



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA**

**“CARACTERIZACIÓN E IMPACTO DE LA DEGRADACIÓN DE
TIERRAS Y FRAGMENTACIÓN DE HÁBITATS EN EL VALLE
ALUVIAL DE ZAPOTITLÁN SALINAS, PUEBLA”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G O

P R E S E N T A:

MARÍA DEL CARMEN CASTILLO LÓPEZ

DIRECTOR DE TESIS: M en C. FRANCISCO LÓPEZ GALINDO



LOS REYES IZTACALA, ESTADO DE MEXICO

2004.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

“Muchos sueños andan sueltos por el mundo. Sueños que encarnan y se convierten en hechos reales apenas encuentran las condiciones apropiadas...”
José Fuentes Mares.

“...quien nace en el desierto acaba por llevarlo en el alma convertido en doctrina sustentadora...”
Ignacio Solares

Dedicatorias

A mis padres

Gloria López Ordaz y Jesús Castillo Molina

Por confiar en mi y apoyarme en todo; por que gracias a ustedes he podido lograr este trabajo; por ser unos excelentes padres (los mejores) y maravillosas personas; por ser un ejemplo de esfuerzo y lucha diaria, muchas gracias. Los amo.

A mis hermanos

Gloria por ser mi amiga de toda la vida, por todo el amor que tienes dentro.

Oscar por ser mi carnalito.

Libertad por todo el cariño que nos brindas.

Por compartir tanta vida conmigo, por ser mis cómplices, por estar a mi lado cuando he necesitado de ustedes, por nuestras risas que juntas se escuchan muy bien, los amo.

A Manuel

Por el aliento y apoyo incondicionales que me das, agradezco infinitamente tu paciencia y amor que me brindas a diario. Por todo lo que compartimos. Te amo.

AGRADECIMIENTOS

M. en C. Francisco López Galindo por las figuras 4 y 5 que son de su autoría. Te agradezco muchísimo aceptarme como tu tesista y sobre todo el ser mi amigo. Gracias apa.

Dr. Diodoro Granados, M. en C. Daniel Muñoz, M. en C. Ana Lilia Muñoz y al Biol. Arnulfo Reyes por sus valiosas revisiones y observaciones para el mejoramiento de este trabajo.

Bióloga María del Rosario Aguilar Falcón por hacer con sus maravillosas clases que la Biología se convirtiera en mi forma de vida.

Bióloga Eufrosina Hinojosa por que gracias a ti llegue al laboratorio de Edafología y por que siempre tienes las palabras precisas para el momento adecuado.

M. en C. Mayra Hernández por estar presentes para compartir el mutuo desarrollo de nuestra felicidad.

Bióloga Mayela Chaidez por compartir conmigo vida, obra y milagros.

Por ser tan mis hermanas, tan mis comadres y tan chulis lulis; porque la felicidad de una es alegría para las cuatro; por las infinitas horas de conversación, risa, llanto, consejos y jalones de oreja; por el cariño que nos tenemos, muchas gracias.

A mi sobrino (a), por que esperamos con mucho amor tu llegada.

Daniel Herrera Gonzalez por la amistad brindada, por la disponibilidad de tu casa y por ser parte de la familia.

Biólogo Alfonso Soler por hacer tan amenas las tardes en el laboratorio, por los acertados consejos y la amistad, gracias padrino.

A las señoras María Razo, Rosalba García, Manuelita Loaiza[†] y Rosa María Moreno por abrirme las puertas de su casa, darme posada, escucharme y darme consejo, por ser unas maravillosas mujeres.

A Sarahí, Gabriel, Diego y Paola por permitirnos ser parte de su familia.

A todos los compañeros y amigos con los que tuve la dicha de encontrarme en algún punto de mi vida en Iztacala, por tantas experiencias, locuras y dichas vividas en aula y campo: Mayra, Gaby, Sonia, Liliana, Rolando, Pollo (Leobardo), Omar, Eli, Yanet, Argelia, Marcos, Salo, Fito; por supuesto los juanos: Manuel, Eu, Juan (Jose Luis), Bernardo, Payaso (Edgar), Lalo, Oscar, Sara, Kari, Goku, Moy; Paty, Pilar, Lupita, Alelí, Rafa, Rigo, Gabriel, Maye, Yohuas (Claudio), Compadre (Ismael), Mau, May, Pancho y Poncho. A todos gracias.

CONTENIDO	PÁGINA
RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. JUSTIFICACIÓN	5
3. ANTECEDENTES	6
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	8
4.1. Desertificación y Degradación de Suelos.....	8
4.1.1. Degradación de Suelos.....	8
4.1.2. Tipos de degradación del suelo.....	9
4.1.3. Factores causativos de la degradación.....	10
4.1.4. Formas de evaluación de la degradación del suelo.....	12
4.1.5. Medidas de protección y rehabilitación para contrarrestar la degradación del suelo.....	13
4.2. Fragmentación de hábitats.....	14
4.2.1. Fragmentación y su importancia ecológica.....	15
4.2.2. Factores que causan el proceso de fragmentación.....	16
4.2.3. Formas de evaluación de la fragmentación.....	17
4.3. Restauración de ambientes degradados.....	17
5. OBJETIVOS	19
5.1. Objetivo General.....	19
5.2. Objetivos Particulares.....	19
6. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	20
6.1. Ubicación del área de estudio.....	20
6.2. Fisiografía.....	20
6.3. Geología.....	20
6.4. Edafología.....	21
6.5. Clima.....	22
6.6. Hidrología.....	22
6.7. Vegetación.....	22
7. MATERIALES Y MÉTODOS	24

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
8.1. Evaluación del estado actual de la degradación de tierras del Valle Aluvial	26
8.1.1. Erosión Hídrica.....	26
8.1.2. Degradación Física.....	26
8.1.3. Degradación Química.....	26
8.1.4. Degradación Biológica.....	26
8.1.5. Factores causativos.....	27
8.1.6. Tierras estables con sistemas de conservación.....	27
8.1.7. Tierras con tasas de degradación nula.....	27
8.1.8. Procesos de Regeneración Natural (R) de áreas.....	28
8.1.9. Distribución y superficies.....	28
8.2. Evaluación del estado de conservación instantáneo y fragmentación de los hábitats.....	30
8.2.1. Sitios de Mínima Degradación (Zona A).....	30
8.2.2. Sitios Medianamente Alterados (Zona B).....	33
8.2.3. Sitios Deteriorados (Zona C).....	34
8.2.4. Sitios Muy Deteriorados (Zona D).....	36
8.2.5. Tierras Malas (“Bad Lands”) Zona D2.....	38
8.3. Evaluación del estado de conservación.....	39
8.3.1. Estado de conservación relativamente estable.....	39
8.3.2. Estado de conservación en peligro.....	39
8.3.3. Estado de conservación crítico.....	40
8.3.4. Estado de conservación extinto.....	40
8.3.5. Matriz integradora para asignar prioridades para la conservación de la biodiversidad.....	40
8.4. Análisis Estadístico.....	41
8.5. Factores que propician la fragmentación y sus efectos en la zona de terrazas	42
8.6. Análisis del proceso de fragmentación de hábitats en el tiempo.....	43
8.6.1. Impactos directos de la fragmentación sobre el paisaje de las terrazas.	44
8.7. Estrategias de conservación y/o reversión de la degradación y fragmentación para la zona.....	46
9. CONCLUSIONES.....	47
10. SUGERENCIAS.....	49
11. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	51

12. ANEXOS	61
12.1. Criterios de evaluación GLASOD modificados para Zapotitlán.....	61
12.2. Evaluación del estado de conservación de las ecoregiones.....	66
12.3. Flora silvestre local recomendada para efectuar acciones de restauración, rehabilitación y revegetación en la Cuenca de Zapotitlán Salinas Puebla....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA No.	PÁGINA
1. Ubicación del área de estudio.....	23
2. Tipos de degradación.....	28
3. Ubicación de sitios.....	30
4. Representación diagramático de la ubicación de las zonas A y B y su relación con el entorno.....	33
5. Secuencia de degradación de las Terrazas Aluviales y formación de terrazas secundarias.....	38
6. Análisis de similitud.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA No.	PÁGINA
1. Propiedades físicas y químicas de un perfil tipo Regosol calcárico.....	31
2. Propiedades físicas y químicas de un perfil tipo Regosol calcárico.....	32
3. Propiedades físicas y químicas de un perfil tipo Fluvisol calcárico.....	32
4. Propiedades físicas y químicas de un perfil representativo de la zona B.....	34
5. Propiedades físicas y químicas de un perfil tipo Fluvisol calcárico.....	35
6. Propiedades físicas y químicas de un perfil tipo Regosol calcárico.....	36
7. Propiedades físicas y químicas de un perfil tipo Regosol calcárico.....	36
8. Propiedades físicas y químicas de un perfil tipo Fluvisol calcárico.....	37
9. Propiedades físicas y químicas de un perfil tipo Fluvisol calcárico.....	37
10. Propiedades físicas y químicas de los sedimentos en las “Tierras Malas”.....	38
11. Evaluación del estado de conservación.....	39
12. Parámetros para el análisis estadístico.....	41

ÍNDICE DE MAPAS

MAPA No.	PÁGINA
1. Mapa de las clases de degradación de tierras del Valle Aluvial.....	29

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA No.	PÁGINA
1. Zona de estudio en 1970.....	43
2. Zona de estudio en 1995.....	44

RESUMEN

La degradación del suelo y la fragmentación de los hábitats son problemas graves que se presentan en los ecosistemas naturales y que son causados por diversos factores. La presente investigación tiene por objetivo principal evaluar el estado actual de degradación de tierras y caracterizar el estado de conservación de sitios con diferente grado de deterioro en el Valle Aluvial de Zapotitlán Salinas, Estado de Puebla. El área estudiada se localiza entre los 18° 14' y 18° 21' de latitud Norte y los 97° 26' a 97° 35' de longitud Oeste y comprende una extensión de 3 915 ha. Presenta un clima seco semicálido y una geomorfología con múltiples formas como cerros, laderas, escarpes, lomeríos, barrancas y terrazas aluviales que tienen la ubicación más baja en cuanto a altitud. El trabajo se inició con una exhaustiva revisión bibliográfica y cartográfica, posteriormente a través de la interpretación y análisis del paisaje se eligieron los sitios a estudiar donde se evaluó el estado de conservación instantáneo y fragmentación de los hábitats, así como los tipos y grados de degradación de tierras en la zona del Valle Aluvial. Con los resultados obtenidos se generó la cartografía correspondiente; para evaluar la fragmentación, basados en la fotointerpretación se compararon fotografías aéreas de 1970 y 1995. Los resultados obtenidos indican 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); sin embargo, también se encontraron tierras con tasas de degradación nula (548.2 ha). Con respecto a la evaluación del estado de conservación de las terrazas aluviales, los sitios A y B entraron en la categoría Relativamente Estable, para los sitios C y D En Peligro y D2 Crítica. Los factores que propician la fragmentación son el desmonte para permitir un uso agrícola, la extracción de materiales para la minería, la obtención de sal, la compactación, los altos índices de salinidad en el suelo, la poca actividad orgánica, el estrés hídrico y la erosión. Por los resultados anteriores se recomienda realizar acciones de conservación de suelo y agua, preservar los sistemas naturales relictuales, restaurar áreas degradadas con flora nativa de importancia local y tratar de mantener la conectividad entre los fragmentos del paisaje.

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); 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 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).

Los procesos anteriores tienen como resultado la **fragmentación de hábitats naturales**, que puede llegar a tener repercusiones importantes, entre otras, sobre la riqueza específica y la genética de las poblaciones a las que afecta (Ghayyas, 2001), procesos de adaptación de las especies, fisiología metabólica y reproductiva; y a otro nivel en los elementos, la estructura, composición biótica de las comunidades y procesos sinecológicos de los sistemas naturales (López *et al.*, 2003).

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 Valle 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, así como, su influencia inmediata, sobre la fragmentación de hábitats, con la finalidad de definir estrategias de manejo, conservación y restauración de sistemas naturales degradados en el Valle Aluvial de Zapotitlán Salinas.

2. JUSTIFICACIÓN

La Reserva de la Biósfera de Tehuacán-Cuicatlán es una zona 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.

De igual forma, 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 extensiva 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 los procesos de fragmentación y de deterioro en sus diferentes facetas que pueda aplicarse a la restauración ecológica en el ambiente que naturalmente prevalece en el país, 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.

Sin embargo, a pesar de que se tienen múltiples estudios bajo diferentes enfoques de diversas disciplinas, aún se necesita información acerca de la evaluación de las diferencias ecológicas entre sistemas poco deteriorados y los que están altamente afectados, como base para restaurar ecosistemas degradados con el fin de reactivar su productividad y procesos naturales, determinar las etapas requeridas para habilitar ecosistemas degradados con sus especies originales, desarrollo de mecanismos de conservación *in situ* y *ex situ* de biodiversidad, proponer sistemas de manejo de recursos alternativos, crear una cultura que vincule el desarrollo económico de la zona con el manejo y aprovechamiento racional de los recursos locales.

3. ANTECEDENTES

El área de estudio ha sido investigada de forma muy amplia en múltiples aspectos y diferentes 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.

Temas relacionados con 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 Tehucán-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-Olguin *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), realiza 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.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1. Desertificación y degradación de suelos

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 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, *In*: Becerra, 1999).

El suelo es el depositario último 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), la 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 (Goberment of the State of Pernambuco, 1999).

4.1.1. Degradación de suelos

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. 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).

4.1.2. Tipos de degradación del suelo

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, pues en otros, este aunque degradado, permanece en su sitio, y con frecuencia se dispone de 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.

4.1.3. Factores causativos de la degradación

Existen diversos factores y elementos, 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 sigue 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.

El suelo: las propiedades 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).

4.1.4. 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).

En 1994 la UNEP 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 modelos cuantitativos.

Los modelos cualitativos tienen por objetivo la estimación de la erosión actual, acudiendo directamente a los sitios, reconociendo las distintas formas de erosión y sedimentación y 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 Sistemas de Información Geográfica (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).

4.1.5. Medidas de protección y rehabilitación para contrarrestar la 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 barata.

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.

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.

Cabeceo de cárcavas: su finalidad es evitar la erosión remontante, amortiguando la energía de caída de la escorrentía, mediante 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 (CONAFOR, 2003).

4.2. Fragmentación de hábitats

Ghayyas (2001) conceptualiza a la Fragmentación de Hábitats como: "... el proceso que ocurre cuando un hábitat, o tipo de cobertura terrestre es subdividida por un disturbio natural (ej. fuego o tormentas) o por actividades humanas (ej. construcción de caminos, apertura de áreas al cultivo)" (Dale y Pearson, 1997 *In*: Gallas 2001). Aunque la heterogeneidad espacial es un fenómeno natural, las actividades humanas están alterando los paisajes naturales, provocando cambios en el tamaño y patrones espaciales de los hábitats. Los dos efectos más significativos de la fragmentación son la disminución en el tamaño de las poblaciones y la reducción en la diversidad de especies (Zuidema *et al.*, 1996 *In*: Gallas 2001).

En la actualidad, la fragmentación y destrucción del hábitat han sido reconocidas como la mayor amenaza para la diversidad biológica (Mendoza y Dirzo, 1999).

Como antecedente se tiene que, desde hace cerca de 20 años se han evaluado los efectos de la **Fragmentación**, concretamente en los bosques tropicales de la región del Amazonas. Los primeros trabajos se sustentaban en la Teoría de Islas Biogeográficas, visión que prácticamente ya no se aplica. Los trabajos más recientes abordan los

procesos de fragmentación de una manera amplia debido a los miles de impactos que provoca sobre las poblaciones, ecosistemas y paisajes. Tal visión ha cambiado como resultante a la dinámica que presentan los sistemas fragmentados en tiempo y espacio, así como los cambios que han sido provocados por el aumento de la población, los cambios de usos del suelo y recursos en los sistemas tropicales; por lo que su manejo depende en gran medida, del entendimiento de los procesos y factores emergentes en sitios establecidos *ex profeso* para el análisis de la fragmentación (Lovejoy, 1999).

Los trabajos realizados al evaluar los procesos de fragmentación, en la actualidad han sido dirigidos a investigar sus efectos sobre la diversidad florística y faunística, así como en la composición y estructuración de comunidades de artrópodos, aves, reptiles y mamíferos (Lovejoy, 1999).

4.2.1. Fragmentación y su importancia ecológica

En el Amazonas el bosque perdido a lo largo de 480 años de colonización europea, fue de 152 000 km², que no se compara con lo perdido en los últimos 20 años que es de 400 000 km², tal pérdida de bosque se debe a la rápida fragmentación de hábitats, cosa que se ha repetido en muchos países como Madagascar, India, Filipinas y Guatemala. El hecho de investigar el proceso de fragmentación no sólo es de importancia para los sistemas totalmente manejados por el hombre, ni para los sistemas seleccionados para su conservación ecológica, además es importante por la sobrevivencia de aquellas especies que se han adaptado y desarrollado en sitios altamente deteriorados y para determinar las estrategias de manejo con la finalidad de disminuir el proceso y prever la pérdida de la biota original (Laurance, 1999a).

El grado de aislamiento en los fragmentos del ecosistema puede en parte determinar los cambios en la composición de la comunidad vegetal (Laurance, 1999b; Gascon *et al.*, 1999; de Lima y Gascon, 1999), ya que puede causar un declive en la polinización y en la dispersión de las semillas, también hay una reducción de la diversidad genética en los árboles al presentar autopolinización y endogamia en los fragmentos; la ruptura entre el polinizador y la planta, puede ser una de las más terribles consecuencias de la fragmentación (Hall *et al.*, 1996; Young *et al.*, 1996, *In*: Bradley y Merrilyn, 1999), el mantenimiento o incremento en la conexión del paisaje, puede reducir la extinción de las especies y prever la endogamia (Noss, 1987; Bennet, 1990; Henein y Merriam 1990; Meffe y Carrol, 1994; Laurance y Gascon, 1997, *In*: de Lima y Gascon, 1999). En sólo 18 años de estudio de las dinámicas forestales en el Amazonas, se ha descubierto que en los fragmentos la acelerada mortalidad de los árboles da como resultado la pérdida considerable de biomasa (Lovejoy, 1999).

Por medio de la pérdida y fragmentación del hábitat se imponen cambios muy complejos como los procesos que afectan los aspectos de las historias de vida de las especies (Cale, 2003), las poblaciones se reducen, los modelos de migración y dispersión se interrumpen, previamente al aislamiento la resiliencia del ecosistema se altera y el hábitat se expone a condiciones externas que dan como resultado la erosión progresiva de la diversidad biológica (Terborgh y Winter, 1980; Tilman *et al.*, 1994, *In*:

Tabarelli *et al.*, 1999). Otro aspecto importante es la pérdida de los recursos alimenticios por la separación que crean los mosaicos de hábitat (Law y Dickman, 1998 *In: Bradley y Merrilyn*, 1999) donde algunos grupos de vertebrados pueden ser más vulnerables a la fragmentación; esto nos sugiere que dichos grupos tienden a declinar e incluso desaparecer (Gascon *et al.*, 1999).

La pérdida dramática de la cobertura vegetal permite la formación de claros, esto provoca el incremento del reflejo de la luz solar, lo que modifica severamente las condiciones microclimáticas al repercutir directamente en el porcentaje de temperatura, lluvia y viento (Laurence, 1999b), el resultado es el incremento en la mortalidad de los árboles, la promoción del establecimiento de especies sucesionales (Lovejoy *et al.*, 1986 *In: Soule*, 1986; Kapos, 1989; Laurance *et al.*, 1998, *In: Tabarelli et al.*, 1999) y la perturbación en la distribución de plantas y animales (Malcom, 1997; Tocher *et al.*, 1997 *In: de Lima y Gascon*, 1999; Carvalho y Vasconcelos, 1999,).

La fragmentación puede prolongar los efectos y requerimientos de los periodos de relajación de las plantas, en comunidades que pasan a través de una serie de estadios transicionales antes de que logren las condiciones finales de germinación o crecimiento (Simberloff, 1976; Tilman *et al.*, 1994; Terborgh *et al.*, 1997, *In Tabarelli et al.*, 1999).

El impacto más importante es la pérdida de los servicios del ecosistema como fuente de alimentos, plantas medicinales y muchos otros productos naturales (Laurence, 1999b).

El arreglo de relaciones entre elementos e interacciones del hábitat es lo más importante en la evolución de las dinámicas de fragmentación por muchas razones: Primero, actúa como un filtro selectivo (no como una barrera) por el movimiento de las especies a través del paisaje; el tipo de vegetación determina el tamaño del poro en el filtro. Segundo, puede ejercer una fuerte influencia en la dinámica de las comunidades que habitan en los fragmentos que se encuentran cerca; finalmente, estos diferentes arreglos pueden influenciar en los efectos de la fragmentación por medio de variables físicas y bióticas que tienen un gradiente menos pronunciado y presentan una estructura similar al hábitat original, reduciendo así el impacto ecológico de la fragmentación (Mesquita *et al.*, 1999).

4.2.2. Factores que causan el proceso de Fragmentación

Según Laurence (1999b), hay cuatro factores principales que propician la fragmentación de los ecosistemas a nivel global: la presión ejercida por la explosión demográfica, que requiere de mayores espacios de asentamiento y mayores áreas incorporadas a la producción de satisfactores; sistemas de gobierno con instituciones débiles y políticas ambientales pobres; el incremento de los tratados libres y la tala industrial carente de estrategias ambientales de conservación del capital natural y uso racional de recursos.

La deforestación ha jugado un papel muy importante en la fragmentación a nivel mundial; como resultado, los fragmentos de paisaje están compuestos por hábitats con características de fauna diferente (Gascon *et al.*, 1999).

El cambio en el uso del suelo es uno de los factores más agresivos que favorece la degradación y fragmentación del medio ambiente de manera drástica y presenta una velocidad de pérdida de hábitat más alta que la tasa presentada por factores naturales, ya que este cambio afecta de manera radical el tipo de vegetación que soporta el suelo y la mayoría de las veces no se toma en cuenta la vocación de éste para soportar o no cultivos. La modificación humana del paisaje debido a la agricultura extensiva, provoca que las especies se vean enfrentadas a la fragmentación de su hábitat, estos cambios incluyen un declive en el tamaño del hábitat y un incremento en su aislamiento espacial (Cale, 2003).

El destino de los ecosistemas fragmentados, esta regido por la capacidad que tengan las especies para sobrevivir o en nuestra habilidad del manejo de dichos fragmentos para mitigar los efectos de la pérdida y aislamiento (Laurence, 1999a).

4.2.3. Formas de evaluación de la Fragmentación

Dale y Pearson (1997 *In*: Ghayyas, 2001) proponen cuatro tipos de índices de fragmentación, sugeridos para describir los patrones espaciales en la cartografía de hábitats y que incluyen: área del hábitat o del parche, frecuencia y distribución del tamaño de los parches, medida de la forma de los parches, y longitud de los bordes entre los diferentes tipos de hábitats. La medición de la continuidad espacial de los fragmentos son indicadores de la probable condición de los bosques originales y el estado de la biodiversidad asociada (Kapos e Iremonger, 1998). Tales medidas de fragmentación son útiles para el diseño de reservas, áreas protegidas y conservación de la biodiversidad.

Por otra parte, asociado a estas formas de evaluación y en la búsqueda de estrategias de reversión de la fragmentación, Dinerstein *et al.*, (1995) sugieren que para determinar diseños destinados al mantenimiento de los procesos ecológicos y poblaciones viables de especies, se aplique un índice de estado de conservación que utiliza características a nivel de paisaje determinando el estado de conservación instantáneo del hábitat, la distintividad biológica y el estado de conservación final, categorizado en las siguientes clases: Crítico, En Peligro, Vulnerable, Relativamente Estable y Relativamente Intacto.

4.3. Restauración de ambientes degradados

Para poder conservar los ecosistemas y la diversidad de hábitats, es de vital importancia mantener una representación geográfica de todos ellos. 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.

5. OBJETIVO GENERAL

- ❖ Evaluar el estado actual de degradación de tierras y caracterizar el estado de conservación de sitios con diferente grado de deterioro en el Valle Aluvial de Zapotitlán Salinas, Puebla.

5.1. Objetivos particulares

- ❖ Determinar el estado actual de degradación de tierras del Valle Aluvial.
- ❖ Realizar un análisis comparativo para conocer el comportamiento de las propiedades físicas y químicas de los suelos de cinco sitios con diferente nivel de deterioro. Caracterizar el proceso de fragmentación de los hábitats en las terrazas aluviales.
- ❖ Determinar el impacto que causa la fragmentación de los hábitats en las terrazas aluviales.

6. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

6.1. Ubicación del área de estudio

El área de estudio se ubica en el estado de Puebla en la parte baja de la Cuenca de Zapotitlán entre los 18° 14' y 18° 21' de latitud Norte y de los 97° 26' a 97° 35' de longitud Oeste, con un área de 3 915 ha; con una altitud promedio de 1480 msnm. (**figura 1**).

El Valle Aluvial es una geoforma de origen exógeno constituida por materiales sedimentarios de diferentes orígenes que fueron transportados y que rellenaron las partes bajas. Presentan suelos profundos y que sirven de soporte para el desarrollo de comunidades vegetales conocidas como Mezquitales. Al mismo tiempo, la zona es importante porque en la última década, en ella se realizan diferentes actividades productivas como la agricultura de temporal, ganadería extensiva y extracción de leña (López *et al.*, 2003).

6.2. Fisografía

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, Zapotitlán y Metzontla abarcan la mayor superficie, donde la mayoría es de origen endógeno producto de la acción de fuerzas tectónicas.

6.3 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, *com per*).

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.

6.4 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.

6.5 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 BSohw''(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.

6.6 Hidrología

La zona de Zapotitlán pertenece en su mayor parte a la Región Hidrológica (Rh 28) de la Cuenca Alta del Río Papaloapan (A), particularmente a la Subcuenca Fluvial del Río Salado (e). El Río Zapotitlán se forma hacia el Oeste de la subcuenca hidrográfica de Zapotitlán de la parte alta, 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).

Neri (2000) menciona que los principales cuerpos de agua son el Río Zapotitlán, que 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).

6.7 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 antisyphilitica*, Selva Baja Perennifolia con espinas laterales (Mezquital) donde predomina *Prosopis laevigata* y Matorral espinoso con espinas laterales con dominancia de *Cercidium praecox*.

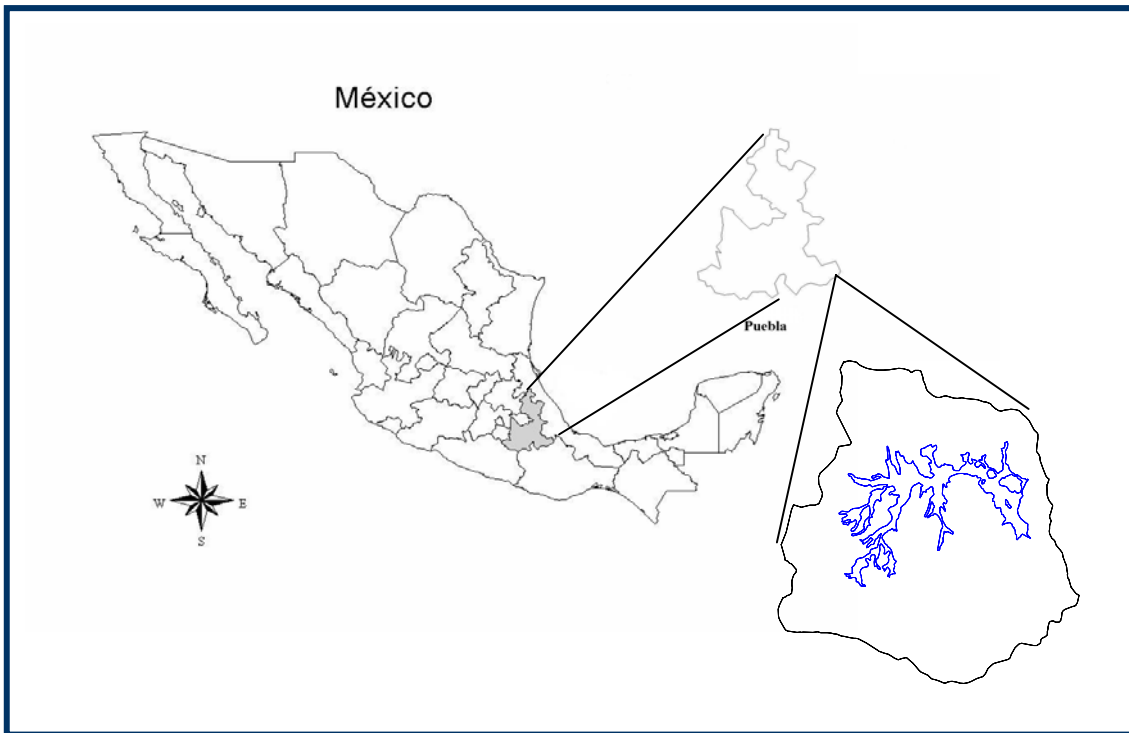


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del presente trabajo, la metodología fue dividida en tres fases, las cuales se describen a continuación:

Primera fase

Se efectuó una revisión bibliográfica y cartográfica exhaustiva que permitió obtener los conocimientos necesarios para comenzar el estudio. Análisis espacial preliminar del área de estudio a partir de un proceso de fotointerpretación sobre fotografías aéreas pancromáticas blanco y negro de escala 1: 20,000, y 1:75,000 en la que se seleccionaron las áreas específicas a analizar dando énfasis a la selección de sitios con mínimo grado de degradación o parcialmente deteriorados y otros calificados como perturbados, pertenecientes a una misma unidad del paisaje (Dinerstein *et al.*, 1995).

Para definir los tipos y grados de degradación de tierras del Valle Aluvial se tomó como criterio el sistema “Global Assessment of the Current 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 Southeast Asia (ASSOD)” (van Lyden y Oldeman, 1997). El Anexo 12.1 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.

Segunda fase

La ubicación de los sitios de muestreo se designó basándose en 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), a partir de la cual se seleccionaron los perfiles tipo, con sus datos correspondientes de las propiedades físicas y químicas, para cada zona. Se incorporaron datos de diversos parámetros de suelos tomados en sitios de verificación, a través de varias visitas de campo.

Tercera fase

Se realizó una comparación de fotografías aéreas de 1970 y 1995, actualizadas mediante recorridos de campo, para evaluar la fragmentación 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. Así como, formas de parches, tamaños de fragmentos de hábitats, conectividad entre estos; además de identificar los puntos críticos (hot spots), tal como lo propone Ghayyas (2001).

La evaluación del “Estado de Conservación Final del Hábitat” se obtuvo aplicando los criterios establecidos por Dinerstein *et al.* (1995), a cuatro escenarios comparativos o sitios tipo, en diferentes etapas de degradación ambiental, pertenecientes al sistema de terrazas aluviales; asignando las categorías:

- ❖ Extinto,
- ❖ Crítico,
- ❖ En Peligro,
- ❖ Vulnerable,
- ❖ Relativamente Estable, y
- ❖ Relativamente Intacto.

Con la finalidad de jerarquizar los estados de degradación y definir las estrategias de conservación correspondientes.

El Anexo 12.2 detalla las definiciones y criterios aplicados para el estado de conservación final.

Cuarta fase

En concordancia con los objetivos planteados, se organizó y clasificó toda la información generada para la creación de un banco de datos de degradación de suelos, fragmentación de hábitats y del estado actual de conservación, aplicando los SIG's ILWIS 3.1 y Arc View 3.2 se construyó la carta de degradación de suelos correspondiente. La comparación de escenarios tipo de degradación se realizó empleando un análisis multivariado de clusters, aplicando índices de Similitud, a 21 parámetros edáficos, que incluyeron propiedades físicas, químicas y elementos biodisponibles.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Evaluación del estado actual de la degradación de tierras del Valle Aluvial

El Valle Aluvial tiene una extensión aproximada de 3 939.3 ha, las cuales presentan diferentes tipos de degradación, que se manifiesta en diferentes niveles de alteración, a continuación se hace la descripción de las clases de degradación y sus distintos niveles identificados para la zona investigada:

8.1.1. Erosión Hídrica

La zona de trabajo presenta 1 210.8 ha. afectadas por erosión hídrica de moderada a severa (W), que constituyen el 30.74% 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). Los sitios que presentan esta problemática se encuentren en la parte Norte en la Barranca El Panteón; al Noreste La Ventas y Salinas Chiquitas; en la porción Suroeste San Martín, Barranca Salinas y hacia el Este Tempesquistle y Barranca Grande.

8.1.2. Degradación Física

La degradación física se encuentra afectando una superficie de 60.9 ha (1.55% del total), presentando procesos de encostramiento y sellamiento de la capa superficial del suelo (Pk), compactación (Pc), de moderados a severos. El encostramiento se hace evidente en las parcelas de cultivo temporalero de los cerros Tochenga y Mogote León; mientras que la compactación se muestra en mayor proporción en parcelas abandonadas de Salinas La Barranca.

8.1.3. Degradación Química

Existen 32 ha (0.81%) de suelos con deterioro químico, caracterizado por la pérdida moderada a severa, de nutrientes (Cn), que reduce significativamente la productividad, tal como se presenta en las parcelas de riego eventual, localizadas en la parte sureste del poblado de Zapotitlán y Barranca El Cutac. 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.

8.1.4. Degradación Biológica

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 172.9 ha (4.39%), estos terrenos muestran el mayor nivel de deterioro, los lugares donde el

suelo ha perdido totalmente su potencial bioproductivo y son prácticamente irre recuperables. Se ubican el las zonas de asentamientos humanos como Zapotitlán y San Martín.

Otros tipos de degradación incluyen lugares donde el suelo, prácticamente ha desaparecido y las labores de restauración son casi imposibles, aquí se adicionan los afloramientos rocosos (A), las Tierras Malas (Bl) que afectan 123 ha (3.12%) y se encuentran en el Jardín Botánico y Barranca Las Salinas, además de Barranca Grande.

8.1.5. Factores causativos

Los principales factores causativos son: la deforestación, desmontes, extracción y quema de la cobertura vegetal, como sucede en San Martín; cambio de uso del suelo como sucedió en Las Granjas; sobrepastoreo en Barranca Grande; la incorporación de nuevas áreas al cultivo en Barranca Chuchuca; la actividad minera, 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 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.

8.1.6. Tierras estables con sistemas de conservación

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 992.9 ha (25.2%) de terrenos estabilizados por intervención humana, con prácticas de conservación (SH), terracéo de las zonas aluviales con barreras físicas estabilizadoras como bordos de piedra, 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).

8.1.7. Tierras con tasas de degradación nula

Existen 548.2 ha (13.91%) de terrenos estables con cobertura vegetal natural permanente (Sn) de Mezquital de *Prosopis laevigata* y *Cercidium praecox*, como se observa en la zona de Las Granjas y terrenos con cobertura vegetal natural vulnerable (Snv), como en Tempesquistle, donde los factores de degradación no se han manifestado en grado tal que afecten a los sistemas naturales, estos lugares se califican como los sitios naturales donde los ecosistemas se presentan con mayor nivel de conservación.

8.1.8. Procesos de Regeneración Natural (R) de áreas

Se identificaron 630.09 ha (16.01%) de tierras, que anteriormente fueron deterioradas y abandonadas donde en la actualidad se está dando un proceso natural de sucesión secundaria, formándose un matorral espinoso secundario de *Prosopis* con *Cercidium*. 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 y baldíos 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 acúmulo de materiales a orillas de arroyos, con suelos jóvenes con una fase salina que permite el establecimiento de pastizal halófito de *Dysticlis spicata*.

8.1.9. Distribución y superficies (Mapa y un Pie)

Los porcentajes de las superficies afectadas se muestran en la **figura 2** y la distribución de los tipos de degradación determinados se muestran en el **mapa 1**.

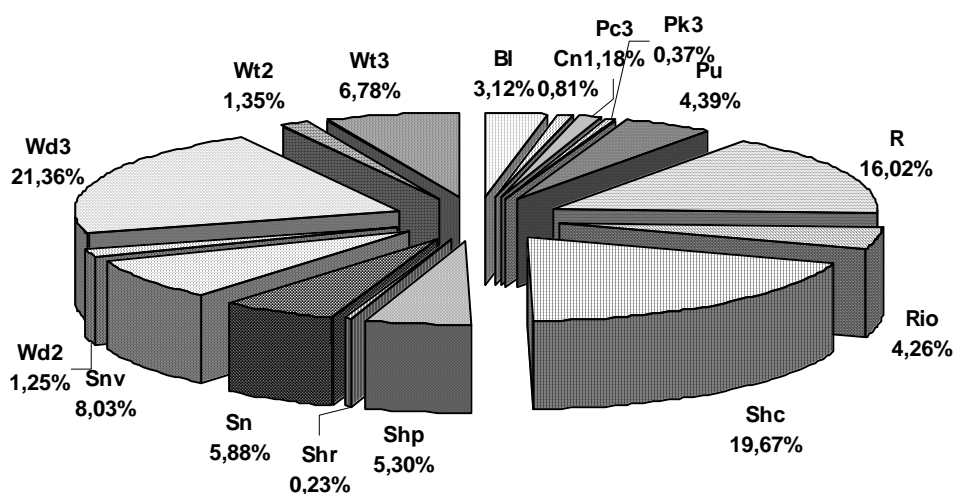
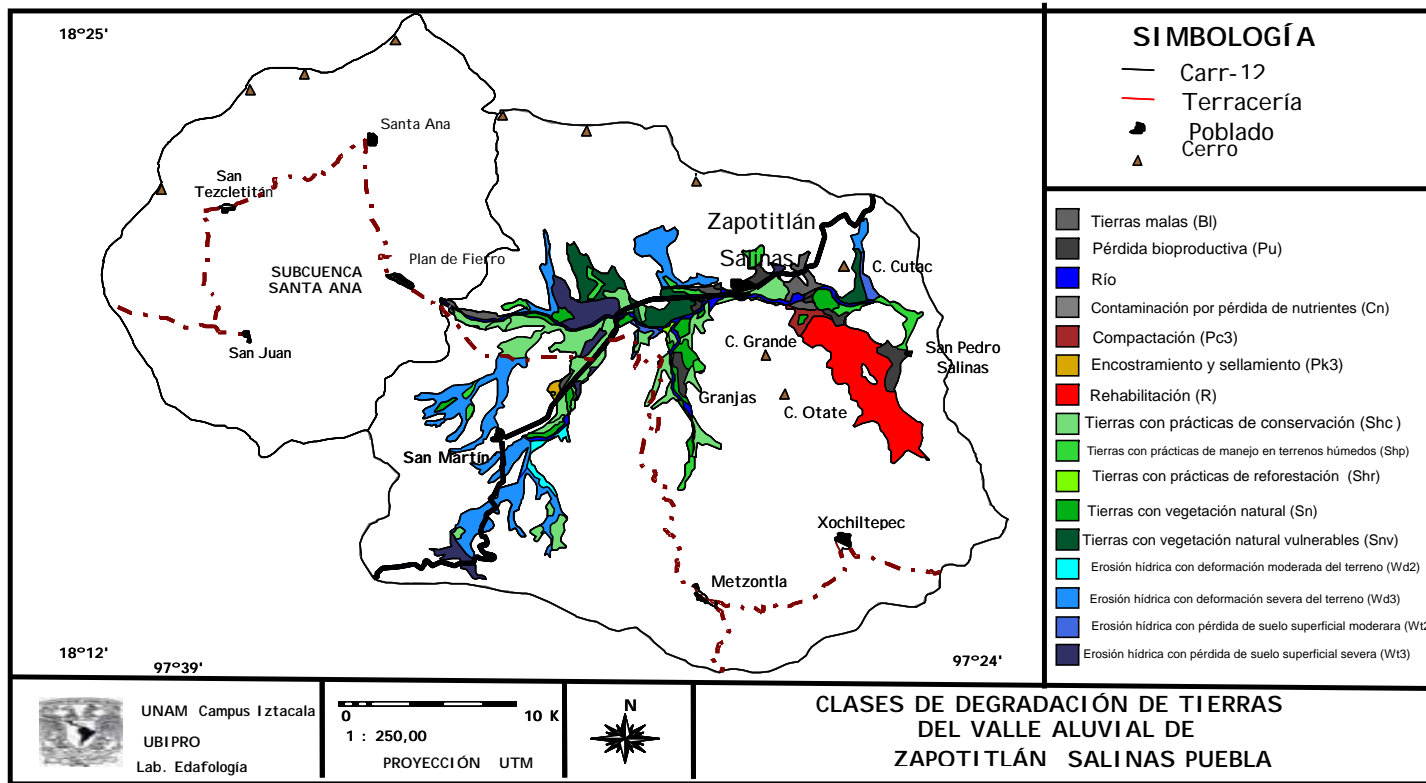


Figura 2. Tipos de degradación.



Mapa 1. Mapa de las Clases de Degradación de tierras del Valle Aluvial.

8.2. Evaluación del estado de conservación instantáneo y fragmentación de los hábitats

Para la evaluación del estado de conservación del Valle Aluvial y determinar el impacto de los procesos de fragmentación se seleccionaron en las terrazas aluviales 5 sitios o escenarios que presentan diferentes estadios de deterioro ambiental, con la finalidad de analizar sus componentes, estructura y dinámica; para poder definir estrategias de conservación. Los criterios de selección de dichos sitios comparativos se hicieron atendiendo a la ecología del paisaje y bases de la biología de la conservación.

La selección de sitios incluye a lugares con un grado bajo de deterioro, con deterioro medio, hasta escenarios completamente alterados donde los sistemas originales han desaparecido. La **figura 3** muestra la ubicación de los sitios seleccionados y su extensión es la siguiente: A 19.29 ha, B 14.65 ha, C 37.51 ha, D 104.46 ha y D2 123 ha.

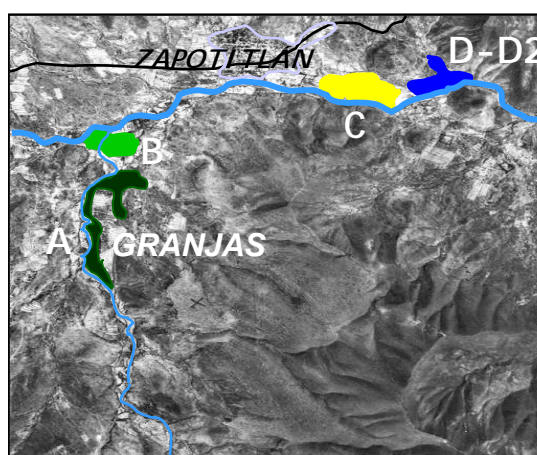


Figura 3. Ubicación de sitios.

8.2.1. Sitios de mínima degradación (Zona A)

Incluye los sitios donde dominan las condiciones naturales típicas, no existen evidencias claras de deterioro y los sistemas presentan sus elementos y procesos en situación normal. Los rasgos fisiográficos están representados por una terraza aluvial típica, con relieve llano o ligeramente ondulado; los materiales geológicos (sedimentos aluviales) aún conservan sus estructuras primarias con nula o poca alteración; los suelos presentan una morfología completa, con horizontes superficiales en buenas condiciones; son suelos de tipo Regosol calcárico (**tabla 1 y 2**) de color pardo, con texturas arenosa y franco arenosa, densidad aparente (DA) media, porcentajes de materia orgánica (MO) de pobre a moderadamente pobre, pH de ligeramente alcalino a moderadamente

alcalino, contenidos bajos de calcio y magnesio con capacidad de intercambio catiónico (CICT) medios; también encontramos suelos de tipo Fluvisol calcárico (**tabla 3**) de color pardo, textura arenosa y franco arenosa, densidad aparente alta, porcentajes de materia orgánica de medio a pobre, pH moderadamente alcalino, contenidos bajos de calcio y magnesio con capacidad de intercambio catiónico medio; los metales biodisponibles, tomados de Horta (2001) que se midieron con sus respectivas determinaciones fueron: Cadmio (Cd) 0.008, Cobalto (Co) 0.0008, Cobre (Cu) 0.109, Manganeso (Mn) 16.6, Estroncio (Sr) 113 y Zinc (Zn) 4.5, medidos en microgramos por gramo de suelo (ug/g).

La vegetación muestra una estructura fisonómica bien definida, con una marcada estratificación vertical, mayor diversidad y riqueza específica; el tipo de vegetación dominante es el Matorral Espinoso, con asociaciones de *Prosopis laevigata* con *Cercidium praecox*, *P. Laevigata* con *Myrtillocactus geometrizans*, *P. Laevigata* con *Beaucarnea gracilis* y *P. Laevigat*. Bajo estas condiciones es fácil observar la formación de islas de fertilidad, en las que se desarrollan diversas especies de cactáceas, herbáceas, pastos y crasuláceas.

La presencia de elementos arvenses o especies oportunistas se restringe al periodo de lluvias pero en las partes donde si existe perturbación como lo son los caminos y veredas frecuentados por personas y ganado. Los procesos e interrelaciones ecológicas naturales son los que marcan la dinámica del sitio. Las actividades humanas son reducidas, el pastoreo es bajo el grado de erosión es de bajo a medio, dependiendo de la cobertura vegetal e inclinación del terreno. Los lugares donde se encuentra éste tipo de condiciones son la zona conocida como Las Granjas, los lugares aledaños al puente del Río Salado y la Loma del Aguacate.

Horizonte	Prof. (cm)	Color Seco	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	CT	DA (kg/m ³)
A	0 – 17	10 YR 5/3	82	10	8	FA	1.07
C11	17 – 48	10 YR 5/3	92	4	4	A	1.4
C12	48 – 63	10 YR 5/4	92	2	6	A	1.36
C21	63 – 77	10 YR 6/3	94	2	4	A	1.55
C22	77 – 110	10 YR 6/4	100	0	0	A	1.55

Horizonte	Prof. (cm)	PH (1:2.5)	MO (%)	N total (%)	K cmol(+)kg ⁻¹	Ca cmol(+)kg ⁻¹	Mg cmol(+)kg ⁻¹	CICT
A	0 – 17	7.53	0.98	0.03	4.6	15.69	1.41	24.69
C11	17 – 48	7.76	0.98	0.06	2.6	8.736	0.81	14.42
C12	48 – 63	7.79	0.72	-	13.5	9.59	2.83	17.2
C21	63 – 77	7.8	0.59	-	12.18	9.89	2.42	13.09
C22	77 - 110	7.84	0.26	-	2.5	5.2	1.21	10.17

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas de un perfil tipo Regosol calcárico.

Horizonte	Prof. (cm)	Color Seco	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	CT	DA (kg/m ³)
A	0 - 5	10 YR 5/3	56	28	16	FA	1.16
C1	5 - 68	10 YR 5/3	68	20	12	FA	1.21
C2	68 - 112	10 YR 5/3	52	26	22	FRA	1.24
C3	112 - 173	10 YR 5/3	44	34	22	F	1.15

Horizonte	Prof. (cm)	pH (1:2.5)	MO (%)	N total (%)	K cmol(+)kg ⁻¹	Ca cmol(+)kg ⁻¹	Mg cmol(+)kg ⁻¹	CICT
A	0 - 5	8.06	1.51	0.02	3.6	18.72	4.44	26.4
C1	05 - 68	8.1	0.62	0.014	3.2	14.34	2.18	19.79
C2	68 - 112	8.03	0.5	-	4.2	16.49	2.19	24.25
C3	112 - 173	8.41	0.86	-	5.83	22.42	4.28	29.97

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas de un perfil tipo Regosol calcárico.

Horizonte	Prof. (cm)	Color Seco	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	CT	DA (kg/m ³)
A11	0 - 10	10 YR 5/3	74	20	6	FA	1.32
A12	10 - 30	10 YR 5/3	70	22	8	FA	1.31
2C1	30 - 39	10 YR 5/4	92	4	4	A	1.48
3C2	39 - 63	10 YR 5/5	70	24	6	FA	1.31
4C3	63 - 88	10 YR 5/6	92	4	4	A	1.39

Horizonte	Prof. (cm)	pH (1:2.5)	MO (%)	N total (%)	K cmol(+)kg ⁻¹	Ca cmol(+)kg ⁻¹	Mg cmol(+)kg ⁻¹	CICT
A11	0 - 10	8.07	2.05	0.008	3.7	11.04	2.42	18.4
A12	10 - 30	8.11	1.5	0.002	3.5	11.21	2.02	20.58
2C1	30 - 39	8.41	1.1	-	2.3	14.34	2.83	16.39
3C2	39 - 63	8.25	0.39	-	2.6	10.04	2.41	13.5
4C3	63 - 88	8.46	0.73	-	2.5	10.32	1.01	14.98

Tabla 3. Propiedades físicas y químicas de un perfil de tipo Fluvisol calcárico

La **figura 4** muestra la representación de las terrazas y su relación morfológica con los demás elementos de la cuenca.

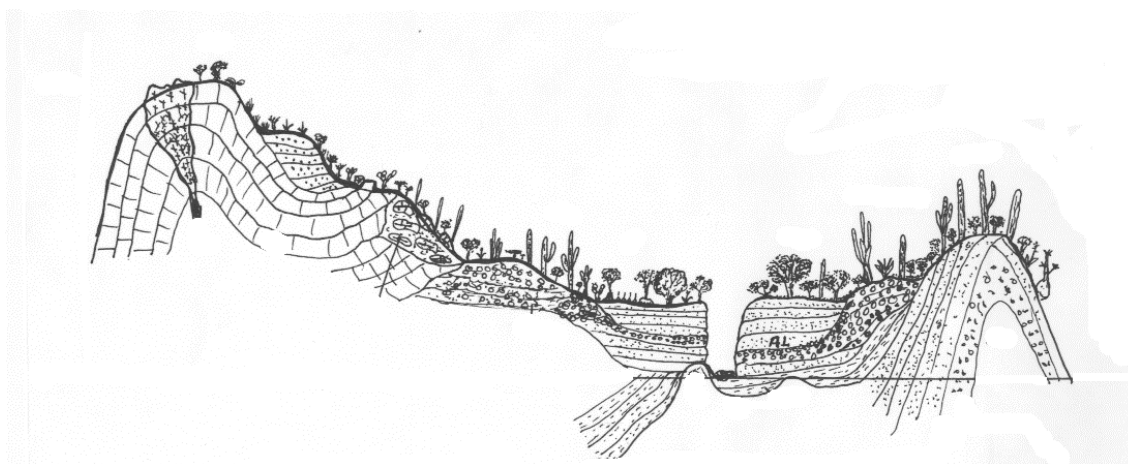


Figura 4. Representación diagramática de la ubicación de las zonas A y B y su relación con el entorno.

8.2.2. Sitios Medianamente Alterados (Zona B)

Aquí se ubican los lugares donde las condiciones originales se ven alteradas de forma parcial y en donde el proceso de deterioro aparentemente no se ha intensificado a tal grado que afecte la estructura y dinámica del sistema. El relieve ha sido modificado por efecto del desmonte incipiente o por la apertura de caminos; las estructuras primarias de los materiales geológicos presentan deformación por reacomodos de los sedimentos, provocados por la acción de la lluvia y por compactación natural. Los suelos muestran alteración de los horizontes superficiales y, aunque aún se conserva la morfología original, existe reducción o pérdida de la capa de hojarasca; son suelos de tipo Fluvisol calcárico (**tabla 4**) de color pardo, con textura franco arenosa, densidad aparente media, porcentajes de materia orgánica de pobre a moderadamente pobre, pH moderadamente alcalino, contenidos bajos de calcio y magnesio y capacidad de intercambio catiónico de medio a alto. Los resultados del análisis de los metales biodisponibles fueron Cd 0.006 ug/g, Co 0.008, Cu 0.096 ug/g, Mn 12.4 ug/g y Sr 140 ug/g.

La vegetación todavía presenta su estructura fisonómica y composición dominante original, la estratificación presenta modificaciones causadas por la extracción de algunos elementos como *Prosopis laevigata*, *Cercidium praecox*, yucas y cactáceas, con lo que se reduce la cobertura y con ello se observa un decremento de la riqueza específica que se desarrolla en los estratos inferiores; la actividad ganadera es moderada, en algunos sitios se comienza a evidenciar una fragmentación del paisaje, la presencia de especies generalistas, se incrementa sobre todo en lugares de mayor actividad humana y ganadera. Durante la época de lluvias, la erosión hídrica incrementa la pérdida de suelo y hojarasca; así como de semillas y propágulos vegetales. Los espacios abiertos o terrenos sin cobertura son más frecuentes durante la época de sequía; sin embargo, a pesar del disturbio el sistema aún es capaz de mantener su estructura y procesos originales. Los lugares que presentan éstas condiciones son una zona cercana a Las Granjas y la Barranca Chuchuca.

Horizonte	Prof. (cm)	Color Seco	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	CT	DA (kg/m ³)
A1	0 - 10	10 YR 4/3	30	34	36	FR	1
2C1	10 - 35	10 YR 4/3	62	20	18	FA	1.17
3C2	35 - 57	10 YR 5/3	42	28	30	FR	1.12
3C3	57 - 90	10 YR 5/3	52	26	22	FRA	1.18

Horizonte	Prof. (cm)	pH (1:2.5)	MO (%)	N total (%)	K cmol(+)/kg ⁻¹	Ca cmol(+)/kg ⁻¹	Mg cmol(+)/kg ⁻¹	CICT
A1	0 - 10	8.08	1.58	0.196	2.33	23.84	4.65	34.71
2C1	10 - 35	8.09	0.79	0.002	2.34	12.48	2.83	21.34
3C2	35 - 57	8.1	0.26	-	1.07	29.49	0.81	29.55
3C3	57 - 90	8.28	0.73	-	1.07	22.22	4.24	26.49

Tabla 4. Propiedades físicas y químicas del perfil representativo de la zona B.

8.2.3. Sitios Deteriorados (Zona C)

Estos sitios presentan efectos muy evidentes de deterioro, manifestada por una modificación del paisaje y pérdida de la mayor parte de la biota establecida a causa de procesos naturales de erosión hídrica así como derrumbes causados por deslizamiento de grandes masas de materiales separados de las paredes de las terrazas aluviales; lo anterior se complementa con actividades humanas como: desmontes de áreas que se consideran buenas para desarrollar una agricultura temporalera, extracción acelerada y en gran proporción de especies que son empleadas principalmente como leña u otro tipo de materias primas, especialmente el mezquite como fuente para la elaboración de carbón; de igual forma, la incorporación de áreas para potreros destinados a la producción caprina y en menor proporción, la selección de sitios para ser empleados como tiraderos de basura u otro tipo de desechos provenientes de las zonas urbanas. Presenta suelos de tipo Fluvisol calcárico (**tabla 5**) de color pardo muy pálido a pardo, con texturas franco arenosa, franco y franco arcillosa, densidad aparente media, porcentajes de materia orgánica de medio a moderadamente rico, pH de moderadamente alcalino a ligeramente alcalino, contenidos bajos de calcio y magnesio y baja capacidad de intercambio catiónico; estos lugares también presentan suelos de tipo Regosol calcárico (**tabla 6 y 7**) de color pardo grisáceo, con texturas arcillosa, franco arcillo arenosa y franco arenosa, con densidades aparentes medias, porcentajes de materia orgánica de pobres a medios, pH de moderadamente alcalinos a ligeramente alcalinos, con niveles bajos de calcio y magnesio y capacidad de intercambio catiónico medio. El resultado del análisis de los metales biodisponibles es el siguiente: Cd 0.007 ug/g, Co 0.007 ug/g, Cu 0.127 ug/g, Mn 7.5 ug/g, Sr 128.7 ug/g y Zn 7.4 ug/g.

Las condiciones originales se han perdido casi en su totalidad, el cambio en el uso del suelo causa una modificación en el paisaje, el relieve ha sido transformado completamente por la construcción de terrazas agrícolas ya que es una zona de cultivos donde se establecen parcelas contiguas o escalonadas, son usadas para agricultura de temporal o de riego eventual empleando agua acumulada en cuencas de escurrimiento y algunas tienen sistemas de conservación ya que presentan cercos vivos de vegetación natural; el tamaño de estas es importante ya que cuando es mayor la superficie de exposición es mayor la susceptibilidad que tenga a la degradación que comienza en este caso con la deshidratación de las arcillas y sus consecuentes problemas.

En otros lugares, donde aún quedan reminiscencias de los sistemas originales, el proceso de fragmentación se observa en grandes dimensiones, existen sitios donde el relieve se ve alterado por la presencia de depresiones, oquedades y fisuras formadas por colapso de los materiales que conforman las terrazas, de tal forma que éstas se van fraccionando hasta formar “islas” y pináculos de pendientes pronunciadas. Los suelos van perdiendo o ya carecen de los horizontes superficiales y la capa de hojarasca, en el caso de los suelos muy expuestos la superficie comienza a ser ocupada por “manchones o costras” de líquenes y actinomicetos; en otros sitios se presentan problemas de compactación, o de manera contraria, disgregación elevada y desaparición de estructuración, además es común la presencia de costras superficiales de sales. Las comunidades vegetales han sufrido una transformación total de sus componentes, la mayor parte de su estructura ha desaparecido, su diversidad se ha reducido de tal forma que los pocos elementos que sobreviven corresponden a especies de mezquites, palo verde, garambullos, cactáceas columnares, sólo quedan algunas islas de fertilidad; se presentan serias limitantes para el establecimiento de plántulas, por lo que la riqueza específica se reduce a un nivel muy bajo. Durante la época de lluvias en gran parte de los terrenos se desarrollan especies generalistas de ciclos de vida cortos y en general, la mayor actividad del sistema degradado se ubica durante este periodo. En los sitios donde el sistema natural ha sido reemplazado por cultivos, estos corresponden a maíz, frijol y cebada, intercalados con maguey. En otros casos, durante el desmonte se dejan algunos mezquites y palo verde, para ser empleados como plantas generadoras de sombra que permiten el desarrollo de frutales, especialmente de pitayas y pitajayas. Estos lugares se encuentran en las inmediaciones del “Pozo de Agua” al sureste del poblado de Zapotitlán y en las inmediaciones de la Barranca San Miguel, Barranca Chuchuca cerca San Martín.

Horizonte	Prof. (cm)	Color Seco	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	CT	DA (kg/m ³)
A	0 - 18	10 YR 7/3	60	24	16	FA	1.2
2C11	18 - 32	10 YR 7/3	40	36	24	F	1.16
2C12	32 - 46	10 YR 6/3	44	36	20	F	1.21
2C21	46 - 83	10 YR 6/3	36	46	18	F	1.14
2C22	83 - 102	10 YR 6/3	38	42	20	F	1.12
2C3	102 - 128	10 YR 5/3	30	38	32	FR	1.03
2C4	128 - 146	10 YR 5/3	44	54	2	FR	1.11

Horizonte	Prof. (cm)	pH (1:2.5)	MO (%)	N total (%)	K cmol(+)kg ⁻¹	Ca cmol(+)kg ⁻¹	Mg cmol(+)kg ⁻¹	CICT
A	0 - 18	8.34	1.95	0.21	8.72	25.5	9.36	14.08
2C11	18 - 32	8.4	1.49	0.15	9.49	20.59	4.21	16.98
2C12	32 - 46	7.9	1.28	-	8.77	17.55	6.78	16.38
2C21	46 - 83	7.87	1.76	-	8.06	25.57	5.85	19.98
2C22	83 - 102	7.65	2.63	-	11.63	23.4	7.48	26.2
2C3	102 - 128	7.74	2.5	-	15.03	21.29	9.36	30.25
2C4	128 - 146	7.79	1.62	-	14.13	28.31	7.95	29.13

Tabla 5. Propiedades físicas y químicas de un perfil tipo Fluvisol calcárico.

Horizonte	Prof. (cm)	Color Seco	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	CT	DA (kg/m ³)
Ap	0 - 21	10 YR 6/2	30	28	42	R	1,08
C1	21 - 105	10 YR 6/2	36	16	48	R	1.2
2C2	105 - 200	10 YR 6/2	74	6	20	FRA	1.23
3C3	200 - 285	10 YR 6/2	46	50	4	FRA	1.19
4C4	285 - 300	10 YR 6/2	76	20	4	FRA	1.31

Horizonte	Prof. (cm)	pH (1:2.5)	MO (%)	N total (%)	K cmol(+)/kg ⁻¹	Ca cmol(+)/kg ⁻¹	Mg cmol(+)/kg ⁻¹	CICT
Ap	0 - 21	8.04	0.98	0.14	4.6	21.76	6.31	27.29
C1	21 - 105	7.78	1.17	0.07	4	23.86	7.25	18.48
2C2	105 - 200	8	0.69	-	4	19.42	8.19	17.44
3C3	200 - 285	8.85	0.59	-	3.4	20.35	3.97	17.53
4C4	285 - 300	8.54	0.59	-	3.5	22.9	3.51	16.31

Tabla 6. Propiedades físicas y químicas de un perfil Regosol calcárico.

Horizonte	Prof. (cm)	Color Seco	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	CT	DA (kg/m ³)
A	0 - 26	10 YR 5/2	76	10	14	FA	1.11
C11	26 - 47	10 YR 5/2	86	6	8	FA	1.42
C12	47 - 71	10 YR 4/3	86	6	8	FA	1.52
C2	71 - 96	10 YR 4/3	94	2	4	A	1.32

Horizonte	Prof. (cm)	pH (1:2.5)	MO (%)	N total (%)	K cmol(+)/kg ⁻¹	Ca cmol(+)/kg ⁻¹	Mg cmol(+)/kg ⁻¹	CICT
A	0 - 26	7.95	2.02	0.19	4.65	22.45	1.01	24.77
C11	26 - 47	8.28	0.26	0.01	2.65	9.15	3.04	15.51
C12	47 - 71	8.4	0.65	-	2.79	8.69	6.6	15.6
C2	71 - 96	8.42	0.52	-	2.91	9.17	1.24	11.63

Tabla 7. Propiedades físicas y químicas de un Regosol calcárico.

8.2.4. Sitios Muy Deteriorados (Zona D)

Incluye aquellas áreas donde se observan los mayores niveles de degradación y que son producto, en mayor proporción, del cambio del uso del suelo, en la actualidad son parcelas que por la pérdida de fertilidad natural y escasa precipitación no permiten la obtención de una producción normal, por lo que se encuentra en niveles muy bajos; suelen encontrarse dentro de este grupo terrenos abandonados o donde el desmonte ha sido muy intenso; también se incluyen sitios donde de forma natural y por efecto de la erosión hídrica se han eliminado en su totalidad las comunidades bióticas establecidas ó solamente quedan reminiscencias. Su diversidad, estructura y procesos ecológicos se han perdido totalmente. Presenta suelos de tipo Fluvisol calcárico (**tabla 8 y 9**), de color pardo pálido a gris claro, con texturas franco arcillosas y franco limosas, de densidad aparente media, con porcentajes de materia orgánica moderadamente pobres, pH de ligeramente alcalino a moderadamente alcalino, con bajos contenidos de calcio y magnesio y alta capacidad de intercambio catiónico. El análisis de los metales

biodisponibles es: Cd 0.013 ug/g, Co 0.023 ug/g, Cu 0.291 ug/g, Mn 6.6 ug/g, Sr 120.4 ug/g y Zn 1.2 ug/g.

El subsuelo manifiesta procesos de colapsamiento, la fragmentación de las terrazas aluviales se encuentra en su máximo nivel, es evidente la formación de pináculos creados por erosión, deslizamiento y derrumbes de grandes masas de sedimentos, formación de agrietamientos, fosas y depresiones. Los sistemas naturales se han perdido totalmente o han sido reemplazados por parcelas de temporal, de riego a mediana escala, plantaciones de agave y frutales como pitayas y pitajayas, algunos terrenos se han incorporado a la ganadería extensiva o han servido para edificar sistemas de producción de “sal gema” o extracción de ónix.

Son escasos los lugares donde aún se pueden observar especies nativas de mezquite, palo verde y cactáceas columnares.

En general son los lugares donde se requiere de prácticas de restauración de forma inmediata, o formas de reversión de la degradación ambiental. Los lugares que reúnen estas condiciones son El Desmonte, San Martín, “Las Islas” en las inmediaciones del Jardín Botánico, cerro Cutác y la Barranca Coahuino.

Horizonte	Prof. (cm)	Color Seco	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	CT	DA (kg/m ³)
C1	0 - 13	10 YR 6/3	22	38	40	FR	1.05
2C2	13 - 46	10 YR 7/2	62	4	34	FRA	1.13
3C31	46 - 79	10 YR 5/2	32	32	36	FR	1.13
3C32	79 - 100	10 YR 5/1	42	18	40	FR	1.19

Horizonte	Prof. (cm)	pH (1:2.5)	MO (%)	N total (%)	K cmol(+)/kg ⁻¹	Ca cmol(+)/kg ⁻¹	Mg cmol(+)/kg ⁻¹	CICT
C1	0 - 13	7.95	1.3	0.04	6.2	30.3	10.02	51.8
2C2	13 - 46	8.28	1.17	0.02	5.5	28.68	4.75	45.81
3C31	46 - 79	8.4	1.03	-	1.2	19.99	2.8	38.12
3C32	79 - 100	8.42	1.26	-	0.6	32.32	9.29	47.7

Tabla 8. Propiedades físicas y químicas de un perfil tipo Fluvisol calcárico.

Horizonte	Prof. (cm)	Color Seco	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	CT	DA (kg/m ³)
C1	0 - 15	10 YR 7/2	24	50	26	FR/FL	1.15
2C2	15 - 60	10 YR 6/2	12	32	56	R	1.19
3C31	60 - 90	10 YR 6/2	28	68	4	FL	1.15
3C32	90 - 140	10 YR 6/1	14	74	12	FL	1.1
4C4	140 - 190	10 YR 6/3	20	56	24	FL	1.27

Horizonte	Prof. (cm)	pH (1:2.5)	MO (%)	N total (%)	K cmol(+)/kg ⁻¹	Ca cmol(+)/kg ⁻¹	Mg cmol(+)/kg ⁻¹	CICT
C1	0 - 15	8.24	1.4	0.1	6.1	12.34	7.07	33.51
2C2	15 - 60	7.8	0.75	0.03	5.3	17.38	4.53	32.25
3C31	60 - 90	7.96	0.43	-	5.7	10.32	4.86	23.79
3C32	90 - 140	7.9	0.89	-	9.35	12.72	5.86	26.72
4C4	140 - 190	8.4	0.59	-	0.98	13.21	6.33	20.58

Tabla 9. Propiedades físicas y químicas de un perfil tipo Fluvisol calcárico.

La **figura 5** muestra el proceso de degradación y fragmentación de las terrazas aluviales reconstruido a partir de las observaciones directas en campo, así como la formación de terrazas incipientes.

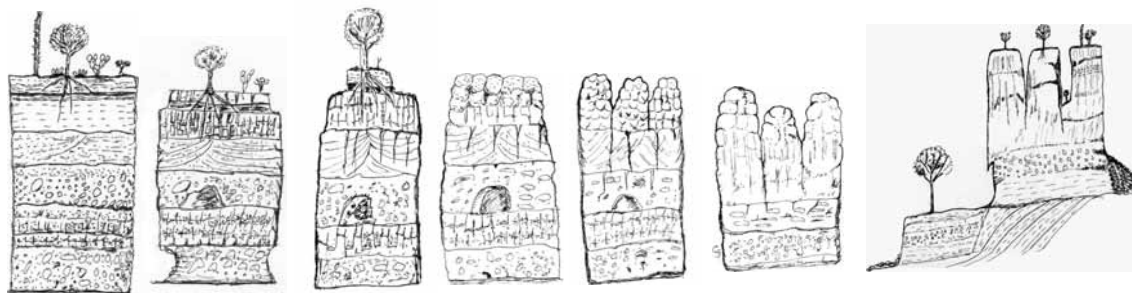


Figura 5. Secuencia de degradación de las Terrazas Aluviales y formación de terrazas secundarias.

8.2.5. Tierras Malas (“Bad Lands”) Zona D2

Como sitio con niveles extremos de deterioro se ubica al D2, caracterizado por la eliminación total de los sistemas naturales originales. Se distinguen porque comienzan a manifestar cambios físicos que alteran el relieve formando montículos separados y en la época de lluvias se desarrolla una serie de regueros o redes de avenamiento muy densas, que favorecen el drenaje superficial pero que limita la infiltración, incrementando el proceso de degradación física y química hasta formar paisajes conocidos como “Tierras Malas” (Bad Lands), donde se limita de forma muy severa el establecimiento y desarrollo de una cobertura vegetal, debido a efectos de expansión-contracción de los substratos arcillosos, compactación, drenaje superficial rápido, infiltración lenta y salinidad elevada.

Las tierras malas (Bad Lands) son áreas de desaparición de los sistemas bióticos; es decir, las zonas de máxima fragmentación; el suelo original ya no existe, afloran los materiales geológicos originales, en la mayor parte formados por sedimentos arcillosos derivados de lutitas y calizas.

Estos sedimentos (**tabla 10**) presentan clases texturales de lodo arenoso, lodo arcillosos y lodo limoso, con valores medios en su densidad aparente, porcentajes de materia orgánica de medios a pobres, con pH de moderadamente alcalino a muy fuertemente alcalino, porcentajes de salinidad y conductividad eléctrica de moderadamente salino a extremadamente salino, los niveles de compactación son medios y los porcentajes de saturación de humedad son altos

Cuando la erosión del suelo es severa el pH incrementa; esto propicia que disminuya la fertilidad del suelo lo cual coincide con Kaihura *et al.* (1999).

	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural	D. A. (kg/m ³)	pH	MO %	CE ds/m	Salinidad %	Compactación Kg/m ²	PSH (%)
C1	32	46	22	Lodo arenoso	1.205	8.15	1.26	5.12	3	1.75	66.9
C2	18	48	34	Lodo arenoso	1.215	9.95	1.55	62.5	28	3.32	82.45
C3	20	40	40	Lodo arenoso	1.205	10.1	1.26	37.1	16.5	2.7	73.9
C4	14	38	48	Lodo arenoso	1.185	10.1	1.83	31.5	14	3.3	86.5
C5	6	34	60	Lodo arcilloso	1.225	9.03	0.84	16.8	11.2	4	96.7
C6	8	52	40	Lodo limoso	1.285	8.84	1.83	81.1	≥ 40	2.4	70.9

Tabla 10. Propiedades físicas y químicas de los sedimentos en las “Tierras Malas”.

8.3. Evaluación del Estado de Conservación

Para la evaluación del estado de conservación determinada para cada uno de los sitios o escenarios elegidos, se tomaron en cuenta valores numéricos de: pérdida de hábitat original, número de áreas de hábitat original, grado de fragmentación y degradación, tasa de conversión del hábitat remanente y grado de protección. En la **tabla 11** se muestran los resultados y la consecuente clasificación de los sitios de estudio, de acuerdo a su estado de conservación en: Relativamente intacto, Relativamente estable, Vulnerable, En peligro, Crítico y Extinto.

Tabla de la evaluación estado de conservación de los escenarios seleccionados, siguiendo el criterio de Dinerstein *et al.* (1995).

Sitio	Pérdida del hábitat	Bloques de hábitat	Fragmentación y degradación del hábitat	Conversión del hábitat	Grado de protección	Puntos	Estado de conservación
	40%	20%	20%	10%	10%		
A	10	5	6	0	1	22	Relativamente estable
B	10	2	8.5	0	1	21.5	Relativamente estable
C	32	15	20	0	10	77	En peligro
D	32	15	20	0	10	77	En peligro
D2	40	20	20	0	10	90	Crítico

Tabla 11. Evaluación del estado de conservación.

8.3.1. Estado de conservación relativamente estable

Los sitios A y B fueron evaluados como Relativamente estables, ya que aún presentan comunidades naturales en buenas condiciones ya que sólo se observan pocas áreas alteradas, con una disminución en las poblaciones explotadas y la perturbación de los procesos en los ecosistemas. En general el estado de alteración no ha sido tan avanzado que le permite desarrollar procesos de resiliencia, hacer que los sistemas naturales se puedan restaurar sin intervención del hombre. Es necesario desarrollar acciones de conservación, resaltando aquellos elementos del medio físico y biótico que los distinguen y que les da la cualidad de ser elementos representativos de las ecoregiones tipo de la zona

8.3.2. Estado de conservación en peligro

Los Sitios C y D fueron ubicados dentro de la categoría de En peligro, debido a que el hábitat natural remanente está restringido a fragmentos aislados de tamaño variable, con

probabilidades medias a bajas de persistencia en los próximos diez a quince años, a menos que sean restaurados de instantáneo y protegidos continuamente.

8.3.3. Estado de conservación crítico

El sitio D2 se clasificó como Crítico, ya que el hábitat intacto remanente se encuentra restringido a fragmentos pequeños y aislados y tiene una baja probabilidad de persistir en los próximos cinco o diez años a menos que se implementen mediadas instantáneas o continuas de protección y restauración.

8.3.4. Estado de conservación extinto

La metodología utilizada para la evaluación del estado de conservación clasifica al sitio D2 en el nivel de Crítico; sin embargo, la mejor ubicación del sitio sería Extinto, ya que hay pérdida de vegetación, pérdida de suelo y aumento en la compactación, donde el resultado evidente es la fragmentación, por tal motivo no se presentan oportunidades para la restauración de comunidades naturales originales por la alteración considerable de los procesos ecológicos naturales.

8.3.5. Matriz integradora para asignar prioridades para la conservación de la biodiversidad

<i>Distintividad</i>	<i>Estado de conservación final</i>				
	<i>Crítico</i>	<i>En Peligro</i>	<i>Vulnerable</i>	<i>Relativamente Estable</i>	<i>Relativamente Intacto</i>
<i>Biológica</i>					
Importante a Nivel Local	D	C y D		A y B	

8.4. Análisis Estadístico

La **tabla 12** muestra los datos analíticos de 21 parámetros determinados para la capa superficial de suelo de los 5 sitios, y a partir de la cual se obtuvo el análisis de clusters, aplicandole el índice de similitud por distancias euclidianas, mostrado en la **figura 6**.

Parámetros / Zonas	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
Grosor (cm)	17	26	18	15
Arcillas (%)	8	14	16	26
Densidad Aparente kg/m ³	1.07	1.11	1.2	1.15
% de saturación de humedad	55.03	49	38	55.37
% de pérdida de suelo	10.07	11.1	12	11.5
pH	7.53	7.95	8.34	8.24
% de materia orgánica	0.98	2.02	1.94	1.4
Pérdida de materia orgánica (ton/ha)	0.104	0.224	0.234	0.161
Capacidad de intercambio catiónico total cmol(+)kg ⁻¹	24.69	24.77	14.08	33.51
% de nitrógeno total	0.03	0.19	0.21	0.1
Fósforo total (ppm)	33.58	38.85	14.66	36.21
Potasio intercambiable (ppm)	4.6	36.31	43.88	6.1
Conductividad eléctrica dS/m	0.86	0.99	0.99	33.46
% de Salinidad	0.4	0.5	0.05	20.2
Sodio intercambiable (ppm)	9.22	5.56	10.06	5.5
Cadmio (ug/g)	0.008	0.006	0.007	0.013
Cobalto (ug/g)	0.0008	0.008	0.007	0.023
Cobre (ug/g)	0.109	0.096	0.127	0.291
Manganeso (ug/g)	16.6	12.4	7.5	6.6
Estroncio (ug/g)	113	140	128.7	120.4
Zinc (ug/g)	4.5	ND	7.4	1.2

Tabla 12. Parámetros para el análisis estadístico.

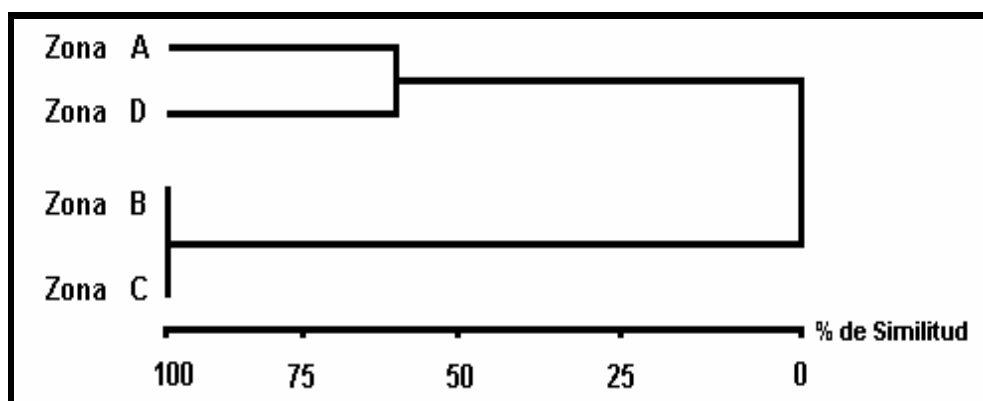


Figura 6. Análisis de similitud.

Este resultado contradice en parte la hipótesis propuesta de un gradiente de deterioro y puede ser interpretado de dos maneras. Por una parte, es posible que los parámetros seleccionados no sean los más idóneos para hacer una evaluación como la que se pretende. La otra posible interpretación es que, desde el punto de vista de las propiedades fisicoquímicas del suelo, pudiera no existir el gradiente de deterioro que es físicamente evidente en la superficie. Sin embargo, una evaluación y seguimiento

más prolongado de esos mismos parámetros, pudiera aportar respuestas más claras al respecto. No obstante lo anterior, lo que sí es posible afirmar es que los sitios estudiados se caracterizan por presentar una alta heterogeneidad ambiental, independientemente del nivel de deterioro que presentan.

8.5. Factores que propician la fragmentación y sus efectos en la zona de Terrazas

Son muchos los factores que favorecen la fragmentación del paisaje de la localidad, cuando se estudian por separado y después se realiza una integración de todos los elementos (naturales y antrópicos) que se determinaron, se puede identificar que se está trabajando dentro de un sistema natural muy frágil; los factores causativos más relevantes e identificados en la zona son: el desmonte para incrementar la superficie agrícola, la ganadería de libre pastoreo, la extracción de sal, de materiales para la minería y sedimentos finos empleados para la fabricación de implementos de alfarería y cerámica fabricada durante la época prehispánica, en la actualidad algunas parte se han visto mas alteradas al no regular actividades turísticas e incluso de investigación que de una u otra forma requieren del empleo de organismos y elementos abióticos, como fósiles, minerales y rocas; que han favorecido la compactación y la salinidad del suelo, la poca actividad orgánica, el estrés hídrico y los procesos erosivos.

El factor que evidencia de forma más directa la fragmentación es la erosión, en sus dos modalidades hídrica y eólica; empero la primera causa mayores cambios debido al procesos de erosión vertical, cuya consecuencia directa es la formación de barrancos de profundidades variables de 12 a 18 m, provocando la existencia de derrumbes de bloques completos de material, que sepultan semillas y vegetación de las partes bajas; en menor proporción se presenta la erosión lateral, que ensancha los barrancos, afectando las capas superficiales eliminando la cobertura y las costras microbióticas del suelo, dando lugar a la formación de pedestales, canales, nichos y cárcavas ó el aumento en el tamaño de estas. Estos procesos erosivos ocurren a grandes velocidades y son más rápidos que los procesos de sucesión ecológica, lo que da lugar a que los sedimentos de aluvión comiencen a formar las llamadas Tierras Malas.

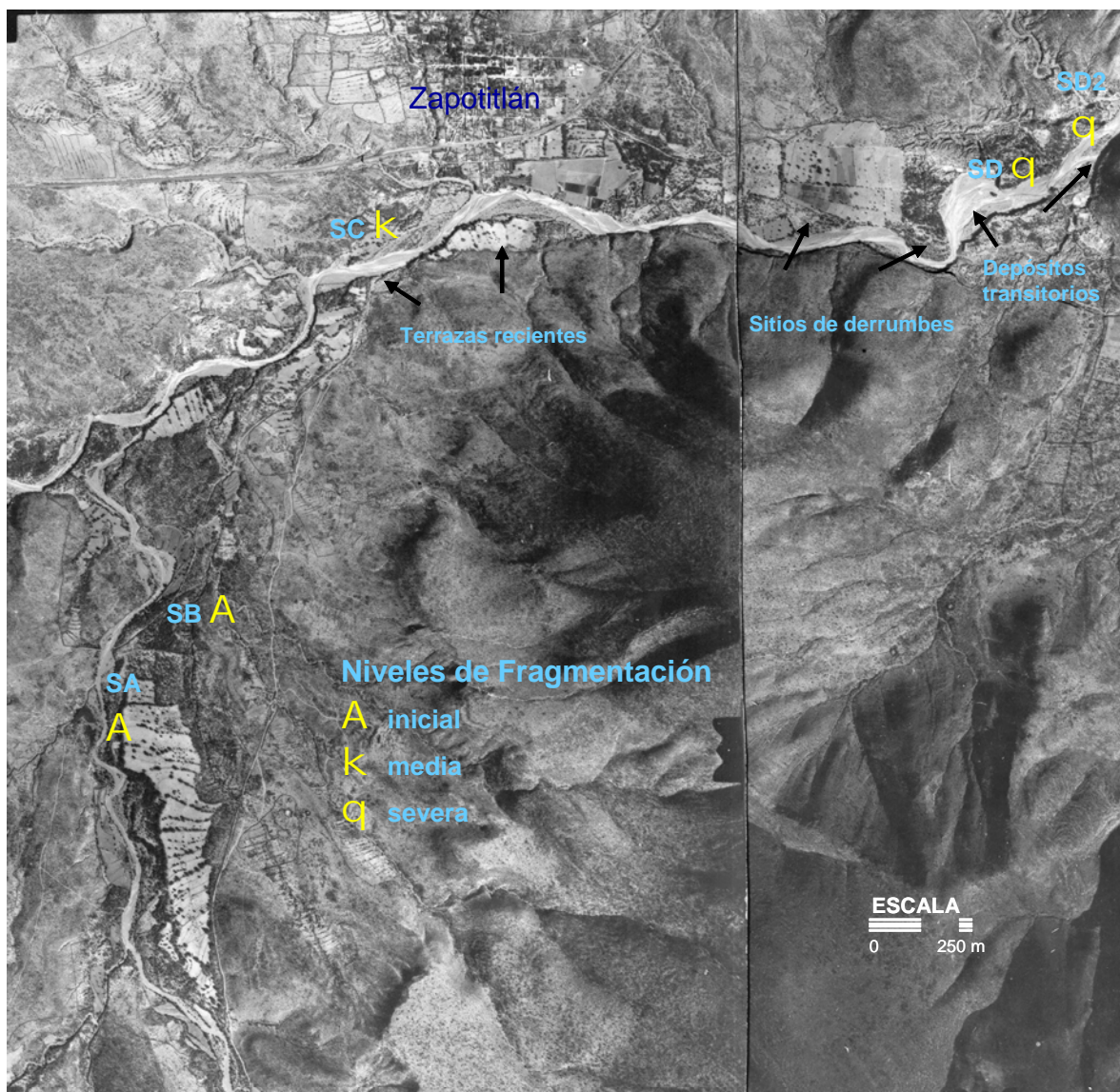
Los desmontes también son muy importantes ya que después de que se llevan a cabo, cuando llueve ocurre el movimiento en flujo que se refiere a la depositación de las fracciones finas (limo y arcilla), en las partes más bajas y al secarse estos se da el proceso de cementación y encostramiento; paralelo a este fenómeno se lleva a cabo la salinización del suelo ya que por capilaridad las sales suben a la superficie.

A medida que se pierde la vegetación original, también se pierden las islas de fertilidad, que se forman debajo del área de influencia de las coberturas y doseles de árboles y arbustos, disminuyendo de forma significativa el aporte de materia orgánica y pérdida de germoplasma; cuando esto ocurre, se puede encontrar un aumento en el número de costras bióticas y también en la superficie de exposición a la radiación solar lo que hace que la evaporación sea más alta que la infiltración, dando como consecuencia la pérdida de agua de las arcillas, provocando que se contraigan y el suelo se agriete favoreciendo así los procesos de erosión.

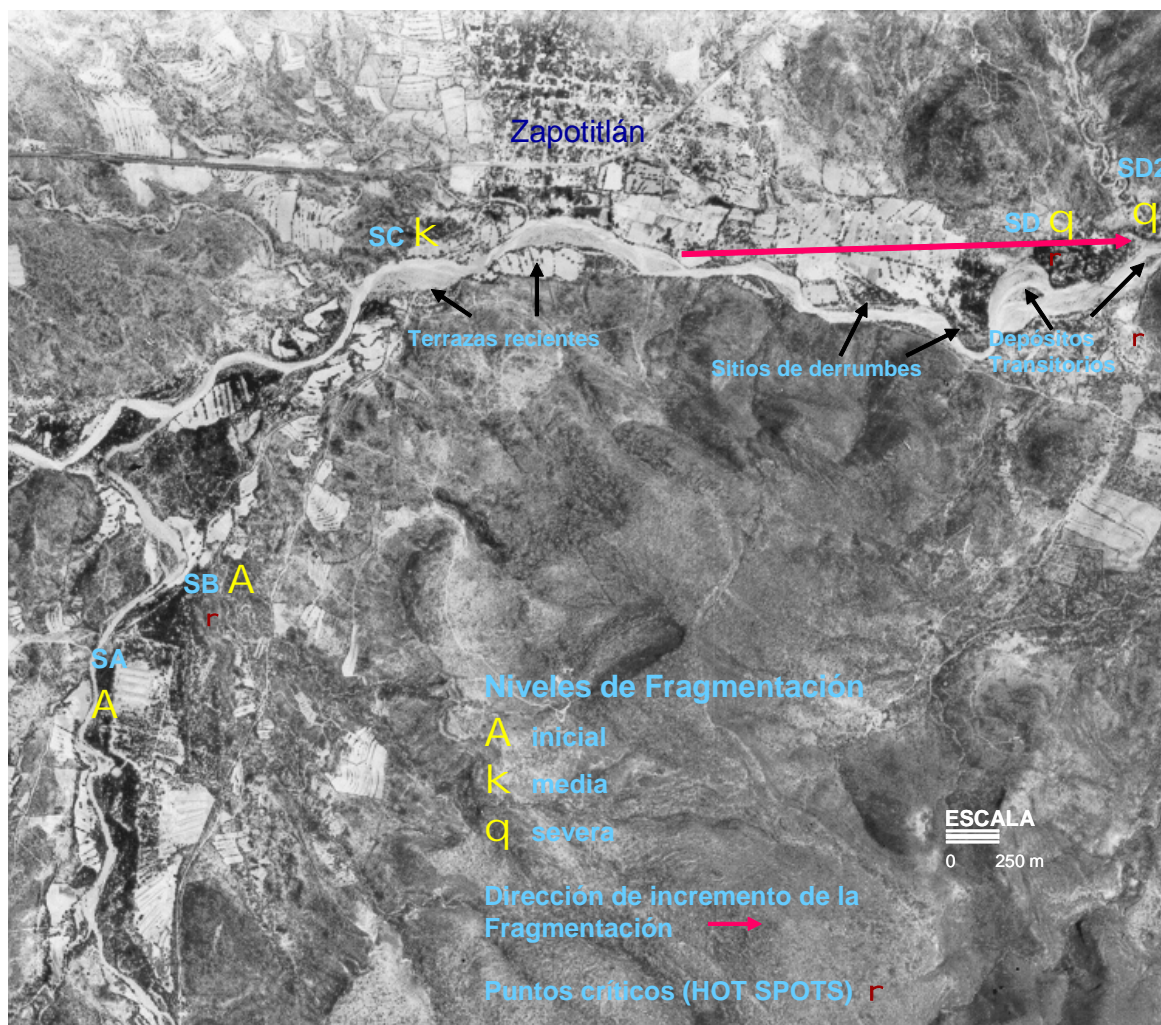
Es imposible el establecimiento de la vegetación en los lugares que presentan un flujo continuo de agua; pero si se permite el acumulo secundario de material, y favoreciendo la sucesión secundaria la revegetación es viable formando terrazas nuevas.

8.6. Análisis del proceso de fragmentación de hábitats en el tiempo

La tendencia del deterioro ambiental y fragmentación de hábitats se determinó realizando un análisis comparativo entre los escenarios presentes en registros de 1970 y 1995 (**fotografía 1 y 2**, respectivamente) y, en la actualidad, a través de la verificación directa hecha en campo.



Fotografía 1. Zona de estudio en 1970.



Fotografía 2. Zona de estudio en 1995.

8.6.1. Impactos directos de la fragmentación sobre el paisaje de las terrazas

A lo largo de 30 años se han sucedido una serie de eventos que han contribuido a la desaparición de hábitats, modificando la dinámica de los sistemas naturales. Las imágenes nos muestran la presencia de parches de diversas dimensiones ordenados acordes a la forma y límites del Valle Aluvial y de forma más particular en relación de las terrazas. En el periodo de tiempo considerado el Valle Aluvial ha sufrido una serie de transformaciones debido al incremento de los desmontes y eliminación de vegetación natural para el establecimiento de zonas de cultivo, observándose que para 1970 las parcelas tienen dimensiones de 7.9 ha, en contraste con las dimensiones actuales que incluyen terrenos de 0.4 a 0.6 ha, esto indica un proceso de fraccionamiento intenso del terreno, que lo que da como resultado el aumento de áreas expuestas. Este proceso se puede observar en la zona Este del jardín botánico, cosa similar sucede al Noroeste de Las Granjas donde los desmontes y atomización de las parcelas promueven una pérdida de la conectancia entre una gran área de mezquital, formando dos parches muy extensos. Otro proceso evidente es el incrementando de los procesos de erosión, lo cual se evidencia en el aumento de la disección de la red de

avenamiento, presentándose localidades donde los derrumbes y transporte de materiales es significativo, como se muestra en las fotografías y el cause del río se va ensanchando, para 1970 se tenía un cause que en las parte más estrechas medían 20 m, en las medias eran de 80 m y en sus partes más anchas de 200 m. Para 1995 y en la actualidad, los mismos sitios miden 32, 130 y 375 m, respectivamente, lo cual indica un proceso de erosión lateral intenso. Por otra parte, existen áreas de depositación y acumulo constante de sedimentos tal como se muestra en algunas secciones del lecho que presentan meandros y terrazas de acumulación o depósitos transitorios, de sedimentos clásticos de diferentes dimensiones que incluyen peñascos, guijarros, gravas y arenas, aún en condición de materiales sueltos; conformando islotes, que varían en tamaño y forma en función del acarreo. Estos son señalados en las imágenes que muestran un área de 706 m² en 1970, mientras que para 1995, fue de 906 m².

En relación a la cobertura vegetal, la vegetación que se encuentra en los Sitios A y B, ha permanecido constante, mientras que los Sitios C y D, esta muestra la aparición de zonas con claros muy evidentes y su desaparición completa en el Sitio D2.

Realizando una jerarquización de acuerdo al nivel de fragmentación, encontramos que los Sitios A y B presentan una fragmentación inicial o leve, el Sitio C media y los Sitios D y D2 una fragmentación severa, debido a la existencia de derrumbes, erosión superficial y subterránea intensa, formación intensa de pedestales en los aluviones y pérdida en la continuidad de la cobertura vegetal. El caso más extremo lo presenta D2, con la formación de tierras malas, donde el sistema natural se ha perdido completamente, de igual forma, la terraza aluvial, se destruye, el movimiento de masas de materiales es intenso, no existe cobertura vegetal y las probabilidades de restauración son mínimas.

La tendencia del proceso de fragmentación y pérdida de hábitats, muestra un avance en dirección Oeste-Este.

Finalmente, el máximo nivel de fragmentación, además de mayor degradación del suelo, permite identificar sitios denominados "Puntos Críticos" (Hot spots, Gutzwiller, 2002), que para nuestros fines requieren de mayor atención y deben ser tomados como punto de referencia para realizar propuestas de conservación. Estos puntos críticos los podemos definir en dos sentidos: a. Aquellos que presentan un nivel bajo de fragmentación y la biota que ahí se desarrolla es representativa de los mezquiales naturales y la actividad humana es menor, y por lo tanto, se sugiere sean sitios destinados para la conservación del sistema, como se muestra en los Sitios A y B. b. Los lugares donde la fragmentación y la degradación de suelo es muy elevada, donde los sistemas bióticos prácticamente han desaparecido, o están en vías de ser eliminados, tal como sucede en los Sitios D y D2, los cuales son prácticamente irrecuperables, e incluso, el sistema de terrazas desaparece completamente.

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

Para la mitigación o minimización de los procesos de degradación del Valle Aluvial se recomienda jerarquizar acciones, a corto plazo, dirigidas a resolver la problemática más crítica en fragmentación y formación de islas, abordando en primer lugar los “puntos críticos” denominados anteriormente: realizando acciones de conservación de suelos y agua, como terrazos, donde la pendiente o inclinación del terreno lo requiera, preservación de sistemas naturales relictuales, restauración de áreas degradadas con flora nativa de importancia local y de importancia ecológica, ya que en la zona se presentan una gran cantidad de elementos florísticos, que por sus estrategias de desarrollo, su manipulación puede favorecer el mantenimiento de la biodiversidad *in situ*; aprovechamiento de aquellas que no causan problemas en su propagación y hacen factibles los procesos de manejo, como el caso de leguminosas y cactáceas; en otros casos, replantar las formas de aprovechamiento, considerando la reglamentación y normatividad del uso de zonas; estrategias de uso racional y controlado de recursos, programas de capacitación local en conservación biológica, proceso continuo de educación ambiental comunitaria. Desde el punto vista de la ecología del paisaje, mantenimiento de la conectividad entre fragmentos, como el caso del área entre los sitios A y B; dar mayor énfasis a los “hot spots” o sitios críticos de la zona D, especialmente las Tierras Malas, regularización de actividades mineras y de extracción de materiales; investigación científica generación de tecnologías para la conservación biótica, retomar y aplicar las estrategias de restauración tradicional que practican los habitantes de la zona. Realizar una reconversión de las actividades agrícolas y pecuarias garantizando la introducción de prácticas de conservación de suelos y manejo de flora forrajera, consumible en función de una capacidad de carga previamente determinada, controlando el número de cabezas de ganado a introducir, para no provocar el avance de la degradación de los suelos.

El anexo 12.3 señala las especies nativas que potencialmente pueden ser empleadas en acciones de conservación y restauración de las áreas de trabajo.

9. CONCLUSIONES

- ❖ El clima, la heterogeneidad fisiográfica y edáfica, conjuntamente con las actividades productivas han influido para que el proceso de degradación de tierras se manifieste de diferentes formas y grados de afectación.
- ❖ Existen 1210.8 ha (30.9%) afectadas por erosión hídrica, con grados de medianos a severos.
- ❖ La degradación física se manifiesta en 60.9 ha (1.6%), predominando la compactación y encostramiento.
- ❖ La degradación química afecta a 32 ha (0.8%) sobre todo por el aporte de residuos municipales.
- ❖ La degradación biológica afecta a 172.9 ha (4.4%), correspondiendo a zonas de formación de Tierras Malas (Badlands) y sitios de derrumbes, siendo el sistema de terrazas aluviales el más afectado.
- ❖ 992.9 ha (25.2%) corresponden a suelos estables, donde la degradación es mínima y coinciden con lugares con sistemas naturales conservados o poco deteriorados.
- ❖ En contraste, se presentan 548.2 ha (13.9%) con regeneración natural de cobertura del sistema, correspondiendo a un matorral secundario de *Prosopis laevigata* con *Cercidium precox*.
- ❖ Se identificaron 633.05 ha (16.1%) de tierras que anteriormente el hombre les dio un uso y es la actualidad se está realizando un proceso natural de sucesión secundaria.
- ❖ La evaluación del estado de conservación de los sitios de menor a mayor deterioro, muestran que los Sitios A y B pertenecen a la categoría de

Relativamente Estable; C y D a la categoría de En Peligro; mientras que las Tierras Malas pertenecen a la categoría Crítica.

- ❖ Los procesos de degradación de tierras y fragmentación de hábitats de forma simultánea incrementan el deterioro ambiental alterando la arquitectura del paisaje, modifican las formas del terreno por erosión, derrumbes y movimiento de materiales; incrementan la degradación física del suelo por compactación; aumentan los niveles de salinidad, pH y existen reducciones importantes de materia orgánica.
- ❖ El cambio de color, aumento de pH, la pérdida del horizonte superficial, aumento en la compactación y la aceleración del movimiento de elementos en el suelo, son el resultado de la acción del hombre por los desmontes, sobrepastoreo, actividades mineras y contaminación por residuos municipales.
- ❖ Los factores que propician la fragmentación son: el desmonte para uso agrícola, la extracción de materiales para la minería, la obtención de sal, la compactación y los altos índices de salinidad en el suelo, la poca actividad orgánica, el estrés hídrico y la erosión.
- ❖ La erosión vertical y la erosión lateral, ambas consecuencia de la erosión hídrica, son procesos que ocurren a mayor velocidad que la sucesión vegetal y dan lugar a que los sedimentos de aluvión comiencen a formar las llamadas Tierras Malas.
- ❖ La pérdida de la vegetación original y de las islas de fertilidad tienen como consecuencia el aumento del número de costras biológicas.
- ❖ El aumento de la superficie de exposición provoca que la evaporación sea más alta que la infiltración, el resultado es el agrietamiento del suelo por la pérdida de agua que sufren las arcillas.
- ❖ La investigación propone tres Puntos Críticos que deben ser considerados en la elaboración de estrategias de conservación y restauración de la zona.

10. SUGERENCIAS

- ❖ Jerarquizar acciones a corto plazo dirigidas a resolver la problemática más crítica.
- ❖ Realizar acciones de conservación de suelos como terrazas, en los que también se puede aprovechar el agua.
- ❖ Preservación de sistemas naturales relictuales, restauración de áreas degradadas con flora nativa de importancia local y tratar de mantener la conectividad entre fragmentos.
- ❖ Es importante la participación de la gente del lugar para reglamentar y normar el uso de zonas con el fin de establecer estrategias de manejo racional o controlado de recursos como la regularización de actividades mineras y de extracción de materiales; por medio de este ejercicio de cooperación, se puede resolver la problemática desarrollo económico-conservación.
- ❖ Generación de programas de capacitación local en conservación biológica que contemple un proceso continuo de educación ambiental comunitaria.
- ❖ Retomar y aplicar las estrategias de restauración tradicional que practican los habitantes de la zona.
- ❖ Por medio de la investigación científica promover la generación de tecnologías para la conservación biótica.
- ❖ Para fines de estudios posteriores es importante tomar en cuenta las trayectorias de cambio, considerando al paisaje como un mosaico dinámico de distintos tipos de cobertura y que la probabilidad de transición es multidireccional.
- ❖ Hacer análisis multitemporales que permitan discriminar mejor las dinámicas de cambio prevalecientes en la zona.

- ❖ Tomar en cuenta que la conservación efectiva requiere de bases de datos precisas de plantas y animales que consideren el *status* que estos presenten dentro del ecosistema.

11. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

AG/UNEP. 1987. Drylands dilema: 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.

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.* Libreto-Guía. México. Internacional Geological Congreso. 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.

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

Arshad M.A., Martin S. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment. 88:153-160

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.

Bennett A.F., 1990. Habitat corridors and the conservation of small mammals in a fragmented forest environment. *In: de Lima M., Gascon C. 1999.* The conservation value of linear forest remnants in central Amazonia. Biological Conservation. 91: 241-247.

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.

Bradley S. and Merrillyn L. 1999. Common blossom bats (*Syconycteris australis*) as pollinators in fragmented Australian tropical rainforest. Biological conservation. 91: 201-212.

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., 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.

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.

Cale P. 2003. The influence of social behaviour, dispersal and landscape fragmentation on population structure in a sedentary bird. *Biological Conservation*. 109: 237-248.

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.

Carvalho K.S., Vasconcelos H.L., 1999. Forest fragmentation in central Amazonia and its effects on litter-dwelling ants. *Biological Conservation*. 91: 151-157.

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

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.

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

Dale V.H., Pearson S.M. 1997. Quantifying habitat fragmentation due to Land use chage in Amazonia. *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.

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.

de Lima M., Gascon C. 1999. The conservation value of linear forest remnants in central Amazonia. *Biological Conservation*. 91: 241-247.

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.

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

Esparza O.L., Valverde T., Vilchis-Anaya E. 2002. Demographic análisis 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.

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, D:F.Vol. IV. p. 323-368.

García E. 1988. 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. Tlalnepantla, Edo. de 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. Puebla, México. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. Investigaciones Geográficas. 23: 57-70.

Gascon C., Lovejoy T., Bierregaard R., Malcom J., Stouffer P., Vasconcelos H., Laurence W., Zimmerman B., Tocher M., Borges S. 1999. Matrix habitat and species richness in tropical forest remnants. Biological Conservation. 99: 223-227.

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.

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. Secretariat for Science, Technology and Environment. Brazil.

Gutzwiller K. (Ed.) 2002. Applying landscape ecology in biological conservation. Springer.

Hall P., Walker S. y Bawa K., 1996. Effect of forest fragmentation on genetic diversity and mating system in a tropical tree, *Pithecellobium elegans*. In: Bradley S. and Merrilyn L. 1999. Common blossom bats (*Syconycteris australis*) as pollinators in fragmented Australian tropical rainforest. Biological conservation. 91: 201-212.

Henein K., Merriam G., 1990. The elements of connectivity where corridor quality is variable. In: de Lima M., Gascon C. 1999. The conservation value of linear forest remnants in central Amazonia. Biological Conservation. 91: 241-247.

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. Tlalnepantla, Edo. de Mex.

Horta P.G. 2001. Distribución de elementos metálicos biodisponibles en las Terrazas Aluviales de Zapotitlán, Puebla. Memorias Simposio UBIPRO 2001. Marzo 28-29.

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

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

Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI). 1989. Guías Para la Interpretación de Cartografía-Climatología. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D.F. 50 pp.

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

Kaihura F.B.S., Kullaya I.K., Kilasara M., Aune J.B., Singh B.R., Lal R. 1999. Soil quality effects of accelerated erosion and management systems in three eco-regions of Tanzania. Soil & Tillage Research. 53: 59-70.

Kapos V. 1989. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. *In:* Tabarelli M., Montorani W., Peres C. 1999. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montane Atlantic forest of southeastern Brazil. *Biological Conservation*. 91: 119-127.

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 Mediterranean conditions. *Catena*. 40: 3-17.

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

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

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

Laurance W.F., Ferreira L.V., Rankin-de-Merona J.M. y Laurance S.G., 1998. Rain forest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree communities. *In:* Tabarelli M., Montorani W., Peres C. 1999. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montane Atlantic forest of southeastern Brazil. *Biological Conservation*. 91: 119-127.

Laurance W.F., Gascon C., 1997. How to creatively fragment a landscape. *In:* de Lima M., Gascon C. 1999. The conservation value of linear forest remnants in central Amazonia. *Biological Conservation*. 91: 241-247.

Law S. y Dickman R. 1998. The use of habitat mosaics by terrestrial vertebrates: implications for conservation and management. *In:* Bradley S. and Merrilyn L. 1999. Common blossom bats (*Syconycteris australis*) as pollinators in fragmented Australian tropical rainforest. *Biological conservation*. 91: 201-212.

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

Leon 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.

Lovejoy T. 1999. The Ecology and Management of Fragmented Tropical Landscapes. *Biological Conservation*. 91: 99.

Lovejoy T.E., Bierregaard Jr. R.O., Rylands A.B., Malcolm J.R., Quintela C.E., Harper L.H., Brown Jr. K.S., Powell A.H., Powell G.V.N., Schubart H.O.R. y Hays M. 1986. Edge and other effects of isolation on Amazon forest fragments. *In:* Soule, M.E. Editor, 1986. *Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity* Sinauer Associates Inc, Sunderland, MA, pp. 257–285.

Malcom J.R., 1997. Biomass and diversity of small mammals in Amazonian forest fragments. *In:* de Lima M., Gascon C. 1999. The conservation value of linear forest remnants in central Amazonia. *Biological Conservation*. 91: 241-247.

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

Meffe G.K. y Carroll C.R., 1994. What is conservation biology?. *In:* de Lima M., Gascon C. 1999. The conservation value of linear forest remnants in central Amazonia. *Biological Conservation*. 91: 241-247.

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

Mesquita R., Delamónica P., Laurence W. 1999. Effect of surrounding vegetation on edge-related tree mortality in Amazonian forest fragments. *Biological Conservation*. 91: 129-134.

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

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, Iztacala, Tlalnepantla, Edo. de 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.

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

Noss R.F., 1987. Corridors in real landscapes: A reply to Simberloff and Cox. *In:* de Lima M., Gascon C. 1999. The conservation value of linear forest remnants in central Amazonia. *Biological Conservation*. 91: 241-247.

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. FES Iztacala, UNAM. Tlalnepantla, Edo. de Mex.

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). 1999. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Roma.

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.

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

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

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

Simberloff, D., 1976. Experimental zoogeography of islands: effects of island area. *In:* Tabarelli M., Montorani W., Peres C. 1999. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montante Atlantic forest of southeastern Brazil. *Biological Conservation.* 91: 119-127.

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

Tabarelli M., Montorani W., Peres C. 1999. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montante Atlantic forest of southeastern Brazil. *Biological Conservation.* 91: 119-127.

Téllez V.O., 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.

Terborgh J. y Winter B., 1980. Some causes of extinction. *In:* Tabarelli M., Montorani W., Peres C. 1999. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montante Atlantic forest of southeastern Brazil. *Biological Conservation.* 91: 119-127.

Terborgh J., Lopez L., Tello J., Yu D. y Bruni A.R., 1997. Transitory states in relaxing ecosystems of land bridge islands. *In:* Tabarelli M., Montorani W., Peres C. 1999. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montante Atlantic forest of southeastern Brazil. *Biological Conservation.* 91: 119-127.

Tilman D., May R.M., Lehman C.L. y Nowak M.A. 1994. Habitat destruction and the extinction debt. *In:* Tabarelli M., Montorani W., Peres C. 1999. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montante Atlantic forest of southeastern Brazil. *Biological Conservation.* 91: 119-127.

Tocher M.D., Gascon C. y Zimmerman B.L. 1997. Fragmentation effects on a central Amazonian frog community: a ten year study. *In:* de Lima M., Gascon C. 1999. The conservation value of linear forest remnants in central Amazonia. *Biological Conservation.* 91: 241-247.

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

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., Escurra 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.

Young, A., Boyle, T. and Brown, T., 1996. The population genetic consequences of habitat fragmentation for plants. *In: Bradley S. and Merrilyn L. 1999. Common blossom bats (*Syconycteris australis*) as pollinators in fragmented Australian tropical rainforest. Biological conservation.* 91: 201-212.

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:

Zuidema P.A., Sayer J.A., Dijkman W. 1996. Forest fragmentation and biodiversity: the case for intermediate size conservation areas. *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.*

Páginas web.

Comisión Nacional Forestal

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

Noviembre 2003.

12. ANEXOS

12.1. 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 (S)

Terrenos estables con cobertura vegetal natural permanente (SN)

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

Pérdida del suelo superficial (WT)

Deformación del terreno (Wd)

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

Grado de degradación por erosión hídrica (Wt/Wd)

Nulo (Wt/Wd 0)

Ligero (Wt/Wd 1)

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

En zonas de pastoreo: la cubierta de vegetación original/óptima de plantas perennes 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 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 sépticas o con duripán expuesto.

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

Extremo (Wt/Wd 4)

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

Degradación por deterioro químico (C)

Pérdida de nutrientes, lo que comúnmente conduce a una reducción significativa de la producción (ej. Lavado acelerado de suelos) (Cn)

Contaminación por aporte de residuos sólidos municipales (Cp)

Salinización y áreas salinas (Cs)

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 (Pc).

Nulo (Pc 0)

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

Ligero (Pc1)

Suelos de textura gruesa semiestructurados, con estructura de moderada a fina o a media en bloques; algunos poros, grietas y canales expandiéndose a través de los horizontes, muchos con menos de 2mm 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 a baja.

Moderado (Pc 2)

Suelos de textura media o gruesa, con estructura débilmente desarrollada estratificada o laminar y suelos de textura fina con “peds” 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/cc, cementados o fuertemente empaquetados y suelos de textura fina masiva con Da mayor a 1.4 g/cc; DA mayor con 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, son esencialmente impermeables; la 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 sodicació (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 (Ar)

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, tlaco, 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)

12.2. Evaluación del estado de conservación de las ecoregiones

METAS:

- ❖ Una representación de todas las distintas comunidades naturales.
- ❖ El mantenimiento de los procesos ecológicos y evolutivos que crean y soportan la biodiversidad.
- ❖ El mantenimiento de poblaciones viables de especies.
- ❖ La conservación de áreas de hábitats naturales lo suficientemente grandes, para que puedan responder a perturbaciones periódicas a gran escala y a cambios a largo plazo.

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 las prioridades se fijaban con base en los listados de especies y tenían en cuenta la diversidad de ecosistemas y la biota en ellos contenida.

La eco-región está definida 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.”

El nivel de resolución de ecoregiones es el nivel mínimo requerido para alcanzar una representación regional y lograr una planificación efectiva para la conservación de la biodiversidad. Los límites de la ecoregión deben identificar un área sobre la cual una estrategia de conservación particular pueda ser implementada efectivamente.

Pasos para deducir las prioridades para la conservación de la Biodiversidad:

1. Desarrollo del esquema jerárquico de clasificación: Tipos principales de ecosistemas (TPE), tipos principales de hábitats (TPH), ecoregiones seleccionadas, bioregiones seleccionadas.

2. Determinación del estado de conservación instantáneo de las ecoregiones, asignando los siguientes valores de importancia a las características del paisaje:

Pérdida de hábitat 40%
Bloques de hábitat 20%
Fragmentación/degradación 20%
Tasa de conversión 10%
Grados de protección 10%

3. Evaluación de la distintividad biológica de las ecoregiones, basándose en la riqueza de especies, endemismo, diversidad beta, fenómenos biológicos y la rareza relativa del tipo de hábitat.

4. Determinación del estado de conservación final, modificando el estado de conservación con el análisis de amenazas.

5. Juntando 3 y 4, aplicación de la matriz de integración.

6. Identificación de las prioridades incorporando consideraciones de representatividad bioregional.

Próximos pasos: desarrollar análisis dentro de las ecoregiones para identificar sitios prioritarios y actividades para su conservación (por ejemplo: analizar características del paisaje, patrones de biodiversidad y hábitats críticos, áreas protegidas, uso de la tierra y factores institucionales, económicos y políticos).

Definiciones:

Un TPE es un conjunto de ecoregiones que: (a) tienen ecosistemas con dinámicas comparables; (b) responden a las perturbaciones de manera similar; (c) muestran grados de diversidad beta similares; y (d) requieren métodos de conservación específicos para el nivel de ecosistema.

Un TPH es un grupo de ecoregiones que: (a) experimentan condiciones climáticas comparables; (b) tienen una estructura de vegetación similar; (c) presentan un patrón especial de biodiversidad similar (es decir, niveles de diversidad beta), y (d) tienen flora y fauna con una estructura de gremios e historias de vida similares.

Una Ecoregión es un ensamble geográficamente definido, constituido por comunidades naturales que: (a) comparten la gran mayoría de sus especies y dinámica ecológica; (b) tienen condiciones ambientales similares; y (c) sus interacciones ecológicas son críticas para su persistencia a largo plazo.

Una bioregión, divisiones biogeográficas, es un grupo de ecoregiones geográficamente relacionadas, que comparten una historia biogeográfica similar y por lo tanto tienen una gran afinidad en sus niveles taxonómicos superiores (géneros y familias).

Índice del estado de conservación, utiliza características a nivel de paisaje. Los indicadores son: pérdida de hábitat original; la presencia de áreas grandes y continuas de hábitat, el grado de fragmentación y degradación, las tasas de conversión del hábitat y el grado de protección dentro de una ecoregión. Los indicadores seleccionados y la manera como son medidos, sirven como predictores robustos de: (a) la medida en que los componentes importantes de la biodiversidad (especies clave, raras o la presencia de poblaciones viables de grandes predadores probablemente persistirán en el tiempo) y (b) el mantenimiento de importantes procesos ecológicos. El mantenimiento de áreas y procesos se evalúa mejor utilizando características a nivel de paisaje. La degradación indicada por estas características del paisaje tendría un impacto en la conservación de la biodiversidad regional, debido a que la pérdida extensiva de áreas de hábitat natural original es esencialmente irreversible. En los casos extremos, la restauración de hábitats transformados o seriamente degradados, es demasiado costosa y lenta como para ser una herramienta efectiva para la conservación.

Estado de conservación instantáneo:

El estado de conservación se determina sumando los valores numéricos asignados a cinco variables a nivel de paisaje: pérdida de hábitat original, número de grandes áreas de hábitat original, grado de fragmentación y degradación, tasa de conversión del hábitat remanente, y grado de protección.

Categorías del estado de conservación

La gama de valores para clasificar las ecoregiones, fueron deducidos a partir de la literatura de la biología de la conservación, ecología teórica y ecología de paisajes. Además se tomó en cuenta el marco de la ecología espacial, la teoría de los sistemas complejos (Vega, 2000) de la integridad ecológica, salud del ecosistema, salud del suelo (Bouma e Imeson, 2000), calidad del suelo (Arshad y Martin, 2002), información multiescala.

Las categorías del estado de conservación son:

Extinto. No existen comunidades naturales similares a los ecosistemas originales. Alguna de la biota original está aún presente, pero persiste solo dentro de comunidades y paisajes muy modificados. No existen oportunidades para la restauración de comunidades naturales originales, debido a la permanente alteración de las condiciones físicas, la pérdida de las fuentes naturales de especies nativas, la alteración considerable de los procesos ecológicos naturales, o la inhabilidad para erradicar o controlar especies extranjeras invasoras (especies exóticas, arcenses, maleza, etc.).

Crítico. El hábitat intacto remanente se encuentra restringido a fragmentos pequeños y aislados y tiene una baja probabilidad de persistir en los próximos cinco o diez años, a menos que se implementen medidas instantáneas o continuas de protección y restauración. Muchas especies han sido ya eliminadas o extintas, debido a la pérdida de hábitat viable. Los fragmentos de hábitat remanente no alcanzan los requerimientos mínimos de área para el mantenimiento viable de muchas poblaciones de especies y la continuidad de procesos ecológicos. El uso de la tierra en las áreas que separan los fragmentos remanentes es a menudo incompatible con el mantenimiento de las especies y comunidades nativas. La dispersión de especies exóticas puede ser un problema ecológico serio, particularmente en las islas.

En Peligro. El hábitat natural remanente está restringido a fragmentos aislados de tamaño variable (unos pocos bloques pueden estar presentes), con probabilidades medias a bajas de persistencia en los próximos diez a quince años, a menos que sean restaurados de instantáneo y protegidos continuamente. Algunas especies han sido ya eliminadas debido a la pérdida de hábitat viable. Los fragmentos de hábitat remanente no cumplen con los requisitos mínimos de tamaño de área para la mayoría de las poblaciones de especies, ni para mantener los procesos ecológicos a gran escala. El uso de la tierra en las áreas que separan los fragmentos remanentes es a menudo

incompatible con el mantenimiento de las especies y comunidades nativas. Los predadores superiores han sido exterminados casi por completo.

Vulnerable. El hábitat intacto remante se encuentra en bloques que varían en tamaño; es muy probable que muchos grupos aún intactos persistan en los próximos 15-20 años, especialmente si se implementan medidas apropiadas de protección y una restauración moderada. En muchas áreas, algunas especies sensibles o explotadas han sido eliminadas o están disminuyendo; esto puede ser cierto especialmente en el caso de predadores superiores y especies de caza. El uso de la tierra en las áreas que separan los bloques de hábitat remanente, algunas veces es compatible con el mantenimiento de la mayoría de especies y comunidades nativas.

Relativamente Estable. Las comunidades naturales han sido alteradas en ciertas áreas, causando una disminución en las poblaciones explotadas y la perturbación de los procesos en los ecosistemas. Estas áreas perturbadas pueden ser extensas pero aún están distribuidas en parches respecto a las áreas de hábitat intacto. Los vínculos ecológicos entre los bloques de hábitat intactos continúan siendo funcionales en gran parte. Gremios de especies que son sensibles a las actividades humanas, tales como los predadores superiores, aves que habitan en el suelo, se encuentran presentes pero en densidades por debajo de los valores naturales de variación.

Relativamente Intacto. Las comunidades naturales al interior de una región se encuentran en gran parte intactas, presentando especies, poblaciones y procesos al nivel de ecosistemas que operan dentro de los valores de variación naturales. Gremios de especies que son sensibles a las actividades humanas, tales como los predadores superiores, las aves habitan en el suelo, se encuentran presentes y dentro de los valores naturales de variación. La biota se mueve y dispersa de manera natural al interior de la región. Los procesos ecológicos fluctúan de manera normal a lo largo del hábitat natural el cual es en gran parte continuo.

Estado de conservación final

La “evaluación” instantánea” del estado de conservación, es una evaluación basada en la configuración presente del hábitat; incorporó una estimación de amenazas utilizando la tasa de conversión y el grado de degradación. Sin embargo, para una ecoregión particular, uno puede identificar fácilmente otras amenazas severas que probablemente afectarán la trayectoria de los esfuerzos de conservación a largo plazo. El tipo, la escala y la dimensión temporal de las amenazas (por ejemplo: reforestación, minería, sobrepastoreo, polución, sobre extracción de vida silvestre).

Distintividad Biológica

Una evaluación de la importancia biológica relativa de las ecoregiones debe formar parte de cualquier ejercicio de establecimiento de prioridades. La importancia biológica de las ecoregiones es el grado en que su diversidad (tanto de componentes como de procesos) es distinta a diferentes escalas biogeográficas. Definimos esta evaluación espacio-temporal como la distintividad biológica de una ecoregión. Todas las

ecoregiones hasta cierto punto son biológicamente distintas, particularmente a nivel de especies y de ensamble de especies.

Categorías de distintividad biológica: Sobresaliente a nivel global, Sobresaliente a nivel regional, Sobresaliente a nivel Bio-regional, Importante a nivel local. En este trabajo y de acuerdo al nivel espacial se considera la categoría Importante a Nivel Local. La categorización se define en función de:

- Riqueza de especies, con énfasis en los siguientes taxa: plantas, mamíferos, aves, reptiles, anfibios y mariposas. En diversidad beta.
- Endemismo, dando énfasis a los mismos taxa del número 1.
- Complejidad en la distribución de especies dentro de la región (diversidad beta, diversidad gama a escalas más grandes y patrones locales de endemismo).
- Peculiaridad y rareza de ciertos fenómenos ecológicos en términos de estructura o propiedades dinámicas.
- Número de ecoregiones dentro del mismo Tipo Principal de Hábitat.
- Tamaño de la ecoregión.

Matriz integradora par asignar prioridades regionales

Estado de Conservación Final

Distintividad Biológica	Crítico	En Peligro	Vulnerable	Relativamente Estable	Relativamente Intacto
Importante a Nivel Local	BAD LAND	SITIO D	SITIO C	SITIOS A y B	

El **matorral xérico** de **Puebla** presenta un **Estado de Conservación Crítico**, y una Distintividad Biológica **Sobresaliente a Nivel Bio-Regional**, esto debido a su importancia biogeográfica y a que pertenece a la Reserva de la Biósfera de Tehuacán-Cuicatlán. El Mezquital del centro de México es clasificado como En Peligro de acuerdo al estado de conservación Final, e Importante a Nivel Local, por su Distintividad Biológica. El Mezquital de San Lucas, que es Relativamente intacto de acuerdo a su estado de conservación Final, e Importante a Nivel local por su distintividad biológica. No se han clasificado: Mezquital oriental de México y Chaparral del Interior de México (ambos Importantes a Nivel Local) y Matorral de cactus del centro de México (Sobresaliente a Nivel Bio-Regional).

El Matorral xérico de Puebla es considerado como una ecoregión de **Máxima Prioridad Regional** según la Bio-Región y Tipo Principal de Hábitat.

Metodología para escalas geográficas más detalladas

Un análisis del valor de persistencia de bloques o grupos de bloques de hábitat remanente, para determinar su probabilidad relativa de mantener la biodiversidad a largo plazo. Utilizamos características de paisaje tales como el tamaño mínimo de los bloques para conservar la biodiversidad y los procesos ecológicos, la configuración de los bloques remanentes y un análisis de intervención de hábitats para evaluar la integridad del paisaje.

Un análisis de biodiversidad y hábitats críticos para sobreponer patrones de riqueza de especies, sitios clave, áreas de alto endemismo o diversidad beta, tipos raros de hábitat, poblaciones de especies raras, hábitats críticos para especies migratorias o residentes y hábitats centrales al interior de una ecoregión.

Un análisis de áreas protegidas existentes y corredores, sobrepuesto a los dos primeros planos. Este paso ayuda a determinar donde deben ser asignadas las inversiones primero y cuales requieren de una mayor atención.

Un análisis del uso de la tierra para determinar la factibilidad de crear nuevas reservas y manejar los hábitats adyacentes a las áreas protegidas, de una manera más compatible con la preservación de la biodiversidad.

Esto puede servir para mejorar la identificación y establecimiento de prioridades entre: (a) los grandes bloques de hábitat natural remanente con un potencial alto para la conservación de la biodiversidad a largo plazo; y (b) los hábitats biológicamente ricos pero altamente fragmentados que requieren una atención urgente.

Métodos utilizados para evaluar el estado de conservación de las ecoregiones terrestres

Objetivos:

- Identificar los tipos principales de hábitat y ecoregiones que se encuentran más amenazadas, y ayudar a priorizar las intervenciones que prevengan su completa degradación conversión.
- Crear programas para conservar los tipos principales de hábitats que se encuentren más intactos.
- Ayudar a definir las actividades de conservación apropiadas para los diferentes tipos de paisaje.

Categoría del Estado de Conservación:

- Extinto
- Crítico
- En peligro
- Vulnerable
- Relativamente estable
- Relativamente intacto

Estas representan los diferentes tipos de alteración y los distintos patrones espaciales de hábitats remanentes a lo largo del paisaje. Reflejan el efecto que tienen el aumento de la pérdida de hábitat, la degradación y la fragmentación, en la alteración o detención de los procesos ecológicos y en la pérdida continua de los principales componentes de la biodiversidad. Las características a nivel de paisaje son utilizadas como indicadores de la integridad ecológica de los ecosistemas.

Explicación de los criterios empleados

Debido a que la pérdida de la biodiversidad y la alteración de los procesos ecológicos, son difíciles de medir directamente, los conservacionistas dependen cada vez más de parámetros a nivel de paisaje como indicadores. La metodología emplea el porcentaje de hábitat original perdido, la presencia de bloques grandes de hábitat original intacto, el grado de fragmentación y degradación del hábitat, las tasas de conversión, y grado de protección. Basados en principios de la ecología de paisajes y la biología de la conservación, se asume que estas variables ayudan en la predicción de: la habilidad de un ecosistema para mantener los procesos ecológicos (dinámica de poblaciones de predadores y presas variando dentro de los límites naturales, polinización y dispersión de semillas, ciclos de nutrientes, migración, dispersión y flujo genético); y los componentes de la biodiversidad (por ejemplo: predadores superiores o especies clave) que influyen enormemente en la cantidad y tipo de biodiversidad que persistirá a largo plazo.

Pérdida total del hábitat

La pérdida del hábitat ha sido reconocida por mucho tiempo como uno de los principales factores que contribuyen a la reducción y pérdida de poblaciones terrestres, especies y ecosistemas. Este criterio enfatiza la rápida pérdida de especies esperada en los ecosistemas cuando el área total de hábitat remanente cae por debajo de los niveles críticos mínimos.

La pérdida de hábitat reduce la biodiversidad debido a: la eliminación de especies o comunidades que están limitadas a determinadas localidades geográficas; la disminución del área original por debajo del tamaño mínimo par mantener la dinámica ecológica crítica a gran escala a nivel de ecosistemas; y, la degradación y fragmentación de hábitat remanente que es tan pequeño o aislado que los fragmentos individuales o su conjunto, pierden la habilidad de mantener poblaciones viables o procesos ecológicos importantes.

Bloque de Hábitat

Un parámetro para la evaluación del estado de conservación es el número y tamaño de bloques contiguos de hábitat. La dinámica de poblaciones y ecosistemas, tienen requerimientos específicos de área mínima para poder funcionar naturalmente. Por lo tanto, los bloques de hábitat deben ser lo suficientemente grandes para poder mantener dicha dinámica en funcionamiento. Grandes bloques de hábitat mantienen poblaciones de especies más grandes y viables; además permiten la persistencia de una gama mayor de especies y dinámica ecosistémica. El cubrimiento geográfico de varios bloques grandes, también conserva una gama mayor de hábitats, gradientes ambientales y especies.

La teoría de la redundancia sugiere que la presencia de tres o más ejemplos de un ecosistema incrementan significativamente la probabilidad de que este persista a largo plazo. La presencia de varios bloques con comunidades similares permite la recolonización y persistencia de especies y tipos de hábitat particulares. En ecoregiones caracterizadas por un alto grado de diversidad beta (renovación de especies a lo largo de gradientes ambientales), es especialmente importante la presencia de múltiples bloques de hábitat que se encuentren bien distribuidos a lo largo del paisaje para conservar especies y hábitats.

Fragmentación del Hábitat

La fragmentación de hábitat coloca en peligro demográfico a muchas especies que presentan bajas densidades poblacionales. A medida que la fragmentación aumenta, la cantidad de área de hábitat central disminuye. Fragmentos inferiores a los 100 km² no son adecuados para mantener poblaciones viables de la mayoría de vertebrados grandes. Algunas especies de aves, árboles y mariposas, que se encuentran típicamente en densidades muy bajas o que tienen distribuciones en parches, también pueden perderse si se encuentran en fragmentos pequeños. También es posible que fragmentos pequeños puedan ser valiosos para conservar comunidades y especies representativas, especialmente en regiones que están caracterizadas por altos niveles de diversidad beta. Muchos invertebrados, plantas, hongos y pequeños vertebrados, pueden conservarse efectivamente dentro de pequeños bloques de hábitat original. Fragmentos pequeños también pueden servir como pasos importantes para el movimiento y dispersión de especies. Para identificar el grado de importancia del fragmento es importante determinar las áreas centrales donde es factible y evidente que los procesos ecológicos continúan funcionando de manera natural. En aquellos paisajes donde la fragmentación del hábitat se encuentra más avanzada, se han dado puntajes asociados a las diferentes categorías, que reflejan la severidad de la perturbación de los ecosistemas.

Degradación del Hábitat

La degradación del hábitat producida por actividades humanas, como la extracción, desmontes, cambio de uso de suelo, sobrepastoreo, minería, urbanización, tienen impacto en la viabilidad a largo plazo de los ecosistemas. Cuantificar la degradación del

hábitat es problemática porque: la degradación del hábitat a menudo es en parches; los estados de degradación del hábitat forman un continuo y no se pueden clasificar fácilmente, los efectos ecológicos de las diferentes formas de degradación son poco claros y pueden ocurrir en escalas temporales que van desde semanas hasta cientos de años. El valor del índice de fragmentación es dividido en dos: un índice de fragmentación y un índice de degradación.

Conversión del Hábitat

Las tasas de conversión son estimadores menos poderosos del estado de conservación que las características del paisaje a gran escala porque: los efectos ecológicos asociados con las tasas de conversión varían considerablemente, dependiendo del tamaño original de la ecoregión, la cantidad de hábitat remanente, y el momento en que fueron estimadas las tasas y los patrones espaciales de conversión; la gran incertidumbre asociada con la estimación de las tasas de conversión actuales; la sensibilidad de las tasas de conversión a cambios relativamente pequeños en el comportamiento humano; y la pérdida real de hábitat es típicamente muy pequeña en relación con la gran alteración del paisaje durante los últimos siglos. Las tasas de conversión recientes proporcionan alguna información acerca de la trayectoria de pérdida de hábitat, fragmentación y tamaño de los parches en las dos próximas décadas. Para el caso Zapotitlán es importante resaltar los cambios que se han dado en el pasado reciente.

Grado de Protección

El criterio de grado de protección evalúa que tan bien los humanos han conservado bloques de hábitat intacto suficientemente grandes. En este criterio se enfatizan áreas protegidas, manejadas principalmente para la conservación de la biodiversidad o de cualquier manera protege efectivamente los hábitats intactos. Las áreas protegidas no son utilizadas como los principales indicadores del estado de conservación de una ecoregión porque: la distribución de áreas protegidas no refleja necesariamente la extensión y la configuración del hábitat original que aún existe o la integridad de los ecosistemas en todo el paisajes; muchas áreas protegidas contienen hábitats que no serían considerados intactos; y la mayoría de las áreas protegidas son actualmente escasas y pequeñas. El grado de protección debería de considerar:

- El grado en que se preservan adecuadamente bloques grandes de hábitat.
- El nivel de redundancia de áreas protegidas necesario para ayudar a garantizar la persistencia a largo plazo de los tipos de hábitats, comunidades, las especies en peligro, hábitats críticos para las especies o los procesos.
- El grado en que se encuentran las condiciones ideales o necesarias para poder conservar la biodiversidad, los hábitats, especies y procesos ecológicos locales.
- El grado de conectividad entre bloques o fragmentos para la dispersión de especies y continuidad de procesos ecológicos.
- Efectividad en el manejo de áreas protegidas.

Determinación del estado de conservación instantáneo: importancia y categorías

El índice del estado de conservación se indica en un intervalo de puntos que va de 0 a 100, donde los valores más grandes indican niveles más altos de peligro. La determinación de la importancia relativa de los diferentes parámetros del índice son los siguientes:

Importancia (%)	Parámetro
40	Pérdida total de hábitat
20	Bloques de hábitat
20	Fragmentos del hábitat (10% fragmentación y 10% degradación)
10	Conversión del hábitat
10	Grado de protección

Los puntos umbrales para las diferentes categorías de los estados de conservación se enlistan a continuación (la clasificación de “extinto” se basa en la evaluación de expertos):

Puntos	Estado de Conservación
0-6	Relativamente Intacto
7-36	Relativamente Estable
37-64	Vulnerable
65-88	En Peligro
89-100	Crítico

Determinación de los puntajes para cada criterio

Definición de dos clases amplias: Intacto y Alterado.

Los hábitats intactos o remanentes presentan áreas relativamente imperturbadas que se caracterizan por el mantenimiento de la mayoría de sus especies nativas.

TPE de pastizales/sabanas/matorrales y formaciones xéricas: el hábitat no ha sido afectado por cambios importantes en los patrones de inundación o de aguas superficiales. La gran mayoría de especies de plantas nativas aún se encuentran en abundancias típicas de los valores de variación naturales y los patrones de sucesión siguen ciclos naturales, la actividad humana no tiene un impacto significativo en la biota nativa. Es factible que no se encuentren grandes mamíferos y aves en algunos bloques grandes de hábitat, debido a la explotación o a la falta de área disponible, tales bloques pueden aún mantener muchas especies nativas de plantas, invertebrados, vertebrados y los procesos ecológicos asociados a ellas.

Puntos	Hábitat Original Perdido
0	0-10%
10	10-24%
20	24-49%
32	50-89%

40	Menos de 90%
----	--------------

Bloques de Hábitat

Puntajes	Tamaño de la ecoregión menos de 1.000 km ² *
2	80-100% intacto
5	40-80% intacto
10	10-40% intacto
15	1-10% intacto
20	Menos de 1% intacto

*menos de 1.000 significa “la ecoregión contiene al menos un bloque de hábitat de menos de 1000 km²”. Los valores en porcentajes se refieren a la proporción del tamaño original de la ecoregión se considera como hábitat intacto.

Fragmentación del hábitat

El índice puede evaluar propiedades como: la proporción de hábitat central (el hábitat que no es afectado por los efectos de borde, utilizando una distancia determinada) en un paisaje fragmentado; el aislamiento relativo de fragmentos locales (multi-direccional), basándose en las distancias entre los fragmentos que son relevantes para la mayoría de las especies y los procesos ecológicos; el aislamiento relativo de grupos de fragmentos, basándose en la habilidad de dispersión de especies móviles; y la influencia del uso de la tierra en áreas que ocupan los espacios entre los grupos de fragmentos y el tipo de hábitat de dichas áreas.

12.3. 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.

Particularmente, en el sistema de terrazas aluviales se desarrolla una diversidad de plantas que son susceptibles de ser empleadas para la restauración de suelos degradados y que potencialmente se pueden conformar como recursos naturales disponibles a mediano y corto plazo.

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.

A continuación se enlistan las especies sugeridas para realizar acciones de conservación en función de su importancia ecológica, sus estrategias de reproducción y relevancia para la población de la zona.

Por su importancia ecológica:

i. Especies nodrizas

Prosopis laevigata

Cercidium praecox

Bursera aptera

Bursera arida

Celtis pallida

Acacia bilimekii

Acacia constricta

Acacia farnesiana
Mimosa luisana
Castela tortuosa
Dalea carthagenensis
Ziziphus amolle
Zanthoxylum liebmannianum

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

Penicereus viperinus
Cnidoscolus tehuacanensis
Agave karwinskii
Agave marmorata
Tillandsia pueblensis
Cephalocereus columna-trajani
Coryphanta pallida
Echinocactus platyacanthus
Ferocactus latispinus var. spiralis
Ferocactus robustus
Neobuxbaumia tetetzo

iii. Pastos

Aristida glauca
Bathriochloa barbinodis
Chloris rufescens
Eragrostis atrovirens
Eragrostis cilianensis
Leptochloa sp.
Setaria grisebachii
Sporobolus pyramidatus

iv. Arvenses

Amaranthus spinosus
Nicotiana glauca
Physalis foetens
Physalis philadelphica
Solanum rostratum
Solanum tridynamun
Argemone mexicana
Tithonia tubiformis
Iresine calea

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

Propagación por semilla

Beaucarnea gracilis
Beaucarnea purpussi
Beaucarnea recurvata
Justicia candicans
Valesia glabra
Flaveria trinervia
Simsia lagasciformis
Trixis pringlei
Montanoa tomentosa
Viguiera dentata
Viguiera pinnatilobata
Partenium bipinnatifidum
Verbesina sp.
Schinus molle
Crotalaria incana

Propagación asexual

Sedum sp.
Myrtillocactus geometrizans
Agave salmiana
Pachycereus hollianus
Pachycereus marginatus
Stenocereus stellatus