez (1994) realizó la fotointerpretación como llave del campesino para cartografiar la tierra, el método consistió en cuatro localidades de áreas piloto, determinado todo respecto al suelo, vegetación, etc. en donde utilizaron fotografías aéreas escala 1:25,000 siguiendo el método de Ortiz *et al.* (1991). La producción de la cuatro sitios piloto en ocho clases de tierra arenosa, de cuerpo, enlamada, salina, jaboncillo, delgada, polvosa y calichuda, las diferentes tierras en base a su estructura, color, porosidad y profundidad etc. Las características típicas de la fotografía fueron asociadas con la geología, tono de la fotografía y textura. Con las características fotográficas generadas de la fotointerpretación la llave de seis tipos de tierra arenosa, de cuerpo, enlamada, salina, polvosa, y calichuda, no se generaron por que no presentaba la primera típica característica de la superficie de la fotografía y la segunda no fue suficiente por la fotointerpretación. Con la fotointerpretación, obtuvieron la llave de las áreas piloto en donde hay fertilizante natural y son de gran utilidad en los niveles de la región de acuerdo con los conocimientos de los campesinos y para la generación de mapas que son de mucha importancia para el rescate de la divulgación de la información con el método propuesto por (Ortiz *et al.*, 1991).

Espinoza y Becerra (1994) elaboraron un sistema de códigos para ordenar, determinar y evaluar los procesos de erosión del recurso suelo. Por medio de una fotointerpretación detallada a diferentes niveles de la actual erosión utilizando fotografías de patrones generales, esto se basa en los elementos fotográficos como el tono, topografía, patrones específicos del sitio. Realizaron jornadas en campo para estabilizar y ordenar los sitios de muestreo, para cada uno se detectaron niveles de erosión, tomando en cuenta los factores de exposición de raíces, presencia de formas particulares de erosión, gradiente de curvas, porcentaje en la cobertura vegetal, profundidad de suelo y parámetros en el laboratorio como textura superficial del suelo y contenido de materia orgánica.

Determinaron las áreas afectadas por los patrones de la tierra tomando datos y calculando los cambios en los valores. Este estudio se llevó a cabo en dos partes del Estado de Tlaxcala, en donde el sistema de códigos utilizados para los patrones de las áreas afectadas fue:

Número de código (niveles de erosión)	Descripción de los indicadores en campo.
1	Sin exposición de raíces de árboles, en superficies planas cóncavas y con texturas franco limosas
2	Sin exposición de raíces de árboles con profundidad superficial de tepetate y pastizal degradado de forma convexa y regulares.

García *et al.* (1996) llevaron a cabo la evaluación cartográfica del riesgo de erosión hídrica del suelo, este trabajo pretendió demostrar las discrepancias que puedan resultar al utilizar los sistemas de clasificación de suelos más precisos que los de INEGI en las estimaciones de riesgo de erosión hídrica. Con los datos de INEGI y los resultados de un estudio semidetallado de los suelos en 6055 ha el Oriente del Estado de México a la misma escala y en la misma zona, se usaron para comparar y determinar la erosión hídrica potencial, estimada utilizando la (EUPS) ecuación Universal de Pérdida de Suelo, con dos criterios: a) con la metodología propuesta por Wischmeier y Smith y b) con el método propuesto por FAO en 1980, se compararon los datos de las estimaciones de erosión hídrica de suelos. Se observó que la estimación de toneladas de suelo potencialmente pérdidas, con la metodología de FAO y ambas fuentes de información edafológica, aumento (2.1 veces) del estudio formal respecto al del INEGI y (3.2 veces) entre la metodología de EUPS y la FAO; 1.6 veces superior entre ambas metodologías y los datos de suelos del estudio semidetallado.

Ortiz y Estrada (1992) evaluaron y cartografiaron la erosión eólica en la República Mexicana, utilizando la metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos de FAO (1980), los resultados que se obtuvieron y las conclusiones a que llegaron fueron las siguientes: el 93.8% del territorio nacional está expuesta a vientos con una velocidad erosiva y un 17.6% de la superficie manifiesta velocidad de erosión eólica muy severa; por lo que, afortunadamente el problema aún no es crítico en el país, no obstante, México es un país con riesgo de erosión severa por el del viento.

El gobierno del Estado de Hidalgo en su Plan Estatal de Desarrollo (1999-2005) hace énfasis en relación al recurso edáfico, considerando que el estado es uno de los que muestran mayor velocidad de degradación física del suelo, con procesos agudos de erosión que afecta a más del 75% del territorio estatal, compactación y deslizamientos; así como degradación biológica y química, que son el resultado de prácticas agropecuarias y forestales no sustentables, que favorecen a los problemas de desertificación reflejados en rendimientos decrecientes, pobreza, migración y abandono de tierras. Los procesos más intensos de erosión se registran en las zonas áridas y semiáridas del Estado. En esta región el sobre pastoreo, la apertura de suelos al cultivo de producción marginal, la sobre explotación de especies no maderables y la agricultura de riego con el uso de aguas residuales y agroquímicos, son los sistemas productivos que necesariamente deberán ser transformados a una producción sostenible. El problema de deterioro de los suelos también se acentúa en las partes altas de las cuencas, por efecto del cambio de su uso para el establecimiento de una agricultura de producción marginal, sobrepastoreo, aprovechamiento ilícito de especies maderables y no maderables, entre otros. En las regiones Huasteca, Otomí-Tepihua y Sierra Gorda, una de las principales causas de deterioro de los suelos, baja producción agropecuaria y forestal; así como, la disminución de áreas forestales, es la expansión territorial por actividades agropecuarias extensivas que al utilizar el fuego en estas prácticas, se convierte en agente causante de incendios forestales.

La evaluación realizada por la SEMARNAT y el Colegio de Postgraduados (1999) en México, los diferentes procesos de degradación de suelos ocurren en un 64 % de la superficie del territorio nacional, mientras que el 36 % restante no tiene una degradación aparente. Los principales procesos de degradación que se presentan en los suelos del país son la erosión hídrica, que afecta el 37 % del territorio y la erosión eólica, presente en el 15 % de la superficie nacional. Les sigue la degradación química, que si bien sólo

se encuentra en un 7 % de los suelos del país, afecta principalmente tierras irrigadas de alto potencial productivo.

Dentro del programa de trabajo 2000 de la SEMARNAT (defensa de la biodiversidad y de los ecosistemas) en conjunto con varias instituciones llevaron a cabo diversas actividades en las zonas áridas y semiáridas en donde se promovieron acciones de reconversión productiva en 27,863 ha, con el propósito de fomentar el aprovechamiento sustentable de especies no maderables de importancia ecológica, económica y social (candelilla, lechuguilla, yuca, mezquite, orégano, linaloe, jojoba, entre otras), además de mejorar los agostaderos, estableciendo pastos y especies arbustivas forrajeras en áreas de productividad marginal. Se procedió a inducir prácticas de conservación de suelo y agua en 10,000 ha.

Conjuntamente con SAGAR (Aserca) se definieron los mecanismos de operación de los Programas de Manejo de Tierras (PMT) para los ciclos primavera/verano 1999 y otoño/invierno 1999–2000, con objeto de operar los proyectos ecológicos de PROCAMPO. En 26 entidades federativas, incluido el Distrito Federal, se establecieron PMT en 31,923 ha, superándose la meta original de 10 mil hectáreas, gracias al fortalecimiento de vínculos con SAGAR, PROCAMPO, PRONARE, FIRCO y el Programa de Empleo Temporal (PET), que orientaron recursos a este proyecto. Se evaluaron 21 proyectos microrregionales, a fin de establecer condiciones para la transferencia de experiencias exitosas a otras áreas. Las alternativas tecnológicas desarrolladas en las acciones mencionadas proceden de los esfuerzos realizados en 21 centros piloto de validación y difusión de tecnologías, y de las experiencias de manejo de nueve microcuencas localizadas en los estados de Guanajuato, Jalisco, México, Michoacán, Querétaro, San Luis Potosí y Veracruz. Se han evaluado y difundido 45 alternativas tecnológicas para la restauración y conservación de los suelos, articulando el conocimiento tradicional y el técnico. De esta manera, se cuenta con recomendaciones técnico–metodológicas que han permitido capacitar durante el presente año a 639 productores y 132 técnicos.

Para la actualización de la información sobre suelos y los procesos de degradación que los afectan, y coadyuvar con ello a las políticas de ordenamiento de los recursos naturales y de las actividades productivas del país, en 1999 se actualizaron seis cartas del estado de los suelos y se generaron ocho cartas sobre la degradación de los suelos inducida por el hombre a escala de 1:1 millón. También se concertó la impresión y distribución de 2 mil ejemplares de un mapa de los suelos dominantes en la República Mexicana, a escala 1:4 millones.

Para evaluar el impacto de políticas y proyectos sobre los suelos del país, y así consolidar un instrumento que facilite el seguimiento de las acciones desarrolladas para su restauración y conservación, se realizaron los estudios básicos para el diseño de los aspectos metodológicos y operativos de un Sistema de Monitoreo del Estado de la Tierra (Simet).

Para prevenir el deterioro de ecosistemas de alto riesgo se continuó la actualización del marco normativo y regulatorio en la materia; con la aprobación y publicación en el DOF de la Norma Oficial Mexicana (NOM) para el Aprovechamiento de la Hierba de Candelilla, Transporte y Almacenamiento de Cerote, se consolidó la protección de una especie no maderable de particular importancia comercial. Certificación, comercialización y sanidad de germoplasma forestal con fines de propagación; para el

análisis de suelos y la certificación de laboratorios. Estos esfuerzos normativos culminaron en el año 2000.

Se continuó promoviendo la coordinación interinstitucional para inducir la corresponsabilidad en la protección y aprovechamiento sustentable de los suelos.

Buscando que la propiedad y el usufructo de la tierra impliquen responsabilidades sobre su buen uso, se impulsó la concertación de acuerdos con los promotores del Cambio de Utilización de Terrenos Forestales (CUTF), para apoyar y financiar acciones compensatorias de restauración y conservación de suelos, así como obras de beneficio social y económico. En este ámbito, se logró la restauración de 2,241 de las 3,266 ha autorizadas bajo criterios de excepción.

Nieves y Cardoza (2001) elaboraron el estudio de la degradación del suelo de la República Mexicana, escala 1:1000,000; para este estudio consideraron el uso de imágenes de satélite, a escala 1:250,000; recorridos de campo y levantamiento de información directa de sitios de muestreo; entrevistas con propietarios de terrenos y obtención de información en universidades estatales y regionales; los resultados se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1. Degradación de tierras de la República Mexicana.

Tipos de degradación	Sup. (ha)	%
Erosión Hídrica	72,465,144	36.98
Con pérdida de la capa superficial	49,566,885	25.30
Con presencia de cárcavas	22,776,040	11.62
Con sedimentaciones	122,219	0.06
Erosión Eólica	29,171,140	14.89
Con pérdida de la capa superficial	28,585,625	14.59
Con formación de dunas y montículos	585,515	0.30
Degradación Química	13,254,950	6.77
Salinidad	6,242,115	3.19
Pérdida de nutrientes	3,117,191	1.59
Contaminación	2,596,718	1.33
Gleyzación	1,298,926	0.60
Degradación física	34,877,66	1.78
Inundaciones	1,114,564	0.57
Abatimiento del manto freático	1,078,996	0.55
Urbanización	746,916	0.38
Compactación	7,081,745	3.61
Compactación	547,320	.028
Total	125,460,745	64.03

De igual manera, Nieves y Cardoza. (2001) evaluaron la degradación de suelos de México, en donde la desertificación y la aridificación son un factor de riesgo de gran importancia ya que hay algunos estados en donde se tienen suelos de condiciones

áridas, semiáridas y desérticas, los cuales representan un total de 96.597,927 millones de ha, representando un 50.7% del territorio nacional continental, en los estados de Baja California , Baja California Sur, Sonora ,Chihuahua, Coahuila, Nuevo León , Tamaulipas, San Luis Potosí, Durango y Zacatecas. Los principales procesos de degradación son la erosión hídrica con 28%, erosión eólica con 22.8%, deterioro químico con 6.3%, deterioro biológico con 1.6% y degradación biológica con 0.3%. Entre los principales factores causativos de los suelos de las tierras secas en México están el sobre pastoreo con el 25%, la deforestación con el 11.2%, el cambio de uso de suelo con 7.2%, la labranza poscosecha inadecuada con un 6.8% y el mal manejo del suelo ocupa una extensión de 4.2% y otros 4.5%. A nivel de cuencas, Costa Grande es la que está más deteriorada con un 47.5% de su extensión por degradación de suelos, Costa Chica, en segundo lugar con 30.8%, Tehuantepec con 22.0%, Balsas con 21.5%, Panuco con 17.9% y Lerma Santiago con 17.3%. Respecto a las cuencas más perturbadas en su vegetación arbolada de selvas y bosques, en un periodo entre 1980 y 1996, la del norte de Yucatán esta con procesos de deterioro en 72.5% de su extensión, Yucatán oeste Campeche con 44.7%, Yucatán Oeste – Quintana Roo con 40.14%, Costa Chica con 36.46%, el Balsas con 34.24% y Grijalva – Usumacinta con 28.76%, principalmente.

Rincón (2001) observó la degradación del medio ambiente inducida por los ciclos humanos en las tierras altas de la Sierra Madre del Sur, este trabajo fue realizado en varias locaciones de la Mixteca, siguiendo la estabilización del holoceno, encontró una gran área afectada por la erosión del suelo, sugiere que los factores responsables son los del clima, y que las nuevas evidencias de la erosión ha sido causada por la interacción prolongada del humano con el medio ambiente. Un estudio reciente conducido en Alta Mixteca de Oaxaca evaluó la adaptación del humano, el medio ambiente y al cambio cultural. Utilizando métodos de campo derivados de la geoarqueología y técnicas de radiocarbono, fue posible distinguir cuatro fases de erosión asociadas desde la época prehispánica, el periodo colonial y las practicas de agricultura.

El Gobierno del Estado de Puebla, en coordinación con SAGARPA y FIRCO, en el período 2001-2002, llevó a cabo, el programa de manejo de microcuencas en 3 micro Regiones con 8 microcuencas y 2 en lo individual para un total de 10, la selección fue la siguiente: Azumbilla, Maturana, la Cuesta, Cazahuate, El Salado, Atzala, Huexotitlán, Golondrina, Atopolitlán, San Luis Atolotitlán. Cubriendo una superficie de 36.969 ha, este programa fue orientado a la participación de las comunidades y a la fomentación de proyectos productivos alternativos, para el incremento económico y a la conservación de los recursos naturales.

Castillo (2004) caracterizó el impacto de la degradación de tierras y fragmentación de hábitats en el valle aluvial de Zapotitlán Salinas, concluyó que los factores de degradación que más afectan la zona son: la degradación biológica (172.9 ha); erosión hídrica (1210.8 ha) y degradación física (60.9 ha) y tierras con tasas de degradación nula (548.2 ha).

Trabajos sobresalientes a nivel internacional relacionados con la Degradación de Tierras

Shrestha (1991) evaluó la degradación de la tierra empleando un Sistema de Información Geográfica (SIG) utilizando datos de la percepción remota. Este trabajo lo

hizo en un área de Hathazari Thana, Distrito de Chittagong Bangladesh, utilizó mapas de suelo, mapas topográficos escala 1:50,000, datos del Lansat TM, fotografías aéreas y trabajo en campo. El SIG Arc/Info se utilizó para la entrada de datos para sus análisis posteriores. Concluyendo así la principal ventaja del sistema de bases vector requiere menor memoria del disco duro, esta es la principal limitante de los sistemas de bases raster. Ciertamente el poder del sistema Arc/info tiene muchas capacidades y mucho mayor apreciación, hay también varias posibilidades para la determinación de una alta calidad en los mapas, hay sistemas que carecen de esta calidad. Pero la integración de los datos de la percepción remota en Arc/info no fue una tarea fácil, no todo el tiempo fue consumido, pero también impuso la limitación del software.

Gad *et al.* (1993) evaluaron los procesos de degradación de la parte media del Valle del Nilo Egipto, usando un SIG y técnicas de sensibilidad remota. Por medio de imágenes TM y fotografías aéreas, a través de los datos provenientes de las condiciones del suelo, cobertura y usos de la tierra, investigaciones en campo, colecta, análisis del suelo y clima, siguiendo con la metodología provisional de la evaluación de la degradación del suelo. También, siguiendo con este estudio realizaron un modelo paramétrico adoptando la ecuación universal de pérdida del suelo (ULSE) para evaluar la erosión del suelo. De igual forma se utilizó un software ERDAS para el manejo y manipulación de datos temáticos y el cálculo del índice de vegetación, y el IDRISI se generaron los grados de pendientes, clima y actividades humanas. Los valores de entrada se modificaron para el cálculo de la ecuación de pérdida del suelo en el estado actual del riesgo de degradación; concluyendo que en muchas regiones áridas los procesos de degradación del suelo son también de origen natural, causando una disminución y deterioro en la productividad biológica. El SIG es el mejor método que sirve para recavar información valiosa, no obstante se requieren mucho espacio dentro del disco duro.

La FAO (1997) en conjunto con A.Kutter, F.Nchtergaele, W. Verheye, realizaron un acercamiento para el uso de la planeación, manejo de la tierra y su aplicación en La Sierra Leona. La FAO dentro de la estructura de la evaluación de la tierra, el estado potencial de los varios usos de la tierra depende sobre los aspectos biofísicos y las condiciones socio-económicas. Sin embargo la evaluación de la tierra ha sido acarreada fuera por los científicos del suelo y los agrónomos, la evaluación y el uso potencial ha sido restringido para la evaluación del suelo, el terreno y el clima, y en contraste para la identificación física y las intervenciones para su remedio. Estudios más sofisticados incluidos los análisis económicos, y en los años recientes, el crecimiento de la labranza requiere de modelos de simulación y el SIG tiene que ser utilizado en archivar y ordenar la evaluación.

CADETI-MINAE (2003) elaboran el Programa de Acción Nacional de lucha de la degradación en Costa Rica, el estudio recoge las experiencias más importantes desarrolladas por el país en años recientes para luchar contra la degradación de tierras. Caracterizado el país en sus aspectos físico-ambientales y socioeconómicos, proponen una serie de indicadores para el establecimiento de prioridades para la intervención a nivel de cuencas hidrográficas, como: degradación actual, dispersión del área degradada, índices de desarrollo social, accesibilidad, fragilidad de los recursos, capacidad de regeneración de cada área degradada y clima. Cuando estos indicadores se aplican a las cuencas más degradadas del país, se obtienen las siguientes prioridades de

intervención: 1. Jesús María, 2. Barranca, 3. Tárcoles, 4. Parrita, 5. Abangares, 6. Tusubres, 7. Bebedero, 8. Tempisque, 9. Nicoya.

6.2. Importancia de las Zonas Áridas y Semiáridas en México

México es considerado como uno de los 12 países con mayor megadiversidad biológica, esta conformado en un 60% por zonas donde la lluvia es escasa y poco predecible, las superficies suaves con poca cobertura vegetal, extensas áreas planas y otras con pendientes abruptas y vientos fuertes. Sin embargo en estas regiones se concentra gran parte de la biodiversidad mexicana incluyendo un gran número de endemismos, lo que lleva a considerarse como áreas con alto potencial en la obtención de recursos naturales originales, como materias primas como la farmacéutica, alimentaria, textil, de cosméticos, etc., que podrían apoyar al desarrollo rural sustentable, además que en estas zonas están asentados alrededor de 25 grupos étnicos y 400 municipios que comprenden 84 millones de hectáreas, 8 millones de ellas transformadas para la agricultura y el 90% restante dedicadas al pastoreo (Valiente, 1996; Montoya y Monroy, 2000).

6.3. Procesos de Desertificación

La degradación de los recursos naturales es un tema de creciente preocupación mundial en la actualidad; globalmente se le denomina **desertificación**, y constituye un proceso generalizado de deterioro en el amortiguamiento de los cambios climáticos, la permanencia de la biodiversidad, la fijación de la energía, actividades humanas, además afecta la capacidad biológica del ecosistema (CADETI,1999; FAO, 2000) lo que a su vez provoca el deterioro económico y social de la población asentada en las áreas afectadas (Ortiz-Solorio *et al.*, 1994, *In*: Becerra, 1999).

El suelo es el último depositario de dichos procesos de deterioro, por lo que la degradación de este recurso ha sido considerada como uno de los principales problemas actuales de la humanidad. El nivel de degradación del suelo depende del grado de degradación de la vegetación, ambos se encuentran influenciados por las condiciones climáticas y el cambio en el uso del suelo (Kosmas *et al.*, 2000).

La desertificación, de acuerdo a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desertificación (UNCOD), se conceptualiza como: la disminución o destrucción del potencial biológico de la tierra, que puede conducir en último caso a condiciones semejantes a desierto. Esto es un aspecto de la extensión del deterioro de ecosistemas, que puede disminuir o destruir el potencial biológico de la tierra, es decir, la producción de plantas y animales, por propósitos de uso múltiple en periodos cuando el incremento

en la productividad es necesaria para sostener el crecimiento de la población en búsqueda del desarrollo (Zárate, 1994).

Actualmente, la desertificación se considera como “la degradación de la tierra en zonas áridas, semiáridas y de trópico seco, resultante de varios factores incluyendo las variaciones climáticas y actividades humanas”, donde “degradación de la tierra” se refiere al deterioro de suelos, flora, fauna y recursos hídricos, con la consecuente reducción en la calidad de vida de la población (Government of the State of Pernambuco, 1999).

6.4. Conceptos sobresalientes en el marco de la Degradación de Tierras

6.4.1. La Degradación del suelo

La Degradación del suelo es un proceso que disminuye su capacidad actual y/o potencial para producir (cualitativa y/o cuantitativamente) bienes o servicios y se refiere a los procesos físicos y biológicos que disminuyen la utilidad de la tierra. Los efectos ambientales típicos son la erosión acelerada del suelo, pérdida de la vegetación, deterioro de la calidad del agua, sobre-explotación de acuíferos, salinización de suelos e inundación de tierras de riego, pérdida de horizontes, compactación (TRAGSA, 2003). Por último, la degradación conduce a condiciones semejantes a desierto. El término desertificación es comúnmente utilizado para describir el proceso de degradación de tierras secas (AG/UNEP, 1987, *In*: Zárate, 1994).

De igual forma, la **degradación de la tierra** es un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que influyen en regiones húmedas, subhúmedas, áridas y semiáridas, provocando la disminución y pérdida de la productividad de éstos, y en consecuencia la de su capacidad actual y potencial para sostener en un nivel adecuado y permanente a los organismos de interés que sobre ellos se encuentran y que es causada y acelerada por las actividades humanas en combinación con la acción de elementos climáticos, lo cual conduce a la pérdida estructural y funcional de los ecosistemas, transformándolos en ambientes menos confortables para la vida (Zárate, 1994).

La Tierra es un área sobre la superficie terrestre cuyas características abarcan todos los atributos notablemente razonables estables o cíclicamente predecibles de la biosfera, incluyendo a los de la atmósfera, del suelo y geología subyacente, de la hidrología de las poblaciones vegetales y animales y a los resultados de la actividad humana pasada y presente en la amplitud en que estos atributos ejerzan una influencia significativa sobre los usos actuales y futuros de la tierra por el hombre. (Vink, 1983; *In*: Becerra, 1999). La tierra incluye, a los componentes: agua, suelo, flora, fauna, clima, geología, hidrología, fisiografía, altitud, actividad humana y las múltiples interacciones y combinaciones, lo que resulta en diferentes tipos de tierras, y esto a su vez origina que las causas de degradación varíen de lugar a lugar.

El Suelo es el cuerpo natural no consolidado, ubicado en la parte externa de la corteza terrestre, formado por materiales orgánicos e inorgánicos, agua y aire. Es el sostén de las plantas y les proporciona los nutrientes que necesitan; es la base de la vida sobre la

tierra. Las plantas lo necesitan para vivir, y los animales y los hombres nos alimentamos de ellas (Becerra, 1999). Pese a su importancia, el hombre a menudo lo utiliza en forma inadecuada, por lo que se degrada paulatinamente hasta llegar a su pérdida total. El proceso de formación de los suelos es muy lento, por lo que dependiendo del clima y la dureza de las rocas de origen, se requieren decenas o hasta miles de años para formar una capa de suelo de unos cuantos centímetros de profundidad.

El Agua es un recurso de flujo el cual esta a disposición de la población en la cantidad necesaria, de acuerdo a la distribución espacial de las precipitaciones y las condiciones y a las características de los factores naturales que condicionan el flujo hídrico: suelos y vegetación. Al definir al recurso agua como recurso flujo, se debe enmarcar este proceso de flujo dentro el espacio donde se desarrolla, el cual esta identificado con el espacio de drenaje de volúmenes de agua que es la cuenca hidrográfica. No existe dentro de la biosfera terrestre espacio grande o pequeño que no esté siendo parte de una cuenca, sea ésta terrestre o marina (FAO, 2000).

La Cuenca es un concepto geográfico e hidrológico que se define como el área de la superficie terrestre por donde el agua de lluvia escurre y transita o drena a través de una red de corrientes que fluyen hacia una corriente principal y por ésta hacia un punto común de salida que puede ser un almacenamiento de agua interior, como un lago, una laguna o el embalse de una presa, en cuyo caso se llama Cuenca Endorreica. Cuando sus descargas llegan hasta el mar se les denominan Cuencas Exorreicas. Normalmente la corriente principal es la que define el nombre de la cuenca.

La Cuenca Hidrográfica tradicionalmente definida como el espacio físico-biótico bajo el concepto energético, actúa como un operador sistémico extremadamente complejo y fluctuante, en donde se genera un conjunto de fenómenos que se procesan mediante flujos energéticos y cambios de materia realizados dentro de su propio espacio. (Sánchez, 1987; FAO, 2000). Las cuencas hidrográficas son unidades morfográficas superficiales; sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones; también conocido como "parteaguas". El parteaguas, teóricamente, es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta; desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión, en la zona hipsométricamente más baja. Al interior de las cuencas se pueden delimitar subcuencas o cuencas de orden inferior. Las divisorias que delimitan las subcuencas se conocen como parteaguas secundarios.

Cuenca Hidrológica son unidades morfológicas integrales y además de incluir todo el concepto de cuenca hidrográfica, abarcan en su contenido, toda la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero como un todo.

Tanto las cuencas hidrográficas como las hidrológicas se pueden subdividir en tres zonas de funcionamiento hídrico principales: Zona de Cabecera de las Cuencas Hidrográficas: garantizan la captación inicial de las aguas y el suministro de las mismas a las zonas inferiores durante todo el año.

Funciones y papel socio-ambiental de la Cuenca

Los procesos de los ecosistemas que describen el intercambio de materia y flujo de energía a través de la vinculación de los elementos estructurales del ecosistema pueden ser vistos como un sistema: Dentro de la cuenca, se tienen los componentes hidrológicos, ecológicos, ambientales y socioeconómicos, cuyas funciones a continuación se describen:

Función Hidrológica

Captación de agua de las diferentes fuentes de precipitación para formar el escurrimiento de manantiales, ríos y arroyos.

Almacenamiento del agua en sus diferentes formas y tiempos de duración.

Descarga del agua como escurrimiento.

Función Ecológica

Provee diversidad de sitios y rutas a lo largo de la cual se llevan a cabo interacciones entre las características de calidad física y química del agua. Provee de hábitat para la flora y fauna que constituyen los elementos biológicos del ecosistema y tienen interacciones entre las características físicas y biológicas del agua

Función Ambiental

Constituyen sumideros de CO₂.

Alberga bancos de germoplasma.

Regula la recarga hídrica y los ciclos biogeoquímicos.

Conserva la biodiversidad.

Mantiene la integridad y la diversidad de los suelos

Función Socioeconómica.

Suministra recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que dan sustento a la población.

Provee de un espacio para el desarrollo social y cultural de la sociedad.

Servicios Ambientales

Del flujo hidrológico: usos directos (agricultura, industria, agua potable, etc), dilución de contaminantes, generación de electricidad, regulación de flujos y control de inundaciones, transporte de sedimentos, recarga de acuíferos, dispersión de semillas y larvas de la biota.

De los ciclos bioquímicos: almacenamiento y liberación de sedimentos, almacenaje y reciclaje de nutrientes, almacenamiento y reciclaje de materia orgánica, detoxificación y absorción de contaminantes.

De la producción biológica: creación y mantenimiento de hábitat, mantenimiento de la vida silvestre, fertilización y formación de suelos.

De la descomposición: procesamiento de la materia orgánica, procesamiento de desechos humanos (PROBOSQUE, 2002, 2003; CADETI-MINAE, 2003; FAO,2003; INE, 2004).

6.4.2. Factores Causativos de la Degradación

Existen diversos factores y procesos, naturales o antrópicos, que facilitan la degradación de los ecosistemas algunos de ellos son:

Erosión hídrica: la pérdida del suelo está estrechamente relacionada con la agresividad de la lluvia, desde el desprendimiento por salpicadura a la contribución de la misma a la escorrentía. Este tipo de erosión descansa en el ciclo hidrológico, es decir, en todos los caminos que siguen el agua desde su incidencia en la cobertura vegetal y su posterior movimiento sobre la superficie del suelo. También se define como la resultante de dos fases, consistentes en el desgaste o disgregación del suelo en partículas terrosas por la acción del impacto de la gota de lluvia (splash) y su transporte por escorrentía.

Erosión eólica: se puede definir como el proceso de disgregación, remoción y transporte de las partículas del suelo por la acción del viento. Presenta varias diferencias con la erosión hídrica, la principal es que esta última necesita que el terreno tenga cierta pendiente, mientras que esa característica no tiene efecto causal directo en la erosión eólica. Para que este fenómeno se produzca son necesarias algunas de las siguientes condiciones: superficies más o menos llanas y extensas; suelos desnudos de obstáculos importantes; suelos sueltos y de textura fina; que la zona esté seca (por lluvias escasas y/o mal distribuidas); temperaturas altas que contribuyan a la desecación del suelo además de vientos fuertes y frecuentes.

Las propiedades del suelo que definen su susceptibilidad a ser erosionado deben analizarse desde la óptica de los mecanismos erosivos, y por tanto, se pueden considerar aquellas que afectan su resistencia a la fragmentación y a la dispersión por salpicadura; las referentes a sus cualidades de infiltración; y las que caracterizan la resistencia a que el suelo sea transportado por el flujo de escorrentía. Los elementos edáficos que tienen una mayor influencia en la erosión eólica son los que más influyen en dificultar la movilidad de las partículas del suelo; bajo esa perspectiva, los factores que más influyen son: el agua (presente en el perfil hace que sus partículas se encuentren unidas con mayor fuerza), la textura (ejerce una influencia determinante sobre la mayor o menor facilidad para ser erosionado), cementaciones (cementos generados a partir de la descomposición de materia orgánica, hace que las partículas del suelo se unan entre sí con una gran fuerza) y el contenido de materia orgánica (la proporción de materia orgánica interviene directamente en su capacidad para ser erosionado).

El relieve: la erosión hídrica prácticamente no existe en zonas llanas, siendo únicamente en suelos en pendiente donde la percusión de las gotas de lluvia y la acción del flujo superficial llegan a ejercer efectos considerables. Cuando el terreno sea más o menos

horizontal, el desplazamiento de partículas de tierra por el impacto de las gotas se hace en todos los sentidos, existiendo así una redistribución; si el terreno es inclinado predominarán los desplazamientos hacia las zonas más bajas. Otras características de importancia en el relieve son la longitud y el grado de pendiente del terreno.

El viento: es un elemento meteorológico que se origina como consecuencia del movimiento de las masas de aire. El que interesa a los fines de la erosión eólica es el superficial; es decir, el que actúa en la zona baja de la atmósfera, en este caso se trata, del movimiento de un fluido delimitado por un contorno que es la superficie del suelo. Los factores determinantes del viento que influyen en su capacidad erosiva son, principalmente, la velocidad, el tipo de régimen y la dirección.

La vegetación: ofrece protección al suelo frente al impacto de las gotas de lluvia; aumenta el poder de infiltración del suelo, disminuyendo el agua de escorrentía; el entrelazado de las raíces da una mayor consistencia al suelo, afectando a mayor o menor profundidad según el tipo de vegetación existente; en zonas arboladas los obstáculos que se oponen al escurrimiento, debido a los troncos de los árboles y tallos de los arbustos, reducen la velocidad del escurrido aproximadamente a la cuarta parte. Por otro lado, si nos encontramos con un área desprovista de vegetación, y que además presente un régimen de vientos regular, esta condición será propicia para presentar problemas de erosión eólica (TRAGSA, 2003).

Agricultura: cuando el manejo de la tierra arable es el inadecuado; esto incluye una variedad de prácticas como el uso excesivo de fertilizantes, cuando la calidad de irrigación de agua es pobre, mal manejo o ausencia de medidas para el control de la erosión o el uso frecuente de maquinaria pesada. Los tipos de degradación comúnmente ligados a este factor causativo son la erosión (hídrica o eólica), compactación, pérdida de nutrientes, salinización y contaminación (por pesticidas o fertilizantes).

Deforestación y remoción de la vegetación natural: definida como la eliminación de la vegetación natural en grandes extensiones de terreno, por ejemplo para usar la tierra del bosque para agricultura, para comercializar la madera, por la construcción de caminos, el desarrollo urbano. La deforestación a menudo causa erosión y pérdida de nutrientes.

Sobreexplotación de la vegetación para uso doméstico: contrario a la deforestación, este factor no se refiere necesariamente al la remoción completa de la vegetación natural, pero hay un rango de degeneración en la vegetación remanente, esto provoca que la protección contra la erosión sea insuficiente, se incluyen actividades como la colecta excesiva de madera para combustible, forraje y madera para construcción local.

Sobrepastoreo: además del sobrepastoreo actual de la vegetación por la ganadería, también se consideran los animales de monta; la consecuencia es usualmente la compactación del suelo y el decremento de la cobertura vegetal, ambos factores propician el riesgo de erosión hídrica y eólica.

Actividades industriales: industrias, generación de energía, infraestructura y urbanización y los malos manejos de los diversos recursos; estas actividades, están a menudo ligadas con diferentes tipos de contaminación y la pérdida de funciones productivas (van Lyden y Oldeman, 1997).

6.4.3. Tipos de Degradación

Entre los diversos procesos de deterioro del suelo, la erosión es uno de los más importantes; este proceso es originado en parte por factores naturales y también por factores inducidos por la actividad humana, como: la explosión demográfica, la sobreexplotación de los recursos naturales, los cambios inadecuados del uso de la tierra, presiones socioeconómicas y/o políticas.

FAO (1980) agrupó los procesos de degradación para su estudio en:

- a) Degradación de la cubierta vegetal,
- b) Erosión hídrica,
- c) Erosión eólica,
- d) Ensalitramiento,
- e) Degradación física,
- f) Degradación química, y
- g) Degradación biológica.

Los tres primeros se denominan procesos primarios porque son generalmente con los que se desencadena la desertificación, además de que afectan una mayor superficie mundial. Los demás son procesos secundarios, y comúnmente están supeditados a los primeros (Becerra, 1999).

De los procesos de degradación del suelo, el más severo es la erosión hídrica, pues en otros suelos, permanecen en su sitio, y con frecuencia no se disponen técnicas para su recuperación.

La erosión ha sido definida como el desprendimiento y arrastre de las partículas del suelo principalmente por acción del agua y el viento (SARH, 1977, *In*: Becerra, 1999). El problema más grave causado por ella es la pérdida irreversible del recurso suelo, que se refiere a diversos problemas con distintas magnitudes como: el gradual adelgazamiento y pérdida paulatina de la fertilidad, endurecimiento, formación de grietas por las que escurre el agua hasta transformarlas en cárcavas, disminución gradual de la productividad agrícola, compactación, cuya consecuencia es la pérdida de

vegetación, pérdida de la capacidad de retención de agua y pérdida de la capacidad de infiltración, además de los efectos sociales como el detrimento económico y la migración.

6.4.4. Formas de Evaluación de la Degradación del Suelo

En 1988 se firmó un convenio entre el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Centro Internacional de Información y Referencia de Suelos (ISRIC) para la ejecución del proyecto: “Guidelines for General Assessment of the status of Human-Induced soil degradation” (GLASOD) con el fin de preparar un mapa mundial del estado de la degradación del suelo a escala 1: 10,000,000 y también preparar una evaluación detallada del estado y riesgo de degradación para una área piloto de América Latina, que cubrió porciones de Argentina, Brasil y Uruguay, acompañada por un mapa escala 1: 1,000,000. Se discutió e integró la guía general para la descripción y cartografía del estado de la degradación del suelo en una escala global; los mapas regionales que se prepararon, fueron recopilados y correlacionados para integrar el mapa final del estado de la degradación del suelo a escala 1:10 000,000 (Oldeman, 1988).

La UNEP (1994) formuló un proyecto con el título “Evaluación del nivel de la degradación del suelo inducida por el hombre en el sur y sureste de Asia “ (ASSOD); la responsabilidad de la coordinación de este proyecto recayó en el ISRIC, en cercana colaboración con las oficinas regionales de FAO en Asia y con las instituciones nacionales dedicadas a los recursos naturales; esta evaluación dio como resultado un mapa mundial escala 1:10,000,000, mostrando la distribución global y grado en varios tipos de degradación de suelo (Van Lyden y Oldeman, 1997).

Existen distintas formas de evaluar la erosión, puede ser por medio de modelos cualitativos o cuantitativos.

Los modelos cualitativos tienen por objetivo la estimación de la erosión actual, acudiendo directamente a los sitios y reconociendo las distintas formas de erosión y sedimentación, estimando el grado de erosión mediante la ponderación de los factores de los que depende. En este tipo de métodos, una herramienta fundamental la constituye la cartografía en función de los parámetros principales que controlan el fenómeno erosivo (suelo, vegetación, topografía, etc.), y la atribución de categorías, niveles o clases en los que la subjetividad juega un papel importante. La fotografía aérea en blanco y negro proporciona buenos resultados como fuente de información básica, se pueden utilizar en la estimación de los factores de vegetación y de prácticas de conservación de suelos agrícolas, con el fin de cuantificar la erosión, realizar un análisis temporal de cambio en el uso de suelo y elaborar mapas de erosión. Hoy en día, la gran cantidad de información que se maneja, hace necesario el empleo de los SIG como una herramienta idónea en la evaluación cualitativa de la erosión.

Los modelos cuantitativos pueden ser de manera directa o indirecta; miden la evolución espacio temporal de un reguero mediante las agujas de erosión o la disminución del primer horizonte de un suelo a través de los clavos de erosión, entre otros. Pueden clasificarse en: modelos empíricos, basados en la lógica inductiva, y generalmente se aplican en aquellas condiciones en las que has sido calibrados; modelos conceptuales que son también conocidos como parcialmente empíricos o mixtos, están basados en la integración de los modelos hidrológicos, de erosión y de transporte de sedimentos con el fin de obtener la emisión de sedimentos a la salida de una cuenca hidrográfica; y modelos físicos que son los más extendidos en la actualidad, su objetivo es representar una síntesis de los componentes individuales que afectan a la erosión, incluyendo las interacciones de los diversos factores que intervienen, así como su variabilidad espacial y temporal, por medio de ellos se puede identificar qué partes del sistema son más importantes en el conjunto de los procesos de erosión y, por lo tanto, saber a cuáles prestarles mayor atención el desarrollo de tecnologías de predicción y control (TRAGSA, 2003).

6.5. La Importancia de los Sistemas de Información Geográfica (SIG's) y su utilización en la evaluación de la Degradación de Tierras y toma de decisiones con una dimensión espacial.

Los Sistemas de información Geográfica (SIG's) datan desde hace 40 años, se dice que estos son tan significativos para el análisis espacial y que representa el mejor paso hacia el manejo de la información geográfica desde el mapa. La solución para muchos problemas esta fincada en el acceso y manejo de información a través del análisis de patrones, relaciones y tendencias generadas con dicha información (Bosque. J, 1997; PROBOSQUE, 2003).

La amplia difusión de los SIG's ha creado una necesidad en los usuarios de información geográfica en conocer esta tecnología y aplicarla en diversas actividades, esta tecnología permite tomar mejores decisiones y establecer directrices en la planeación y manejo de los recursos naturales, esto incluye todos los componentes relevantes de la biosfera terrestre, como vegetación, suelo, topografía, hidrografía, zonas climáticas, etc. En los SIG's, cada componente del paisaje terrestre esta caracterizado por una capa a la que se asocia una tabla de datos conteniendo la información más relevante de dicho componente. La suma de todas las capas y de sus tablas asociadas constituye una base de datos de un SIG (Domínguez *et al.*, 1999).

Con los SIG's se genera información rápidamente, conseguir mayor estandarización de los mapas y mantener los datos actualizados, pero se requiere de la capacitación de los recursos humanos, para poder explotar al máximo esta herramienta.

6.6. La Cuenca Hidrográfica como unidad de gestión holística del manejo del suelo y el Agua.

La gestión integral por cuencas, consiste en armonizar el uso, aprovechamiento y administración de todos los recursos naturales (suelo, agua, flora y fauna) y el manejo de los ecosistemas comprendidos en una cuenca hidrográfica, tomando en consideración, tanto las relaciones establecidas entre recursos y ecosistemas, como los objetivos económicos y sociales, así como las prácticas productivas y formas de organización que adopta la sociedad para satisfacer sus necesidades y procurar su bienestar en términos sustentables.

Con frecuencia las cuencas hidrográficas poseen no solo integridad edafo-biogenética e hidro-climática sino que además, ostentan identidad cultural y socioeconómica, dada por la misma historia del uso de los recursos naturales. En el ámbito de una cuenca se produce una estrecha interdependencia entre los sistemas bio-físicos y el sistema socio-económico, formado por los habitantes de las cuencas, lo cual genera la necesidad de establecer mecanismos de sustentabilidad.

Si combinamos lo anterior con los términos: gestión y cuencas, podemos decir que la gestión del agua por cuenca hidrográfica es el conjunto de actividades, funciones, organización, recursos, instrumentos de política y sistemas de participación, aplicados en un territorio de cuenca (PROBOSQUE, 2002; INE, 2003; FAO, 2003; CNA, 2004).

6.7. Medidas de protección y rehabilitación para contrarrestar la de degradación del suelo

Manejo de prácticas vegetales: fertilización, manejo de rastrojo, rotación de cultivos, incremento de la densidad vegetal, reforestación o manejo de agroforestería; esta práctica contra la erosión puede ser efectiva, relativamente simple y a bajo costo.

Prácticas de manejo de tierra: contornos de labranza, contornos sin cultivos, labranza mínima, planeación en el arreglo de la tierra; estas prácticas se pueden usar junto con el manejo de la vegetación, por medio de ellas se puede reducir efectivamente a niveles bajos la erosión.

Prácticas estructurales: construcción de terrazas, construcción de canales para el agua; por medio de barreras físicas se puede prevenir o reducir la pérdida excesiva de suelo. (Tokugawa *et al*, 1998)

Las prácticas de rehabilitación y protección del suelo también pueden enfocarse a problemas de contaminación, al control de la salinización (van Lyden y Oldeman, 1997) o la captación de agua.

Sistema de zanja-bordo (cordones de nivel): consiste en construir zanjas y bordos de tierra en sentido perpendicular a la pendiente; se adapta a terrenos con pendientes de 5 a 40%, el bordo se debe mantener con vegetación, se recomienda una zanja bordo cada 20 m de distancia o menos, dependiendo de la pendiente y de las características de los escurrimientos. El principal objetivo es disminuir la velocidad de escurrimiento superficial y la erosión, también sirven para conducir los escurrimientos a velocidades no erosivas a cauces de arroyos naturales o cárcavas estabilizadas.

Zanja de infiltración (Zanja Trinchera): son zanjas y bordos en forma discontinua sobre curvas de nivel, formando un dique divisor entre zanja y zanja; el objetivo principal es disminuir los escurrimientos superficiales, disminuir la erosión e incrementar la cantidad de agua infiltrada al suelo.

Canales de desagüe: son zanjas para desalojar la escorrentía de ladera o proveniente de un sistema de acequias, tienen la función de interceptar la escorrentía y conducirla hacia un cause natural o a una cárcava estabilizada a velocidades no erosivas.

Control de cárcavas: son una serie de actividades tendientes a detener el crecimiento de las mismas, reducir la velocidad de la escorrentía y retener el azolve aportado por el área de drenaje, hasta lograr el relleno y/o estabilización de los cauces, mediante la construcción de presas de gavión.

Cabeceo de cárcavas: su finalidad es evitar la erosión remontante, amortiguando la energía de caída de la escorrentía, un revestimiento de piedra o malla y una lechada de cemento para proteger el suelo del desprendimiento por fricción, mientras el colchón hidráulico al pie de la rápida absorbe la energía de caída ya dentro del cauce.

Terrazas de muro vivo: esta práctica busca estabilizar la frontera forestal con la agrícola y contribuir a incrementar la productividad de los terrenos preferentemente forestales que está siendo utilizados para la agricultura; consisten en la plantación de estacas de árboles de fácil enraizamiento, rápido crecimiento y que aporte nitrógeno al suelo o forraje para el ganado.

Hidrosiembra: este tratamiento biológico se recomienda en áreas difíciles de estabilizar y de terrenos escarpados, se realiza una mezcla de agua y semillas, especie a utilizar, se incorpora humus, fibras y fertilizantes. Se coloca en un dispositivo, donde se disparará hacia la parte afectada, a una distancia del operador del sistema de 15-20 metros de distancia. (Tokugawa *et al*, 1998; PROBOSQUE, 2002; CONAFOR, 2003; CONAF, 2004).

6.8. Restauración y Conservación de Áreas Degradadas

Para poder conservar los ecosistemas y la diversidad de hábitats, es de vital importancia mantener una representación geográfica, la cuenca como la unidad hidrográfica natural, y que esta sea la unidad básica, para la planeación de la conservación de suelos (Becerra, 1999). Los biólogos que trabajan en conservación afirman unánimemente, que la forma más económica de prevenir la extinción de especies es conservando los ejemplos más representativos de los diversos tipos de hábitats naturales de una región; en los esfuerzos anteriores, la prioridad se fijaba con base a listados de especies y no lograron tener en cuenta la diversidad y naturaleza de ecosistemas, así como la biota contenida en ellos. El nivel de espacio geográfico correspondiente a eco-regiones es el nivel mínimo requerido para alcanzar una representación regional y lograr una planificación efectiva para la conservación de la biodiversidad. Una eco-región se define como un conjunto de comunidades naturales, que están geográficamente delimitadas y comparten la gran mayoría de sus especies, dinámica ecológica, condiciones ambientales y cuyas interacciones ecológicas son cruciales para su permanencia a largo plazo (Dinerstein *et al.*, 1995).

La restauración de hábitats transformados o seriamente degradados es demasiado costosa o lenta y por lo tanto no ofrece un alcance significativo para las inversiones en conservación; igualmente, una vez que las especies han sido exterminadas nunca más pueden ser recreadas, es muy difícil y costoso el reemplazo de las poblaciones, ensamblajes, comunidades y procesos ecológicos que ellas conformaban (Dinerstein *et al.*, 1995).

Por otra parte, las acciones que se realicen contra la erosión, constituyen un componente fundamental para aspirar al aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, pero debemos tomar en cuenta que todas las medidas, en general, y cada una, en particular, están condicionadas por una serie de parámetros climáticos, geomorfológicos, edafológicos e hidrológicos, por lo que su aplicación no se puede generalizar sin haberse estudiado cada caso concreto.

7. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

7.1. Ubicación del área de estudio

El área de estudio se ubica al sureste del Estado de Puebla, localizándose entre los 18° 12' y 18° 25' de latitud Norte y de los 97° 24' a 97° 39' de longitud Oeste, con un área de 40275.31 ha y un rango altitudinal que va desde 1460 a 2600 msnm. Administrativamente, pertenece en su mayoría al municipio de Zapotitlán Salinas, colindando con el Estado de Oaxaca (**fig 1**).

7.2. Fisiografía

La Cuenca de Zapotitlán pertenece a la zona árida de la Provincia de la Alta Mixteca y al Sistema Ecogeográfico Sierra de Zapotitlán. Posee un relieve irregular con múltiples formas como cerros, laderas, escarpes, lomeríos, barrancas y terrazas aluviales que tienen la ubicación más baja en cuanto a altitud. La topografía es muy variable, existen regiones en donde la forma es casi plana denominado valle aluvial; así como lomas o zonas de lomeríos, taludes en las partes altas de algunos cerros y barrancas. Barrera (2001) señala que las clases de pendientes más representativas de toda la cuenca son las que van de los 22 a los 27 grados y que representan el 22 % de la superficie total. La Cuenca adquirió la mayor parte de sus rasgos estructurales debido a diversos procesos tectónicos, destacándose la existencia de dos periodos de plegamientos, el primero ocurrió a fines del Paleozoico dando lugar a la formación de esquistos y el segundo, a finales del Cretácico, es quizá el más importante ya que le dio la configuración actual.

López *et al.* (2003) reconocen nueve Sistemas Terrestres, de las cuales, los sistemas Zapotitlán y Metzontla abarcan la mayor superficie, donde la mayoría es de origen endógeno producto de la acción de fuerzas tectónicas.

7.3. Geología

La historia geológica del área muestra que hubo alternancias de condiciones marinas y terrestres asociadas a intrusiones de magma y periodos de movimientos tectónicos intensos.

La gran heterogeneidad geológica, es el resultado de los distintos eventos geológicos y geomorfológicos que se dieron en la región, particularmente los procesos erosivos y de depositación durante el Cuaternario constituyen uno de los eventos más importantes que le dieron la fisonomía actual a la zona de estudio (Osorio, 1996). El Valle Aluvial está formado por una secuencia de sedimentos clásticos no consolidados de gravas, arenas, limos y arcillas de origen aluvial y lacustres, o como producto de depósitos formados

por procesos activos de erosión, conformando un conjunto de rocas muy fragmentadas de areniscas, conglomerados y lodolitas del Cuaternario (López *et al.*, 2003).

Los materiales presentes descansan de forma discordante con las rocas de la Formación Zapotitlán, que consiste en una secuencia alternante de lutitas, areniscas y margas; hacia la parte basal, predominan las margas intercaladas con lutitas y lutitas calcáreas; en el resto de la secuencia, las margas disminuyen en abundancia y en ocasiones llegan a desaparecer. El espesor total se estima en unos 1,200 m. esta formación descansa discordantemente sobre las Formaciones: Mapache, Agua del Cordero y Agua del Burro; también, aparecen intercalaciones de otras Formaciones como San Juan Raya y Miahuatepec. En forma discordante, aparecen también las Formaciones: Cipiapa, Tehuacán y Acatepec, así como rocas volcánicas Terciarias y depósitos de aluvión. La edad de la Formación Zapotitlán corresponde al Barremiano temprano y parte del tardío (Calderón, 1956), esta Formación junto con las de San Juan Raya y Miahuatepec son las unidades que integran el llamado Grupo Puebla, propuesto por Calderón 1956, que consiste en una secuencia sedimentaria de más de 2,500 m, correspondientes al Cretácico Inferior.

El nombre de la Formación Zapotitlán fue propuesto por Aguilera en 1906, para designar a la serie de lutitas fosilíferas que se encuentran en los alrededores de Zapotitlán, pero no señaló una localidad tipo precisa y tampoco midió el espesor de la formación. Calderón 1956, considera que la Formación Zapotitlán aflora desde el Norte de San Antonio Texcala, hasta la Sierra de Santa Rosa y proporciona el espesor de una sección compuesta que mide 1,287 m. la formación consiste en lutitas calcáreas grises y margas y de algunos conglomerados gruesos. Desde San Antonio Texcala a Zapotitlán Salinas hasta el paso del Agua de Burro se extiende una serie constituida de lutitas calcáreas, que contienen intercalados gruesos lentes de calizas fosilíferas. Las calizas intercaladas en estas margas, forman una serie de cuevas, las cuales se deben a una serie de fallas, que atraviesan unos 3 km al suroeste del paso de Agua del Cordero y al Noroeste hasta la vecindad del Cerro de Pajaritos y el paso Agua del Burro.

7.4. Edafología

Los suelos reportados para la cuenca corresponden a suelos de las regiones áridas derivados de evaporitas, son halomórficos con diferentes estados de salinidad y alcalinidad, son profundos y frecuentemente presentan duripanes o fragipanes; en general, dedicados a terrenos de cultivos. En los lomeríos, la mayoría de los suelos son rendzinas que se caracterizan por ser someros y calcimórficos (INE-SEMARNAP, 1997).

Los suelos del Valle Aluvial son en mayor proporción transportados, jóvenes, profundos y de origen calcáreo, la unidades de suelo predominantes en las terrazas aluviales son Fluvisoles y Regosoles calcáricos. García, (2001) determinó la presencia de dos series: a. “Serie Zapotitlán” formada de sedimentos provenientes de rocas calizas, conglomerados y lutitas y b., “Serie Granjas” originada de la sedimentación de materiales con importante presencia de minerales de hierro, silicatos, óxidos de

aluminio, talcos, cuarzos asociados con carbonatos que provienen de la erosión de areniscas, esquistos y gneis, del Complejo Basal.

7.5. Clima

La Cuenca de Zapotitlán forma parte del valle de Tehuacán, el cual determina su clima en gran parte por la Sierra Zongólica perteneciente a la Sierra Madre Oriental localizada hacia Noreste; debido a ella se detienen los vientos húmedos provenientes del Golfo de México, al formar sus crestas hasta 2,600 msnm una sombra de lluvias sobre el valle (Zavala, 1980). El clima corresponde a la clasificación de Köppen modificada por García (1988) a un BSo_{hw}'(w)(i')g, seco semicálido, con temperatura media entre 18 y 25 °C, precipitación media anual entre los 370 y 410 mm (López *et al.*, 2003); con lluvia de verano y oscilación térmica de 5 a 7° C.

7.6. Hidrología

La Cuenca de Zapotitlán pertenece a la Región Hidrológica (Rh 28) de la Cuenca del Río Papaloapan, particularmente a la Subcuenca Fluvial del Río Salado. El Río Zapotitlán se forma hacia el Oeste de la subcuenca alta de Zapotitlán, viaja a la subcuenca baja en dirección Este, pasando por el poblado de Zapotitlán Salinas y al salir de la subcuenca se une al Río Tehuacán en el Valle del mismo nombre, para formar el Río Salado, uno de los principales afluentes del Río Papaloapan (Secretaría de Gobernación, 1988; INE, 2004) (**fig. 2**). El Río Zapotitlán, da origen al Río Salado, ambos de aguas superficiales y los manantiales: Salinas la Barranca, Salinas San Pedro, Las Ventas. Las principales características del agua son: alcalinas-salinas, aguas agresivas (con altas cantidades de carbonatos). Neri (2000). La cuenca de Zapotitlán Salinas, se divide en dos subcuencas: Santa Ana y Zapotitlán, a su vez en quince microcuencas, tres para la primera: Santa Ana, San Lucas y San Juan Raya; y doce, en la segunda: Mihuatepec, Cuthac, El Panteón, La Calera, Agua el Temolote, Grande, San Martín, Chuchuca, Coahuino, Metzontla, Salinas y El Castillo Neri (2000).

7.7. Vegetación

Las comunidades vegetales presentes en el área de estudio han sido descritas por Oliveros (2000) quien determinó las comunidades y asociaciones siguientes: Tetecheras de *Neobuxbaumia tetetzo*, Cardonales de *Cephalocereus columna-trajani*, Candelillar de *Euphorbia antisiphilitica*, Selva Baja Perennifolia con espinas laterales (Mezquital) donde predomina *Prosopis laevigata* y Matorral espinoso con espinas laterales con dominancia de *Parkinsonia praecox*.

7.8. Unidades Administrativas de la Tenencia de la Tierra

En el Área de estudio se encuentran cuatro unidades administrativas, las cuales comprenden a Los Ejidos: Los Reyes Metzontla, San Francisco Xochiltepec, Ejido Santa Ana Toloxtoc y a los Bienes Comunales de Zapotiltlan, estos a su vez se subdividen en: Col. San Martín, San Juan Raya, Las Ventas y Zapotitlán. Todas estas comunidades pertenecen al Municipio de Zapotitlán (Macías-Cuellar, 2004).

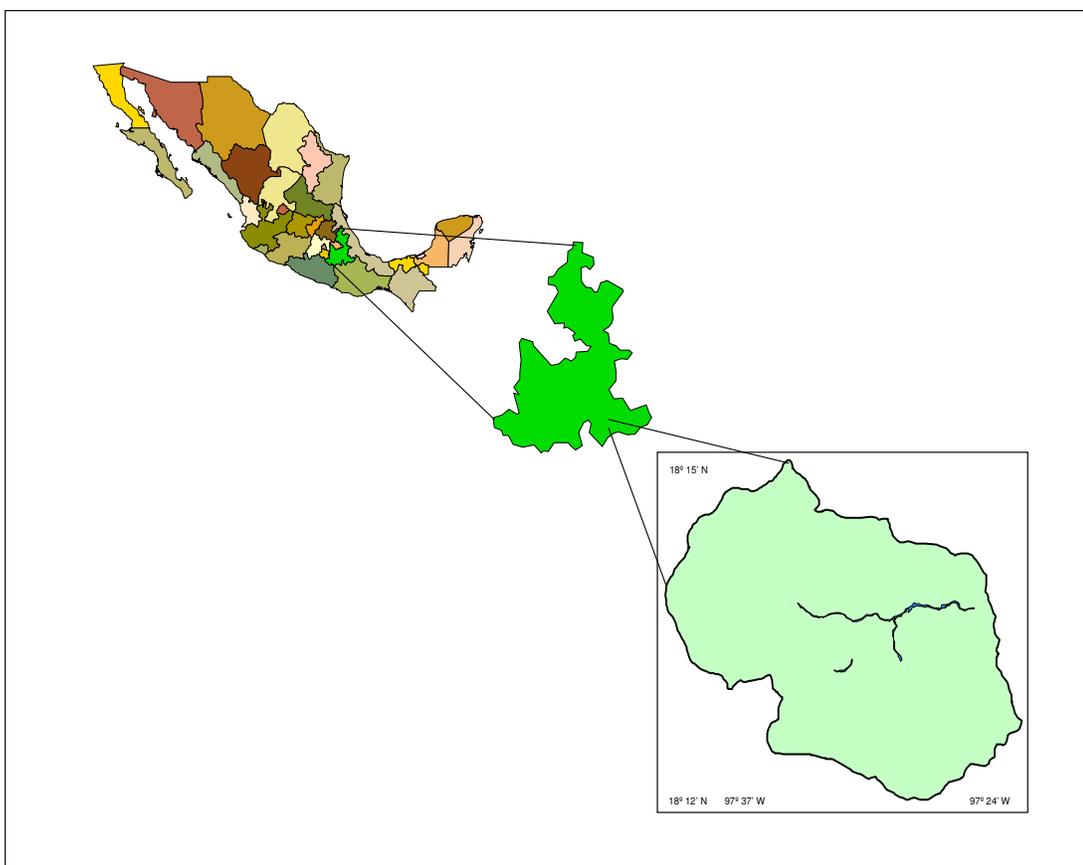


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

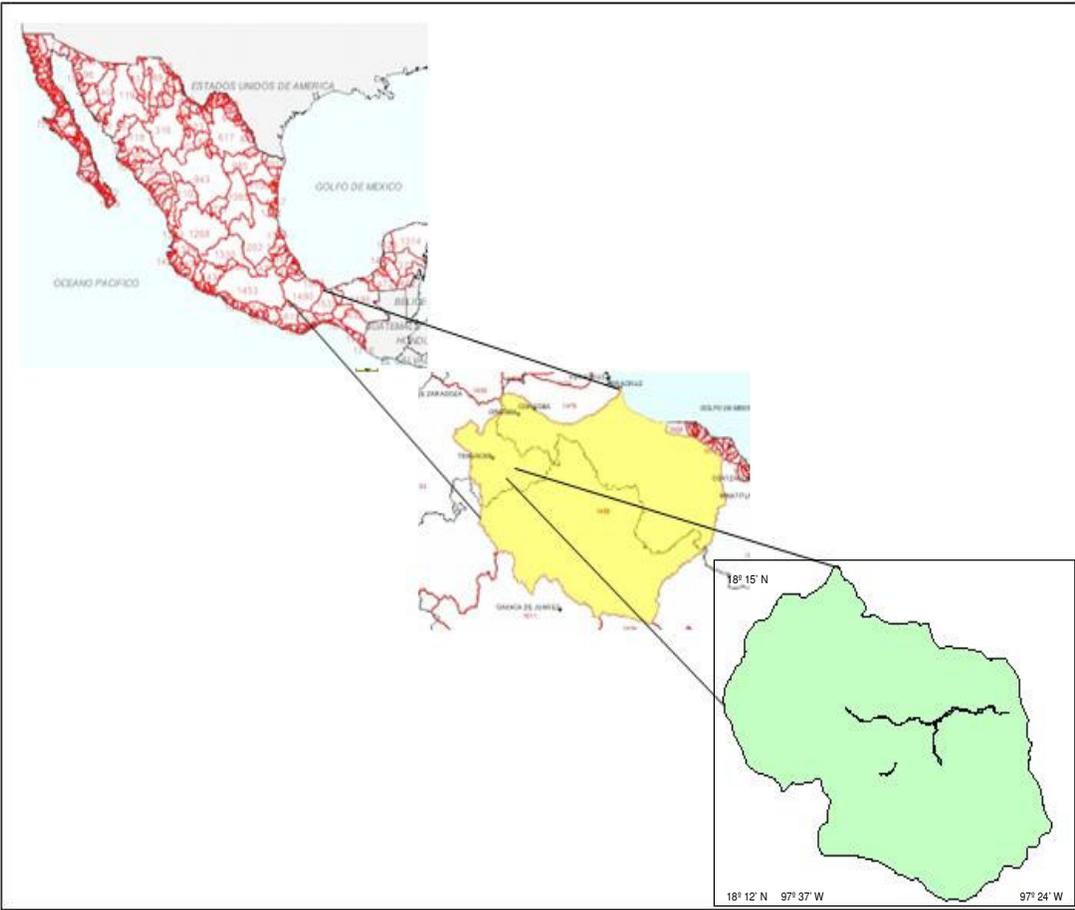


Figura 2. Región Hidrológica del Río Papaloapan, No 28.

8. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del presente trabajo, la metodología fue dividida en cuatro fases:

Primera fase

Se efectuó una exhaustiva revisión bibliográfica y cartográfica, para comenzar el estudio. Análisis espacial preliminar del área de estudio a partir de un proceso de fotointerpretación sobre fotografías aéreas pancromáticas de contacto, blanco y negro, ortofotos digitales e imágenes satelitales LANDSAT TM de 7 bandas escala 1: 20,000, y 1:75,000 en la que se selecciono el área específica a analizar (Dinerstein *et al.*, 1995). Tomando como unidad de trabajo, a la Cuenca hidrográfica.

Para definir los tipos y grados de degradación de tierras de la cuenca se tomó como criterio el sistema “Global Assessment of the Curren Status of Human-Induced Soil Degradation (GLASOD)” (Oldeman. 1988) complementado con la guía “The Assessment of the Status of Human-Induced Soil Degradation in South and Southestast Asia (ASSOD)” (van Lyden y Oldeman, 1997) El Anexo 13.1. detalla las definiciones y criterios aplicados para esta metodología. Los criterios se aplicaron para establecer el tipo de degradación con la toma de datos correspondientes en campo. Los límites definitivos de tierras degradadas se incorporaron al Sistema de Información Geográfica (SIG) Illwis 3.1. y Arc view 3.2.

Segunda fase

La ubicación de los sitios a verificar se designaron con base a la fotointerpretación, recorridos de campo y las condiciones particulares del área, tomando como elementos de selección los factores geomorfológicos, geológicos, edáficos y estructura de las comunidades vegetales. De manera complementaria cada zona de muestreo se describió y caracterizó individualmente con respecto al grado de degradación ambiental, donde se determinaron los siguientes parámetros: erosión hídrica, deterioro químico, deterioro físico, cobertura de la vegetación y uso del suelo, propuestos por SEDESOL (1993). Además se amplió la información de suelos empleando la base de datos de los perfiles edáficos, elaborada por el laboratorio de Edafología de UBIPRO (FES-Iztacala).

Tercera fase

Se realizó una comparación de fotografías pancromáticas b/n (1970) y ortofotos digitales (1995), además se emplearon imágenes satelitales en falso color, para distinguir las diferentes tonalidades y así poder evaluar la degradación del área de estudio, los criterios en los que se basó la fotointerpretación fueron el análisis de variaciones topográficas, cambios en el uso del suelo y tipos de vegetación.

Cuarta fase

Toda la información generada, se creó un banco de datos de degradación de tierras, y del estado actual de la degradación aplicando los SIG's ILWIS 3.1 y Arc View 3.2. Finalmente se construyó la carta de degradación correspondiente, de los años 1970 y 2003.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1. Evaluación del Estado Actual de la Degradación de Tierras de la Cuenca

La cuenca tiene una extensión aproximada de 40,275.31 ha, que se manifiestan en diferentes niveles de alteración, lo que a su vez presentan diferentes tipos de degradación, a continuación se hace la descripción de las clases de degradación y sus distintos niveles identificados para la zona investigada:

9.1.1. Erosión Hídrica (Wt/Wd)

La zona de trabajo presenta 10,629.34 ha., afectadas por erosión hídrica de moderada a severa (W), que representan el (25.65%) de la superficie total; este proceso se presenta en dos modalidades: la primera manifiesta una pérdida uniforme por erosión laminar de la capa superficial del suelo (Wt); el segundo caso, implica un desplazamiento irregular de materiales del suelo con la modificación evidente del terreno y formación de cárcavas (Wd). (López, *et al.*, 2003; Castillo, 2004). Esta problemática se atribuye a la fuerte pendiente, el suelo somero y la poca cobertura vegetal, además de no existir ningún tipo de acciones para la conservación de suelos y agua. Los sitios que son afectados por este tipo de erosión se encuentran en la parte Norte de la cuenca, donde la litología es de conglomerados con lutitas, lutitas sedimentarias, lutitas y calizas, con suelos de tipo Calsisol lúvico, Leptosol réndzico y Regosol calcárico, los cuales soportan varias especies vegetales como: *Yucca periculosa*, *Brahea nitida*, *Agave marmorata*, *Parkinsonia praecox*, *Neobuxbamia tetetzo*, este tipo de sitios solo se utilizan para el ganado caprino ya que las pendientes que presentan son muy pronunciadas, estos sitios los encontramos en las Barrancas Temolote, Caleta, Tacoco, El Paxtle, Zapote y Grande, los Cerros Chacateca y El Panteón; al Este, las Barrancas Miahuatepec, La Ventas y Salinas Chiquitas. En la porción Oeste cerca a Plan de Fierro, donde hay calizas marinas, con suelos de tipo Regosoles calcáricos y con una vegetación de matorral espinosos de *Parkinsonia praecox* y *Prosopis laevigata*. Al Sur en las barrancas San Miguel, Salinas, Chuchuca, Nacional, La Cruz, y los Cerros Tochenga, Volcancillo, Mogote León, donde la litología es de conglomerados y calizas, con suelos de tipo Leptosol réndzico, con vegetación de *Beaucarnea gracilis*, *Pachycereus marginatus*, *Prosopis laevigata* y *opuntia sp* y cuenta con un uso nulo de suelo; al Este Tempesquistle y Barranca Grande, los cuales tienen calizas, suelos de tipo Leptosol réndzico y una vegetación de *Dayilirion, sp* y *Agave striata* y uso de suelo pecuario.

En este tipo de sitios, es necesario implementar un programa para la restauración y conservación de suelos, donde se tomen en cuenta: la estimación del comportamiento hidrológico tomando como base las 15 microcuencas. Neri (2000), seleccionar los tratamientos adecuados, por ejemplo: canales de desviación de agua, zanjas de infiltración, terrazas forestales, diques de postes de madera en cárcavas y/o diques de estructuras gavionadas.

9.1.2. Erosión Eólica (Et/Ed)

La pérdida del suelo se presenta de ligera a moderada, principalmente por el proceso de deflación y remoción del subsuelo (Et), que afecta a 794.85 ha (1.91%), el área dañada es la población de Metzontla, en este sitio se encuentra en el parteaguas de la cuenca donde se retienen los vientos, aunado a las actividades agrícolas y pecuarias; y pérdida superficial y pérdida del terreno en grado severo (Ed) esta problemática se localiza en una porción de la Barranca el Castillo, donde encontramos conglomerados con areniscas, con un suelo de tipo Regosol éutrico y una vegetación de *Parkinsonia praecox*, *Myrtillocactus geometrizans* y *Leucaena sp.* También se encuentran pastizales inducidos. Para contrarrestar este tipo de erosión, es muy conveniente implementar un programa de reforestación, sobre todo en las áreas de cultivo, para formar barreras biológicas rompevientos, utilizando especies nativas de estos sitios.

9.1.3. Degradación Física (Pk/Pd/Pc)

La degradación física se encuentra afectando una superficie de 2,153.26 ha (5.19%), presentando procesos de encostramiento y sellamiento de la capa superficial del suelo (Pk), compactación (Pc), de moderados a severos (Pd) El encostramiento se hace evidente en las parcelas de cultivo de temporal, donde en la época de estiaje se evapora el agua y las sales emergen a la superficie provocando la formación de costras, los sitios afectados son los Cerros Tochenga y Mogote León; mientras que la compactación se muestra en mayor proporción en parcelas abandonadas de Salinas; donde se encuentran lutitas con Feozems calcáricos y con especies como *Prosopis laevigata* y *Parkinsonia Praecox*. También existe degradación física en las barrancas El Chapulín, Salinas y Grande, en estos sitios predominan los conglomerados y un tipo de suelo Leptosol éutrico, los cuales soportan pastizales y matorral de *Parkinsonia praecox*, con uso de suelo pecuario, en gran parte del Cerro Yistepec. Para contrarrestar esta problemática, es necesario, llevar acciones como, rotulación del terreno, incremento de enmiendas orgánicas y prácticas de labraza de conservación de suelo y practicas de conservación de agua.

9.1.4. Degradación Química (Cn/Cp)

Existen 649.44 ha (1.56%) de suelos con deterioro químico, caracterizado por la pérdida moderada a severa, de nutrimentos (Cn), que reduce significativamente la productividad, tal como se presenta en las parcelas de riego eventual, localizadas al Norte en la Barranca Horno de sal y en la parte Sur del poblado de Zapotitlán y Barranca El Cuthac. Contaminación severa por aporte de residuos sólidos municipales, basura, escombros de los talleres de onix entre la zona del cementerio y la parte baja de la Barranca Soyolapa. (Cp), donde hay contaminación por residuos bio-industriales. En estas zonas tenemos aluvión, conglomerados y suelos como Regosol calcárico, donde se desarrolla matorral espinoso con tetecheras y agricultura de temporal. Debido a la alta concentración de sales en estos sitios,

las plantaciones ya no asimilan los nutrientes necesarios para su desarrollo, por otro parte, es necesario promover la construcción de un relleno sanitario, para la concentración de los residuos sólidos.

9.1.5. Degradación Biológica (Pu/Bl/A)

La degradación biológica es el desbalance de la actividad biológica o microbiológica, o pérdida de niveles significativos de materia orgánica (Pu) en la zona esta afecta a 668.90 ha (1.65%) estos terrenos muestran el mayor nivel de deterioro, los lugares donde el suelo ha perdido totalmente su potencial bioproductivo y son irre recuperables. Se ubican en las zonas de asentamientos humanos como Zapotitlán, San Martín, Santa Ana, Metzontla, San Juan Raya, Tempesquistle, San Lucas Tezquetitán y Xochiltepec. Otros tipos de degradación incluyen lugares donde el suelo prácticamente ha desaparecido y las labores de restauración son casi imposibles, aquí se incluyen los afloramientos rocosos (A) 275.91 ha (0.66%), las Tierras Malas (Bl) que afectan 92.90 ha (0.23%) y se encuentran al Sur de el Jardín Botánico y las Barrancas Salinas y Grande, el tipo de sustrato es Piedemonte y Aluvión, con suelos como Fluvisol calcárico, donde las principales especies que presentan son: *Prosopis Laevigata*, *Parkinsonia praecox*, *Agave macroantha*, *Agave marmorata*, *Opuntia pilifera*, *Mirtilliyocactus geometrízans*. Así como el cause del Río Zapotitlán con 169.86 ha (0.41%). En estos sitios prácticamente se pueden rehabilitar, pero en los casos de tierras malas y la vega del río, sí se es posible implementar un programa de conservación de suelos, estabilizando la vega del río, para evitar los derrumbes.

9.1.6. Factores causativos (f/s/p/i)

Los principales factores causativos son: la deforestación (f) que afecta 56.67 ha (0.13%), la área dañada abarca una porción del Cerro Gordo, la extracción y quema de la cobertura vegetal como sucede en San Martín; cambio de uso del suelo (s) de Las Granjas; sobrepastoreo (p) en Barranca Grande; la incorporación de nuevas áreas al cultivo (i) en Barranca Chuchuca; la actividad minera (m), que incluye la extracción de materiales del Río Salado, Barranca Boquerón; producción de sal en las Salinas de la zona; Contaminación por la producción de residuos municipales (López, *et al.*, 2003; Castillo, 2004) en la Barranca Soyolapa y emisiones de polvos a la atmósfera, de los talleres de artesanías de mármol en el poblado de Zapotitlán y depósito de estos en áreas de cultivo y/o vegetación natural.

9.1.7. Tierras estables con sistemas de conservación (Sh/ Shc/ Shp)

Hay que destacar que así como existen procesos de degradación de tierras, también se presentan actividades que tratan de mitigar y revertir los procesos de deterioro para conservar los suelos y favorecer la existencia de los sistemas naturales. Aquí se incluyen

4,314.87 ha (10.41%) de terrenos estabilizados por intervención humana, con prácticas de conservación (Sh), terracéo de las zonas aluviales con barreras físicas estabilizadoras como bordos de roca, combinadas con barreras biológicas de mezquites, agaves y cactáceas columnares (Shc), también encontramos terrenos estables con eliminación parcial de la vegetación natural e introducción de cultivos perennes y anuales (Shp), denominamos a estos sitios como moderadamente conservados; e incluyen solares que tienen plantaciones de especies perennes de importancia comercial y en donde se realizan prácticas de reforestación (Shr). Se encuentran principalmente en las cercanías de los asentamientos humanos. Aquí tenemos suelos como Regosoles calcáricos, Calcisoles, Regosol éutrico y Fluvisol calcárico, donde existe la agricultura de riego eventual y de temporal (Hinojosa, 2004), con barreras biológicas de *Agave sp.* y *Prosopis laevigata*.

9.1.8. Tierras con tasas de degradación nula (Sn/Snv)

Existen 19,236.86 ha (43.46%) de terrenos estables con mas del 70% de cobertura vegetal natural permanente (Sn) con sustrato de calizas, conglomerdos y aluvión; con suelos. Regosoles calcáricos, Calsisoles, Regosol éutrico, Fluvisol calcárico con vegetación de tipo: Mezquital de *Prosopis laevigata* y *Parkinsonia praecox*, *Agave macrocantha*, *Agave marmorata*, *Opuntia pilifera*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Beucarnea gracilis*, *Pachycereus marginatus*, el uso de suelo es forestal. Este escenario predomina en gran parte de la Cuenca al Sur los Cerros: Grande, Otate, Tierra Amarilla, Viejo, Nopalera, Zoluche, el Mirador, Quemado y Las Granjas; en el Norte Los Cerros Castillo, Pepecha, Salado, Majada Teponchiche, Tucingala y Monode Terrenos con cobertura vegetal natural vulnerable menor al 70% (Snv) se presentan al Norte las Barrancas Soyolapa, Tacoco, Las Piletas, San Lucas y al Norte del poblado de de Zapotitlán; al Sur Barranca Pizarro y Cerro Tabache, en estos sitios la degradación no se han manifestado, estos lugares se denominan como sitios naturales donde los ecosistemas se presentan con mayor nivel de conservación.

9.1.9. Áreas de Regeneración de Cobertura Vegetal Natural (R)

Se identificaron 1,247.22 ha (3.90%) de tierras, que anteriormente fueron utilizadas para la agricultura y posteriormente abandonadas, donde en la actualidad está ocurriendo un proceso natural de sucesión secundaria, formándose un matorral espinoso secundario de *Prosopis leavigata* con *Parkinsonia praecox* (López *et al.*, 2003; Castillo, 2004). Lo relevante del sitio es la rehabilitación del suelo y la tendencia a recuperar el sistema natural.

Son lugares que de manera natural están recuperando su cobertura sin la intervención humana; donde el proceso de sucesión ecológica se manifiesta en terrenos que fueron desmontados, áreas de pastoreo, parcelas abandonadas o sitios que se emplearon como bancos de materiales. En ellos es posible observar la regeneración de matorrales de mezquite y palo verde, que coexisten con plantas anuales y especies oportunistas, es decir, a malezas que en su mayoría corresponden a crucíferas y compuestas. En algunos sitios es posible encontrar una pequeña capa de hojarasca en un suelo incipiente, donde se comienzan a establecer pastizales de *Eragrostis sp.* y de *Bouteloua sp.*

Otros casos suceden en lugares donde se están formando aluviones muy recientes, a causa de derrumbes y acumulo de sedimentos a orillas de arroyos, con suelos jóvenes con una fase salina que permite el establecimiento de pastizal halófito de *Dysticlis spicata*.

9.1.10. Evaluación temporal del proceso de degradación de tierras, distribución y superficies

Se determinaron 3,397.87 ha de erosión hídrica (1970), 10,629.34 ha (2003), Degradación biológica 126.73 ha (1970), 1,598.79 ha (2003); Tierras estables con sistemas de conservación 5,674.148 ha (1970), 4,314.87 ha (2003); Terrenos estables con cobertura vegetal natural permanente 27,408.53 ha (1970), 19,236.86 ha (2003), por otra parte se identificaron 4,819.92 ha (1970) y 1,247.22 ha (2003) de Regeneración Natural.

La comparación de superficies afectadas en un intervalo de tiempo de 33 años (1970-2003) se muestran en la **figura 3** y el total de superficies **Tabla 2**. La **figura 4**, muestra los tipos de clases de degradación y su ubicación espacial y la **figura 5** señala los principales factores causativos y su localización respectiva. La representación ortofotográfica de la estructura física de la cuenca se muestra en la **figura 6**. La cartografía temática definitiva de los tipos de degradación de tierras determinados se muestran en los **mapas 1 y 2**.

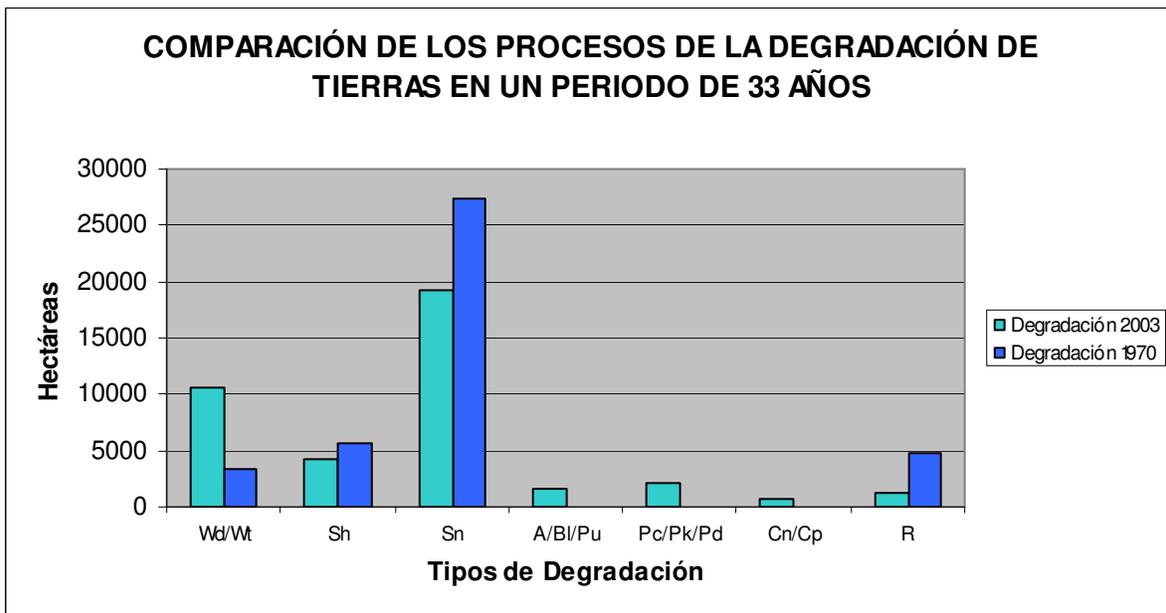


Fig. 3. Gráfica comparativa de los tipos de degradación de tierras entre los años 1970 y 2003.

Tipos de Degradación	1970		2003	
	Hectáreas	%	Hectáreas	%
Erosión Hídrica	3397,87	8,2	10629,35	25,65
Erosión Eólica			794,80	1,97
Degradación Biológica	126,73	0,3	1598,80	1,3
Degradación Física			13022,95	5,19
Degradación Química			649,44	1,56
Tierras estables con sistemas de conservación	5674,14	14,05	4314,87	10,41
Tierras con cobertura vegetal natural con mínimo grado de deterioro	27408,53	66,16	19236,86	43,46
Regeneración natural vegetal	4819,92	11,96	1247,22	3,9

TABLA 2. Superficies de tierras determinadas en función del tipo de degradación.

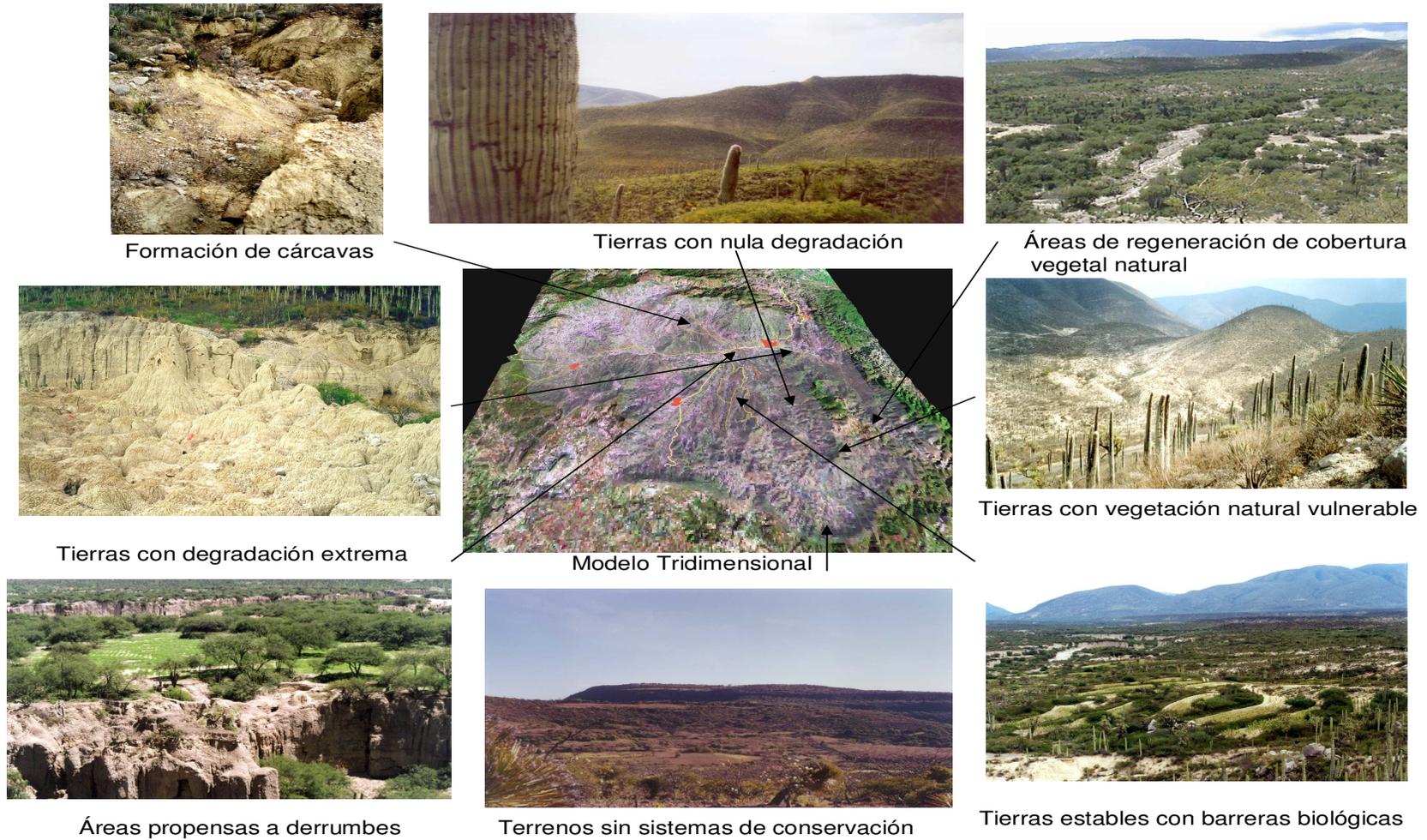


Fig 4. Panorámicas y distribución de los tipos de degradación determinados en la zona.

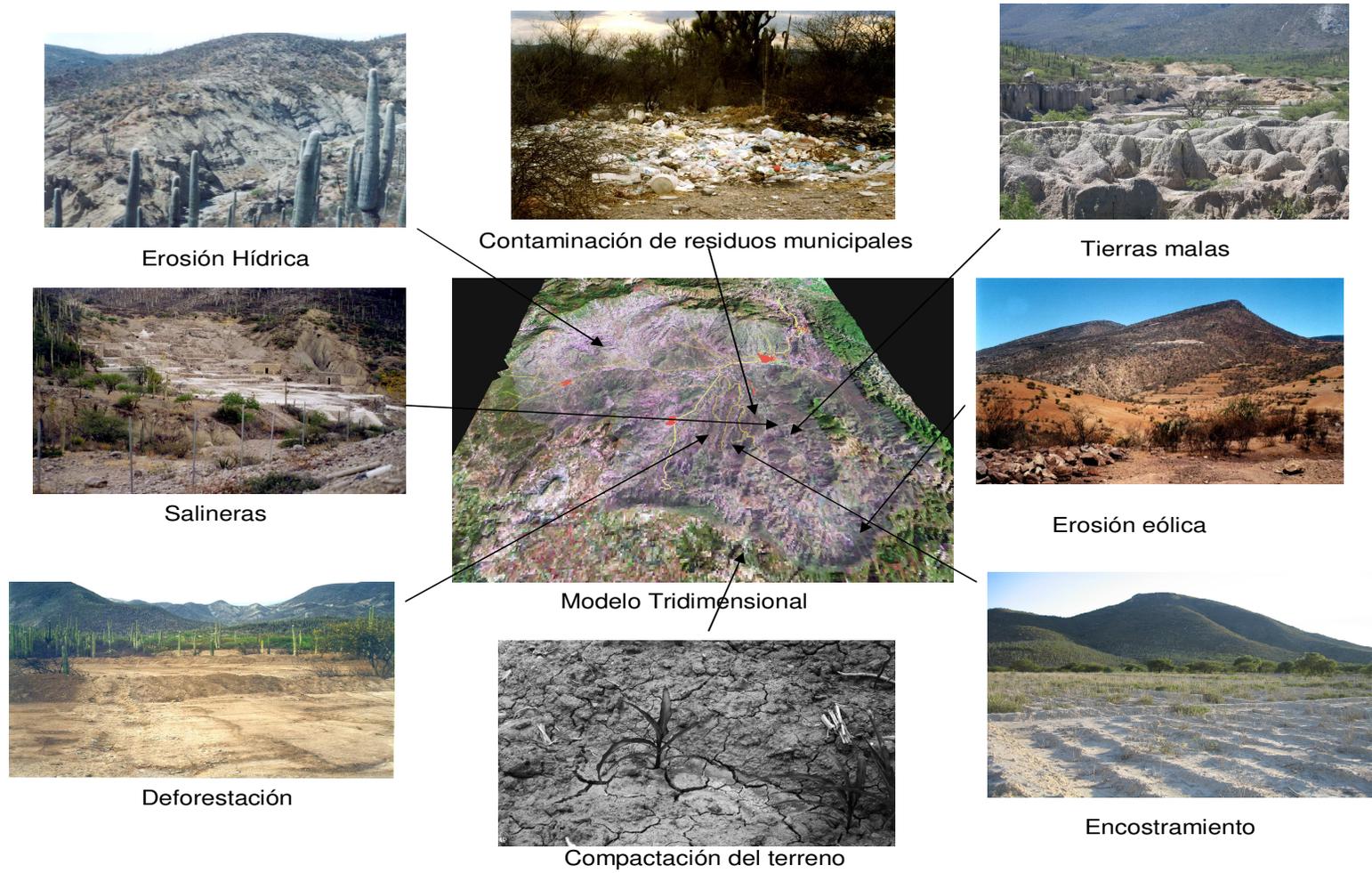


Fig 5. Factores causativos de la degradación de tierras identificados para la zona.

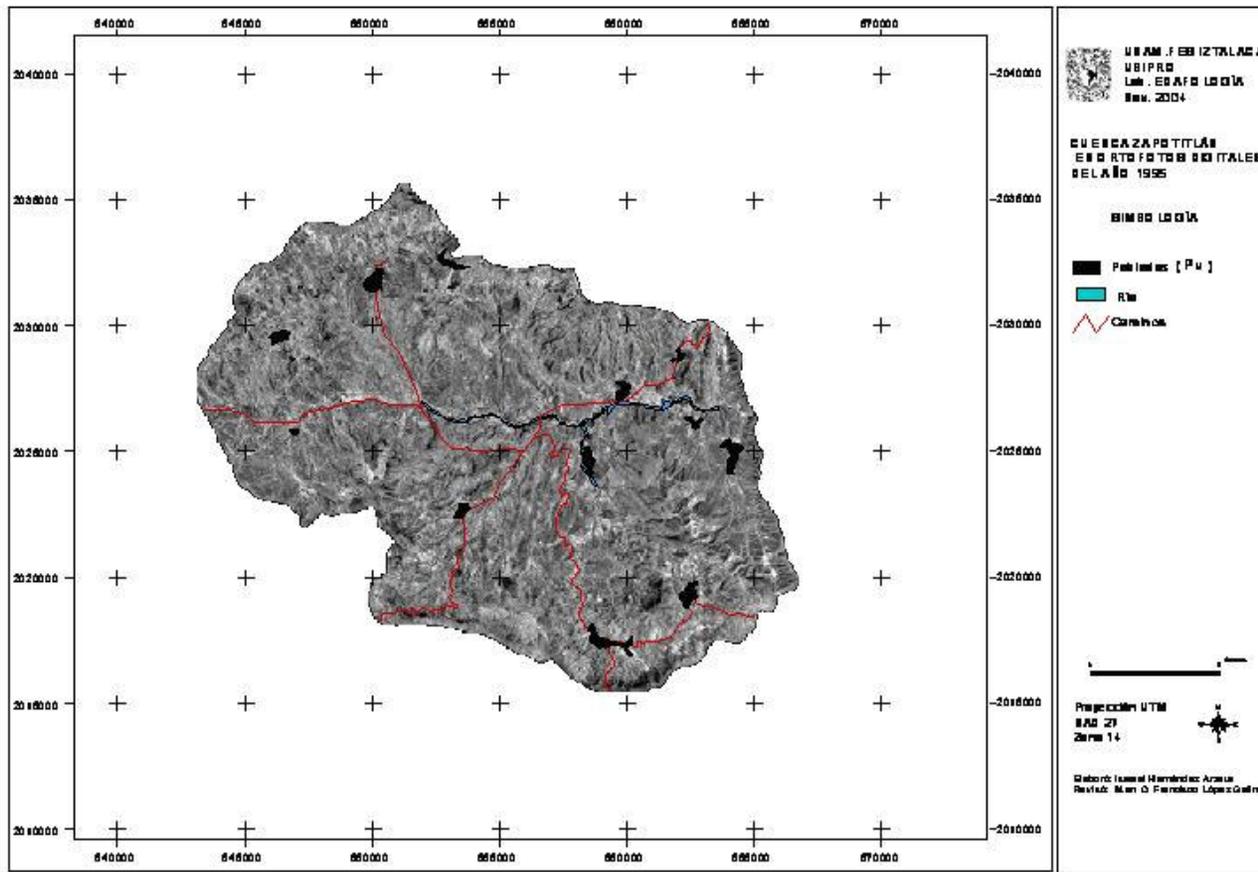
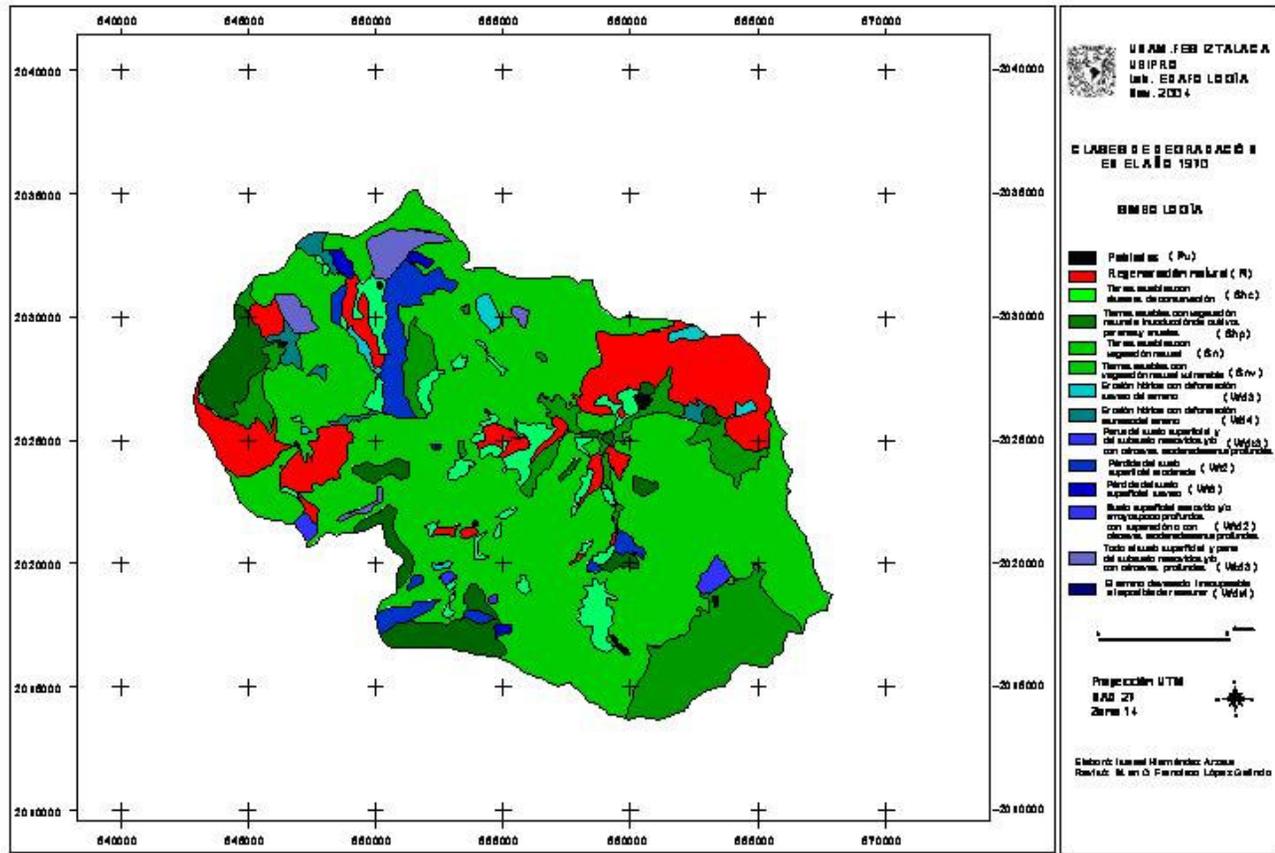


Figura 6. Representación ortofotográfica de la estructura física de la Cuenca de Zapotitlán Salinas.

43

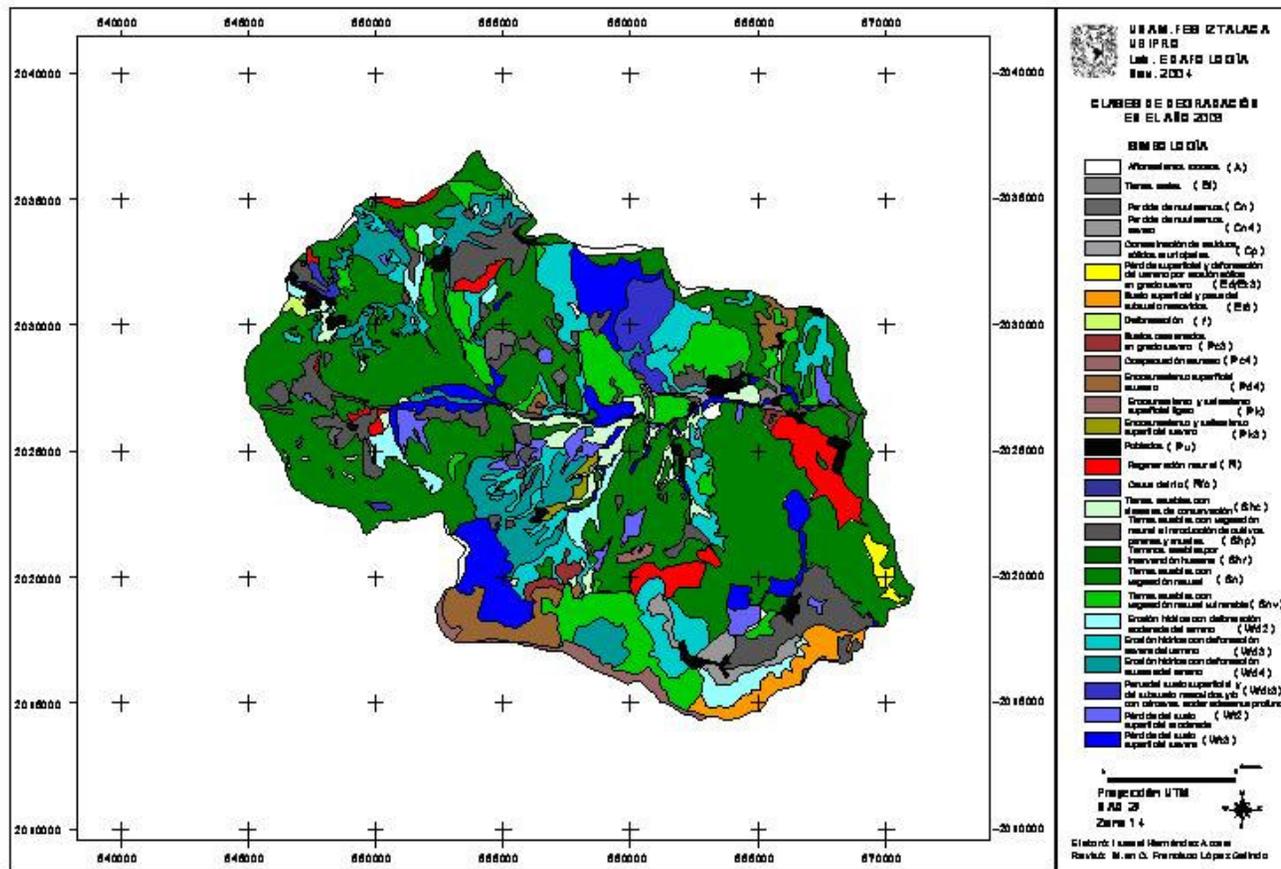
Fig. 6. Representación ortofotográfica de la estructura física de la Cuenca de Zapotitlán Salinas.



Mapa 1. Evaluación del tipo de degradación de Tierras para 1970.

44

Mapa 1. Evaluación del tipo de degradación de tierras para 1970.



Mapa 2. Evaluación del tipo de degradación de Tierras para 2003.

45

Mapa 2. Evaluación del tipo de degradación de tierras para 2003.

9.1.11. Estrategias de conservación biológica y/o reversión de la degradación para la zona.

Como ya ha sido señalado, los problemas de degradación de tierras en la Cuenca de Zapotitlán Salinas derivan principalmente de prácticas inadecuadas de uso de las mismas. Al mismo tiempo, la mayor parte de las áreas degradadas corresponden a terrenos de frágiles de vocación forestal. Por lo anterior, para contrarrestar la degradación de tierras, se deben, en primera instancia propiciar la regeneración natural y la protección, la reforestación, los cultivos perennes y los sistemas silvopastoriles, sistemas agroforestales bajo los principios de la agricultura conservacionista.

Las soluciones que se adopten para mitigar, prevenir y controlar la degradación de tierras deben adaptarse a la capacidad de uso de suelo, en cada caso, tomando también en consideración las necesidades socioeconómicas de los pobladores, para ello es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- La microcuenca como unidad básica de planificación, considerando las unidades administrativas de la tenencia de la tierra.
- Participación activa del productor y su familia
- Organización de productores y miembros de la comunidad
- Convergencia de los intereses de producción y conservación
- Sistema diversificado de producción

Igualmente indispensable es la concientización de la población sobre esta problemática, y la capacitación de los usuarios de la tierra en las medidas de disminuir, prevenir y controlar la degradación, así como el impulso de medios alternativos de subsistencia para minimizar la pobreza en dicha área. Para los propósitos indicados, debe establecerse una estrecha colaboración y coordinación entre los pobladores, el Gobierno y el sector académico, para integrar grupos de trabajo, y así poder elaborar un plan de manejo integral de la cuenca, para poder apoyar los esfuerzos de capacitación, asistencia técnica, orientación de los procesos, validación e investigación de prácticas de lucha contra la degradación.

En este sentido es necesario solicitar la cooperación internacional de agencias donantes, para el desarrollo de estas estrategias, así como el diseño y puesta en operación de un sistema de incentivos y créditos para la ejecución de las acciones que se formulen.

Pero sobre todo, para enfrentar los problemas de la degradación de tierras, se considera indispensable lograr la voluntad y apoyo político a los Programas que se elaboren para poder superar problemas de carácter institucional, financiero y de recursos humanos calificados que puedan orientar este proceso.

Para lo cual, resulta de suma importancia la participación ciudadana local, por medio del establecimiento de comisiones ambientales o similares y con la participación de organizaciones no gubernamentales, para la definición de los proyectos más viables

En la toma de decisiones, es importante que las autoridades correspondientes tengan acceso a la información técnica de las instituciones responsables de estos temas.

Para implementar un programa de manejo es recomendable la adquisición y operación, con personal capacitado, de sistemas de información geográfica en el ámbito municipal, vinculados a las bases de datos y sistemas semejantes de las instituciones recopiladoras y generadoras de información geográfica y ambiental. Igualmente, se considera recomendable el desarrollo de actividades de concientización y capacitación del personal del gobierno y personal técnico, para facilitar la toma de decisiones en estas materias.

El anexo 13.1.3 señala las especies nativas que potencialmente pueden ser empleadas en acciones de conservación y restauración de las áreas de trabajo.

10. CONCLUSIONES

- Las actividades antropogénicas realizadas en la zona, conjuntamente con el clima, la geología, la fisiografía, la edafología y la vegetación que se presenta, han influido el proceso de degradación de tierras; sin embargo no ha impactado en forma tal que provoquen niveles severos de degradación.
- Se determinaron 3397.87 ha (8.20%) para 1970 que aumentaron a 10629.34 ha (25.63%) en 2003, afectadas por erosión hídrica, con grados de medianos a severos.
- La erosión eólica no afecta considerablemente, puesto que las áreas dañadas representan 794.80 ha (1.97 %).
- La degradación biológica, afectó a 126.73 ha (0.30%) 1970 incrementándose a 2174.79 ha (5.24%) en 2003, correspondiendo a zonas de asentamientos humanos, formación de Tierras Malas (Badlands) y sitios de derrumbes.
- La degradación física se manifiesta en 2153.26 ha (5.19%) en 2003, predominando la compactación y encostramiento; este tipo de degradación fue poco significativa en los 70's.
- Actualmente, la degradación química afecta a 694.42 ha (1.56%), sobre todo por el aporte de residuos municipales.
- Las tierras estables con cobertura vegetal natural, correspondieron a 27408.53 ha (66.16%) para 1970, disminuyendo a 19236.86 ha (43.46%) en 2003, donde la degradación es de nula a mínima y coinciden con lugares con sistemas naturales poco deteriorados, por lo que se consideran vulnerables.

- Las tierras estables con sistemas de conservación constituyen 4314.87 ha (10.41 %) compuestas por parcelas con barreras físicas de mezquite, agave y algunos cítricos, para protegerlas principalmente de el viento.

- La regeneración natural de cobertura del sistema, que corresponde a un matorral secundario de *Prosopis laevigata* con *Parkinsonia praecox*; para 1970 fue de 4819.92 ha (11.63%) disminuyendo a 1247.22 ha (3.90%) en 2003.

- Los factores causativos naturales y antrópicos hacen que los tipos de degradación sean muy evidentes, mientras que en 1970 se determinó el 66.16% de la superficie investigada, con degradación nula o mínima; esta disminuye al 43.46% para 2003.

- Por lo anterior, es necesario elaborar un programa en el cual contemple todos y cada uno de los puntos a establecer, para que realmente se alcancen los objetivos planteados, principalmente orientados a mitigar la degradación de tierras, a su vez restaurar y conservar los recursos naturales y a elevar la calidad de vida de los habitantes.

11. SUGERENCIAS

- Realizar un diagnóstico, para conocer las necesidades y prioridades de la comunidad y así, poder establecer un programa eficaz, para mitigar este problema socio-económico-ambiental.
- Fortalecer la participación interinstitucional de los tres Órdenes de Gobierno, (CONAFOR, SAGARPA, SEDESOL, Gobierno de Estado de Puebla, Ayuntamiento de Zapotitlán Salinas), instituciones académicas (UNAM, UACH, UAM, UAP), dueños y/o poseedores de la tierra, a fin de integrar grupos de trabajo, para elaborar un plan de manejo sustentable e implementar acciones para combatir la degradación.
- Formar grupos de trabajo por microcuenca, involucrando a todos los sectores, para dar seguimiento a los proyectos que se establezcan.
- Promover el pago de servicios ambientales a través de la protección y conservación de los recursos naturales, implementando un mecanismo eficaz en la remuneración a la comunidad a causa de las investigaciones que se realizan en la zona, para que sirva de estímulo a los pobladores
- Fomentar todos los programas federales (PRONARE, PRODEFOR, Oportunidades, PROCAMPO ecológico, entre otros) y estatales dirigidos al incremento de la productividad, la conservación y la restauración de la zona.
- Gestionar estímulos y apoyos económicos a la iniciativa privada (Grupo Modelo, Coca-cola, Bimbo, WV) y ONG's (PRONATURA, PNUMA, WWF y UICN) para realizar acciones a ejecutar.
- Participación de la mujer como punto base, de los programas a efectuarse, como colaboradoras en el incremento de los ingresos familiares.
- Impulsar proyectos productivos alternativos, manejo integral del maguey garambullo, por ejemplo, para elevar la calidad de vida de los pobladores.

- Establecer invernaderos de alta tecnología, para producir especies de importancia local y/o de importancia biológica, para disminuir la extracción ilegal de especies endémicas.

12. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Anaya G. M. 1985. Problemas de erosión y desertificación en suelos de América Latina. Universidad Autónoma de Chapingo. Edo. de Méx.

AG/UNEP. 1987. Drylands dilemma: a solution to the problem. *In:* Zárata Z.R. 1994. Estado de la degradación de la tierra inducida por el hombre: un manual para su cartografía. Instituto de Recursos Naturales. Edafología. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.

A Gad, H. Younes and M.A.Adbel Hady. 1993. Assessment of soil degradation processes in the middle part of the Nile-Valley, using GIS and Remote Sensing Techniques. 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, Mexico, July 1994. Volume 7b, pp. 217-218. International Society of Soil Science.

Aguilera H. N. 1970. Suelos de las Zonas Áridas de Tehuacán, Puebla y sus Relaciones con las Cactáceas. Cactáceas y Suculentas Mexicanas. Boletín de la Sociedad Cactológica de México. 15(3): 51-63.

Aguilera J. G. 1906. Excursión de Tehuacán a Zapotitlán y San Juan Raya. *In:* X Congreso Geología Internacional. Libro-Guía. México. International Geological congress. 7, 27 p., 1 mapa.

Alencáster G. 1956. Pelecípodos y gasterópodos del Cretácico Inferior de la región de San Juan Raya-Zapotitlán, Estado de Puebla. Paleontología Mexicana. p. 2-47.

Alvarado C. M. 1988. Utilización de la cartografía edafológica en el proyecto Ordenamiento Ecológico de la Cuenca del Río San Juan. Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. CD. Juárez, Chih. México. p. 3.

Arizmendi M. C. y Espinosa de los Monteros A. 1996. Avifauna de los bosques de cactáceas columnares del Valle de Tehuacán, Puebla. Acta Zoológica Mexicana. 67:25-46.

Barceló D. J. 1978. Estratigrafía y Petrografía detallada del área de Tehuacán San Juan Raya, Edo. de Puebla, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería UNAM. México, D.F.

Barrera C. C. 2001. Descripción y Regionalización Fisiográfica del Valle de Zapotitlán, Puebla. Tesis de Licenciatura. FES Iztacala, UNAM. Tlalnepantla, Edo. de Mex.

Baumman J. 1999. La degradación de suelos-procesos, causas y su combate. Comisión Nacional del Agua. La Edafología y sus perspectivas al Siglo XXI, tomo I: 145-154.

Becerra M.A. 1999. Escorrentía, erosión y conservación de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. México. p. 30-51.

Bouma N. A. & Imeson A.C. 2000. Investigation of relationships between measured field indicators and erosion processes on badland surfaces at Petrer, Spain. *Catena*. 40:147-171.

Bosque S. J. 1997. Sistemas de Información Geográfica. Ediciones Rialf. España

Buitrón B. E. 1970. Equinoides del Cretácico inferior de la región de San Juan Raya-Zapotitlán, Estado de Puebla. *Paleontología Mexicana*. p. 30-46.

Buitrón B. E. y Barcelo D.J. 1980. Nerineidos (Mollusca-Gastropoda) del Cretácico Inferior de la Región de San Juan Raya, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 4(1): 46-55.

Comisión Asesora sobre la Degradación de Tierras (CADETI), 2003. Programa de Acción Nacional de Lucha Contra la Degradación de Tierras / CADETI. 1ed. San José, Costa Rica. MINAE-CADETI. 86 p

Calderón G. A. 1956. Bosquejo geológico de la región de San Juan Raya, Puebla. *In: XX Congreso Geología Internacional, Excursión*. México, Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. 9-27.

Castillo L. Ma. C. 2004. Caracterización e impacto de la degradación de tierras y fragmentación de hábitats en el valle aluvial de Zapotitlán Salinas, Puebla". Tesis de licenciatura, FES-IZTACALA.UNAM.

Cardel Y., Rico G.V., García F.J., Thien L. 1997. Ecological of *Beaucarnea gracilis* an endemic species of the semiarid Tehuacan Valley, Mexico. *Conservation Biology*. 11(2):367-374.

Casas A. 1994. Bases Ecológicas del desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas de México. Instituto de Biología. UNAM. México.

Casas A., Valiente B. A., Viveros J., Caballero J., Cortés L., Dávila P., Lira R., Rodríguez I. 2001. Plant resources of the Tehuacan-Cuicatlan Valley, Mexico. *Economic Botany*. 55(1): 129-166.

CNA. 2001. Programa Hidráulico Nacional. 2001-2006. Comisión Nacional del Agua.

Commission on Land Degradation and Desertification (COMLAND). 2001. Proceedings of the International Symposium on Land Degradation and Desertification. May 7-14. Mexico City-Patzcuaro, Michoacan, México. Institute of Geography-Institute of Ecology- Institute of Anthropology. National Autonomous University of Mexico (UNAM).

Dávila, P. 1997. Tehuacan-Cuicatlan Region, Mexico. *In: Davies, S. D. et al. (eds.) Centres of Plant Diversity*. Cambridge. The World Wide Fund for Nature (WWF). The World Conservation Union (IUCN). pp. 139-143.

Del Valle, H. F., Elissalde, N.O., Gagkuardini, D.A., Milovich, J. 1997. Cartografía y Evaluación de la Desertificación en las Regiones Áridas y Semiáridas de la Patagonia (Argentina). PNUMA. Boletín del Control de la Desertificación. 31: 6-11.

Dinerstein E., Olson D.M., Graham D.J., Webster A.L., Primm S.A., Bookbinder M.P., Ledec G. 1995. Una evaluación del estado de conservación de las ecoregiones terrestres de América Latina y el Caribe. Publicado en colaboración con el Fondo Mundial para la Naturaleza. Banco Mundial. Washington, D.C.

Domínguez Cortazar Miguel A., Ventura Ramos E., Bautista Guerrero O. 1999. Los Sistemas de Información Geográfica y su utilización en la Modelación Hidrológica. Facultad de Ingeniería –División del Posgrado, Universidad Autónoma de Querétaro.Mex.

D.P, Shrestha.1991. Land degradation assessment in a GIS and evaluation of remote sensing data integration. 15th World Congress of Soil Science. . Internacional Society of Soil Science. Acapulco, Mexico, July 1994. Volume 6b, pp. 343-344

D.D. Poudel, D.J. Midmore, L.T. West, 1999. Farmer participatory research to minimize soil erosion on steep land vegetable systems in the Philippines. Agriculture, Ecosystems and Environment. 79 (2000) 113-127.

Drury S. A. 1987. Image Interpretation in Geology. Allen & Unwin. Londres.

Esparza O.L., Valverde T., Vilchis-Anaya E. 2002. Demographic analysis of a rare columnar cactus (*Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacan Valley, Mexico. Biological Conservation 103:349-359.

FAO. 2000. 26ª Conferencia Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Desarrollo sostenible en zonas montañosas. Mérida. México, 10 al 14 de abril 2000.

FAO. 1980. Metodología provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma Italia.

FAO. 2003. III Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas,. Arequipa, Perú.

Félix J. 1891. Versteinerungen aus der mexicanischen Jura und Kreide Formation. Paleontographica. 37: 140-199.

Flores H.N., Valiente B.A., Dávila P., Villaseñor J. 1999. La vegetación esclerófila perennifolia del Valle de Tehuacán, Puebla y sus similitudes con la vegetación esclerófila de climas mediterráneos. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 64: 41-55.

Fuente A., López R., Soto-Mora C. 1971. Metodología para el análisis Geográfico de la zona de San Juan Raya. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. México, .Vol. IV. p. 323-368.

García E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía UNAM. México, D.F.

García M. M. G. 2001. Mapeo y Caracterización de las Terrazas Aluviales del Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis de Licenciatura. FES Iztacala, UNAM. Mex.

García O. F. 1991. Influencia de la dinámica del paisaje en la distribución de las comunidades vegetales en la cuenca del río Zapotitlán, Puebla., México. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. Investigaciones Geográficas. 23: 57-70.

Gobierno del Estado de México, Secretaria de Desarrollo Agropecuario, Protectora de Bosques. 2002. Restauración de Cuencas Hidrográficas. Cursos –taller, Atlacomulco, México.

Gobierno del Estado de México, Secretaría de Ecología, Protectora de Bosques. 2003. Cuencas Hidrológicas del Estado de México. Boletín informativo. Metepec. México.

Gobierno del Estado de México, Secretaria de Ecología, Protectora de Bosques. 2003. Elaboración de la Base de Datos, para el SIG de la Dirección de Restauración Forestal., presentación del trabajo. Metepec. México.

Gobierno del Estado de Puebla, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, Desarrollo Social. 2001. Programa de Manejo de Microcuencas del Estado de Puebla.

Gold B., Matuda E. 1956. Las cactáceas de Tehuacán. Cactáceas y Suculentas de México. 1:68-72.

Government of the State of Pernambuco. 1999. The State Policy to Control Desertification. Government of the State of Pernambuco. Secretaria for Science, Technology and Environment. Brazil.

Hinojosa L. E. 2004. Clasificación de tierras por capacidad de uso agrícola y pecuario de la cuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis de Licenciatura. FES Iztacala, UNAM. Mex.

Horta P. G. 2001. Distribución de elementos metálicos biodisponibles en las Terrazas Aluviales de Zapotitlán, Puebla. Memorias Simposio UBIPRO 2001, FES Iztacala. UNAM. Mex.

INEGI. 1984. Carta topográfica Atzumba. E14 B75, Tehuacán. Escala 1:50 000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

INEGI. 1984. Carta topográfica Tehuacán. E14 B75. Escala 1:50 000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

INEGI. 1989. Guías Para la Interpretación de Cartografía-Climatología. Secretaría de Programación y Presupuesto. México. 50 pp.

INE-SEMARNAP. 1997. Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, Puebla, México. Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México

Kapos V. & Iremonger S.F. 1998. Achieving Global and Regional Perspectives on Forest Biodiversity and Conservation. *In:* Ghayyas, A. 2001. Mapping a dry shrub forest for biodiversity conservation planning (a case study in the Salt range of Pakistan, using remote sensing and GIS tools). MSc Thesis Forestry for Sustainable Development. Forest Science Division. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). Enschede, The Netherlands.

Kosmas C., Danalatos N.G., Gerontidis St. 2000. The effect of land parameters on vegetation performance and degree of erosion under Metiterranean conditions. *Catena*. 40: 3-17.

Landa R, Meave J., Carabias J. 1997. Environmental detrioration in rural Mexico: an examination of concept. *Ecological Applications*. 7(1): 316-329.

Landata N. y Nuñez A. 2004. Sistemas de Information Geográfica. Prácticas con Arc View. Alfa Omega. Universitat Politecnica de Catalunya, España.

Laurance W. 1999a. The Ecology and Management of Fragmented Tropical Landscapes: Introduction and synthesis. *Biological Conservation*. 91: 101-107.

Laurence W. 1999b. Reflections on the tropical deforestation crisis. *Biological Conservation*. 91: 109-117.

Lenk M. 1891. Übersicht über die gelogischen Verhältnisse des mexicanischen States Puebla. *Paleontographica*. 37: 117-139.

León A. R. 1976. El levantamiento fisiográfico y la conservación de suelos. Tesis de Maestría. Escuela Nacional de Agricultura. UACH-Mex. *In:* Volke H. V. 1984. Resúmenes de Tesis de Maestría y Doctorado presentadas en el Centro de Edafología, Colegio de Posgraduados. 1961-1983. Montecillos Chapingo, México. p. 163-164.

López G. F., Muñoz I. D., Hernández M. M., Soler A. A., Castillo L. M. C., Hernández A. I. 2003. Análisis integral de la toposecuencia y su influencia en la distribución de la vegetación y la degradación del suelo en la Subcuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 56(1): 19-41.

Macias-Cuellar H. 2004. Estudio del sistema de aprovechamiento de los recursos naturales en cuatro comunidades de la cuenca baja del Río Zapotitlán Salinas, Puebla. Laboratorio de Recursos Naturales. (UBIPRO) FES-Iztacala. UNAM. Mex. Inedito.

Mateo J. y Ortíz M. 2001. La degradación de los paisajes como concepción teórico-metodológica. *Serie Varia*. Nueva Época, Número 1. Instituto de Geografía. UNAM.

Martinez, F. 1994. Photo interpretation key for peasant land cartography in 15^a World congress of soil sience. Acapulco, Mex. Vol. 6b, pp 343-344.

Mendoza E. y Dirzo R. 1999. Deforestation in Lacandonia (southeast Mexico): evidence for the declaration of the northernmost tropical hot-spot. *Biodiversity and Conservation*. 8: 1621-1641.

Meyrán J. 1973. Guía botánica de cactáceas y otras suculentas del Valle de Tehuacán. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Cactáceas*. 1:50.

Montaño A. y Monroy A. 2000. Conservación de suelos en zonas áridas y semiáridas en México. *Ciencia y Desarrollo*. XXVI: 26-37

Morin V. C. A. 2003. Estudio florístico de las terrazas aluviales del Río Salado en el Valle de Zapotitlán, Puebla, México. Tesis de Licenciatura. UNAM, FES Iztacala, Mex.

Müllerried F. 1934. Estudios Paleontológicos y Estratigráficos en la Región de Tehuacán, Puebla. *Anales del Instituto de Biología*. México. 5: 55-88.

Muñoz D., Mendoza A., López F., Soler A., Hernández M. 2000. Manual de métodos de análisis de suelo. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala-UNAM. México.

Neri G. D. M. 2000. Caracterización hidrología de la Subcuenca baja del Río Zapotitlán, Puebla. Tesis de Licenciatura. UNAM, FES Iztacala, Mex.

Nieves Jorge, García Jorge. L, Cardoza Ramón. 2001. La degradación de los suelos en México. En *Proceedings of the international symposium on Land Degradation and Desertification*, May 7-14, 2001, Mexico City – Patzcuaro, Michoacán, Mexico, pp 11.

Nieves Jorge, García Jorge. L , Cardoza Ramón. 2001. Los procesos de degradación de suelos y contribución a la desertificación y aridificación en México. En *Proceedings of the international symposium on Land Degradation and Desertification*, May 7-14, 2001, Mexico City – Patzcuaro, Michoacán, Mexico, pp 41.

Oldeman L. R. (ed.). 1988. Guidelines for General Assessment of the current Status of Human-Induced Soil Degradation: Germany, International Soil Reference and Information Centre.

Oliveros G.O. 2000. Descripción estructural de las comunidades vegetales en las terrazas fluviales del río El Salado, en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. Tesis de Licenciatura. UNAM, FES Iztacala. Mex.

FAO-ISRIC-SICS. 1999. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Roma. **Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos (ISRIC) y Sociedad Internacional de las Ciencias del Suelo (SICS).**

Ortiz S. C. A., Cuanalo de la Cerda H. E. 1978. Metodología del Levantamiento Fisiográfico. Chapingo, Colegio de Posgraduados. México.

Ortiz S. C. A., Cuanalo de la Cerda H. E. 1981. Introducción a los levantamientos de suelos. Chapingo, Colegio de Posgraduados. México.

Ortiz S. C. A., Anaya M., Estrada J. 1994. Evaluación cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra. Colegio de Posgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo y Comisión Nacional de Zonas Áridas, México.

Osorio B. O. 1996. Tipos de vegetación y diversidad β en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 59: 35-38.

Paredes F. M. 2001. Contribución al estudio etnobotánico de la flora útil de Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis de Licenciatura. UNAM, FES Iztacala, Mex.

PNUMA. 1996. Boletín de control de la desertificación. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente No. 28.

Rincón C. 2001. Cyclic human – induced environmental degradation in the Mixtecan Highlands of the Sierra Madre del Sur, Mexico. In: Proceedings of the international Symposium on Land Degradation and Desertification, May 7-14, 2001, Mexico City Patzcuaro, Michoacán, Mexico, pp 23.

Rivas R.A. 2003. Levantamiento edafológico semidetallado de la porción norte del Valle de Zapotitlán, Puebla. Tesis de Licenciatura. UNAM, FES Iztacala, Mex.

Rzedowski J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México.

Sánchez A. 1987. Conceptos Elementales de Hidrológica Forestal. Agua, Cuenca, Vegetación. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias forestales.

Santillán H. M. 2003. Levantamiento edafológico semidetallado de la porción suroeste del Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis de Licenciatura. UNAM, FES Iztacala, Mex.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1977. Manual de conservación del suelo y del agua. In: Becerra M.A. 1999. Escorrentía, erosión y conservación de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) 1993. Ordenamiento Ecológico General del Territorio Nacional. México. Secretaría de Desarrollo Social. p. 202.

Secretaría de Gobernación 1988. Los Municipios de Puebla. Enciclopedia de los Municipios de México. p. 1136-1139.

Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). 1996. Ordenamiento ecológico. Términos de referencia generales.

Strandberg Ch. 1975. Manual de Fotografía Aérea. Ediciones Omega. España.

Toledo. V. 1988. La diversidad biológica de México. Boletín de la Ariff. 1 (1), México, D. F. P. 17-30.

Téllez V. O. y Dávila A. P. 2003. Protected Areas and Climate Change: a Case Study of the Cacti in the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve, México. *Conservation Biology*. 17: 846-853.

Tokugawa. K., Makita. M., Francke. S y Vargas R. 1998. Manual de tratamientos de control de erosión, Proyecto Cuencas. CONAF-JICA, Santiago de Chile.

TRAGSA (Ed). 2003. La ingeniería en los procesos de desertificación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. pp. 329-423.

UNCCD, 2000. México. Informe sobre la implementación de la convención de las naciones unidas de lucha contra la desertificación.

Valiente B. A. 1991. Dinámica del establecimiento de cactáceas: patrones generales y consecuencias de los procesos de facilitación por plantas nodrizas en desiertos Tesis Doctoral. Fac. Ciencias, UNAM. México, D.F.

Valiente B. A., Arizmendi M. C., Rojas M. A., Domínguez C. L. 1996. Ecological relationships between columnar cacti and nectar feeding bats in Mexico. *Journal of Tropical Ecology*. 11: 1-17.

Valiente B.A., Bolongaro C.A., Brions O., Ecurra E., Rosas M., Núñez H., Barnard G., Vazquez E. 1991. Spatial relationships between cacti and nurse shrubs in a semi-arid environment in central México. *Journal of Vegetation Science* 2: 15-20.

Valiente B. A., Casas A., Alcátara A. 2000. La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 67: 24-74.

Valiente B. A., Dávila P., Arizmendi M. C., Rojas M. A., Casas A. 1995. Bases ecológicas del desarrollo sustentable en zonas áridas: el caso de los bosques de cactáceas columnares en el Valle de Tehuacán y Baja California Sur, México. IV curso sobre desertificación y desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe. Colegio de Postgraduados, Estado de México. p. 20-36.

van Lynden G.W.J. & Oldeman L.R. 1997. The Assessment of the Status of Human-Induced Soil Degradation in South and Southeast Asia (ASSOD). International Soil Reference and Information Centre (ISRIC).

Vega P. E.V. 2000. Ecología, arcos de vegetación y sistemas complejos, ¿incipiente *ménage à trois*?. *Ciencias*. 59: 24-31.

Villada M. 1905. Una Exploración a la Cuenca Fosilífera de San Juan Raya, Estado de Puebla. *In*: Conferencia en el Museo Nacional, Sección de Historia Natural. México, Museo Nacional. p. 44.

Villaseñor J. L., Dávila P., Chiang F. 1990. Fitogeografía del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 50: 135-149.

Zárate Z. R. 1994. Estado de la degradación de la tierra inducida por el hombre: un manual para su cartografía. Instituto de Recursos Naturales. Edafología. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.

Zavala H. J. A. 1980. Estudios ecológicos en el Valle semiárido de Zapotitlán de las Salinas, Puebla; Clasificación de la Vegetación. Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias, UNAM. México, D.F.

Páginas web:

Comisión Nacional Forestal

http://www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/suelos/proteccion.htm.

Comisión Asesora sobre la Degradación de Tierras en Costa Rica (CADETI)

<http://www.odd.vcr.ac.cr>

Corporación Nacional Forestal de Chile

<http://www.conaf.cl>

Ministerio del Ambiente y Energía. Republica de Costa Rica

<http://www.minae.go.cr>

Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación

<http://www.unccd.int/php/countryinfo.php?country=MEX>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

<http://www.fao.org/Regional/LAmerica/organos/coflac/2002/>

<http://www.congresocuencas.org>

Universidad Autónoma Chapingo

<http://www.uach.cl/proforma/gsuelos>

Instituto Nacional de Ecología

<http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/index>

http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/ponencias_cuencas

<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/411/cap3>

<http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/conceptos.html>

<http://www.mapas.ine.gob.mx/website/mediofisico/hidrologia/cuencas/viewer.ht>

13. ANEXOS

13.1. Criterios de evaluación GLASOD modificados para Zapotitlán

Evaluación del estado actual de degradación

Grado general de degradación actual del suelo

La evaluación del grado de degradación actual es un aspecto general en el que un suelo se está degradando y se puede realizar con relación a su utilidad o aptitud agrícola, pero también haciendo alusión a sus funciones bióticas (productividad). En otro aspecto, también nos referiremos a un suelo en proceso de degradación cuando influye de forma directa o indirecta en el establecimiento de sistemas bióticos, limitando el desarrollo de especies vegetales y/o animales, junto con el desequilibrio de procesos naturales, alteración parcial o total de las interacciones que se dan entre los componentes bióticos y abióticos, de tal manera que modifican el estado normal de los ecosistemas naturales característicos de un sitio.

Con la finalidad de interpretar este aspecto de degradación actual, se delimitan los cinco grados de degradación del suelo siguientes:

Nulo (0)

No hay señales de degradación actual por erosión hídrica o eólica, o de deterioro biológico, físico o químico; todas las funciones bióticas originales están intactas. Por lo tanto, esta tierra es considerada estable. Equivalente a la definición de sitios **conservados** y de **recuperación de cobertura natural**.

Ligera (1)

El terreno es útil par uso con sistemas de explotación locales, pero con una gran reducción el la productividad agrícola natural. La restauración de la productividad total es posible mediante modificaciones al sistema de manejo en el proceso productivo. Las funciones bióticas originales aún permanecen intactas. Equivalente a la definición de sitios **medianamente conservados**.

Moderado (2)

El terreno aún es apto para uso con sistemas agrícolas locales, pero con una gran reducción en la productividad agrícola. Se requieren grandes cambios estructurales para restaurar la productividad. Las funciones bióticas originales están parcialmente destruidas. Equivalente a los sitios definidos como **perturbados** o **deteriorados**.

Severo (3)

El terreno no es recuperable a nivel parcelario. Se requieren trabajos de ingeniería mayores para la restauración de terrenos. Las funciones bióticas originales están prácticamente destruidas. Por lo que se requiere alcanzar funcionalidad estructural del agroecosistema. Equivalente a los sitios definidos como **perturbados** o **deteriorados**.

Extremo (4)

El terreno es irrecuperable e imposible de restaurar. Las funciones bióticas originales están completamente destruidas. El terreno se ha convertido en una zona sin vegetación sin uso, considerándose como tierra miscelánea, es decir, sin algún uso. Equivalente a los sitios definidos como **muy perturbados** o **muy deteriorados**.

Criterios para definir tipos de degradación

Para tierras con tasas de degradación nula

Terrenos estables con cobertura vegetal natural vulnerable (Sv)

Terrenos estabilizados por intervención humana, con prácticas de conservación (Sh)

Terraceo de las zonas aluviales, con barreras físicas estabilizadoras, complementadas con barreras biológicas (de Mezquites, agaves u otros) (Shc)

Terrenos estables con eliminación parcial de la vegetación natural con introducción de cultivos perenes y anuales (Shp)

Solares y plantaciones de especies perenes, con barreras biológicas de especies de importancia o por práctica de reforestación (Shr).

Tierras afectadas por erosión hídrica (Wt/Wd)

Terrenos afectados por Erosión Hídrica (W)

Pérdida del suelo superficial (Wt)

Deformación del terreno (Wd)

Inundación, incluyendo llenado de lechos de río, erosión de los bordes y excesiva sedimentación de tierras planas o depresiones (Wf)

Grado de degradación por erosión Hídrica

Nulo (Wt/Wd)

Ligero (Wt/Wd 1)

En suelos profundos (profundidad de raíces > 50cm): parte del suelo superficial removido, y/o con arroyos poco profundos separados a una distancia de 20 a 50 m.

En suelos someros (profundidad de raíces < 50 cm): algunos arroyos poco profundos con menos de 50 m de separación ente ellos.

En zonas de pastoreo: la cubierta de vegetación original/optima de las plantas perenes es mayor a 70%.

Moderado (Wt/Wd 2)

En suelos profundos: todo el suelo superficial removido y/o arroyos poco profundos con 20 m de separación o con cárcavas moderadamente profundas separadas de 20 a 50 m.

En suelos someros: parte del suelo superficial removido y/o arroyos poco profundos de 20 a 50 m de separación.

En zonas de pastoreo: la cubierta vegetal de plantas perennes original/óptima de plantas perennes varía de 30% a 70%.

Severo (Wt/Wd 3)

En suelos profundos: todo el suelo superficial y parte del subsuelo removido y/o con cárcavas moderadamente profundas, las cuales se encuentran separadas a una distancia menor de 20 m.

En suelos someros: todo el suelo superficial removido; fases líticas o lépticas o con duripán expuesto.

En zonas de pastoreo: la cubierta vegetal de plantas perennes original/óptima es menos de 30%.

Extremo (Wt/Wd 4)

El terreno ha sido devastado por la erosión hídrica, por lo que irrecuperable e imposible de restaurar.

Terrenos afectados por erosión eólica (E)

Pérdida superficial, que es un desplazamiento uniforme causado por deflación (Et)

Deformación del terreno es un desplazamiento heterogéneo caracterizado por hoyos mayores, hummocks o dunas (Ed).

Grado de degradación eólica

Nulo (Et/Ed 0)

Ligero Et/Ed 1)

En suelos profundos: suelo superficial parcialmente removido y/o presencia de pocos hoyos (10-40 % de área) poco profundos (0-5cm).

En suelos someros: muy pocos hoyos (10% del área afectada) poco profundos (0-5 cm)

En zonas de pastoreo: la cubierta vegetal de plantas perennes original/óptima, es mayor a 70%.

Moderado (Et/Ed 2)

En suelos profundos: todo el suelo superficial removido y/o con presencia de hoyos comunes (40-70% del área) poco profundos (0-5 cm) o pocos hoyos (10-40 % de área) moderadamente profundos (5-15).

En suelos someros: suelo superficial parcialmente removido y/o presencia de pocos hoyos (10-40 % de área) poco profundos (0-5cm).

En zonas de pastoreo: la cubierta vegetal de plantas perennes original/óptima, varía de 30 a 70%.

Severo (Et/Ed 3)

En suelos profundos: todo el suelo superficial y parte del subsuelo removidos y/o con muchos hoyos fusionados (> 70% del área) poco profundos (0-5 cm), o comunes (10-40 % de área) moderadamente profundos (5-15 cm), o pocos (10-40 % de área) profundos (> 5cm).

En suelos someros: todo el suelo superficial removido; fases líticas o lépticas o con duripán expuesto.

En zonas de pastoreo: la cubierta vegetal de plantas perennes original/óptima es menor de 30%.

Extremo (Et/Ed)

El terreno ha sido devastado por la erosión eólica, por lo que irrecuperable e imposible de restaurar.

Degradación por deterioro químico (C)

Perdida de nutrientes, lo que comúnmente conduce a una reducción significativa de la producción (Lavada acelerado de suelos) (Cn)

Contaminación por aporte de residuos sólidos municipales (Cp)

Salinización y áreas salinas (Sc)

Discontinuidad de la fertilidad causada por la aplicación de agroquímicos (Cd)

Degradación por deterioro físico (P)

Encostramiento y sellamiento de la capa superficial (Pk)

Nulo (Pk 0)

Ligero (Pk 1)

Se observan agregados lisos, redondos, algunos se rompen alrededor de las plantas que emergen.

Moderado (Pk 2)

Partículas del suelo sueltas, arena y limo juntos y/o algunas capas de arcilla, se reduce la emergencia de plántulas, con total emergencia acompañada por agrietamiento.

Severo (Pk 3)

El suelo tiene una costra fuerte y firme cuando está seco, casi se elimina la emergencia de la plántula, cuando está húmedo la infiltración es lenta, cuando está seco la infiltración se da a través de grietas poligonales.

Extremo (Pk 4)

Superficie cementada, no existe crecimiento de la vegetación.

Compactación causada por maquinaria pesada trabajando sobre suelos con estabilidad estructural débil, o sobre suelos en los que existe poco humus.

Nulo (Pc 0)

Los suelos sueltos de textura gruesa y friable, con estructura fina y fuerte; muchos poros, grietas y con canales más de 2 mm de ancho muchos se extienden a través del límite de los horizontes, conductividad hidráulica a saturación (Ksat) rápida.

Ligero (Pc 1)

Suelos de textura gruesa semiestructurados, con estructura moderada a fina o a media en bloques; algunos poros, grietas y canales expandiéndose a través de los horizontes, muchos con menos de 2 mm de ancho, pero aún visibles a simple vista, pocos poros respecto a los que se encuentran en un suelo similar de la misma región, pero no cultivado; Ksat de moderada baja.

Moderado (Pc 2)

Suelos de textura media o gruesa, con estructura débilmente desarrollada estratificada o laminar y suelos de textura fina con pedos adherentes en paquetes muy apretados pocos poros, visibles pero ninguno aparece a través del límite de los horizontes; Ksat baja; alta densidad aparente (Da) comparada con la que se encuentra en un suelo similar de la misma región, pero no cultivado.

Severo (Pc 3)

Suelos de textura media o gruesa, con Da mayor a 1.6 g/cm³, cementado o fuertemente empaquetado, y suelos de textura fina masiva con Da mayor a 1.4 g/cm³, densidad aparente mayor, respecto a la que se encuentra en un suelo similar de la misma región, pero no cultivado; espacios o canales no visibles; Ksat muy baja (<0.1 cm/hr).

Extremo (Pc 4)

Suelos con estructura masiva y pueden encontrarse fuertemente cementados y son esencialmente impermeables labranza no se puede realizar durante un lapso de tiempo muy grande en el año, sin el uso de maquinaria especial; es difícil o no existe crecimiento de la vegetación.

Deterioro de la estructura del suelo debido a la dispersión de partículas del suelo por sales de sodio (o magnesio), lo que denomina sodicación (Ps)

Nulo (Ps 0)

Ligero (Ps 1)

De no sódico a ligeramente sódico, de ligeramente sódico a moderadamente sódico, o de moderadamente sódico a severamente sódico.

Moderado (Ps 2)

De no sódico a moderadamente sódico, o de ligeramente sódico a severamente sódico.

Severo (Ps 3)

De no sódico a severamente sódico, o de severamente sódico a extremadamente sódico.

Extremo (Ps 4)

De nulo, ligero o moderadamente sódico a extremadamente sódico.

Aridificación, cambios inducidos por el hombre en el régimen hídrico del suelo, de húmedo hacia más seco, causado por la disminución de la base local del nivel de agua (excluyendo acuíferos profundos) (Pa).

Tierras inestables, propensas a derrumbes y colapsamientos (Pd)

Degradación por deterioro biológico (B)

Desbalance de la actividad biológica o microbiológica, o pérdida de niveles significativos de materia orgánica (Bb).

Suelos con limitantes severas

Afloramientos rocosos (A)

Tierras Malas (Bl)

Factores causativos

Derrumbes (de)

Deforestación, desmonte, extracción y quema de cobertura vegetal (f)

Cambio de uso del suelo (s)

Urbanización (u)

Sobrepastoreo (p)

Incorporación de nuevas áreas al cultivo (i)

Actividad minera (m)

Extracción de materiales (Canteras de mármol, talco, materiales para construcción, otros)

Producción de sal

Contaminación (C) por:

Depósito de residuos municipales (basura, cascajo, residuos de los talleres de onix, otros).

Emisiones de polvos a la atmósfera y depósito de estos en áreas de cultivo y vegetación natural.

Deslinde de propiedades (d)

Construcción de vías de comunicación (v)

13.1.2. Flora silvestre local recomendada para efectuar acciones de restauración, rehabilitación y revegetación en la Cuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla.

La restauración de sistemas naturales degradados requiere de la introducción o reestablecimiento de organismos silvestres que sean capaces de adaptarse a las condiciones naturales de la zona, complementados con algunas acciones que sufraguen los requerimientos propios de las especies candidatas para facilitarles su establecimiento y desarrollo. Los estudios realizados en la zona nos indican que la riqueza, establecimiento y distribución de la flora local está directamente ligado a las características físico-bióticas del sitio, lo cual se ve reflejado en la formación de hábitats específicos, que condicionan la diversidad y procesos de adaptación de las especies. Es decir, el desarrollo de las especies depende de la convergencia de diversos factores ambientales, como lo son: el relieve, las características del sustrato, propiedades del suelo, condiciones meso y microclimáticas, radiación, gradiente altitudinal, etc.

Los criterios de selección de especies propuestas para la conservación y rehabilitación de áreas son principalmente: ser nativas, poseer adaptaciones ecológicas que las conviertan en especies representativas de los ecosistemas locales, que promuevan la continuidad de los procesos ecológicos naturales de los sistemas terrestres de la zona, que tengan alguna relevancia biogeográfica; que contribuyan al mantenimiento de la estructura de las comunidades vegetales nativas; generen hábitats y nichos que puedan ser ocupados por organismos locales; se integren a las tramas tróficas naturales, propicien la conservación y restauración de suelos; también el reclutamiento de organismos e incremento de poblaciones de plantas y animales; que no se conviertan en organismos invasores que segreguen a poblaciones nativas. En otro aspecto, que puedan considerarse como plantas multi usos, susceptibles de ser empleadas por los pobladores y a mediano plazo se puedan utilizar como fuente de materias primas (Castillo, 2004).

En la siguiente lista se mencionan las especies sugeridas para realizar acciones de conservación y restauración de las áreas afectadas, en función de su importancia ecológica y económica.

Por su importancia ecológica:

i. Especies nodrizas

Nombre científico	Nombre común
<i>Prosopis laevigata</i>	Mezquite
<i>Cercidium praecox</i>	Manteco
<i>Bursera aptera</i>	Copalaque
<i>Bursera arida</i>	Copalillo
<i>Celtis pallida</i>	Hoja de parra
<i>Acacia bilimekii</i>	Mushel espinoso
<i>Acacia constricta</i>	Guajillo
<i>Acacia farnesiana</i>	Huizache
<i>Mimosa luisana</i>	Cumito
<i>Castela tortuosa</i>	
<i>Dalea carthagenensis</i>	limoncillo
<i>Ziziphus amolle</i>	Cholulo de monte

Zanthoxylum liebmannianum

ii. Especies de importancia biogeográfica (endémicas, en peligro o para protección especial)

Penicereus viperinus

Cnidoscolus tehuacanensis

Agave karwinskii Cachutum

Agave marmorata Pitzomel

Agave atrivirens Maguey manso

Tillandsia pueblensis

Cephalocereus columna-trajani Cactus o Viejito

Coryphanta pallida

Echinocactus platyacanthus Biznaga

Ferocactus latispinus var. *spiralis* Biznaga

Ferocactus robustus Biznaga

Neobuxbaumia tetetzo Tetecho

iii. Pastos

Aristida glauca Pasto

Bathriochloa barbinodis Pasto

Chloris rufescens Pasto

Eragrostis atrivirens Zacate

Eragrostis cilianensis Pasto

Leptochloa dubia Zacate gigante

Setaria grisebachii Pasto

Sporobolus pyramidatus Zacate

iv. Arvenses

Amaranthus spinosus Morada

Nicotiana glauca Gigante

Physalis foetens

Physalis philadelphica Tomate de cascara

Solanum rostratum Diente de perro

Solanum tridynamun Diente de burro

Argemone mexicana Chicalote

Tithonia tubiformis

Iresine calea

v. Especies de importancia para la localidad (alimenticias, medicinales, forrajeras, otros usos)

Propagación por semilla

Beaucarnea gracilis Sotolin

<i>Beaucarnea purpussi</i>	Pata de elefante
<i>Beaucarnea recurvata</i>	Pata de elefante
<i>Justicia candicans</i>	
<i>Vallesia glabra</i>	Chinto borrego
<i>Flaveria trinervia</i>	
<i>Simsia lagasciformis</i>	
<i>Trixis pringlei</i>	
<i>Montanoa tomentosa</i>	Cuapiojo
<i>Viguiera dentata</i>	Chimalacate
<i>Viguiera pinnatilobata</i>	
<i>Partenium bipinnatifidum</i>	
<i>Verbesina sp.</i>	
<i>Schinus molle</i>	Pirul
<i>Crotalaria incana</i>	
<i>Braeha nitida</i>	Palmon
<i>Opuntia pilifera</i>	Nopal
<i>Opuntia streptacantha</i>	Nopal de tuna roja
<i>Yucca periculosa</i>	Isote
<i>Dasyilirion sp.</i>	Cucharilla

Propagación asexual

<i>Sedum sp.</i>	Siempre viva
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	Garambuyo
<i>Agave salmiana</i>	Maguey
<i>Pachycereus hollianus</i>	Calehual (madera del baboso)
<i>Pachycereus marginatus</i>	Organo
<i>Stenocereus stellatus</i>	Xoconostle
<i>Stenocereus pruinosus</i>	Pitaya