

00359

2
Lej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

“Evaluación de la Erosión hídrica Utilizando
Sistemas de Información Geográfica: Caso de la
Cuenca del Río Texcoco”.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
(EDAFOLOGÍA)

PRESENTA

Francisco Moreno Sánchez

DIRECTOR DE TESIS: DR. VALENTINO SORANI DALBON

México D.F.

Marzo de 1999

272161

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.

DEDICATORIA

A MI FAMILIA

MIS PADRES .

TIOS .

HERMANOS .

ESPOSA .

HIJOS .

**POR SER RESPONSABLES DE MI FELICIDAD, PUES CON SU APOYO, GENEROSIDAD Y AMOR
HAN LLENADO MI VIDA.**

AGRADECIMIENTOS:

Al Dr. Valentino Sorani por su amistad, apoyo y paciencia en la dirección del presente trabajo, así como su invaluable ayuda con comentarios, revisiones y correcciones al mismo.

Al Dr. Jorge Gama por su apoyo a lo largo de todos los estudios de maestría y muy especialmente en las revisiones y comentarios a la presente tesis.

Al Dr. Jorge López, magnífico profesor que con sus comentarios dió cimiento al trabajo de tesis.

Al Dr. David Flores, por su apoyo y comprensión a lo largo de los estudios de maestría y en las revisiones del trabajo de tesis.

A la Dra. Norma García con admiración por su labor como maestra y a su profesionalismo al revisar, el presente trabajo.

Al Dr. Otilio A. Acevedo por su amistad y compañerismo durante la maestría y posteriormente en la revisión de la tesis.

Al Dr. Victor M. Malpica por aceptar pertenecer al comité tutorial y haber hecho una revisión exhaustiva del trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por ser una casa abierta donde se forjan en forma ecléctica nuevos investigadores, en la esperanza de ser mejores profesionistas y personas que ayuden al desarrollo del país.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, por el apoyo recibido para la realización de mis estudios de maestría.

A las autoridades y compañeros del INIFAP, por su apoyo y amistad, muy especialmente al Ing. Xavier Balandra, el Dr. Rodrigo Aveldaño, el Dr. Carlos Rodríguez y al Ing Campos.

CONTENIDO

1.0 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	3
2.0 OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	5
2.1 Objetivo general	
2.2 Objetivos particulares	
2.3 Hipótesis	
3.0 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1 Ecuación universal de pérdida de suelo (USLE).....	6
3.1.1 Factores de la USLE.....	8
3.1.1.1 Erosividad de la lluvia (R).....	8
3.1.1.1.1. La cantidad de lluvia.....	8
3.1.1.1.2. La energía de la lluvia.....	9
3.1.1.1.3. Índices de erosividad.....	10
3.1.1.2 Erosionabilidad del suelo (K).....	15
3.1.1.3. Longitud de pendiente y pendiente (LS).....	17
3.1.1.4. Factor de cultivo (C).....	19
3.1.1.5. Factor práctica mecánicas (P).....	21
3.1.2 Aplicabilidad de la ecuación universal de pérdida de suelo.....	21
3.1.3 Limitantes de la ecuación universal de pérdida de suelo.....	23
3.1.4 Aplicaciones a la ecuación universal de pérdida de suelo.....	24
3.1.4.1 Aplicaciones a nivel mundial.....	24
3.1.4.2 Aplicaciones en México.....	26
3.1.4.3 Aplicaciones en el área de estudio.....	27
3.2. Antecedentes de la aplicación de sistemas de información geográficos en la estimación de erosión de cuencas.....	29
3.3 Degradación de suelos y metodología F.A.O.....	32
3.3.1 Estudios sobre la degradación de suelo.....	32
3.3.2 Metodología FAO.....	36
3.3.2.1 Aplicaciones de la metodología FAO.....	40
4.0 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	42
4.1 Clima.....	42
4.2 Topografía.....	44
4.3 Suelos.....	45
4.4 Geología.....	45
4.5 Vegetación.....	47
4.6 Influencia humana.....	47
4.7 Hidrología.....	48

4.8 Fsiografía.....	48
5.0 MATERIALES Y METODOS.....	56
5.1 Definición de la cuenca de estudio.....	56
5.2 Estratificación del ambiente.....	56
5.3 Evaluación de las interpolaciones climáticas.....	58
5.4 Estimación de los valores del factor R.....	58
5.5 Recopilación de los valores de los factores K C y P.....	59
5.6 Cálculo del valor del factor LS.....	59
5.7 Definición de los usos actuales de la cuenca y áreas con prácticas mecánicas.....	60
5.8 Definición de las tendencias en los procesos de degradación.....	60
5.9 Ingreso de la información cartográfica al sistema de información geográfica.....	60
5.10 Recopilación histórica de la zona.....	62
5.11 Determinación de la degradación de suelos en la zona.....	62
5.12 Comparación de los resultados de la aplicación de la USLE y el método FAO contra datos de los lotes de escurrimiento.....	62
5.1.3 Definición de las tendencias de los procesos degradativos en la cuenca.....	62
6.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	64
6.1 Definición de cuenca hidrográfica.....	64
6.2 Estratificación del ambiente.....	65
6.3 Caracterización de la lluvia.....	77
6.4 Cálculos para obtener los índices de erosividad.....	79
6.4.1 Evaluación de los índices de erosividad.....	83
6.5 Comparación de los datos interpolados por INIFAP y los registrados en los pluviógrafos.....	85
6.6 Cálculos de riesgo de erosión (USLE), riesgo de degradación (FAO) y su comparación con los datos de lotes de escurrimiento.....	86
6.6.1 Procesos en la parte alta de la cuenca.....	86
6.6.1.1 Riesgo de erosión calculado con la USLE.....	87
6.6.1.2 Pérdidas de suelo calculadas a partir de los lotes de escurrimiento.....	90
6.6.1.3 Degradación de acuerdo con la metodología FAO.....	92
6.6.1.3.1 Estado actual de la degradación de la cobertura de plantas perennes.....	92
6.6.1.3.2 Estado actual de la degradación de la parte alta de la cuenca por erosión hidrica.....	99
6.6.1.4 Comparación de los resultados de los tres métodos empleados (lotes de escurrimiento, USLE y metodología FAO).....	103
6.6.2 Procesos en la parte media de la cuenca del río Texcoco.....	103
6.6.2.1 Erosión calculada por la USLE.....	104
6.6.2.2 Pérdidas de suelo y riesgo de degradación calculados a partir de los lotes de escurrimiento.....	107
6.6.2.3 Degradación de acuerdo con la metodología FAO.....	109
6.6.2.3.1 Estado de la degradación de la cobertura de plantas perennes.....	109
6.6.2.3.2 Estado actual de la degradación de la parte media por erosión hidrica.....	114

6.6.2.3.3 Estado actual de la degradación por asentamientos humanos.....	121
6.6.2.4 Comparación de los 3 métodos empleados (lotes de escurrimiento, USLE y metodología FAO).....	123
6.6.3 Procesos en la parte baja de la cuenca del río Texcoco.....	124
6.6.3.1 Degradación evaluada por la metodología FAO.....	124
6.6.4 Consideraciones generales a nivel de la cuenca.....	125
6.6.5 Evaluación global de los procesos analizados en la cuenca.....	126
7.0 CONCLUSIONES.....	129
8.0 RECOMENDACIONES GENERALES.....	130
9.0 BIBLIOGRAFÍA.....	132

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación del índice de erosividad (R), según Gómez.....	8
Tabla 2 Ejemplos de variación total entre pérdida de suelo y algunos índices de la erosividad de la lluvia expresados como coeficientes de correlación ²	12
Tabla 3 Comparación entre $Aim EI_{30}$ y $KE > 1$ en la lluvia tropical de Nigeria, y su relación con el escurrimiento y pérdida de suelo.....	14
Tabla 4 Valores del exponente m para el calculo del factor LS de la USLE.....	18
Tabla 5 Valores del factor C de la USLE en diferentes condiciones en Africa.....	20
Tabla 6 Niveles jerárquicos del levantamiento fisiográfico propuesto por el CP.....	37
Tabla 7 Criterios para la evaluación de la clase de degradación de la cobertura vegetal.....	38
Tabla 8 Criterios para evaluar la clase de degradación por erosión hídrica.....	39
Tabla 9 Criterios para evaluar la degradación por encostramiento.....	39
Tabla 10 Criterio para establecer el estado actual de la degradación de la cobertura arbórea por cobertura de zacates.....	39
Tabla 11 Criterio para evaluar el estado actual de la degradación por erosión hídrica con el criterio de densidad de cárcavas.....	39
Tabla 12 Criterio para evaluar la degradación por asentamientos humanos.....	40
Tabla 13 Características de la corriente principal del río Texcoco.....	48
Tabla 14 Información obtenida del material cartográfico.....	61
Tabla 15 Fuente e información del áreas de estudio.....	61
Tabla 16 Calculo del área de la cuenca del río Texcoco.....	64
Tabla 17 Comparación de firmas espectrales de clasificación no supervisada y campos de entrenamiento.....	66
Tabla 18 Clases, superficies y colores asignados a la imagen reclasificada final.....	68
Tabla 19 Valores espectrales de coberturas semejantes a suelos desnudos.....	71
Tabla 20 Valores espectrales de coberturas de pino - encino en sol y sombra.....	72
Tabla 21 Firmas espectrales de pino - abies , abies y pino hartwegii.....	73
Tabla 22 Firmas espectrales de matorrales y otras coberturas que se comportan en forma similar.....	74
Tabla 23 Firmas espectrales de agricultura de riego, temporal y suelo desnudo.....	75
Tabla 24 Precipitaciones promedio del mes más lluvioso para 9 pluviógrafos instalados en la cuenca.....	81
Tabla 25 Regresiones lineales energía cinética precipitación de cada ecosistema de la cuenca.....	82
Tabla 26 Comparación de los índices de erosividad Ram encontrados en Africa y los modelos para los ecosistemas de la cuenca del río Texcoco.....	82
Tabla 27 Coeficientes de correlación de las regresiones lineales entren los índices de erosividad y las pérdidas de suelo ajustadas por evento diario en la cuenca del río Texcoco.....	83
Tabla 28 Coeficientes de correlación de las regresiones entre índices de erosividad - pérdida de suelo a nivel anual para la cuenca del río Texcoco.....	84
Tabla 29 Comparación de precipitaciones registradas e interpoladas.....	85
Tabla 30 Valor de los factores R, K, LS por faceta en la parte alta de de la cuenca del río Texcoco.....	87

Tabla 31 Velocidad de erosión hídrica en la parte alta de la cuenca del río Texcoco calculada por USLE.....	88
Tabla 32 Pérdida de suelo por erosión hídrica por faceta y uso de suelo en la parte alta de la cuenca del río Texcoco, de acuerdo a extrapolaciones de lotes de escurrimiento.....	90
Tabla 33 Estado de la degradación de la cubierta perenne para diferentes años en la parte alta de la cuenca del río Texcoco.....	92
Tabla 34 Estado actual de la degradación de la cubierta arbórea de la parte alta de la cuenca del río Texcoco con base en la cobertura de zacates.....	94
Tabla 35 Dinámica de las áreas agrícolas en las facetas de la parte alta de la cuenca del río Texcoco.....	95
Tabla 36 Velocidad de degradación de la cubierta vegetal perenne en la cuenca del río Texcoco para el periodo 1955 - 1995.....	98
Tabla 37 Erosión hídrica de la parte alta de la cuenca del río Texcoco por profundidad de suelo.....	99
Tabla 38 Estado de la erosión hídrica en base a la densidad de cárcavas en la cuenca del río Texcoco.....	100
Tabla 39 Desarrollo de caminos forestales en la parte alta de la cuenca del río Texcoco.....	102
Tabla 40 Valor de los factores R, K y LS por faceta en la parte media de la cuenca del río Texcoco.....	104
Tabla 41 Tasa de degradación por erosión hídrica en la parte media de la cuenca del río Texcoco.....	105
Tabla 42 Pérdida de suelo por erosión hídrica por faceta y uso, y riesgo de degradación en la parte media de la cuenca del río Texcoco calculado a partir de los lotes de escurrimiento.....	107
Tabla 43 Estado de la degradación de la cubierta perenne para diferentes años en la parte media de la cuenca del río Texcoco.....	109
Tabla 44 velocidad de degradación de la cubierta perenne en la parte media de la cuenca del río Texcoco para el periodo 1955 - 1995.....	112
Tabla 45 Areas agrícolas en la parte media de la cuenca del río Texcoco.....	113
Tabla 46 Degradación por erosión hídrica por el criterio de profundidad de suelo en las facetas de la parte media de la cuenca del río Texcoco.....	115
Tabla 47 Degradación por erosión hídrica en base a densidad de cárcavas en las facetas de la parte media de la cuenca del río Texcoco.....	117
Tabla 48 Estado de la degradación por afloramiento de tepetates en la parte media de la cuenca del río Texcoco.....	119
Tabla 49 Degradación por asentamientos humanos en la parte media de la cuenca del río Texcoco.....	121
Tabla 50 Estado de la degradación de la cubierta de perennes en las facetas de la parte baja de la cuenca del río Texcoco.....	125
Tabla 51 Degradación por asentamientos humanos en las facetas de la parte baja de la cuenca del río Texcoco.....	125
Tabla 52 Degradación global de la cuenca del río Texcoco en base a los procesos analizados.....	127

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Nomograma para la determinación del factor K en unidades del sistema métrico.....	16
Figura 2 Ciclo de la degradación de la tierra inducida por el hombre.....	35
Figura 3 Triángulo de clases de degradación.....	38
Figura 4 Ubicación nacional de la cuenca del río Texcoco.....	42
Figura 5 Ubicación regional del acuenca del río Texcoco.....	43
Figura 6 División de la cuenca del río Texcoco.....	45
Figura 7 Geología de la cuenca del río Texcoco.....	46
Figura 8 Facetas fisiográficas de la cuenca del río Texcoco.....	49
Figura 9 Descripción de las facetas del sistema terrestre Chapingo.....	50
Figura 10 Descripción de las facetas del sistema terrestre Huexotla.....	51
Figura 11 Descripción de las facetas del sistema terrestre Tlaixpan.....	53
Figura 12 Descripción de las facetas del sistema terrestre Tecuanulco.....	54
Figura 13 Descripción de las facetas del sistema terrestre Texaltepec.....	55
Figura 14 Descripción de las facetas del sistema terrestre Tlaloc.....	56
Figura 15 Diagrama del levantamiento fisiográfico.....	57
Figura 16 Modelo de elevación digital y compuesto de color 4 5 3.....	67
Figura 17 Imagen de satélite reclasificada en modelo de elevación digital.....	69
Figura 18 Plano de imagen de satélite reclasificada.....	70
Figura 19 Caracterización del tipo de lluvia.....	78
Figura 20 Velocidad de erosión hídrica en la parte alta de la cuenca del río Texcoco con base en USLE.....	89
Figura 21 Velocidad de degradación en la aprtte alta de la cuenca del río Texcoco con base a lotes de esc.....	91
Figura 22 Estado actual de la degradación de la cobertura perenne en base a cobertura arborea.....	93
Figura 23 Degradación de la cobertura arbórea en la parte alta de la cuenca del río Texcoco con base a cobertura de zacates.....	97
Figura 24 Degradación por erosión hídrica con base a densidad de cárcavas.....	101
Figura 25 Velocidad de degradación por erosión hídrica en la parte media de la cuenca del río Texcoco calculado por USLE.....	106
Figura 26 Velocidad de degradación por erosión hídrica en la parte media de la cuenca del río Texcoco calculado por extrapolación de los lotes de escurrimiento.....	108
Figura 27 Degradación de la cubierta de perennes de la parte media de la cuenca del río Texcoco.....	111
Figura 28 Degradación por erosión con base a profundidad de suelo para las facetas de la parte media de la cuenca del río Texcoco.....	116
Figura 29 Degradación por erosión hídrica en base a la densidad de cárcavas en la parte media de la cuenca del río Texcoco.....	118
Figura 30 Degradación por afloramiento de tepetates en las facetas de la parte media de la cuenca del río Texcoco.....	120
Figura 31 Degradación por asentamientos humanos en la parte media de la cuenca del río Texcoco.....	122

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1 Firmas espectrales semejantes a suelos desnudos.....	71
Gráfica 2 Firmas espectrales de pino encino en sol y sombra.....	72
Gráfica 3 Firmas espectrales de pino abies, abies y pino hartwegii.....	73
Gráfica 4 Firmas espectrales de matorrales y otras coberturas que se comportan en forma similar.....	74
Gráfica 5 Firmas espectrales de agricultura de riego, temporal y suelo desnudo.....	75
Gráfica 6 Cobertura vegetal de perennes en las facetas de la parte alta de la cuenca del río Texcoco.....	94
Gráfica 7 Superficies de zacates por faceta en la parte alta de la cuenca del río Texcoco.....	95
Gráfica 8 Incremento de la superficie agrícola en facetas de la parte alta de la cuenca del río Texcoco.....	96
Gráfica 9 Velocidad de degradación de la cubierta perenne en el periodo 1955-1995.....	98
Gráfica 10 tendencias de los caminos forestales en las facetas de la parte alta de la cuenca del río Texcoco.....	102
Gráfica 11 Tendencia de la cobertura de perennes en las facetas de la parte media de la cuenca del río.....	110
Gráfica 12 Velocidad de degradación de la cubierta perenne de las facetas de la parte media de la cuenca del río Texcoco para el periodo 1955-1995.....	112
Gráfica 13 Tendencias de las áreas agrícolas de las facetas de la parte media de la cuenca.....	113
Gráfica 14 Tendencias en la profundidad de suelo de 2 facetas de la parte media de la cuenca.....	115

1. INTRODUCCIÓN

Los suelos han sido parte fundamental de la vida del hombre a través de su historia, proveyendo materiales y bienes para su uso, en diversos rubros como son pulpa, madera, leña, carbón, soporte para cultivos agrícolas y áreas de agostadero. En la actualidad la importancia del recurso suelo se ha incrementado a medida que el hombre reconoce otras interrelaciones del suelo como su capacidad para proveer servicios críticos para los ecosistemas.

La erosión de suelos es un problema que año con año se incrementa al grado de afectar aproximadamente un 80% de los suelos de la República Mexicana (Anaya et al. 1977). El Estado de México se caracteriza por ser una de las entidades federativas con mayor cantidad de asentamientos humanos, de industria, y uno de los más importantes en cuanto a producción de cultivos básicos como el maíz. Esta situación implica una fuerte presión de uso de los recursos naturales del estado, especialmente en el uso del suelo, como lo demuestra la acelerada degradación de los recursos naturales por cambios de uso de suelo a agricultura y ganadería con lo que se ha propiciado un alto grado de erosión en sus diversas formas y grados.

En este contexto el gobierno federal realizó una iniciativa de ley en 1994 que en concordancia con los reglamentos y leyes estatales promoviera la conservación de los recursos naturales: la ley federal de conservación de los recursos naturales. Esta ley aprobada en mayo de 1997 propone una estrategia para evitar la degradación en cinco rubros: degradación física, química, biológica, erosión y salinización. Sin embargo dicha ley no contempla en el reglamento un método para determinar los riesgos de degradación, por lo que se continúan aplicando los métodos indirectos para estimar el riesgo de degradación y así cumplir con los reglamentos.

Para la determinación de los riesgo de degradación en áreas de pendiente, se ha usado como un estimador la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE por sus siglas en inglés), aún y cuando no está diseñada para evaluar el riesgo de degradación sino la erosión. Actualmente varias dependencias oficiales solicitan en sus términos de referencia el uso de esta ecuación para el caso de planeación del uso de los recursos naturales, (Secretaría del medio ambiente recursos naturales y pesca, Comisión lago de Texcoco, Comisión de recursos naturales del D.F., etc.).

Por otro lado la FAO en 1983 propuso una metodología para la estimación y cartografía de la degradación del suelo misma que fue modificada y evaluada para México. Esta fue creada con el fin de estimar la degradación inducida por el hombre en forma rápida a partir de la cartografía existente, con apoyo limitado de pruebas de campo, y puede una opción en la evaluación de la degradación de tierras si se usan sistemas de información geográfica.

El presente estudio se realizó en la cuenca del río Texcoco, una cuenca de la barrera forestal del oriente del Estado de México, seleccionada por ser una cuenca experimental altamente estudiada. A partir de las interpolaciones, datos disponibles y utilizando un sistema de información geográfica (SIG) se evaluó la dinámica de los procesos de degradación de la cuenca, y los efectos de las obras de conservación presentes en la zona.

Utilizando los datos de precipitación interpolados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) a través del uso de un SIG, a partir de los datos contenidos en la base del Sistema Meteorológico Nacional (CLICOM¹), y se compararon con los promedios anuales registrados en los lotes de escurrimiento ubicados en la cuenca con un periodo de registro de 10 años. Se observó que las interpolaciones realizadas por el INIFAP son adecuadas al no presentarse una diferencia significativa entre los datos registrados y los interpolados.

Así mismo, se utilizó un SIG en la aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), para el cálculo de la erosión y en la estimación de la degradación inducida por el hombre, de acuerdo a la metodología propuesta por la Organización para la Agricultura y Alimentación (F.A.O.) comparando los resultados de ambos métodos con los datos recolectados en lotes de escurrimiento.

Para el cálculo del factor erosividad (R) se realizan las estimaciones de diversos índices, comparándolos con los reportados en tesis anteriores (Arias 1980, Ortiz 1994), no encontrándose diferencias significativas. Para los factores erosionabilidad (K), prácticas mecánicas (P) y cobertura vegetal (C) se usaron los valores reportados en otros trabajos, y el uso actual del suelo fue definido a partir del análisis de fotografías aéreas de 1990 y recorridos de campo. Las velocidades de los procesos analizados se estimaron a través de un análisis multitemporal de fotografías aéreas escala 1:20 000. En la estimación del factor longitud de pendiente y pendiente (LS) se usó un modelo de elevación digital y se determinó la pendiente promedio por faceta, estas últimas tomadas del levantamiento fisiográfico del área de influencia de Chapingo.

Como un soporte al análisis de los resultados y conclusiones se realizaron encuestas para la evaluación de las condiciones socioeconómicas representativas de la cuenca y una revisión de los trabajos llevados a cabo en la cuenca por las diferentes entidades que trabajan en la zona.

Concluyéndose que la metodología FAO permite una buena estimación de la dinámica de los procesos degradativos a partir de la cartografía existente, siendo los sistemas de información geográfica una gran ayuda en

¹ CLICOM.- Sistema para el manejo automático de bases de datos climáticos en computadoras personales.

la sistematización de la información, facilitando el análisis, interpretación y producción cartográfica, disminuyendo a la vez los errores aleatorios y humanos de interpretación.

Por otro lado las condiciones en la cuenca de estudio tienden a una recuperación de la productividad en las áreas degradadas y a una conservación en las áreas forestales; debido a factores sociales internos, e interrelaciones entre el mercado local y la coyuntura internacional.

1.1 JUSTIFICACIÓN

En México las relaciones del hombre con su ambiente no han sido reguladas desde el punto de vista legal en forma adecuada a través de su historia, por lo que la degradación de los recursos naturales ha llegado a niveles alarmantes, al punto de que la mayoría de las fuentes mencionan que el 80% de la superficie nacional esta degradada en diversos niveles.

En las tres décadas pasadas y actualmente en nuestro país, ha surgido una mayor necesidad de identificar y considerar varios factores en el espacio y el tiempo en forma simultánea, para el análisis y solución de problemas en la administración de los recursos naturales. La tecnología de los sistemas de información geográfica (SIG) ofrece un importante medio crítico para entender y enfrentar algunos problemas más apremiantes de nuestro tiempo, como son: la deforestación en áreas naturales, reforestaciones y forestaciones, el futuro del clima mundial, la necesidad de desarrollo con conciencia ecológica de los recursos naturales, el efecto de la contaminación atmosférica y la rápida urbanización, sólo por mencionar algunos.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), tiene como una de sus funciones el generar tecnología para el desarrollo y conservación del agro mexicano por lo que, ha realizado investigaciones a nivel nacional con la aplicación y uso de los SIG para apoyar la toma de decisiones en la planeación del uso del recurso suelo. Por lo que en esta inercia de trabajo, el ensayo del uso y aplicación de metodologías a nivel local es el siguiente paso para la correcta planeación y manejo de los recursos naturales. Es aquí donde se inserta el presente trabajo que evalúa, un método tradicional como es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), y un método alternativo propuesto a nivel global, como lo es el método de evaluación de la degradación de la tierra propuesta por FAO/ISRIC probándolo a nivel local (cuenca específica), comparando sus resultados con los datos recolectados en campo (lotes de escurrimiento y recorridos de campo).

La USLE por un lado es una ecuación cuantitativa que requiere de un fuerte trabajo de campo y datos históricos, esta se ha usado como un estimador indirecto de la degradación de suelo, sin embargo la necesidad de

contar con datos fidedignos de clima y suelos limita su uso en forma extensiva, sobre toda en los países subdesarrollados, por lo que se han desarrollado índices para algunos de sus factores.

Por otro lado la metodología FAO de evaluación de la degradación inducida por el hombre es una metodología cualitativa que trabaja con poco trabajo de campo y la cartografía existente en la zona por lo que puede ser de alta eficiencia en las condiciones de México. De ahí que la prueba de las dos metodologías se importante para evaluar degradación en diferentes partes ámbitos de la realidad del país.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. Objetivo general

Probar y estimar las ventajas y limitaciones de la metodología FAO/ISRIC, con respecto al uso de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), para la estimación de la degradación del suelo debido a las actividades antropogénicas en una cuenca hidrográfica.

2.2. Objetivos particulares

- 2.2.1 Evaluar los datos de precipitación interpolados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas Pecuarías (INIFAP) y su correspondencia con datos de campo.
- 2.2.2 Calcular la pérdida potencial de suelo con el uso de la USLE en una cuenca.
- 2.2.3 Comparar los cálculos de la USLE con los datos de lotes de escurrimiento.
- 2.2.4 Localizar áreas con un alto riesgo de degradación de suelo.
- 2.2.5 Determinar la dinámica de los procesos de degradación de la tierra a través del tiempo.

2.3 HIPÓTESIS.

2.3.1 Los usos actuales a los que está siendo sometido el suelo en la cuenca hidrográfica del Río Texcoco son los adecuados para la aptitud natural del suelo con lo que no se pone en riesgo la sustentabilidad del mismo.

3.0 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (USLE)

Las décadas de los años 70 y 80 se caracterizan por un interés creciente sobre los fenómenos de erosión de los terrenos. Además de las consecuencias económicas de la erosión del suelo, el fenómeno tiene repercusiones sociales muy importantes.

Se han hecho muchos intentos para evaluar los efectos de la erosión y llegar a predecirla (Wischmeier y Smith, 1978). Uno de los enfoques más utilizados para la predicción de la pérdida anual de suelo es el que utiliza la USLE, que considera los factores más importantes que intervienen en el proceso erosivo y trata de evaluarlos cuantitativamente (Hudson, 1982).

El desarrollo de ecuaciones empíricas para calcular pérdidas de suelo se inició en 1940 con Zingg (Wischmeier y Smith, 1978). Fue hasta 1962, con los trabajos de Wischmeier y colaboradores, que se elaboró de la USLE (Wischmeier y Smith, 1965). Esta fue diseñada como herramienta de trabajo para conservacionistas, técnicos y programadores del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA (Wischmeier, 1977). Las aplicaciones para las cuales la ecuación fue diseñada y probada son:

- Predicción de pérdidas de suelo
- Evaluación y selección de prácticas de conservación.
- Estimación de las longitudes máximas permisibles de las pendientes para un sistema de cultivo dado.

La ecuación es:

$$A = R * K * L * S * C * P \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

A = Pérdida de suelo anual en (ton/ha/año).

R = Erosividad de la lluvia, expresada por un promedio anual de unidades de índice

de erosividad

K = Erosionabilidad de suelo, expresada como la tasa de erosión por unidad de índice de erosividad (ton/ha).

L = Factor longitud de la pendiente (adimensional).

S = Factor de grado de pendiente (adimensional).

C = Factor de manejo de cultivos (adimensional).

P = Factor prácticas mecánicas de control de la erosión (adimensional)

La ecuación básica es :

$$A = R * K$$

Los factores L, S, C Y P son cocientes para condiciones diferentes a las condiciones patrón de la ecuación básica. Las condiciones patrón en el sistema métrico decimal son según Wischmeier, (1972):

$$L = 25 \text{ m}$$

$$S = 10\%$$

C = suelo barbechado sin cultivos

P = Surcado en el sentido de la pendiente.

El factor “ activo “ es la agresividad de la lluvia (A) o sea la erosividad, que es determinada por índices de erosividad, como el de Wischmeier, (1972) pero en lugares donde no se tienen pluviógrafos puede utilizarse el de Fournier, que se describe en la sección correspondiente (índices de erosividad).

En Colombia (Gómez, 1975) se ha utilizado el índice de Fournier para caracterizar la agresividad de la lluvia y los valores así obtenidos son clasificados de acuerdo a la tabla 1.

TABLA 1: Clasificación del índice de erosividad de la lluvia (R), según Gómez (1975).

A_1^1	A_2^2	GRADO	Características de la precipitación
<5.0	<2.0	ligero	lluvias ligeras, frecuentes, bien distribuidas.
5.0 - 8.0	2.0-3.0	bajo	lluvias de baja intensidad, frecuentes, bien distribuidas.
8.0 - 10.0	3.0-4.0	medio	lluvias de mediana intensidad, frecuentes, de buena o regular distribución
10.0 - 14.0	4.0-5.0	alto	lluvias fuertes, frecuentes o no, de buena o mala distribución.
>14.0	>5	muy alto	lluvias de fuertes a muy fuertes, frecuentes o no, de buena a mala distribución.

¹ $A_1 = E/70$ cuando se tienen datos de menos de 10 años

² $A_2 = E/100$ cuando se tienen datos de más de 10 años.

El factor "pasivo" es la erosionabilidad, denominado susceptibilidad del suelo a la erosión (S), que se basa en las condiciones físicas y químicas del suelo (Hudson, 1971) (grado de estructuración, estabilidad de agregados, contenido de M. O. y agentes cementantes, profundidad y uniformidad del suelo y régimen de permeabilidad). Las categorías obtenidas son: muy resistente, resistente, medianamente resistente, susceptible y muy susceptible.

3.1.1 FACTORES DE LA USLE.

Los factores que considera la USLE son cinco, la erosividad de la lluvia (R) la erosionabilidad (K), la longitud de pendiente y pendiente (LS), practicas de cultivo (C) y por último las practicas mecánicas, a continuación se discuten algunas consideraciones generales de los mismos.

3.1. 1.1 EROSIDIVIDAD DE LA LLUVIA (R).

La erosividad es la capacidad potencial de la lluvia para producir erosión. Esta capacidad es función de su energía cinética, la cual está en función de sus características físicas. La erosividad es cuantificada por medio de índices de erosividad.

- Características físicas de la lluvia.

Las características físicas relacionadas con la erosión son según Hudson (1971):

1. La cantidad de lluvia
2. La intensidad de la lluvia
3. La velocidad final de las gotas de lluvia
4. El tamaño de las gotas de lluvia.
5. La distribución del tamaño de las gotas de lluvia.

3.1.1.1.1. La cantidad de lluvia

La medida del volumen de agua precipitada en la superficie de la tierra es importante en climatología. Las mediciones de la lluvia suministran información fundamental necesaria para establecer el tipo climático de una región y los datos de lluvia son esenciales en muchas formas de manejo de suelo para desarrollo agrícola, producción de fuerza hidroeléctrica o control de cauces. El volumen total de lluvia no puede medirse directamente, pero puede ser estimado tomando muestras en diferentes lugares y así conocer su distribución. Las estimaciones de la cantidad de lluvia es expresada en lámina de agua. (Hudson 1971)

El muestreo de la lluvia tiene errores, principalmente respecto a:

1. Altura del pluviómetro.
2. Muestreo de la lluvia en terrenos inclinados.
3. Distribución y número de los pluviómetros.

3.1.1.1.2. La energía de la lluvia.

La erosión es un proceso físico que requiere energía para realizar un trabajo mecánico, consistente en romper los agregados, dispersarlos, causar turbulencia en el escurrimiento superficial y transportar las partículas desprendidas (Wischmeier y Smith, 1958). Esta energía es obtenida del momento (M) o la energía cinética (EC) de la lluvia, obtenidas mediante las siguientes ecuaciones:

$$EC = \frac{1}{2} mv \dots \dots \dots (4)$$

$$M = mv \dots \dots \dots (5)$$

Donde:

EC = energía cinética (ergios o joules)

m = masa de las gotas (g o kg)

V = velocidad de las gotas de lluvia (cm/s o m/s).

M = Momento (ergio s cm⁻¹ o joules s m⁻¹)

El método de cálculo indirecto ha dado mejor resultado que las medidas directas de ambas, debido a que las fuerzas implicadas son tan pequeñas y los instrumentos actuales no son lo suficientemente sensitivos para registrarlas ya que están sujetos a errores por efectos del viento (Hudson, 1971).

Wischmeier y Smith (1978), con base en los datos de distribución de tamaños de gotas publicados por Laws y Parsons (1948) y los datos de las velocidades terminales de las gotas de agua de diferentes tamaños, Laws (1941), Gunn y Kinzer (1949), llegaron a la ecuación que relaciona a la energía cinética con la intensidad de la lluvia.

La ecuación fue obtenida originalmente en el sistema inglés (Wischmeier y Smith, 1958), pero en este trabajo se expondrá en unidades del sistema métrico decimal:

$$EC = 210.3 + 89 \log_{10} I \dots \dots \dots (6)$$

Donde:

EC = energía cinética de la lluvia (joules*10³/ha *cm)

I = intensidad (cm/hr)

McGregor y Muchler (1977) obtuvieron otra ecuación , parecida a la de Wischmeier y Smith (1958), para la lluvia de Holly Springs, Mississippi, pero la diferencia entre estas ecuaciones no fue significativa.

El momento (M) puede ser estimado también a partir de los estudios de Laws (1941), Laws y Parson (1948) Gunn y Kinzer (1949), como lo hicieron Wischmeier y Smith (1972).

Wischmeier (1972) reporta la relación existente entre la pérdida de suelo, varias características de la lluvia y parámetros compuestos como la energía cinética y el momento, encontrando que la energía cinética explica mejor la erosividad de la lluvia que el momento y las otras características estudiadas.

3.1.1.1.3 Índices de erosividad

La función del factor R, erosividad de la lluvia, es cuantificar las fuerzas erosivas interrelacionadas con la lluvia y el escurrimiento. Wischmeier (1972) cita varios requisitos que debe de tener el índice de erosividad:

- 1) Ser predecible probabilísticamente a partir de datos meteorológicos.
- 2) Ser definible para tormentas específicas, para períodos específicos y anual.
- 3) Su evaluación estacional o anual debe ser calculada usando solo las lluvias significativas en lugar del total anual.

Se han reportado varios índices de erosividad. A continuación se revisan los más importantes.

• **EI₃₀**

El EI₃₀ es definido como el producto de la energía cinética total de la lluvia (E_{c_t}) y la intensidad máxima en 30 minutos (I₃₀). Este producto se divide entre 100.

$$EI_{30} = E_{c_t} * I_{30} / 100 \dots\dots\dots(7)$$

Donde:

EI₃₀ = Índice de erosividad de Wischmeier (unidades de índice erosividad).

E_{c_t} = Energía cinética total de la lluvia (joules*10³/ha)

I₃₀ = Intensidad máxima en 30 minutos (cm/hr).

La energía cinética total de la lluvia (E_{c_t}) es obtenida al sumar la energía cinética de los segmentos de lluvia con la intensidad diferente, de tal manera que si se tiene "n" segmentos con intensidad "i" la E_{c_t} será:

$$E_{c_t} = \sum EC_i * q_i \dots\dots\dots(8)$$

E_{c_t} = Energía cinética del segmento de lluvia con intensidad i (joules*10³/ha cm).

EC_i = Energía cinética del segmento de lluvia con intensidad i(joules*10³/ha cm).

q_i =Cantidad de lluvia que ocurrió con intensidad i (cm).

i = Número de segmentos de lluvia con intensidad diferente.

La intensidad máxima en 30 minutos es definida como el doble de la mayor cantidad de lluvia que cae en cualquier intervalo de 30 minutos consecutivos.

El EI_{30} fue seleccionado por Wischmeier y Smith a través de un proceso de eliminación en análisis de regresión exploratorio, utilizando los datos de pérdida de suelo como variable dependiente y 19 variables independientes simultáneamente. El criterio de clasificación fue el coeficiente de determinación (R^2), que es el porcentaje de variación total de la pérdida de suelo explicada por un factor particular. Este fue usado como una medida de la capacidad de un parámetro o conjunto de parámetros para predecir el potencial erosivo. Los estudios demostraron que cualquier característica primaria como cantidad, intensidad, energía o momento no tiene la capacidad predictiva de un producto de estos parámetros con la intensidad máxima (Wischmeier, 1972), (tabla 2).

Tabla .2 Ejemplos de porcentaje de variación total entre la pérdida de suelo y algunos índices de la erosividad de la lluvia expresados como coeficientes de correlación (R^2) (Wischmeier 1972)

Parámetro de la lluvia	Tipo de suelo y número de lluvias analizadas					
	limo de Shelby superficial (136)	limo de Shelby subsuelo (136)	Marshall (92)	Fayette (115)	Cecil rep 1 (81)	Cecil rep 2 (81)
EI_{30}	56	42	55	82	76	72
E	82	77	57	70	70	72
M	74	69	50	62	65	67
VD	78	70	63	74	62	68
$E + I_{30}$	83	77	68	86	84	83
$M + I_{30}$	78	69	68	86	83	81
$VD + I_{30}$	79	70	69	87	97	95
$E * I_{30}$	89	82	74	90	97	95
$M * I_{30}$	87	79	74	90	96	93
$VD * I_{30}$	86	75	74	90	96	93

I_{30} = Intensidad máxima en 30 min. M = Momento E = Energía cinética VD = Velocidad por el diámetro de gotas

Wischmeier y Smith probaron las intensidades máximas de 15, 30 y 60 minutos, siendo la mejor la intensidad de 30 minutos para explicar el fenómeno de transporte por escurrimiento superficial. La variable de interacción entre EI_{30} parece ser una buena medida de los efectos combinados de: 1) la disminución de la velocidad de infiltración durante la lluvia, 2) el efecto del aumento geométrico de la erosión o escurrimiento superficial, y 3) la protección contra el salpicado de la gota, proporcionado por la película de agua que fluye, durante el escurrimiento superficial (Wischmeier y Smith, 1958).

Esto quiere decir que una lluvia con energía cinética equivalente a otra lluvia, pero con menor intensidad máxima, tendrá un valor de $E_{I_{30}}$ menor, por lo que la erosión predicha por la ecuación es menor, a pesar de que el valor energético es igual. Si la lluvia de baja intensidad dura mucho tiempo, la velocidad de infiltración disminuye y permite el escurrimiento, y en este caso el producto de $EC * I_{30}$ tiene un valor suficiente para predecir pérdida de suelo. Ahora bien una lluvia de menor cantidad, y por lo tanto de menor energía cinética, que cae a una intensidad alta, puede producir una pérdida de suelo comparable a la anterior.

Por lo anterior se puede comparar una lluvia de bajo valor energético y alta intensidad con una lluvia de valor energético alto y baja intensidad. En el caso de una lluvia de larga duración con intensidades altas, el aumento en las capacidades de desprendimiento y/o transporte de suelo es descrito por un valor muy grande de los componentes del término $E_{I_{30}}$ teniendo dos restricciones (Wischmeier, 1972):

a). Las lluvias en las cuales las gotas son formadas en altitudes bajas y nubes calientes, así como en sotavento. Este tipo de lluvia se caracteriza por tener gotas pequeñas e intensidades bajas.

b). Las lluvias asociadas con huracanes, sobrestiman las pérdidas de suelo debido a que las velocidades de escurrimiento son bajas para ser erosivas y las prolongadas intensidades altas cubren la superficie del suelo con una película de agua que lo protege del impacto de las gotas.

- $KE > 1$

$KE > 1$ es la energía cinética total de la lluvia que cae a intensidades mayores de 1 pulgada/hr (2.54 cm/hr).

El $KE > 1$ resultó de los estudios de Hudson (1971), basado en el concepto de que hay un valor crítico de intensidad en el cual la lluvia empieza a ser erosiva. La idea resultó de la observación que a bajas intensidades hay poca o nula erosión, ya que, la lluvia está compuesta principalmente de gotas pequeñas que caen con baja velocidad y, por lo tanto de baja energía. Aún cuando exista erosión por salpicamiento, generalmente no hay suficiente escurrimiento para el transporte de las partículas salpicadas.

Se hicieron experimentos para ver si existe un punto reconocible por debajo del cual la lluvia no es erosiva. Se midió la erosión por salpicamiento durante períodos de lluvia de baja intensidad. Los resultados mostraron que si existe un nivel crítico de intensidad y, a pesar de la variación de las tormentas, la mayoría de las lluvias que caen a bajas intensidades no son erosivas y la erosión es causada casi exclusivamente por lluvias que caen a intensidades superiores de este nivel crítico. El valor límite encontrado por Hudson, en Rhodesia fue

de 1 pulgada/hr, con un coeficiente de determinación de 0.92. En la siguiente etapa se introdujo escurrimiento superficial y suelo. Los resultados de dos años mostraron un coeficiente de correlación de 0.85. En la última etapa se utilizó un lote experimental de 27.5 X 1.5 m con 5% de pendiente obteniéndose un R² de 0.88.

De esta forma se encontró que eliminando la energía de la lluvia no erosiva se obtiene una excelente correlación entre la erosión por salpicamiento y la energía total del resto de la lluvia, al menos para esas condiciones (Hudson, 1971).

• **A_i_m**

Este índice se define como la relación entre la intensidad máxima y la cantidad de lluvia de un día. La expresión algebraica es:

$$A_{i_m} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_{i_m}) \dots \dots \dots (9)$$

Donde:

A_i_m = Índice de Lal (adimensional)

a = Lluvia total (cm)

i_m = Intensidad máxima de la lluvia (cm/hr)

n = Número de lluvias del mes

Este índice desarrollado por Lal (1977) demostró ser más eficiente que el EI₃₀ y el KE > 1 en Nigeria, como se puede ver en el tabla 3

Tabla 3 Comparación entre el A_i_m, EI₃₀ y KE >1 en al lluvia tropical de Nigeria, y su relación con el escurrimiento y pérdida de suelo.

R	Coficiente de correlación escurrimiento	Coficiente de correlación pérdida de suelo.
KE > 1	0.81	0.64
EI ₃₀	0.85	0.65
A _i _m	0.91	0.80

Gómez reporta que existe una relación entre la cantidad de lluvia y su energía cinética. Si esto es así, el Ai_m es solo una variación del EI_{30} .

- R_{am}

Varios autores citados por Roose (Roose, 1977) han publicado una ecuación válida en la República del Alto Volta y Nigeria, que permite la estimación del índice R, encontrado por medio de regresión como una función de la cantidad de lluvia e intensidad máxima en 30 minutos:

$$R_{am} = (0.0158H * I_{30}) - 1.2 \dots\dots\dots(10)$$

Donde:

R_{am} = índice de erosividad (adimensional)

H = Cantidad de lluvia (mm)

I_{30} = Intensidad máxima en 30 minutos (mm/hr).

En la zona costera de Costa de Marfil se encontró una regresión lineal para la lluvia tipo "monzón" (de junio a septiembre).

$$R_{am} = 0.577H - 5766$$

Estas ecuaciones ayudan a la predicción de erosión laminar y en canales en áreas de lomeríos, excluyendo montañas, donde la energía del escurrimiento y la lluvia tienen otro comportamiento.

3.1.1.2 Erosionabilidad del suelo (K).

Este factor evalúa la resistencia del suelo, a la acción erosiva del agua.

Los cálculos originales del factor K fueron basados en medidas hechas en parcelas estándar con un declive de 9% y 22.1 m de longitud, mantenidas bajo barbecho con labranza periódica en dirección de la pendiente.

El factor K se expresa en unidades del sistema internacional (SI) tal como sigue:

(megagramo/hectarea)/(megajoule milímetro/hectarea hora) = (Mg/ha)/(Mj*mm/ha*h)

Dicho en otra forma es la pérdida de suelo por unidad de erosividad de lluvia (R).

El producto de R*K resulta en megagramo por hectárea.

Wischmeier *et al.* (1971) estudiaron las propiedades del suelo más íntimamente relacionadas a la erosionabilidad y desarrollaron un nomograma que relaciona tal condición con determinadas propiedades edáficas, las cuales incluyen porcentaje de limo más arena muy fina (0.002 a 0.1 mm), porcentaje de arena fina a muy gruesa (0.1 a 2.0 mm), contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad del suelo. La erosionabilidad del suelo estimada a través del nomograma, a menudo difiere de las mediciones en el campo particularmente cuando se trata de vertisoles, andosoles y suelos con altos contenidos de grava (Lal 1977).

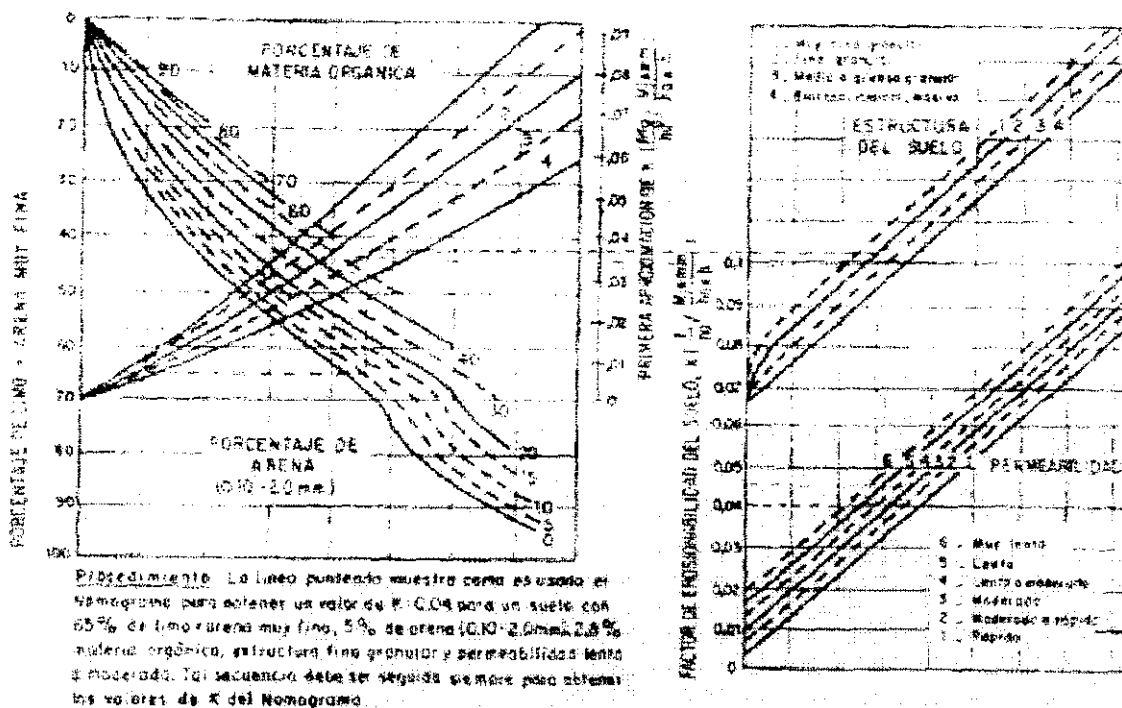


Figura 1 Nomograma para la determinación del factor erosionabilidad del suelo (K) en unidades del sistema métrico (Foster *et al.* 1981)

En los Estados Unidos, se han obtenido valores de K que, en el sistema métrico, van desde 0.13 para los suelos menos erosionables hasta 0.66 para los más sensibles (Wischmeier *et al.*, 1971). En este particular, y de acuerdo a sus experiencias en suelos africanos (Goujon y de Vergnette 1977) presentan una escala con valores de K aplicables a suelos de Túnez, que en unidades del SI es la siguiente:

$K < 0.007$ suelos muy poco erosionables

$0.001 < K < 0.013$ suelos ligeramente erosionables

$0.013 < K < 0.026$ suelos medianamente erosionables

$0.026 < K < 0.053$ suelos fuertemente erosionables

0.053 < K < 0.079 suelos extremadamente erosionables

Valenzuela (1991) presentan la calificación de la erosionabilidad de acuerdo a la siguiente escala:

- K < 0.001 muy baja
- 0.001 < K < 0.005 baja
- 0.005 < K < 0.015 moderadamente baja
- 0.015 < K < 0.030 moderada
- 0.030 < K < 0.045 moderadamente alta
- 0.045 < K < 0.060 alta
- 0.060 < K < 0.075 muy alta
- 0.075 < K extremadamente alta

El factor erosionabilidad del suelo puede ser también calculado a través de la siguiente ecuación desarrollada por Wischmeier(1971):

$$100 K = 2.1 * 10^{-4} (12-M) N^{1.14} + 3.25(S-2) + 2.5 (P-3)$$

Donde:

M= % materia orgánica

S= estructura codificada en el nomograma de Wischmeier

P= clase de permeabilidad codificada en el nomograma

N= (%de limo +arena muy fina)*(100-% arcilla)

K= factor erosionabilidad expresado en unidades del sistema inglés

Para expresar en Mgha h/Mjmm ha, multiplicar por 0.1317

3.1.1.3. Longitud de pendiente y pendiente (LS).

La longitud de la pendiente es la distancia que separa el punto donde el escurrimiento superficial se origina hasta el lugar donde el agua de escorrentía entra a un desagüe o vía fluvial definida, o bien hasta donde la pendiente decrece y el depósito de sedimentos comienza. Por ejemplo, la longitud de la pendiente en un campo con sistema de terrazas es la diferencia entre el tope del lomo de una terraza al centro del canal de la terraza inmediatamente inferior.

Las pérdidas de suelo por erosión proporcionales a la longitud de pendiente elevada a una potencia (l^m), donde m presenta el valor que varía entre 0.2 a 0.5 de acuerdo al aumento del grado de pendiente entre 1% y 5% o más, tal como sigue:

Tabla 4 Valores del exponente m para el cálculo del factor LS de la USLE.

pendiente p (%)	m
$p \leq 1$	0.2
$1 < p \leq 3$	0.3
$3 < p \leq 5$	0.4
$5 > p$	0.5

Considerando la longitud estándar de la pendiente (22.1 m), usada en la determinación del factor K , se calcula el factor longitud de pendiente (L) a través de la siguiente fórmula:

$$L = (\text{longitud de pendiente en el campo}/22.1)^m$$

El segundo componente del factor topográfico (S) está basado en la inclinación de la pendiente, definida como el gradiente expresado en unidades de ascenso o caída vertical por unidad de distancia horizontal, o por 100 unidades de distancia horizontal cuando la pendiente es expresada en porcentaje. El factor S puede ser calculado a través de la siguiente ecuación:

$$S = 0.065 + 0.045s + 0.0065s^2$$

donde "s" es la inclinación de la pendiente expresada en porcentaje.

Las dos ecuaciones anteriores pueden ser expresadas en una sola ecuación para el cálculo del factor LS:

$$LS = (\text{longitud de pendiente}/22.1)^m (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2)$$

El valor LS viene a ser la relación entre la pérdida de suelo de la pendiente en cuestión y la pérdida de suelo bajo la condición de referencia, la cual como se ha planteado, comprende una longitud de pendiente de 22.1 m y una inclinación uniforme de la misma de 9%.

3.1.1.4. Factor de cultivo C

El factor de cobertura y manejo es la relación resultante al comparar las pérdidas de suelo ocurridas en áreas con cobertura vegetal protectora y sometidas a prácticas de manejo con las correspondientes pérdidas en la misma área bajo continuo barbecho y cultivada en el sentido de la pendiente a intervalos regulares. El factor C considera el tipo y densidad de cobertura vegetal del suelo y todas las prácticas de manejo relacionadas, tales como tiempo para realizar las operaciones de cultivo, control de malezas, labranza, riego y fertilización, etc. Se considera un factor muy complejo, a causa del amplio rango de posibilidades en cuanto a cobertura protectora, manejo y las diversas formas en las cuales los residuos de los cultivos pueden ser dejados sobre el suelo (Donahue *et al.* 1983).

Wischmeier (1960) desarrollo un método para la evaluación de la protección al suelo por el cultivo basado en el establecimiento de cinco períodos o etapas de crecimiento:

Período F barbecho: período de la labranza a la siembra

Período 1: siembra: período que incluye el primer mes después de la siembra.

Período 2: establecimiento: hasta el segundo mes después de la siembra.

Período 3: crecimiento y maduración: desde el final del período 2 hasta la cosecha.

Período 4: rastrojo: desde la cosecha hasta la labranza para la nueva siembra.

El factor C experimenta importantes variaciones durante los diferentes períodos, siendo generalmente máximo durante los dos meses que siguen a la siembra. Ello es debido a que en esa época, que coincide con el principio de la estación de lluvias, el suelo aún no cuenta con una cobertura vegetal eficiente.

El factor C para un cultivo es particular. Se obtiene del promedio de los cinco valores parciales correspondientes a los cinco diferentes períodos del ciclo del cultivo para un año. Generalmente se calcula C ponderado.

Los pasos a seguir en forma resumida son los siguientes:

- a) Se debe conocer la distribución en el año del factor R; una forma conveniente es la curva acumulada
- b) Es necesario conocer los valores promedio anual del factor C para cultivo incluido en la rotación;
- c) Se determinan valores de C ajustados para cultivo de acuerdo a la distribución de R para cada etapa correspondiente al desarrollo de los cultivos.
- d) Se determina el factor C ponderando para la rotación de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$C = \sum_i C_i R_i / \sum_i R_i$$

Donde:

i periodo del cultivo

R_i Fracción de R correspondiente al periodo

C_i factor C promedio para el cultivo

Wischmeier y Smith (1978) desarrollaron un sistema detallado para definir los diferentes estadios en la evolución de los cultivos en relación al factor C , el cual incluye una serie de tablas y gráficos que permiten obtener los valores de C para varios cultivos, sistemas de manejo, niveles de productividad y condiciones climáticas de ocurrencia en Estados Unidos.

Gásperi (1982) opina que utilizar y/o adaptar información tan refinada a nuestras circunstancias no incrementaría la precisión de los resultados a obtener sino que complicaría en cierto grado la aplicabilidad inmediata de la USLE, por lo cual sugiere utilizar los valores de C que han sido producidos en condiciones tropicales o aquellos provenientes de EUA cuya naturaleza facilite su aplicación al caso bajo estudio. A largo plazo el autor sugiere la realización de investigaciones que permitan obtener valores de C para las condiciones particulares del medio.

En el siguiente tabla se muestran valores del factor C para diferentes cultivos y formaciones vegetales en Africa Oriental, reportados por Roose (1977).

Tabla 5 Valores del factor C de la USLE en diferentes condiciones en Africa (Roose 1977)

Vegetación	Factor C valor promedio anual
Suelo desnudo	1.0
Bosque o cultivo con mulch espeso de paja	0.001
Sabana o pastizal sin pastoreo	0.01
Cultivos de cobertura, siembra tardía o desarrollo lento	
1° año	0.3-0.8
2° año	0.1
Cultivo de cobertura, desarrollo rápido	0.1
Maíz, sorgo	0.3-0.9
Arroz (cultivo intensivo, segundo ciclo)	0.1-0.2
Algodón, tabaco (segundo ciclo)	0.5
Maní, soya	0.4-0.8
Yuca (primer año)	0.2-0.8
Palmas, café coco con cultivos de cobertura	0.1-0.3

La mayoría de los valores reportados en la literatura se refieren al factor C en tierras bajo cultivo, pero debido al interés en desarrollar el uso de la ecuación para suelos bajo vegetación natural (bosques, praderas, etc.) se ha adelantado el desarrollo de técnicas para la evaluación del factor C en tal sentido (Singer *et al* 1977).

3.1.1.5. Factor prácticas mecánicas (P).

El factor P indica la relación entre las pérdidas de suelo que resultarían en un terreno arado y sembrado en dirección de la pendiente y aquellos que ocurrirían si se tomará en consideración determinadas prácticas para el control de la erosión.

El factor P tiene un valor máximo de 1 que tiende a ser reducido por prácticas de conservación especiales, dentro de las cuales las más comunes son cultivos en contorno y cultivos en fajas.

Las prácticas conservacionistas que afectan el factor P en la retención de sedimentos, facilitan la infiltración del agua en el suelo y por lo tanto disminuyen el escurrimiento; también pueden actuar facilitando la evacuación de excedentes que pudieran generar escorrentía.

En relación a las terrazas, prácticas muy eficientes para el control de la erosión, es importante señalar que a parte de su efecto sobre el factor P afecta mayormente el factor LS al modificar la longitud de pendiente y la pendiente original del terreno. Tal es así que cuando se tratará de evaluar la erosión entre terrazas, la longitud de la pendiente será el intervalo horizontal de la terraza.

3.1.2 Aplicabilidad de la ecuación universal de pérdida de suelo

El servicio de Investigación Agrícola de los Estados Unidos (ARS) estableció en 1954 el Centro Nacional de Colecta de Datos de Esgurrimiento y Erosión en la Universidad de Purdue. Como resultado de las actividades de este centro en 1955 Wischmeier y Smith desarrollaron la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) la cual cuantifica la erosión a través del producto de seis factores que representan la erosividad de la lluvia y la escorrentía R, la erosionabilidad del suelo K, la inclinación de la pendiente S, la longitud de la pendiente L, las prácticas de manejo del cultivo C, y las prácticas de conservación del suelo P.

El nombre Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE por sus siglas en inglés), particularmente el término universal, se originó con el fin de distinguir entre este modelo de predicción y los altamente regionalizados que lo precedieron. Wischmeier (1984), señala que “quizás la validez del término universal

depende de la interpretación que se le dé. En el sentido de las funciones propuestas para los seis factores de la ecuación la validez del modelo no debería tener límites geográficos. Pero su aplicabilidad está en función de la disponibilidad de valores representativos locales para cada factor”.

Con base en esta afirmación los trabajos a nivel mundial se han enfocado sobre todo a una mejora en la precisión del cálculo de los factores de la USLE, como lo muestran los trabajos para adecuar el factor R en Estados Unidos, en la región del pacífico -norte McCool, *et al.* (1982), analizan el efecto de la erosividad por estación del año encontrando que los mayores daños para la zona se presentan durante el invierno, cuando los procesos dominantes de la erosión son la superficie de escorrentía y la movilización de la nieve; en el sudoeste. Simanton, y Renard, (1982), encuentran que los valores de R calculados a partir del EI_{30} son los que presentan mejor correlación para la zona de Nuevo México y Arizona, en Luisiana, Bengston y Carter (1983), realizan cálculos del índice de erosividad para periodos anuales, mensuales y de tormentas individuales no encontrando diferencias significativas con los valores reportados en el Handbook 537. En Canadá, Wall *et al.* (1983), generan métodos sencillos para la estimación de los índices de erosividad con base a cantidad de lluvia, simplificando el cálculo de estos, generando mapas de erosividad de la región. En Japón, Hosayamada, (1986), demuestra que la erosividad y la erosionabilidad son buenos indicadores de las pérdidas de suelo si estos se basan en medidas a largo plazo. En Argentina Rojas y Conde (1985), generan mapas de valores de R para varias regiones. En Venezuela Paez y Rodríguez (1989), analizan el índice EI_{30} y concluyen que éste estima la agresividad de la lluvia en forma adecuada para los Alfisoles de este país. En Alemania, Deumlich y Godicke, (1989), estudian la aplicabilidad del factor R de la USLE en la región de Morein de la República Democrática Alemana observando que la erosión se genera en precipitaciones mayores a 7.5mm o intensidades de 5 mm/h. En Suiza, Dettling W. (1989), analiza la conversión del factor R al SI encontrando que esta conversión no ha sido adecuadamente convertido por lo que se han presentado inconsistencias en otras publicaciones anteriores por lo que los resultados deben de ser revisados en las mencionadas publicaciones. en Checoslovaquia Malisek, (1990), analiza el factor R de la USLE encontrando que solo precipitaciones mayores a 20 mm/h con una infiltración inicial de 10 mm producen erosión en la mencionada región. En Japón Tsuji *et al.* (1990) analizan periodos de tiempo para evaluar el EI_{30} , encontrando que los mejores coeficientes de correlación son en datos anuales para Japón Nagasawa *et al.* (1993) analizan el efecto de la lluvia y el deshielo en el factor R encontrando la relación entre EI_{10} y EI_{60} , dando valores menores de los hasta entonces dados a la erosividad por nieve. En Finlandia, Posch, y Rekolainen (1993), analizan el factor R con base a datos de 8 estaciones de Finlandia en un periodo de 27 años utilizando diversos métodos de interpolación, encontró que existen variaciones estacionales importantes de la erosividad pero poca variación espacial para la región de Finlandia.

En cuanto al cálculo del factor K los trabajos se han enfocado a analizar las diferencias de estimación debidas a métodos de laboratorio, usando el nomograma de Wischmeier, Loch y Rosewell(1992).

3.1.3 Limitantes de la ecuación universal de pérdida de suelo

En relación a las limitaciones de la USLE hay que considerar que la misma es un modelo diseñado para estimar, a largo plazo, pérdidas promedio de suelo causadas por erosión en capas y en surcos bajo consideraciones específicas "Wischmeier y Smith (1965).

Foster (1979 citado por Lizaso 1980) señala que la USLE presenta limitaciones importantes como las siguientes:

- a) No estima con precisión la erosión para un evento específico.
- b) No estima la erosión causada por flujo concentrado.
- c) No estima el depósito de sedimentos.
- d) No estima la concentración de sedimentos en la escorrentía.
- e) No proporciona información sobre los sedimentos en sí, tal como tamaños, densidades, áreas superficiales, etc.

Cada vez que la aplicabilidad de la USLE sea evaluada bajo condiciones específicas, deberá tenerse clara la manera en la cual fue desarrollada, los datos requeridos para evaluar sus factores y las bases para su uso (Meyer, 1984).

Sanroque *et al.* (1983), analizan la USLE, desde la caracterización del suelo para el cálculo de la erodabilidad hasta los procesos para evaluar y predecir la erosión hídrica, marcan las ventajas y limitaciones de la ecuación mencionando que esta puede tener una amplia aplicación en España.

Utomo y Mahmud (1984), usan la USLE como una guía para el control de la erosión y concluyen que la ecuación debe de ser aplicada para evaluar la erosión en el este de Java. En tanto que Onstad *et al.* (1984), publican un estudio llevado con datos de lotes de escurrimiento puestos en 1980, para evaluar la posibilidad de aplicar la USLE a Kenya, concluyendo que esta se puede transferir directamente a las condiciones de este país y que el EI_{30} es un buen estimador para la erosividad.

Bollinne (1985), trata de ajustar la USLE para su uso en el oeste de Europa, y concluye que las investigaciones se deben enfocar a encontrar un índice mejor al EI_{30} . Dissmeyer y Foster (1985), aplican la ecuación para los suelos forestales del sur de EUA, concluyendo que la ecuación estima adecuadamente la pérdida de suelo.

Para el factor LS, Mc Isaac *et al.* (1987), analizan los efectos de este factor encontrando que la USLE tiende a sobrestimar el efecto del factor LS, McCool *et al.* (1987), analizan los datos históricos encontrando un punto de rompimiento a los 9% de pendiente por debajo del cual el factor LS subestima la pérdida de suelo y por arriba del cual la sobrestima.

Murphy y Flewin (1993), estudian la pérdida de suelo, para un periodo de 78 años en Nueva Gales, Australia, en suelos degradados con textura media y concluyen entre otras cosas que la predicción de pérdida de suelo usando la USLE, no debe ser usada para predecir pérdidas por eventos individuales o erosión resultado de flujos concentrados sino para estimar las expectativas de pérdida de suelo a largo plazo, para un suelo en particular, bajo un juego de prácticas de manejo.

Risse *et al.* (1993), analizan estadísticamente los resultados de 208 lotes de escurrimiento, que representan 1700 eventos y los comparan con los resultados de estimación de pérdida de suelo, calculados a partir de la USLE, concluyendo que:

La USLE es más precisa si se calcula el promedio anual de pérdida de suelo para un periodo, comparado con el cálculo de pérdida de suelo por año. Además observan que la USLE sobrepredice las pérdidas de suelo en lotes de baja pérdida de suelo, y subestima las pérdidas comparadas con lotes con altas pérdidas de suelo. De los parámetros de la ecuación el factor topográfico LS y el factor de cobertura y manejo C tienen más influencia en la eficiencia del modelo.

Aún con las limitaciones que pudieran enumerarse, cabe afirmar que la difusión, uso y aceptación de la USLE ha sido tan grande como el impacto causado por su creación, y que su aplicación aún cuando limitada a ciertos propósitos, puede ser continuamente mejorada. La adaptación a otros usos requiere cuidadosa consideración de los problemas y de los posibles tropiezos que pudieran surgir (Wischmeier, 1976).

Desde la publicación de la ecuación se hicieron varias revisiones de la misma y se incorporaron en la versión publicada en 1978, como el Manual Agrícola 537 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Wischmeier y Smith, 1978).

3.1.4 Aplicaciones a la ecuación universal de pérdida de suelo

Las aplicaciones de la USLE son muy variadas y numerosas por lo que a continuación solo se mencionan algunos trabajos generales a nivel mundial, nacional y local.

3.1.4.1 Aplicaciones a nivel mundial

Las aplicaciones de la USLE son muy variadas en el mundo y podemos citar solo algunos ejemplos: Foster (1982), aplica la USLE en agostaderos calculando los factores C y P evaluando pavimentación cobertura, coberturas no uniformes, rugosidad disturbios en suelos, raíces congelamiento, quemas, frecuencia e intensidad de lluvias, y otros tratamientos mecánicos. Explica que si bien la USLE es perfectible su aplicación generalizada puede ser útil a nivel mundial.

Santoro y Dazzi (1983), realiza un modelo de evaluación de tierras para Sicilia evaluando la erosión potencial usando 3 variables de la USLE, generando mapas de erosión potencial.

Rojas y Conde (1985), estiman el factor R de la USLE para la región central de Argentina, generando planos de igual erosividad.

Morgan y Kuss (1986), aplican la USLE para definir diferencias entre ambientes naturales en términos de su posibilidad para usos de recreación.

Díaz *et al.* (1987), evalúan la USLE para la predicción de erosión en bosques quemados en Galicia España, concluyendo que los factores LS y K deben de ser adecuados para ser aplicados en las condiciones de bosques quemados.

Paéz y Rodríguez (1989), discuten la las prácticas de manejo y cultivo para el control de la erosión en Venezuela en relación a la USLE. Y concluyen que es adecuada para las condiciones de los Alfisoles de Venezuela.

En Taiwan, Wann y Hwang (1989), calculan la pérdida de suelo y el factor K en el este de Taiwan.

Salehi *et al.* (1991), validan la USLE para tres sistemas de cultivo en el sureste de Quebec, encontrando un coeficiente de correlación entre la erosividad y el índice EI_{30} . Afirman que la USLE puede predecir las pérdidas por erosión durante las temporadas de crecimiento en esta parte específica de Quebec.

Thomas *et al.* (1991), aplican la USLE como un estimador del riesgo de degradación de suelos y como un elemento para planear la conservación de suelos.

Reining (1992) en Colombia utiliza la USLE para la caracterización y reducción de la erosión de suelo para sistemas de cultivo a pequeña escala, mostrando los efectos del manejo en el control de pérdidas de suelo.

Morse y Rosewell (1993). generan un nuevo método de clasificación de Tierras basado en la USLE. proponiéndolo como base para el manejo de estrategias en la urbanización de Nueva Gales del sur Australia. Este método define clases de suelo con base en las prácticas de manejo, a través de gráficas de los diversos factores de la ecuación.

Kuntschik *et al.* (1995), cuantifican la pérdida de suelo por erosión hídrica en la Cuenca del Río De Ararass en Brasil generando unidades potenciales naturales de erosión que no son otra cosa que la aplicación de la USLE no tomando en cuenta las actividades antropogénicas.

3.1.4.2 Aplicaciones en México.

Los esfuerzos en México se enfocaron a aplicar la USLE y a validarla. Para validar la ecuación los trabajos iniciaron con el grupo del Colegio de Postgraduados que implementó lotes de escurrimiento en una cuenca experimental, la cuenca del río Texcoco, (Anaya 1978), los trabajos fueron iniciados por Figueroa (1975) con el trabajo sobre pérdidas de suelo y nutrientes en la cuenca del río Texcoco. Este autor evalúa la USLE y menciona que si bien requiere adecuaciones es aplicable a México en su concepción actual.

En forma colateral se inician los trabajos de aplicación de la USLE, como un criterio básico para la conservación de suelo, aplicándose por la Dirección General de Conservación de Suelo, de la Secretaria de Agricultura a nivel nacional.

Trueba (1981), Evalúa la eficiencia de 4 prácticas mecánicas para reducir las pérdidas de suelo y nutrimentos por erosión hídrica en terrenos de temporal, usando la USLE.

Ruiz (1979), Ramírez (1982), Zazueta (1984), y Beltrán (1988), aplican la USLE para definir prácticas de conservación en el estado de México y mencionan que el factor C varía en cada región del país por lo que son necesarios estudios que definan el valor C en forma general.

Barrón (1988), trabajó sobre el efecto de la producción de maíz y la erosión en cuatro suelos del sur de Jalisco.

López (1991), estudió el efecto de tres prácticas agronómicas sobre la conservación y productividad de suelos de ladera de la Frailesca.

Figuroa *et al.*(1992), publican un manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión donde se usa la USLE como parte integral de la determinación de la erosión de suelo.

Montenegro (1992), estudia el efecto de la lluvia sobre la estructura interna de los suelos labrados.

Osuna (1987) (1988) (1991) diagnostica la erosión en el Llano de Aguascalientes y sus efectos en diversos cultivos de temporal.

Trejo (1993), aplica la USLE para evaluar la conservación de suelo y agua en el Lago de Pátzcuaro en Michoacán

En la actualidad, la USLE, se encuentra en los términos de referencia para los trabajos de planeación y manejo de áreas protegidas y de reserva del Distrito Federal, como la Sierra de Guadalupe (CORENA, 1994). En algunos estado de la República se usa como indicador de la degradación que sufre un área en particular. (Proyecto Lago de Texcoco, 1992).

3.1.4.3 Aplicaciones en el área de estudio.

La cuenca del Río Texcoco forma parte del área de trabajo de diversas Instituciones, como son el Colegio de Postgraduados (C.P.), la Comisión Lago de Texcoco, la Comisión Coordinadora para el Desarrollo Agrícola y Ganadero del Estado de México (CODAGEM), y la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH), Cada una con objetivos diferentes pero en forma general lograron propiciar la conservación de los suelos en el área.

Entre los trabajos realizados resaltan:

Figuroa (1975), demostró que la áreas tepetatosas eran responsables del 71.5% del total del suelo removido de la cuenca, debido a la erosión hídrica, lo que llevó a una jerarquización de las áreas para el combate de la misma. A partir de 1976 se empezaron a dictar posibles soluciones para detener la producción de sedimentos de la cuenca. En las áreas tepetatosas (áreas experimentales) se hicieron plantaciones de nopal en curvas a nivel, lo que fomentó el establecimiento de vegetación en esas áreas.

En áreas con problemas de formación de cárcavas, se construyeron terrazas de banco y terrazas de formación sucesiva además de realizar estudios sobre las adaptabilidad de diferentes variedades de gramíneas a

las condiciones regionales. Posteriormente se usaron para la estabilización de taludes. Con la finalidad de mejorar las condiciones de la agricultura de temporal, se condujeron estudios sobre la captación de agua, incorporación de materia orgánica y labranza.

Por otra parte, para controlar azolves y rehabilitar suelos severamente erosionados se efectuaron investigaciones sobre prácticas mecánicas, construcción de bordes, prácticas vegetativas y prácticas agronómicas y uso de abonos orgánicos. En esta investigación se concluyó que la combinación de dichas prácticas es útil para rehabilitar suelos degradados y desde un punto de vista económico es redituable en un periodo de 5 años. Esta práctica es una alternativa para productores de escasos recursos (Arias y Figueroa, 1981).

Otros estudios con referencia a la agresividad de la lluvia fueron los de Arias (1980), que estudió la aplicación de diversos índices para el cálculo de la erosividad de la lluvia, encontrando que el EI_{30} es el estimador paramétrico con mejor correlación ($r=0.823$) con el factor R aunque si no se cuenta con información de pluviómetros el estimador de agresividad de la lluvia de Fournier puede ser aplicado en México con confiabilidad ($r=0.763$).

Cortés (1991), analizó el factor C de la ecuación, llegando a la definición de valores de C para diversas rotaciones y sistemas de manejo.

Terrazas (1977), aplica el nomograma de Wischmeier planteando evaluar el comportamiento de algunas prácticas de manejo para reducir las pérdidas del suelo y nutrientes en los suelos de ladera de la subcuenca del río Texcoco, así como obtener valores del factor C de la USLE para los cultivos y prácticas probadas. Para calcular los valores de C llevó a cabo mediciones de K y R en longitudes de 75 metros y diversas pendientes.

Rey (1979), utiliza el nomograma de Wischmeier en sus trabajos, lo hace específicamente sobre los tepetates de la cuenca del río Texcoco, encontrando que la pérdida por erosión de los tepetates es alto existiendo marcadas diferencias entre ellos, siendo el tepetate gris el que reporta mayores pérdidas, después el rojo y por último el amarillo.

González (1984), evalúa la introducción de gramíneas y leguminosas en áreas degradadas para su uso en conservación de suelo y producción de forraje en sistemas asociados de maíz.

Rios (1987) y Ventura (1988), trabajaron con diferentes usos y sistemas para calcular el factor C de la USLE, encontrando valores para los diversos sistemas.

El factor de prácticas de control de la erosión fue estudiado por Trueba (1981), aplicando la USLE para definir estructuras de conservación,

Oropeza (1980), evaluó la erosión hídrica en las cuencas del ríos Chapingo y Texcoco, encontrando que la USLE si es aplicable para la zona oriente del Valle de México.

También se cuenta con información de la producción de sedimentos para la cuenca del Río Texcoco de los años de 1974 - 1980 y de la degradación de los suelos, información de lotes de escurrimiento de diferentes asociaciones en los años de 1974-1980 expresados en ton/ha/año (Ortiz *et al.*, 1982). Todas esta investigaciones se hicieron aplicando la USLE.

La Comisión Lago de Texcoco aún ahora toma los datos de la USLE como un estimador indirecto de la degradación del ambiente (Reporte de actividades, 1997).

3.2. ANTECEDENTES DE LA APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICOS EN LA ESTIMACIÓN DE EROSIÓN DE CUENCAS.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el mundo datan de las últimas dos décadas, sin embargo su aplicación ha sido inmediata, encontrándose aplicaciones a nivel mundial en casi todos los ramos económicos y sociales. En el manejo de los recursos naturales existen aplicaciones muy variadas y en casi todos los ámbitos. Como ejemplo es posible citar, en Estados Unidos a Logan, *et al.*(1982), realizaron estudios de la erosión potencial con labranza de conservación estimada por la USLE. Berry (1983), aplicó su sistema de información en el modelaje de una cuenca hidrográfica. Legis (1983) analizó la aplicación de los SIG en la evaluación de tierras y cálculo de la erosión en Kisii Kenya.

Awa *et al.* (1988), estudió el efecto de la resolución de datos en la predicción de la USLE experimentando con tres tamaños de celda desde un cuarto de hectárea hasta una hectárea encontrando que no existía una diferencia significativa en los sedimentos predichos por efecto del tamaño de celda.

Auerswald (1988), genera un procedimiento para la estimación de la pérdida de suelo en escalas grandes 1:5000 usando la USLE combinada con un modelo de elevación digital llamó este procedimiento "differentiating Universal Soil Loss Equation dUSLE."

Wilson (1989), aplicó la USLE a través de un SIG, para el cálculo de la erosión de las tierras dedicadas a la agricultura, en la cuenca del lago Simcoe-Couchiching para el periodo 1800-1981 reconociendo que la USLE es un buen estimador de la erosión. encontrando además que las pérdidas de suelo han pasado por una tasa de alto a bajo y nuevamente a alto en los pasados 130 años.

Neufang et. al (1989), estudian las aplicaciones de la USLE para la planeación de la consolidación de tierras y el servicio de extensión agrícola.

Cruz (1990), aplicó los SIG en el cálculo de la erosión usando la USLE en Filipinas estimando para 65 000 ha la pérdida de suelo a través del uso de celdas de 10 ha. Presentó mapas de capacidad de suelo para la cuenca.

Auerswald *et al.*(1990), desarrollaron planos de alta resolución para la erosión de suelos en bosques usando la dUSLE que es la USLE en términos digitales. En este caso se combinó la USLE con ARC INFO obteniendo planos de riesgo de erosión. Flake *et al.* en ese mismo año aplicaron la USLE con un modelo de elevación digital, trabajado a través de el módulo de TIN de ARC INFO lo que produjo mayor precisión en el cálculo de la erosión de suelo.

Julien PY (1991), estudió la variación de los factores de la USLE para la cuenca de Conca que cubre alrededor de 4 000 ha en España, y los comparó con los resultados obtenidos en Chaudiere Canadá, concluyendo que ambas cuencas presentaban una pérdida de suelos similar cuando se usaban celdas de tamaño menor a 0.125 km² para los valores de LS. En los demás factores el tamaño de celda no tenían influencia.

Eriksson (1992), utilizó 4 métodos para la determinación de transporte de nitrógeno y fósforo, en la cuenca Borsjon en Suecia, (mediadas directas, coeficientes medios de las pérdidas por superficie determinadas en imágenes de satélite y a través de la USLE integrada un sistema de información geográfica, concluyendo que los resultados de los 4 métodos son comparables.

Fulton (1992), generó una interface entre la USLE y un SIG para el cálculo regional de la pérdida de suelo, puntualizando que debido a su facilidad para realizar sobreposiciones de mapas con los diferentes valores de los factores de la USLE, obteniendo los valores de LS de un modelo de elevación digital, es posible realizar modelaje en el uso del suelo y generar rápidamente estudios de diverso nivel de jerarquización, además de tener potencial para estudios de degradación en una escala global.

Busaca et. al. (1993), compararon la estimación de la erosión de suelos en Palouse usando CS-137 y la USLE, sugiriendo que la USLE sobreestimó la pérdida de suelo en esta parte. En ese mismo año Posh y Rekolainen aprovechan la facilidad de manejo de datos por parte de los SIG's y el desarrollo de la geoestadística para calcular el factor R en Finlandia.

Jugens y Fander (1993), realizaron un estudio usando la USLE para determinar la erosión a largo plazo de pequeñas cuencas en Alemania, determinando el factor C por el análisis monotemporal de imágenes de satélite, el factor LS de un modelo de elevación digital y datos de campo para el cálculo de el factor K, los factores P y R fueron constantes, considerando que valores mayores a 1ton/ha /año tenían un impacto negativo.

En México aún cuando los SIG's son una herramienta relativamente reciente en su aplicación, en el manejo de los recursos naturales, han tenido un impacto inmediato. Existen multitud de artículos que validan la aplicación de estos:

Ponce (1990), propone un diseño de un sistema digital de información de Recursos de Tierra (SIRTMEX) para monitoriar los recursos en México y Latino América.

Gómez T. *et al.* (1992), aplicaron los SIG para planeación y manejo de cuencas con fines de conservación.

López Blanco (1994) aplica el manejo de sistemas de información geográfica para definir morfología y sus implicaciones en erosión de suelos.

Muñoz (1993), explicó el uso de los SIG en la determinación de diagnostico del recurso suelo, enfatizando sus capacidades de análisis, en la 1ª reunión de conservación de suelo y agua.

Moreno et. al. (1995), crearon una interface para la visualización y modelaje de la base de datos nacional del INIFAP usando ARC INFO como plataforma de despliegue y análisis.

En todas las investigaciones se usaron los SIG para facilitar no solo el manejo de datos sino la producción cartográfica, así como la unión de datos de diversas fuentes, con rapidez y confiabilidad pudiendo aplicarse gran variedad de cálculos estadísticos para evaluar las relaciones existentes en campo.

3.3 DEGRADACIÓN DE SUELOS Y METODOLOGÍA F.A.O.

3.3.1 Estudios sobre la degradación de suelo.

El balance entre la acción natural de las fuerzas del clima y la resistencia de la tierra, determina el riesgo de la degradación en un área particular, en la cual la acción humana puede incrementar o disminuir dicha resistencia.

Al presentar la definición de degradación de la tierra inducida por el hombre, es necesario hacer una reseña sobre como surge el término, ya que anteriormente el tema se manejaba como desertificación. Hoy en día el término "desertificación" incluye una amplia variedad de definiciones. Los términos "Desertificación", "Aridización" y otros más, han sido discutidos sin alcanzar conclusiones concretas (Paylore 1976). Sin embargo, a partir de 1990 resurge el término desertificación a nivel mundial.

Matlock (1976), prefirió el término "degradación de la tierra", a desertificación; porque este último tiene connotaciones emocionales, definió el fenómeno "como un proceso insidioso, cualquiera que sea su nombre, que puede ser expuesto como el efecto acumulativo de una serie de acciones, las cuales pueden o no ser evidentes en cada caso". Cuatro de estas acciones son: 1) reducción y finalmente desaparición de la vegetación; 2) mayor tasa de escurrimiento y menor infiltración de la precipitación; 3) erosión creciente del suelo y consecuente, pérdida de fertilidad; y 4) formación de dunas móviles y superficies desérticas.

En el presente estudio se manejará el tema con el nombre de "degradación de la tierra inducida por el hombre" o "desertificación" en forma indistinta como lo sugiere Ortiz (1994).

Existen diferentes conceptos sobre degradación de suelos, algunos de los cuales se mencionan a continuación:

La palabra "desertificación" es un término de origen latino, utilizado desde 1949 por el botánico y ecólogo francés Aubreville, en el libro denominado "Climats, forests et desertification de l'Afrique tropicale" (Citado por Nelson, 1988).

Dregne (1976), define como desertificación al proceso de empobrecimiento de los ecosistemas por el impacto combinado del clima y hombre.

McGuinness (1976), menciona que la desertificación conlleva al empobrecimiento biológico por disminución de variabilidad, una disminución del espesor del suelo y la alteración del mismo por erosión.

Durante la Conferencia de la Naciones Unidas sobre Desertificación (UNED) en Nairobi, Kenia (1977), se especificó que “la desertificación se refiere a las disminución o destrucción del potencial biológico de la tierra, que puede desembocar en definitiva en condiciones de tipo desértico” y se definió como “el crecimiento de los desiertos ocasionado por causas naturales, principalmente por cambios climáticos”.(ONU, 1978).

Para la FAO (1980), la degradación del suelo es un proceso que disminuye la capacidad actual y potencial de un suelo para producir (cuantitativamente y/o cualitativamente) bienes o servicios. Este proceso no es necesariamente continuo.

Hudson (1982), definió a la degradación de suelos como una reducción de su capacidad para producir cosechas. Tal degradación puede presentarse sin que exista desplazamiento del suelo.

Anaya (1985), definió como desertificación al proceso que incluye todas las formas de deterioro (económico y social) y de degradación (procesos naturales o inducidos, los cuales destruyen el equilibrio del suelo, vegetación aire y agua) de áreas sujetas a una fuerte aridez edáfica o una alta aridez climática.

FAO (1984), definió a la degradación de suelos como “la expresión general de los procesos económicos y sociales, así como los naturales e inducidos que disminuyen el equilibrio del suelo, la vegetación, el aire y el agua. Según este organismo cuando la degradación de las propiedades de los suelos es continua, se llegará a la desertificación.

El ISRIC (1988), propuso la siguiente definición: “La degradación de suelo es el proceso que describe el fenómeno inducido por el hombre, el cual disminuye la actual y/o futura capacidad de un suelo para soportar la vida humana”.

En junio de 1992, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre desarrollo y ambiente adoptó la Agenda 21, donde se define la desertificación como degradación de tierras; y es resultado de varios factores, incluyendo variaciones climáticas y actividades humanas.(UNCED, 1993)

Chou y Dregne (1993), mencionaron que los cinco factores principales de los procesos de degradación o desertificación son: a) erosión hídrica; b) erosión eólica c) salinización y d) compactación de suelos.

Ponzi (1993), concluyó que la conservación de suelos tiene que ser justificada en términos de sustentabilidad ambiental y mantenimiento de los niveles de producción de alimentos. Para Darkoh (1993) “es fundamental el estudio de la degradación de suelos para implementar trabajos de conservación de suelos”.

De acuerdo con lo anterior se puede decir que en el deterioro de los recursos naturales se involucran factores ambientales y humanos que se relacionan en forma cinérgica en un ciclo como lo muestra el esquema propuesto por Ortiz (1994) de la figura No.2 donde el detonante principal es el mal uso de los recursos naturales.

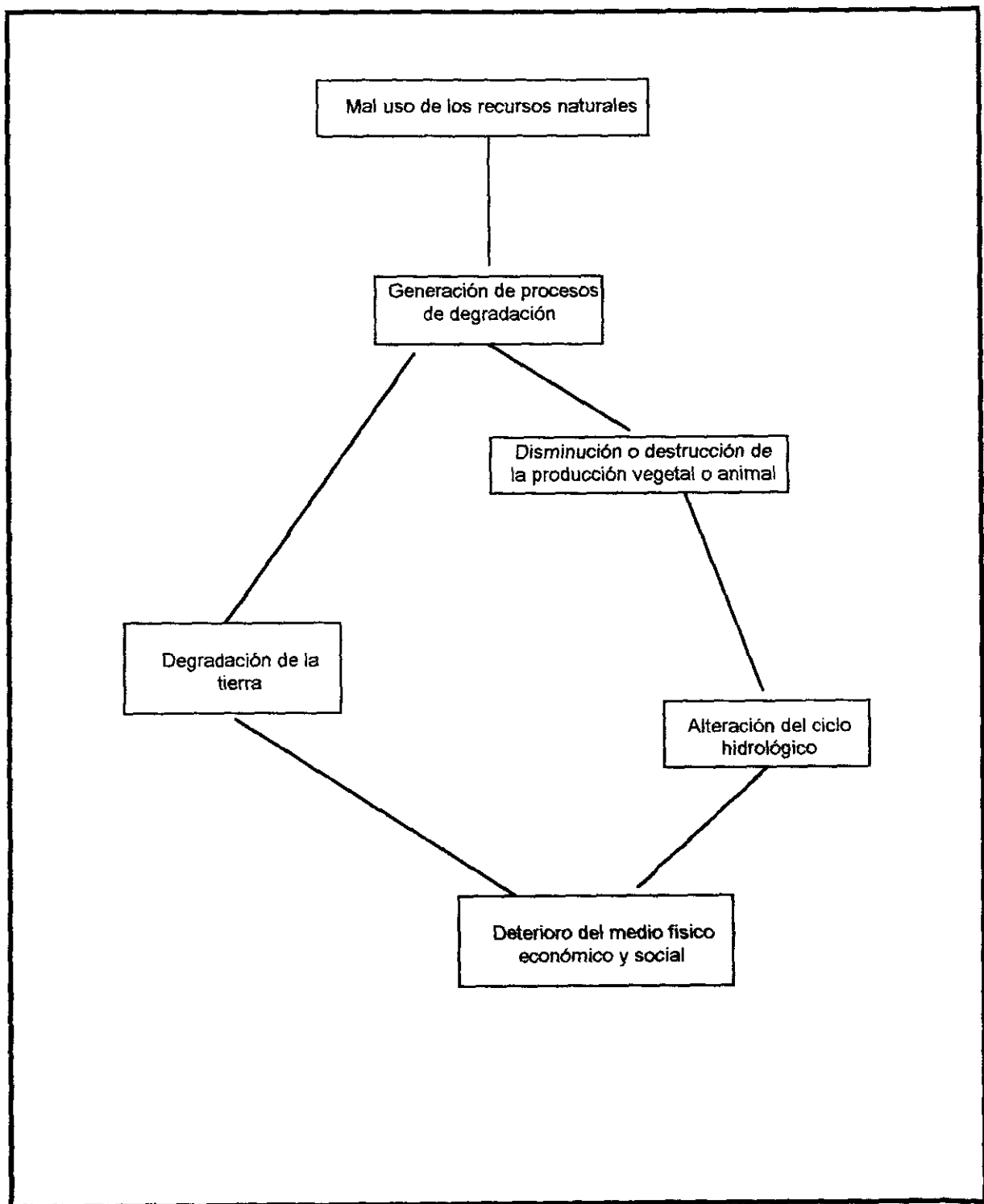


Figura 2 Ciclo de la degradación de la tierra inducida por el hombre.

(Adaptado de Ortiz 1994).

Esta situación establece que la desertificación o degradación de suelos es un proceso de alcance mundial (Medellín, 1978). Las áreas más susceptibles de sufrir este proceso son las áreas marginales de los países en vías de desarrollo como el caso del agro mexicano, en su mayoría son áreas de subsistencia y/o temporal, en las que inciden algunos de los factores de deterioro, como se mencionan en seguida:

- Falta de conocimiento real de los recursos naturales; lo que origina el mal aprovechamiento de los mismos, debido al desconocimiento de los límites de aprovechamiento, así como el uso de tecnología no adecuada al lugar.

- Importación de tecnología indiscriminada; esto se observa en la aplicación de tecnologías extranjeras por parte de personal técnico no capacitado que pretendiendo aumentar la productividad promueven el uso de tecnologías no aptas para una zona.

- Sobre población. El incremento de la población en relación con la magnitud de los recursos de un país incide en una sobre explotación de los recursos principalmente el recurso suelo, a fin de satisfacer las necesidades de la población. Esto se refleja en una degradación acelerada de los recursos.

En México concurren muchas causas naturales que condicionan o favorecen los procesos de desertificación. Sin embargo, el verdadero problema reside en la capacidad de los humanos para convertir los suelos en áreas erosionadas por el mal manejo y abuso en la explotación de los recursos (Roldán y Trueba 1978).

Existen aproximadamente 150 millones de hectáreas con problemas de desertificación, lo que representa el 80% de la superficie del país. Además esta avanza un promedio de 100 000 hectáreas por año (Anaya, 1985 y Ortiz 1994).

Otra de las causas de degradación en México lo constituye el desarrollo urbano sin planeación adecuada, aunado a una migración hacia las ciudades (particularmente en el valle de México) constituyéndose un desfase entre el crecimiento urbano y capacidad de regulación prestación de servicios, lo que origina asentamientos precarios en viviendas improvisadas, generalmente en áreas de alto riesgo de degradación (áreas con elevadas pendientes, suelos erodibles etc.).

3.3.2 METODOLOGÍA FAO

Después de varios años de trabajo el Programa de la Naciones Unidas para el Mejoramiento del Ambiente (PNUMA) en colaboración con FAO (1977) se responsabilizó en elaborar un proyecto y generar una metodología para evaluar y cartografiar la degradación de suelos. Esta se presentó en 1979. México fue seleccionado como piloto para probar la metodología.

Dicha metodología propone los siguientes procesos de degradación: a) degradación de la cubierta vegetal; b) erosión, c) salinización; d) disminución de la materia orgánica de suelo; e) encostramiento y compactación del suelo y f) acumulación de sustancias tóxicas para las plantas o los animales. Los cuatro primeros son procesos primarios, ya que sus efectos son amplios y tienen un impacto significativo sobre la producción de la tierra, los últimos son procesos secundarios por que se derivan de los primarios.

Estos procesos se evalúan con base en tres criterios que son: estado actual, velocidad de acción y riesgo resultante. Para cada uno de los cuales se consideran cuatro clases de degradación: ligera, moderada, severa y muy severa.

Los criterios de evaluación al aplicar la metodología provisional en México, fueron disponibilidad y precisión de información existente en el país y la utilidad de la información generada.

Un requisito para evaluar la degradación es contar con un marco geográfico, donde la región se subdivide en unidades fisiográficas mostrando cierta homogeneidad en topografía, vegetación, geología suelos y usos de la tierra. Este requisito es cubierto al usar el levantamiento fisiográfico que cuenta con un sistema jerárquico que hace posible realizar la evaluación de la desertificación a diferentes niveles como se muestra en el tabla siguiente:

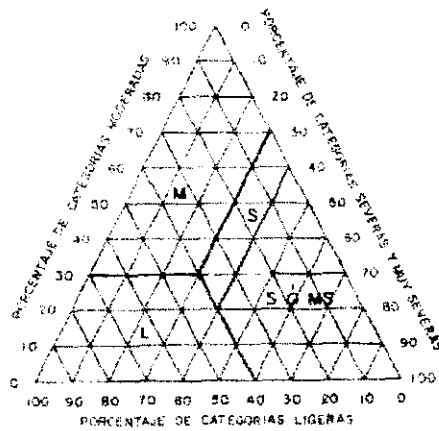
Tabla 6 Niveles Jerárquicos del Levantamiento Fisiográfico propuesto por el CP. (Ortiz y Cuanalo 1978)

ESCALA	UNIDAD TERRESTRE	ESCALA CARTOGRAFICA	ÁREA MINIMA CARTOGRAFIABLE*	
			cm ²	ha
Mundial	provincia terrestre	1:5 000 000	0.25	62 500
Nacional	región y subregión terrestre	1: 2 000 000	0.25	10 000
Región	sistema terrestre	1: 250 000	0.25	156.25
Local	fácta terrestre	1: 20 000	0.25	2.00

*Área mínima que puede ser representada en un plano

A fin de determinar la clase de degradación global de una área grande, la metodología presenta una guía fácil de usar, ya que uno de los problemas era: que a medida que se trabajaba en escalas más pequeñas la

desertificación en esas áreas por un determinado proceso tenía diferentes magnitudes. Dicha guía se presenta en forma gráfica en la figura No. 3:



Tomado de Ortiz 1994

Figura 3 triángulo de clases de degradación

Después de probar esta metodología en México, se propusieron algunas modificaciones aplicables a las condiciones locales de México y los resultados se presentaron en la 3ª reunión sobre desertificación efectuada en Roma en octubre de 1982. De esta forma se genera la metodología para evaluar y cartografiar la desertificación en México (FAO 1983). Las clases que contempla esta metodología se encuentran consignadas de acuerdo, a los factores considerados, en las tablas 7, 8, 9, 10 y 11.

Tabla 7 Criterios para la evaluación de la clase de degradación de la cobertura vegetal.

Criterio	Clase de degradación			
	ligera	moderada	severa	muy severa
Estado actual (ea) (Cobertura perenne)	$ea > 50 \%$	$20 < ea \leq 50 \%$	$5 < ea \leq 20 \%$	$5\% < ea$
Velocidad v (incremento de la degradación (%año))	$v < 0.5$	$0.5 < v \leq 1.0$	$1.0 < v \leq 2.0$	$v > 2.0$
Riesgo r (Incremento de terrenos arables (%año))	$r < 0$	$0 < r \leq 0.5$	$0.5 < r \leq 2.0$	$r > 2.0$

La reducción de los terrenos arables se considera como recuperación por que aumenta la cobertura de plantas perennes.

Tabla 8 Criterios para evaluar la clase de degradación por erosión hídrica.

Criterio	Clase de degradación			
	ligera	moderada	severa	muy severa
Estado Actual profundidad p	$p > 90$ cm.	$90 > p \geq 50$	$50 > p \geq 10$	$p < 10$
Velocidad v	$v < 0.5$	$0.5 < v \leq 1.0$	$1.0 < v \leq 5.0$	$v > 5.0$
Perdida de suelo en lotes de escurrimiento calculado por USLE ton/ha/año	$v < 10$	$10 < v \leq 50$	$50 < v \leq 200$	$v > 200$
Sedimentos en presas	$v < 0.5$	$0.5 < v \leq 1.0$	$1.0 < v \leq 2.0$	$v > 2.0$
Riesgo r				
Precipitación (mm) R	$r < 100$	$100 < r \leq 250$	$250 < r \leq 450$	$r > 450$
erodabilidad K	$r < 0.2$	$0.2 < r \leq 0.5$	$0.5 < r \leq 0.7$	$r > 0.7$
factor I.S	$r < 0.8$	$0.8 < r \leq 1.8$	$1.8 < r \leq 3.3$	$r > 3.3$
Factores CP	$r < 0.2$	$0.2 < r \leq 0.5$	$0.5 < r \leq 0.7$	$r > 0.7$

Tabla 9 Criterios para evaluar la degradación por encostramiento.

Criterio	Clase de degradación			
	ligera	moderada	severa	muy severa
profundidad del tepetate pt	$pt > 50$ cm	$50 < pt \leq 30$	$30 < pt \leq 10$	$pt < 10$

Tabla 10 Criterio para establecer el estado actual de degradación de la cobertura arbórea por cobertura de zacates.

Criterio	Clase de degradación			
	ligera	moderada	severa	muy severa
cobertura de zacates cz	$cz < 5\%$	$5 < cz \leq 20$	$20 < cz \leq 50$	$cz > 50\%$

Tabla 11 Criterio para evaluar el estado actual de degradación por erosión hídrica con el criterio de densidad de cárcavas

Criterio	Clase de degradación			
	Ligera	Moderada	Severa	Muy Severa
Densidad de cárcavas por Km dc	$dc < 1.5$	$1.5 < dc \leq 2.5$	$2.5 < dc \leq 3.5$	$dc > 3.5$

Tabla 12 Criterio para evaluar la degradación por asentamientos humanos.

Criterio	Clase de degradación			
	Ligera	moderada	severa	muy severa
Superficie con asentamientos humanos (h) %	$h < 5$	$5 < h \leq 20$	$20 < h \leq 50$	$h > 50$

3.3.2.1 Aplicaciones de la metodología FAO

Las aplicaciones de esta metodología son amplias a nivel mundial

Rozañov (1982), menciona que el diagnóstico de la desertificación se centra en la determinación conjunta de aridización de la vegetación y aridización del suelo. definiendo como aridización de la vegetación a el incremento de especies xerófitas en la vegetación de un determinado ecosistema, junto con una disminución de la densidad de vegetación y productividad. La determinación cuantitativa de este enfoque puede ser hecha con: a) una evaluación de la vegetación clímax en un ecosistema; b) la densidad de cubiertas de plantas; c) el incremento de especies xerófitas; y d) la productividad biológica (producción de biomasa). Este último es importante porque algunos factores que reducen la producción de biomasa son: la erosión, la salinización y destrucción de microflora y fauna del suelo entre otras.

Esto significa que la degradación de los ecosistemas es observable con la degradación del recurso suelo (García 1978).

Rozañov (1982), propone esta secuencia debido a que la vegetación como un conjunto es más dinámico; hace la aclaración que un decremento temporal de la productividad o deterioro temporal de la vegetación no deben de utilizarse como rasgos de diagnóstico de desertificación, a menos que éstos no se puedan recuperar en forma natural.

Zhu (1993), aplica la metodología de la determinación de la degradación en China, definiendo un modelo de tres componentes para la rehabilitación de áreas degradadas: 1) la rehabilitación de áreas degradadas y su desarrollo económico 2) la toma de datos de evaluación y 3) las implicaciones de esos datos en la toma de decisiones a nivel político.

Akhtar y Menshing (1993), determinan la degradación de suelos en Butana región al sur de Sudan en términos de vegetación y extensión de esta.

Drought (1994), Usa imágenes de satélite para monitoriar la degradación de suelos en África y hacer la producción cartográfica a partir de estas imagenes.

En México los estudios se refirieron a la prueba de la metodología FAO en sus partes de prueba global y alcances a nivel nacional en 1989 (Ortiz 1989 y 1994) y a nivel estatal Ramirez (1990). Y una posterior publicación de los resultados en el libro Degradacion de suelos (Ortiz 1994).

4.0 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La subcuenca del río Texcoco, que se ubica en la zona UTM 14 con coordenadas extremas 515616 2146714 y 529463 2156012 ocupa una superficie de 4748 ha, en el esquema de la figura 4 se puede observar su ubicación general en la República Mexicana y en el mapa (fig. 5) su ubicación regional. Políticamente pertenece al municipio de Texcoco. San Pablo Ixayoc es la población principal que incide en la parte media de la cuenca, en la parte baja de la cuenca se ubica Texcoco que es la cabecera municipal. Esta ciudad influye en la cuenca directamente por sus asentamientos humanos que se localizan en las partes bajas y afecta las relaciones económicas de la zona al funcionar como centro de distribución y enlace con la Ciudad de México. A continuación se describen las características principales de la cuenca.

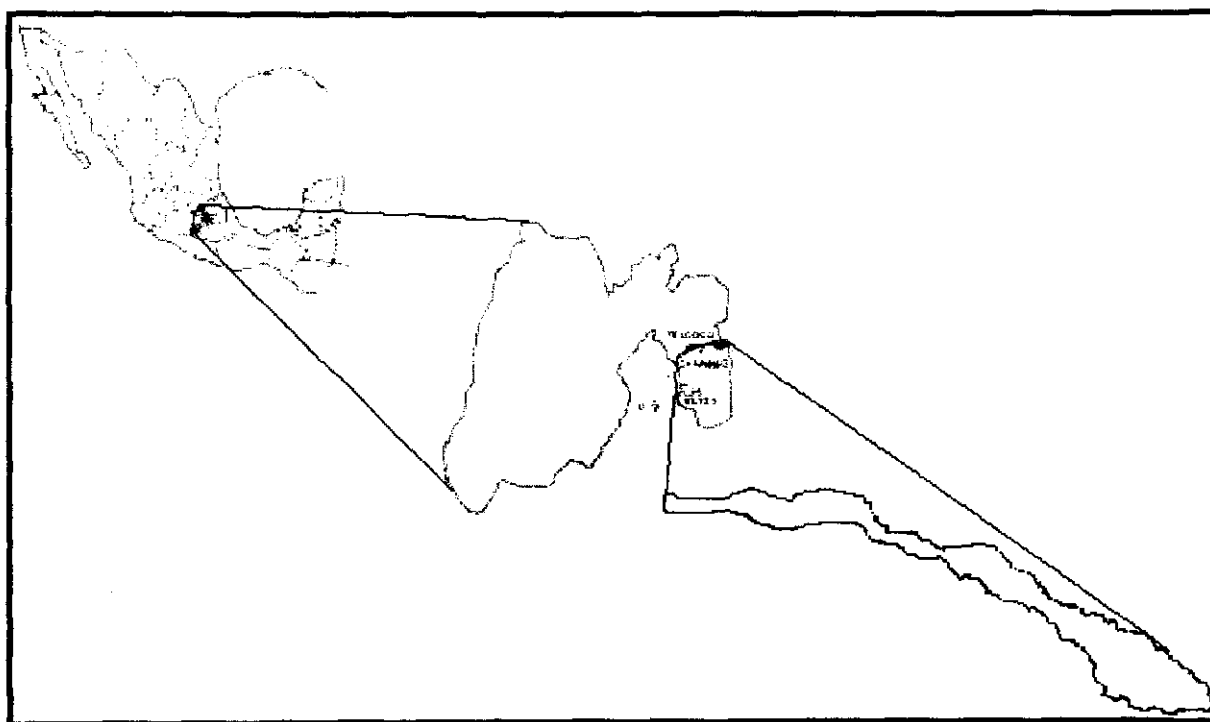
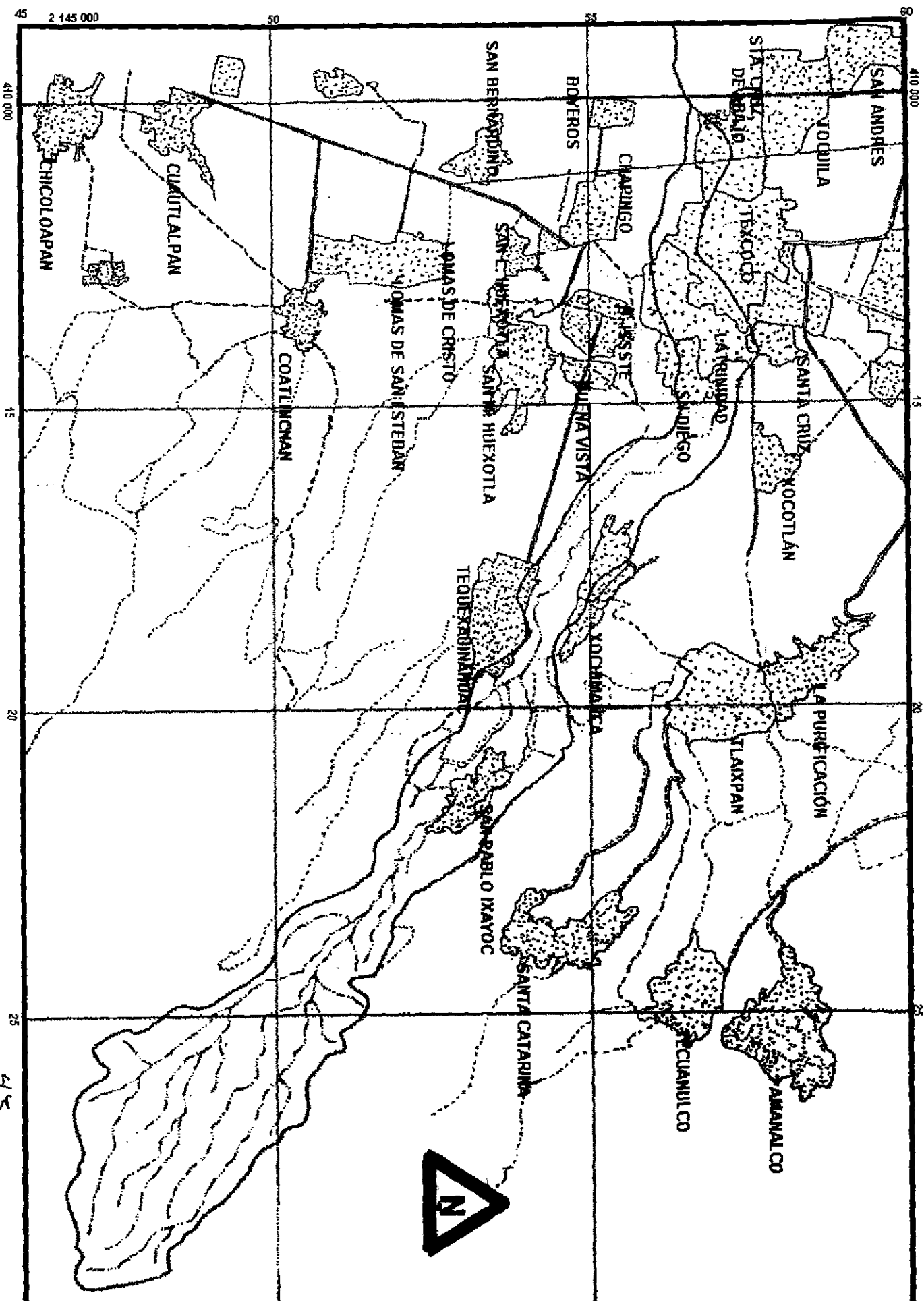


Figura 4 Ubicación de la cuenca del río Texcoco.

4.1 Clima

El clima presenta variaciones fuertes debidas principalmente a la influencia de la orografía, observándose una temperatura media anual de 5°C en la cima de la Sierra de Río Frío con una altitud superior a los 3900 msnm y de 15°C en el Vaso de Texcoco con una altitud menor a los 2300msnm. Las precipitaciones anuales varían respectivamente entre los 1200 mm y 600 mm.



45

De acuerdo con García (1968) dentro del área de estudio se tienen cuatro tipos climáticos distribuidos de la siguiente forma:

1) Bskw(w)(i'); templado, semiseco con una precipitación media de 600 mm, régimen de lluvias en verano, con una temperatura media anual entre 12° y 18°C y con una oscilación de temperatura entre 5° y 7°C. En la carta de climas de CETENAL se reporta también este clima para la zona de lomeríos, en la zona del lago de Texcoco.

2) C(wo)(w)b(i'); templado subhúmedo; con una precipitación media de 700 mm, con régimen de lluvias en verano, temperatura media anual entre 12° y 18° C y con una oscilación térmica entre 5° y 7°C, en las áreas planas.

3) C(wl)(w)b(i'); templado subhúmedo, con una precipitación media anual entre 800 y 900 mm, régimen de lluvias en verano, temperatura media anual entre 12° y 18°C y con una oscilación de temperatura entre 5° y 7°C, en la zona de lomeríos, hacia las estivaciones de la sierra de Río Frío.

4) C(w2)(w)b(i'); templado subhúmedo, con una precipitación anual media de 900 a 1200mm, régimen de lluvias en verano, temperatura media entre 10° y 14°C y con una oscilación térmica entre 5° y 7°C, en las laderas montañosas.

4.2 Topografía

El área de estudio queda comprendida entre las cotas de 2200 a 3950 msnm, con un altitud media de 2745 msnm; topográficamente es posible dividir a la cuenca en tres zonas (figura 6):

1.- Zona plana que va de 2200 a 2300 msnm

2.- Zona media de lomeríos, comprendida entre los 2200 a los 2500 msnm

3.- Zona alta o de montaña entre los 2500 y los 3950 msnm.

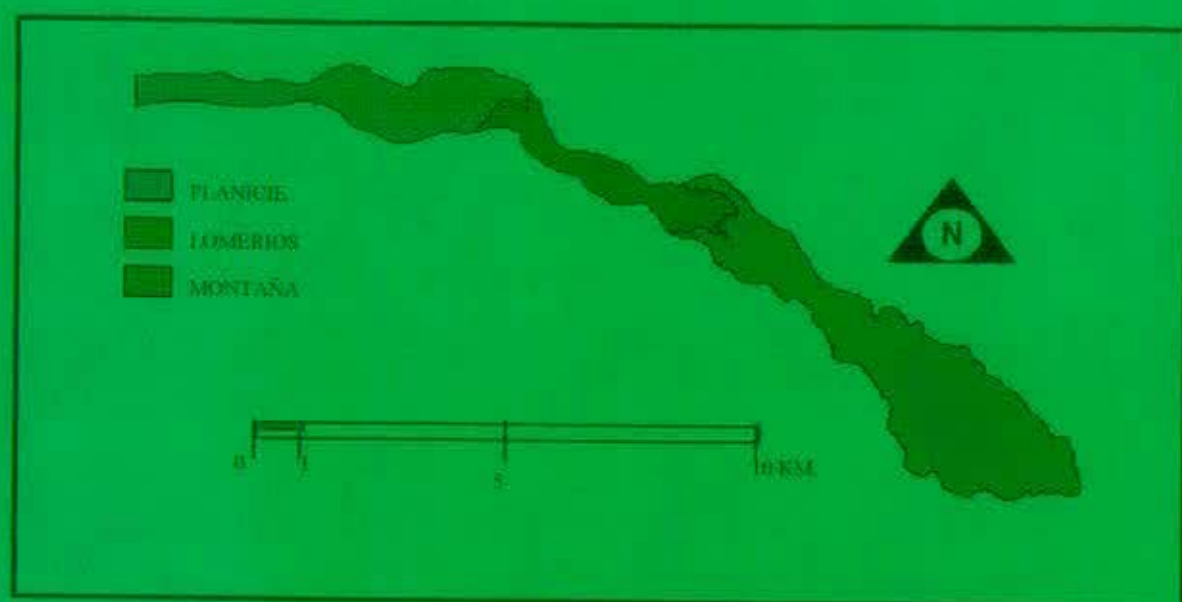


Figura 6. División de la cuenca del Río Tezozacoac por topografía.

4.3 Suelos

Los suelos que se localizan en la cuenca del Río Tezozacoac de acuerdo a la clasificación FAO son cinco unidades denominadas: phaeozem háplico, regosol eútrico, cambisol eútrico, litosoles y fluvisoles.

4.4 Geología

De acuerdo a Mooser (1961), el material que constituye al Valle de México fue producido en el Terciario y Cuaternario a partir de fallas y fracturas del sistema de fallas Chapala-Acambaro.

En el área de estudio, del Tlaloc hasta cerca de San Pablo Ixtayoc es posible encontrar formaciones del Terciario medio (Oligoceno-Mioceno) y Mooser la emitea como Serie Andesítica Tlaloc-Telapón. Al final de este periodo hubo un tiempo de neoplaniación. Al Plioceno pertenecen complejos elevados, algo más jóvenes con centros erosionados representados por la sierra de Tlaxpan (Andesita con Autíboles).

Las bases de todas de las elevaciones del Terciario medio y del Terciario superior, quedaron cubiertas en el Plioceno superior por abanicos aluviales, restos de una época de relativa aridez y falta de vegetación.

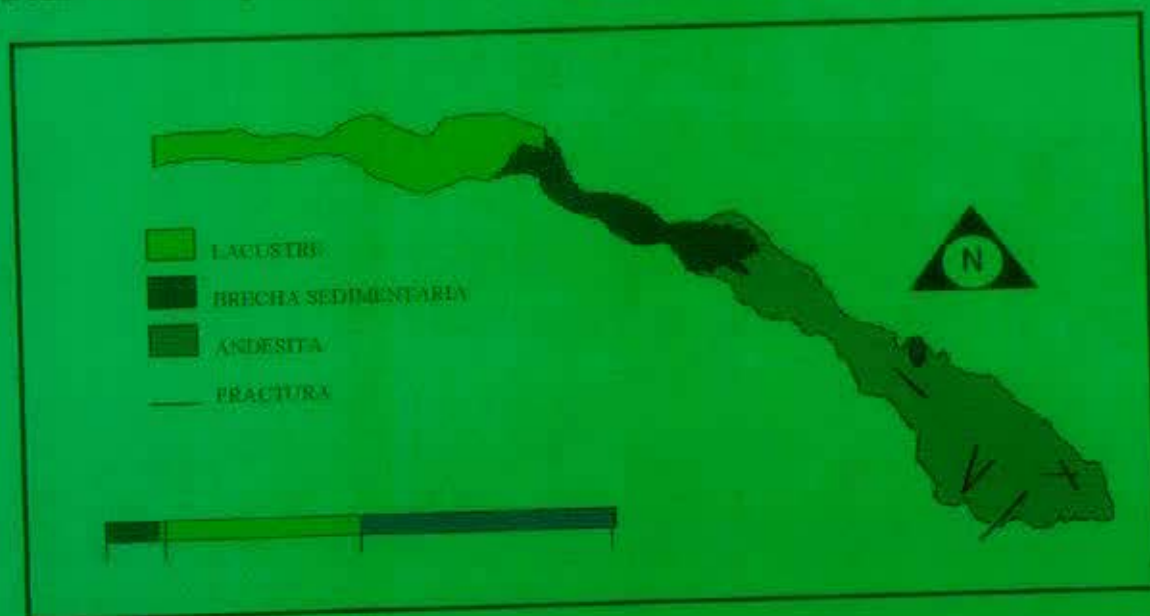
Después, al ocurrir en la cuenca los últimos hundimientos, se extravasaron grandes volúmenes de tobas y brechas volcánicas, en forma de avalanchas ardientes, provenientes de conos volcánicos no visibles en la actualidad a los pies de la Sierra de Río Frio. Sus depósitos constituyen la formación Turango inferior.

A fines del Terciario y comienzo del Cuaternario se presentan nuevas pulsaciones tectónicas, a la vez que un cambio climático de seco a húmedo y es cuando desaparece el glaciar del Noreste del Tlaloc; las aguas socavaron arroyos y cañones en los complejos volcánicos del Terciario y en los abanicos aluviales; además, nace una prodigiosa cantidad de volcanes que obstruyen las salidas de los Valles hacia el Sur y representan los productos de la erosión (conglomerados, gravas y arenas); interestratificándose por corrientes de tobas y cenizas de los volcanes en erupción.

En la región predominan los basaltos del Cuaternario, tanto en los cerros del pino y en la Sierra de Tlalxpan.

El relleno aluvial de la cuenca está estratificado con lavas y tobas que indican cuatro ciclos de erupción.

Puede decirse que en el área estudiada presenta al lado este una serie formada por derrames y deposiciones volcánicas andesíticas y basálticas alteradas por fallas y fracturas en cuyo basamento se encuentra al oeste formando un gran depósito lacustre aluvial, como se muestra en la figura 7.



FUENTE: INEGI 1974. Plano geológico en 1:25,000

Figura 7. Geología de la cuenca del Río Tetzaco.

4.5 Vegetación

El área de estudio presenta una serie de pisos altitudinales de vegetación. En la parte baja de la zona la vegetación natural ha sido alterada intensamente, dedicándose la mayoría de los terrenos al cultivo de maíz, frijol y cebada, principalmente.

En la zona de los lomeríos entre altitudes de 2,300 msnm a 2,500 msnm, aproximadamente, la vegetación está conformada en su mayoría por caducifolios, gramíneas, leguminosas, cactáceas, amarilidáceas, liliáceas y compuestas. En las barrancas de los lomeríos y en ocasiones en altitudes mayores a estos últimos, existe un tipo de vegetación ripiaría y de sitios muy húmedos constituida por *Alnus jorullensis*, *Salix bonplandiana*, *Fraxinus udei*, *Buddleia cordata*, *Prunus capuli*, *Taxodium mucronatum* y *Senecio salignus*. El pirú (*Schinus molle*) es una especie en ocasiones muy abundante desde la parte baja hasta elevaciones no mayores de 2,500 m. A estas comunidades de los lomeríos les siguen en orden altitudinal progresivo las diversas especies de coníferas. De los pinos el *Pinus leiophylla* es la especie que se encuentra a menores altitudes, desde los 2,500 a 2,800 m. También se presentan *Pinus montezumae*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus rudis* y *Cupressus lindleyii*. El bosque de *Abies religiosa* se presenta desde los 2,800 hasta los 3,500 msnm. En las partes altas se presenta *Pinus hartwegii* desde los 3,000 msnm hasta los 4,000 msnm, encontrándose también *Juniperus monticola* desde los 3,900 hasta los 4,200 msnm. La vegetación herbácea en estos bosques está constituida por *Arenaria*, *Draba*, *Mulembergia*, *Poa* y *Agrostis*. (Madrigal, 1967).

4.6 Influencia humana

El área ha sido desde hace mucho tiempo un lugar de grandes atractivos por sus recursos naturales y condiciones climáticas favorables, lo cual permitió el florecimiento de grandes culturas en el pasado. El vestigio más antiguo de la presencia del hombre en la zona data aproximadamente de 10,000 años, cuando sus actividades se reducían casi exclusivamente a la caza y la pesca. Posteriormente, con el auge de las antiguas culturas y el aumento de la población, los recursos comenzaron a ser explotados más intensamente. (Ortiz 1977).

De este período en adelante la deforestación y la perturbación en sus diversos grados aumentó, sobretudo a partir de la llegada de los españoles. Al ser impulsada la agricultura e iniciada la explotación de las minas, se emplearon grandes cantidades de madera. Unido a los anteriores disturbios provocados por el hombre, ha habido un cambio de las condiciones climáticas, tendiéndose hacia la aridez como lo muestran el progresivo desecamiento de los lagos de la región central del país a partir del Pleistoceno, que ha afectado seguramente las condiciones de la cuenca. (Mooser, 1961).

En las últimas décadas, la presión demográfica en la zona ha sido cada vez mayor y ha provocado la introducción al cultivo de las zonas boscosas de las partes altas, principalmente en los bosques de encino y oyamel. (Ortiz, 1994)

4.7 Fisiografía

La fisiografía de la cuenca del Río Texcoco está definida siguiendo la metodología del Colegio de Postgraduados la figura 8 donde cada sistema terrestre se explica en forma individual por medio de un esquema en proyección para que puedan ser apreciadas sus características principales y además son acompañados por una descripción general que incluye: precipitación, geología, paisaje, uso, suelos, vegetación y una descripción de las facetas que integran el sistema terrestre, se incluye una descripción de uso o cobertura, pendiente y suelo.

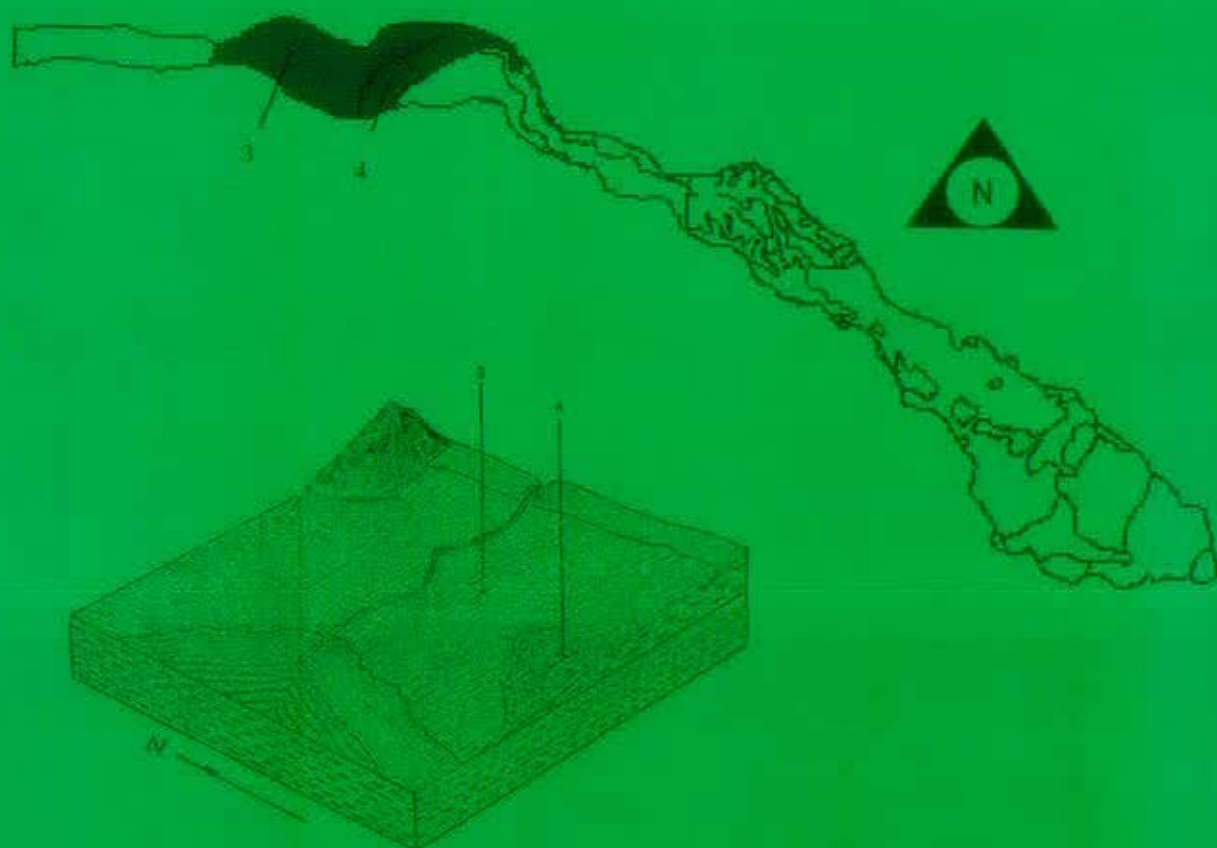


Figura 8 FACETAS FISIAGRÁFICAS DE LA CUENCA DEL RÍO TEXCOCO

Fuente Ortiz 1977. *

49

Sistema terrestre Chapingo



CARACTERÍSTICAS:

Precipitación:

De 600 mm T^{media} 15°C.

Geología:

Sedimentos lacustres aluviales de gran espesor.

Paisaje:

Planicie lacustre aluvial con pendiente general menor al 3%.

Uso:

Agricultura de riego y temporal, ganadería extensiva.

Suelos:

Profundos de textura fina a gruesa.

Vegetación:

Árboles caducifolios y especies herbáceas.

Altitud:

2 247 a 2 270 msnm.

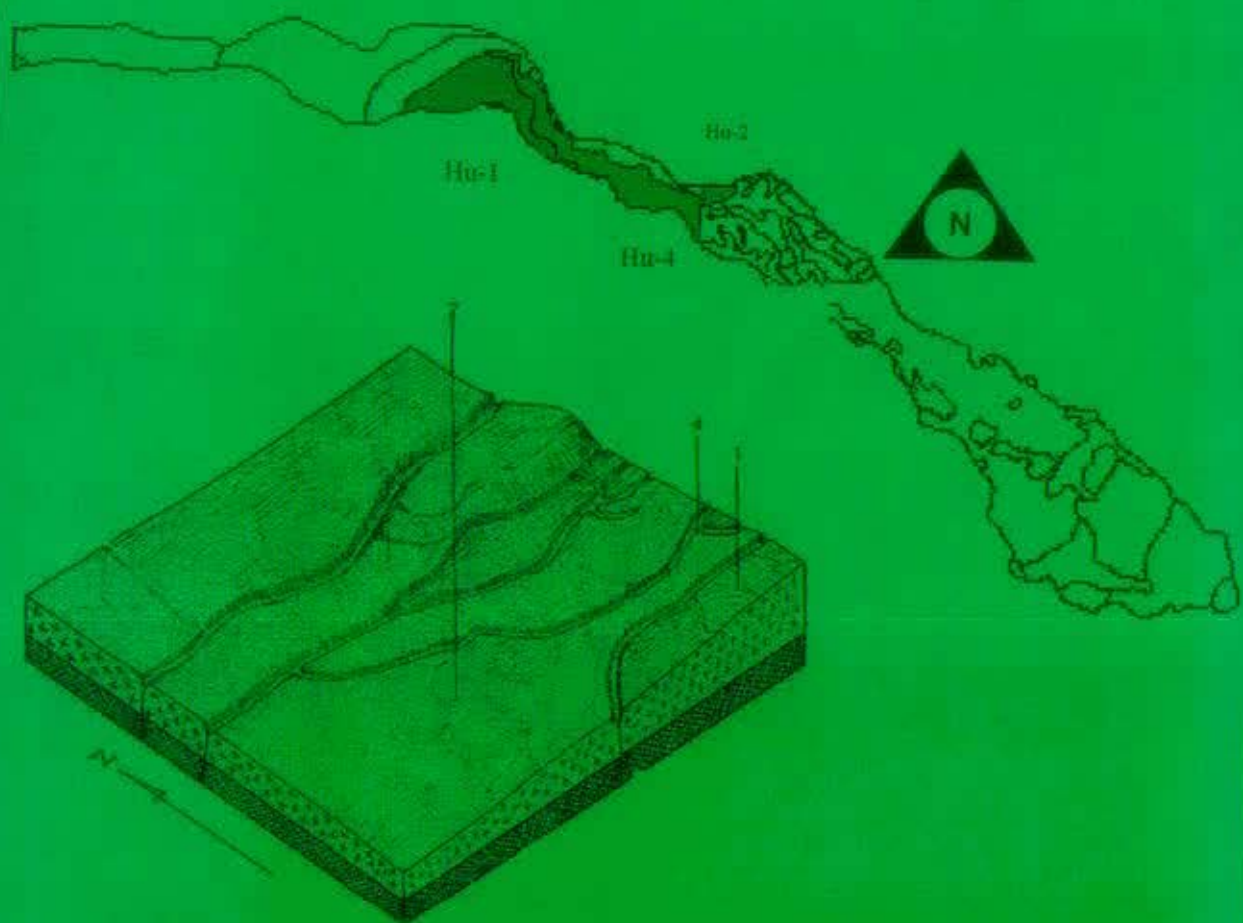
FACETAS:

CH-3 Llanura de agricultura intensiva terrenos con pendientes del 1-2% suelos profundos color obscuro y textura media.

CH-4 Terrenos con pendiente menor a 2% suelos color pardo grisáceo y textura gruesa, cultivos de maíz, avena y tomate de cascara.

Fuente: (Ortiz, 1977)

Sistema terrestre Huexotla



CARACTERÍSTICAS:

Precipitación:

De 700 a 800 mm T^{media} 14.5°C

Geología:

Formación Tarango con abundancia de arenas de arena y tubas pleistocénicas sobre rocas del terciario fallado y fracturado.

Paisaje:

Declive suave, fuertemente erosionado, con pendientes mayores de 6%.

Uso:

Agricultura de temporal, ganadería extensiva.

Suelos:

Delgados y moderadamente delgados de textura gruesa sobre tepetate.

Vegetación:

Cultivos anuales.

Altitud:

2 270 a 2 400 msnm.

FACETAS:

Hu-1: Declive suave con pendientes del 5-10%, suelos pardo obscuro medianamente profundos de textura gruesa. Cultivos anuales.

Hu-2: Declive muy suave con pendientes del 3-5% con características iguales al anterior.

Hu-4: Taludes y fondo de corrientes suelos espuléticos con afloramientos de rocas, cubierta vegetal de matorral.

fuente: (Ortiz 1977)

Sistema terrestre Tlaixpan



CARACTERÍSTICAS:

Precipitación:

750mm T° media 14.5°C

Geología:

Materiales igneos, andesitas, dacitas, andiobolitas y basaltos.

Paisaje:

Conos y derrames igneos erosionados, con pendientes variables.

Uso:

Fruticultura, agricultura de temporal, ganadería extensiva.

Suelos:

Delgados y muy erosionados excepto en áreas terracadas, donde son profundos de textura media sobre tepalcate.

Vegetación:

Predominan frutales en las terrazas y cultivos anuales en las laderas con pendiente moderada.

Altitud:

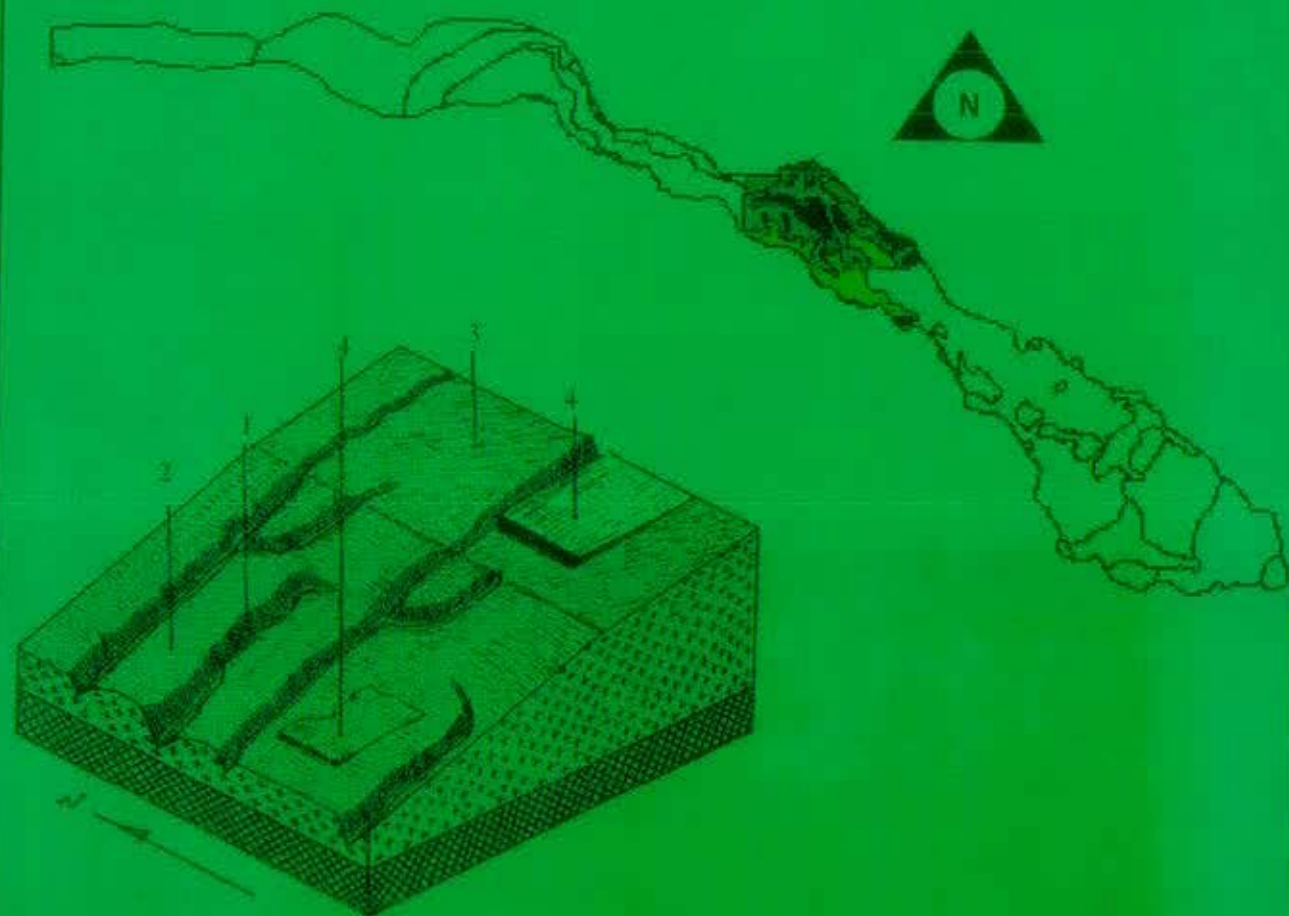
2.270 a 2.600 msnm.

FACETAS:

Tf-3 ; Declive suave con pendientes del 5-10%, suelos pardo obscuro someros, con afloramientos de tepalcate en un 20%, con texturas de medias a gruesas. Con cultivos anuales y Schinus mole muy dispersos.

Fuente: (Ortiz 1977)

Sistema terrestre Ixayoc



CARACTERÍSTICAS:

Precipitación:

De 800 a 1000mm T^m media 14 a 15°C

Geología:

Materiales ígneos, del Terciario, conglomerado lahático sobre andesitas, y tobos falladas y fracturadas.

Paisaje:

Declive volcánico con pendientes interfluviales del 9% muy erosionado geológica y aceleradamente.

Uso:

Agricultura de temporal y de riego, ganadería extensiva y reforestación.

Suelos:

Delgados y muy erosionados excepto en áreas terracadas donde son profundos de textura media sobre tepetates.

Altitud:

2 400 a 2 800 msnm.

FACETAS:

IX-1: Taludes y fondo de corrientes. Suelos esqueléticos erosionados con afloración de tepetates, con algunos Schimas mole.

IX-2: Pendientes interfluviales del 9-13% ligeramente convexas. Suelos sumeros con afloramiento de tepetate sobre los que se siembra maíz y algunas áreas de reforestación.

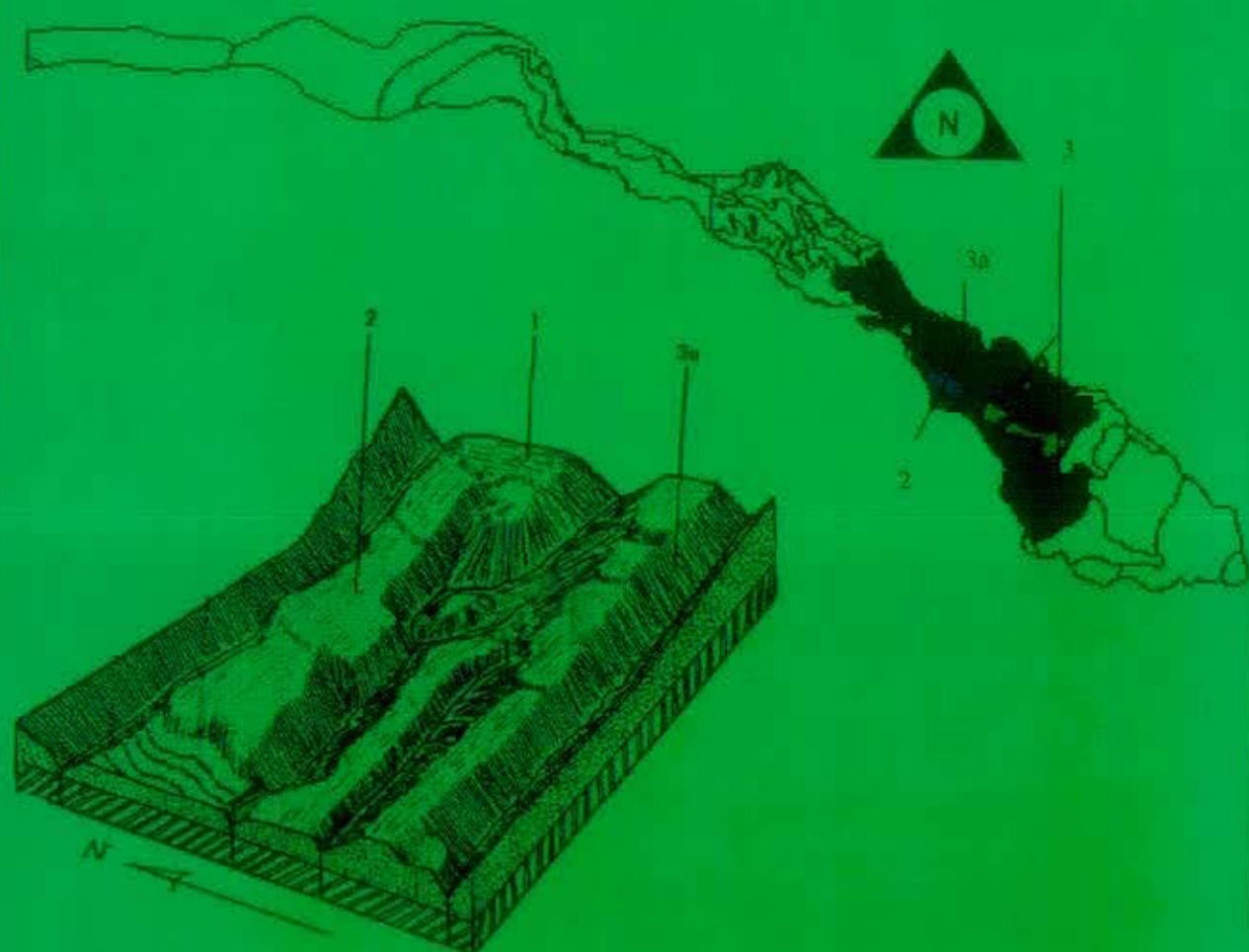
IX-3: Declive moderado con pendientes del 5-9%. Suelos profundos y moderadamente profundos con textura media a fina.

Se encuentran cultivos dentro del área forestal, de haba, maíz, avena y cebada.

IX-4: Terrizas artificiales con suelos formados por tepetates disgregados con adición de nutrientes orgánicos.

Fuente: (Ortiz 1977)

Sistema terrestre Tecuanulco



Precipitación:

De 800 a 1000mm T^{media} 12 a 14°C.

Geología:

Materiales ígneos, ignimbritas sobre basalto, con fallas y fracturas.

Paisaje:

Volcánico, muy erosionado con pendiente dominante perpendicular a las fallas de 40 %.

Uso:

Explotación forestal, agricultura de temporal, ganadería extensiva.

Suelos:

Profundos con texturas medias.

Vegetación:

Bosque de pino alterado por explotación forestal.

Altitud:

2.600 a 3.300 msnm.

FACETAS:

TC-1: Declive suave con pendientes del 7-10%.

Suelos negros ricos en materia orgánica, y de textura media. Vegetación de pinus hartweggi, abies y quercus.

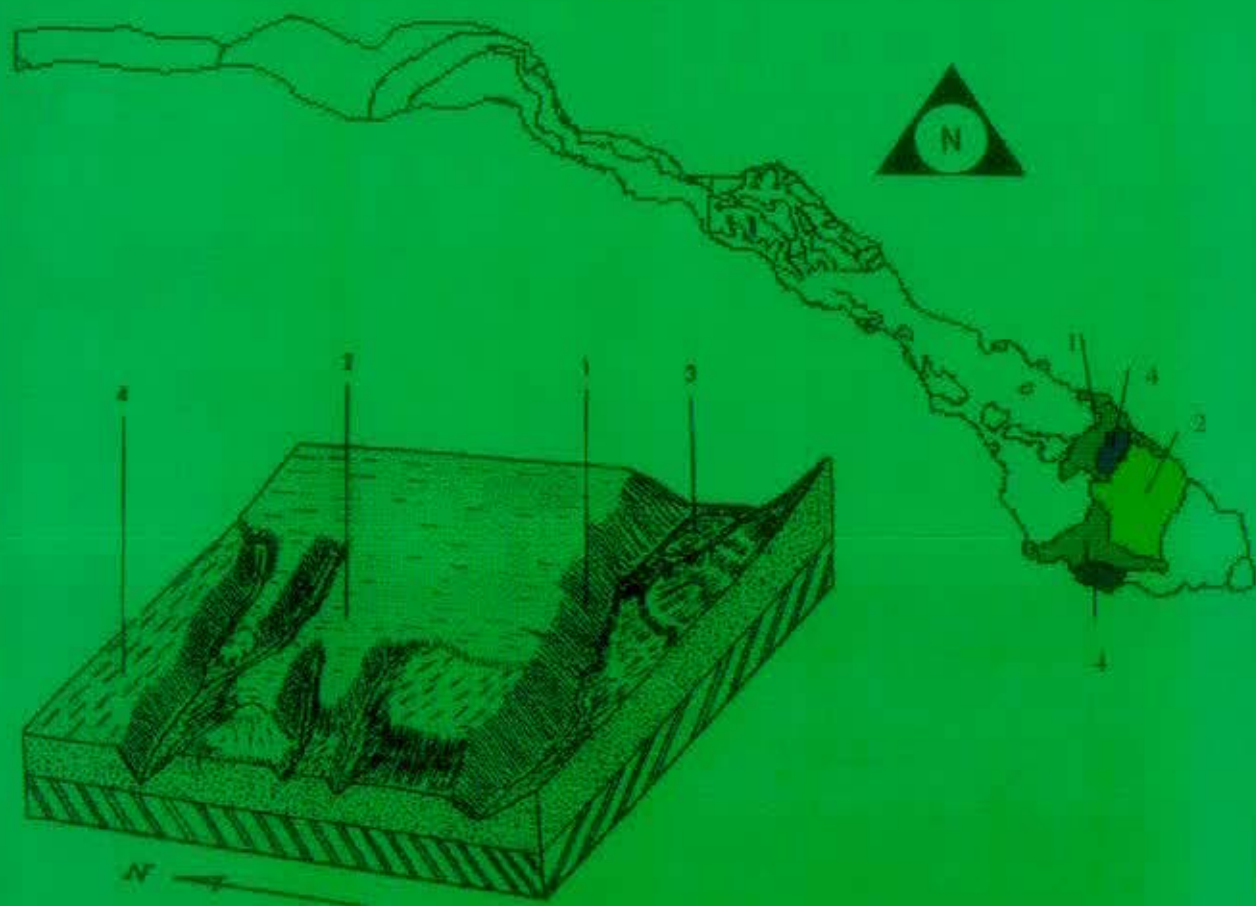
TC-2: Declive moderado pendientes de 10-18%.

Suelos profundos ricos en materia orgánica, con texturas medias en algunas partes se siembra cebada y haba, la vegetación dominante es abies-quercus con estrato herbáceo de zacatonales.

TC-3a: Suelos profundos negros y ricos en materia orgánica, textura media, vegetación de asociaciones de abies-quercus.

fuentes: (Ottiz 1977)

Sistema terrestre Texaltepec



CARACTERÍSTICAS:

Precipitación:

De 900 a 1000mm T^m media 10 a 12°C.

Geología:

Materiales igneos, ignimbrias sobre basalto, y excepcionalmente riolitos falladas y fracturadas.

Paisaje:

Declive volcánico, erosionado con pendiente mayor a 20%.

Uso:

Explotación forestal, ganadería extensiva.

Suelos:

Profundos con texturas medias ricas en materia orgánica.

Vegetación:

Bosque perennifolio alterado por explotación forestal.

Altitud:

3 300 a 3 700 msnm.

FACETAS:

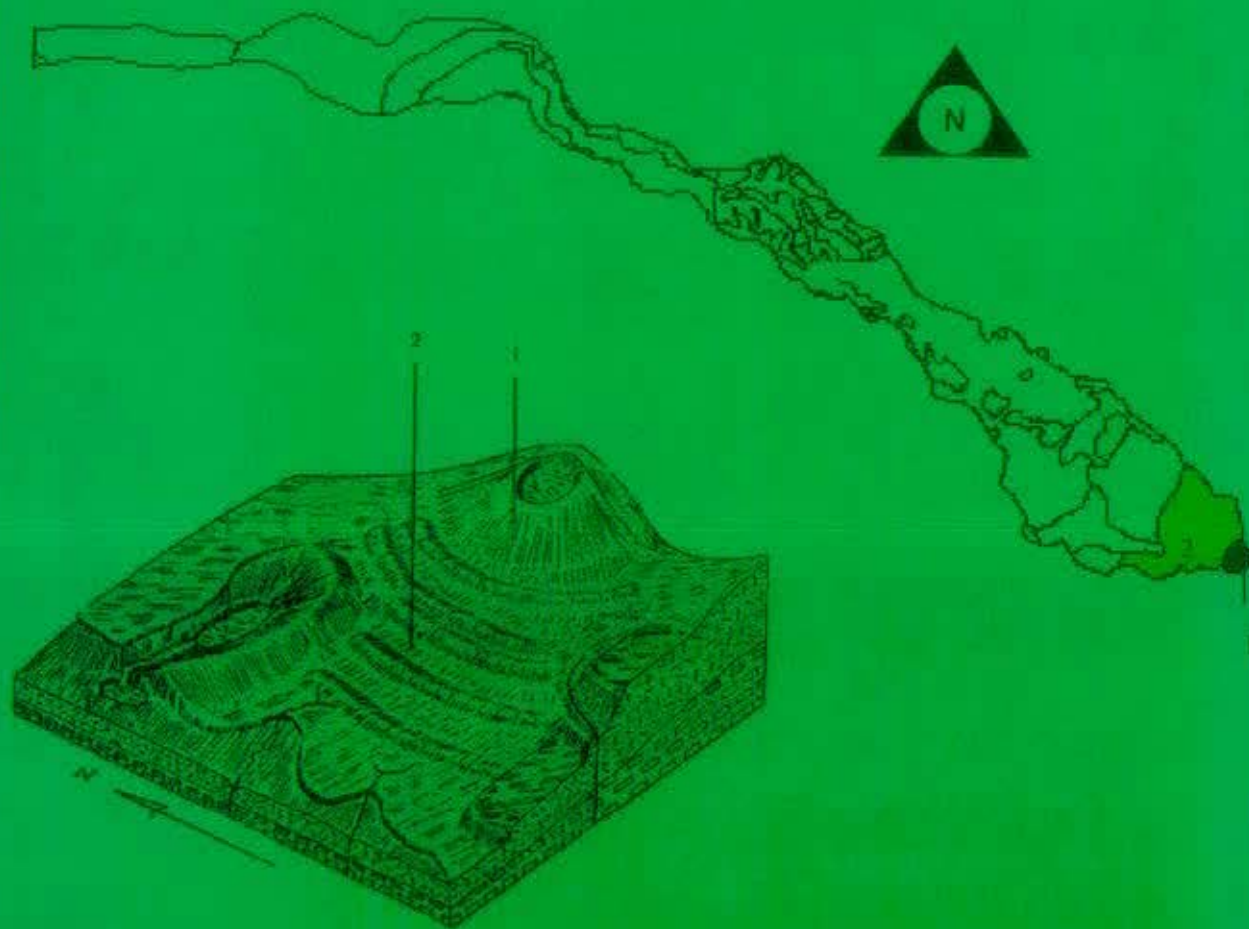
TX-1: Declive pronunciado con pendientes del 35-40%. Suelos negros ricos en materia orgánica, y de textura media. Vegetación de hirtweggi y quercus y un estrato herbáceo dominado de zacatonales.

TX-2: Declive moderado pendientes de 15-25%. Suelos profundos ricos en materia orgánica. Vegetación dominante de hirtweggi con estrato herbáceo de zacatonales.

TC-4: Declive suave, con pendientes ligeras del 7-10%. Suelos profundos negros y ricos en materia orgánica, textura media. Vegetación bosques dispersos de Pinus hirtweggi.

fuentes: (Cruz, 1977)

Sistema terrestre Tlaloc



CARACTERÍSTICAS:

Precipitación:

De 1 000 a 1 200mm T°media 5 a 10°C.

Geología:

Cenizas volcánicas, sobre derrames andesíticos acordonados, inmensamente fallados y fracturados.

Paisaje:

Cono cinerítico, sobre derrames andesíticos.

Pendiente general del 25%, con terrenos muy ondulados.

Uso:

Explotación forestal, y ganadería extensiva.

Suelos:

Profundos con texturas medias ricos en materia orgánica.

Vegetación:

Bosque perennifolio y matorral bajo.

Altitud:

3 700 a 4 050 msnm.

FACETAS:

TA-1: Cono cinerítico fallado. Suelos negros ricos en materia orgánica, y de textura gruesa. Vegetación de hartweggi y un estrato herbáceo dominado de zacatales.

TA-2: Declive ondulado pendientes de 25-30%. Suelos profundos ricos en materia orgánica. Vegetación de hartweggi con estrato herbáceo de zacatonales.

(fuente: Ortiz 1977)

5.0 MATERIALES Y MÉTODOS

Los pasos a seguir para la realización de este estudio fueron:

5.1 Definición de la cuenca de estudio

La definición de la cuenca de estudio se hizo a través del uso de sistemas de información geográfica, utilizando el modulo de Grid de ARC INFO para estación de trabajo, debido a la facilidad y amplia aplicación que tiene este software.

Se procedió a través de tres métodos alternativos:

1. Definición de la cuenca a partir de la interpretación de un plano 1:50 000 de la zona, y su posterior digitalización
2. Definición de la cuenca usando el modelo de elevación digital de INEGI (GEMA) con un dato cada tres segundos de arco (90 m aproximadamente).
3. Definición de la cuenca, generando un modelo de elevación digital escala 1 : 50 000 por la digitalización de curvas de nivel de la carta topográfica 1 : 50 000 y su procesamiento para generar un modelo de elevación digital.

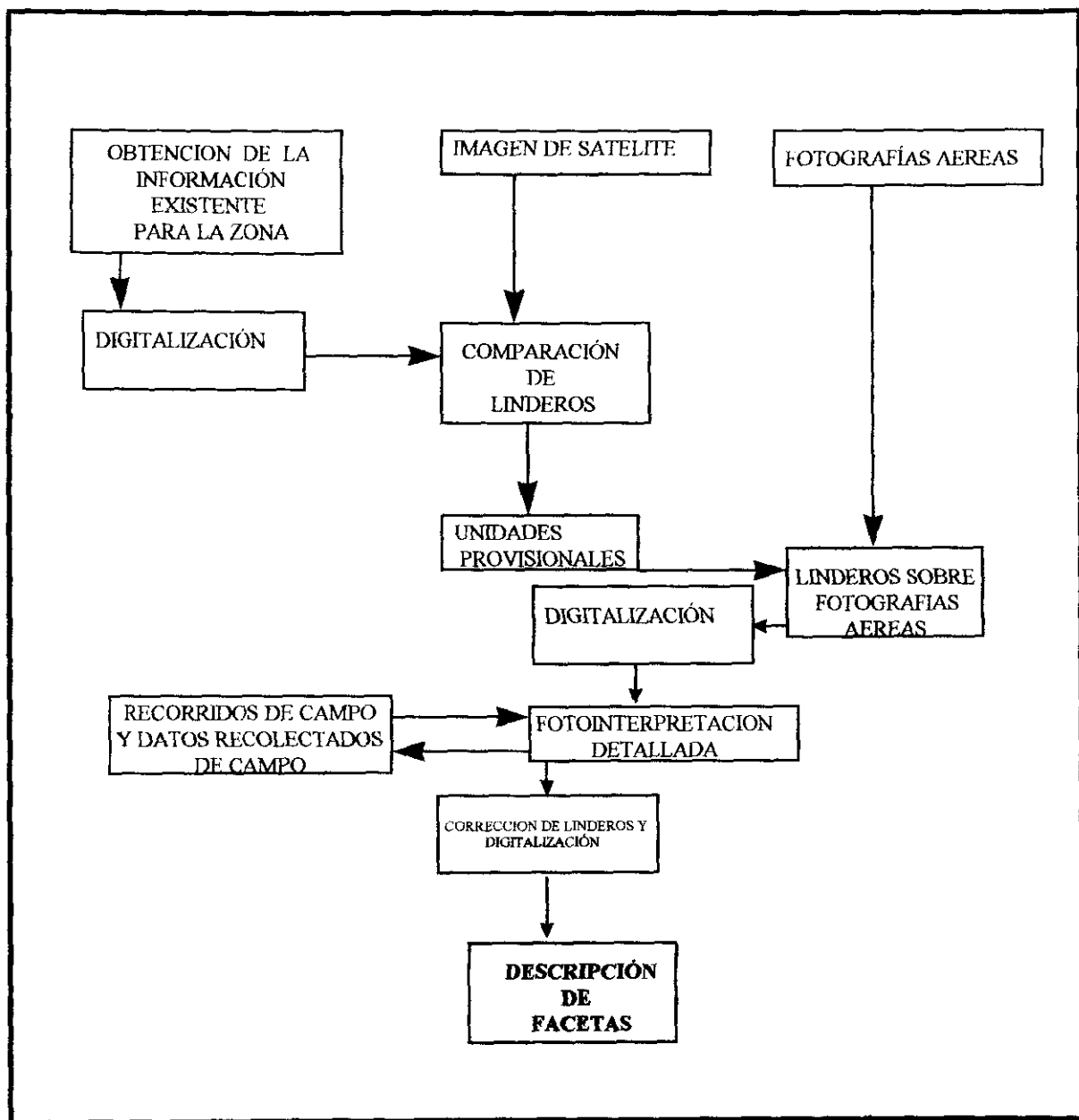
Posteriormente fueron comparados los resultados anteriores con los reportados por otros autores para la cuenca.

5.2 Estratificación del ambiente

Para la estratificación del ambiente en áreas homogéneas en cuanto a sus características climáticas, edafológicas y geológicas entre otras se utilizó el método del levantamiento fisiográfico propuesto por Blink (1970) y modificado por Ortiz y Cuanalo* (1977). Este método se sintetiza en el diagrama de la figura 5.

Como se observa la unidad de trabajo es la faceta, que se define como "un área homogénea en toda su extensión o que varía en forma consistente y constante, la cual sobreyace sobre una misma litología, diferenciándose claramente de su entorno circundante". " teniendo un mismo uso y sistema de explotación respondiendo en forma similar en toda su extensión". (Ortiz y Cuanalo, 1977).

* Bajo este mismo esquema se ubicaron los lotes de escurrimiento por lo que se considera que la cuenca esta bien representada por estos datos y puede ser considerada una cuenca experimental. (Anaya 1978).



ADAPTADO DE ORTIZ 1977

Figura 15 DIAGRAMA DEL LEVANTAMIENTO FISIOGRAFICO.

Para llegar a estratificar el ambiente, el método original incluye como un primer paso una interpretación visual de una impresión de un compuesto en falso color de una imagen de satélite de la zona de estudios, lo que requiere cierta capacitación en la interpretación y manejo de las imágenes. Como una alternativa a este proceso se probó realizar diversos compuestos de color que permitieran una mejor interpretación visual, como una ayuda en la posterior clasificación de la imagen.

Posteriormente a este proceso de clasificación los resultados fueron comprobados con los reportados por Ortiz y Cuanalo (1977).

5.3 Evaluación de las interpolaciones climáticas

Para la evaluación de las interpolaciones climáticas de precipitación realizadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), a partir de la base de datos de las estaciones climáticas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), los valores de precipitación registrados en los pluviógrafos en la cuenca y los interpolados fueron cotejados. A través de una comparación de medias.

5.4 Estimación de los valores del factor R

Para la estimación de los valores del factor R de la USLE, fue caracterizado el tipo de lluvias y se definió sus implicaciones en el proceso erosivo.

Para ello se utilizaron diversos índices que estiman el factor R para la cuenca, comparándolos con el índice de Fournier, calculado a partir de los valores estimados por interpolación de la base de datos del INIFAP.

Los datos de los pluviógrafos fueron colectados por el personal de Colegio de Postgraduados, en la sección de física de suelos. La intensidad de lluvia se obtuvo por medio de gráficas. El método seguido fue el registro de la cantidad de lluvia en intervalos de intensidad. Este método consiste en registrar la cantidad de lluvia que cae en un intervalo de intensidad dado. Para esto se trabajó con 5 intensidades: 0-2.5 2.5-4.5 4.5-6.5 6.5-7.5 >7.5 cm/hr. Para conocer a que intervalo de intensidad se encontraba cada pendiente, se utilizó un patrón, que es un plástico transparente en el cual están trazadas las pendientes de 2, 4.5, 6.5, 7.5 cm/hr.

El cálculo para el trazo de las pendientes se realizó a través de una regla de tres simple, para el tiempo de resolución deseado, (10 min. etc.)

El trazo de las pendientes sobre el patrón se realiza de la manera siguiente:

1. Se sobrepone el patrón de plástico transparente sobre el pluviograma.
2. se traza una horizontal sobre 0 mm del pluviograma en todo el patrón.
3. se traza una vertical, preferentemente que coincida con una vertical del pluviograma.
4. Para el primer rango (0-2) se traza, a partir del origen de la vertical una recta que pase por 0.33 de los siguientes 10 min.
5. Se repite el procedimiento para los otros intervalos.

Este método registra las máximas pendientes y es rápido. Sin embargo no permite contar con datos probabilísticos de la lluvia.

5.5 Recopilación los valores de los factores K C y P

Para los factores K,C y P se recopilación los valores de los factores K C y P reportados por Ortiz (1994), Arias (1980), Comisión Lago de Texcoco (1982, 1989), Proyecto lago de Texcoco (1991 y 1992), Figueroa (1975) Ríos (1987), Terrazas (1977), Trueba (1981), Ventura (1988) y Zazueta (1988), para los suelos de la cuenca de estudio y se actualizaron las áreas con prácticas mecánicas y las rotaciones de cultivos.

5.6 Cálculo del valor del factor LS

En el cálculo del valor del factor LS se uso un modelo de elevación digital, con una resolución de 1: 50 000 (un pixel de 50 X 50 m) para el calculo de la pendiente en cada faceta. Para la determinación de la longitud de la pendiente se utilizó la longitud máxima por faceta en el sentido de la pendiente más pronunciada. Posteriormente se sustituyó este valor en la ecuación:

$$LS = (\lambda^m / 22.3) (0.065 + .045 (s) + 0.0065 (s^2))$$

Donde:

λ = longitud de pendiente

s = pendiente

m = factor de pendiente

Los valores de "m" se toman de acuerdo con la tabla 4, y son sustituidos en la ecuación.

5.7 Definición de los usos actuales de la cuenca y áreas con prácticas mecánicas

La definición de los usos actuales de la cuenca y áreas con prácticas mecánicas, se determinó por medio de la fotointerpretación de vuelos de la zona correspondiendo a los vuelos de 1970, 1980, 1990, escala 1: 20 000, comparando estos resultados con los datos obtenidos del análisis de imágenes de satélite, y una posterior corroboración a través de recorridos de campo.

5.8 Definición de las tendencias en los procesos de degradación

La definición de las tendencias en los procesos de cambio de uso del suelo, áreas erosionadas, áreas boscosas, pastizales, uso de la tierra y zona agrícola, se realizó conjuntando e interpretando los materiales cartográficos de la zona correspondientes a 1955, 1965, 1970, 1974 y 1990, (Las cuales se detallan en el Tabla 14) las escalas de estos trabajos varían entre años y fuentes, entre 1: 20 000 y 1:50 000.

5.9 Ingreso de la información cartográfica al sistema de información geográfica

El ingreso de la información al sistema de información geográfica se realizó por la digitalización del material cartográfico, este proceso se hizo a través de una tableta digitalizadora GTOCO Roll Up unida a una PC con ARC INFO utilizando el módulo de Arcedit. En el caso de las fotografías se corrigió el error de proyección por medio de ARC INFO y con soporte en la carta topográfica 1: 50 000

En las tablas siguientes (14 y 15) se detallan el tipo de información y la fuente, una vez adquiridos dichos materiales se procedió a integrarlos a ARCINFO para su proceso esto se realizó por digitalización. De las bases de datos digitales cabe mencionar la base de las estaciones meteorológicas pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional conteniendo los datos de todas las estaciones del mismo a partir de estas se realizaron, la interpolación de los datos de precipitación para 1890 estaciones en la república mexicana por el INIFAP, generando un grid a cada kilómetro.

Tabla. 14 Información obtenida del material cartográfico

Critero	Fuente y Escala	información obtenida del material cartográfico y digital
Cobertura vegetal	<ul style="list-style-type: none"> • Distrito de desarrollo rural escala 1:15 000 y 1: 20 000 • Comisión Lago de Texcoco escalas 1: 50 000 1: 25 000 	<ul style="list-style-type: none"> • superficie forestal (1955-1992). • incremento de cobertura vegetal perenne • dinámica de tierras de cultivo • cambio de uso del suelo(1955-1990)
Erosión hídrica	<ul style="list-style-type: none"> • Distrito de Desarrollo Rural escala 1: 25 000 • Comisión Lago de Texcoco escala 1 15 000 	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad de cárcavas (1955-1990) • superficie afectada por erosión • superficie cultivada • superficie terraceda
Salinización	<ul style="list-style-type: none"> • Comisión Lago de Texcoco escala 1 : 10 000 	<ul style="list-style-type: none"> • superficie afectada por sales • superficie con pastizales
Encostramiento	<ul style="list-style-type: none"> • Comisión Lago de Texcoco escala 1 : 25 000 • CODAGEM escala 1:15 000 • Distrito de Desarrollo Rural escal 1:50 000 	<ul style="list-style-type: none"> • superficies con tepetate • superficie roturada y terraceda
Otros	<ul style="list-style-type: none"> • Inegi Carta topográfica escala 1: 50 000 • Fotografías aéreas escala 1:20 000 • CP levantamiento fisiográfica escala 1: 75 000 	<ul style="list-style-type: none"> • área urbana • caminos (superficie y densidad) • Panorama general de las características de la zona

Tabla 15 Fuente e información del área de estudio

Proceso	Información	Fuente
Cobertura vegetal	Características del área forestal	Delegación forestal de Texcoco Instituto de Geografía UNAM.
Erosión hídrica	Perdida de suelo de lotes de escurrimiento Terraceo y sedimentos en presas	Datos de investigaciones de la sección. física de suelos C.P. Comisión lago de Texcoco
Salinidad	Salinidad y niveles freáticos en el lago	Comisión lago de Texcoco
Encostramiento	Áreas tepetatasas trabajadas	Comisión lago de Texcoco y CODAGEM
Población	Número de habitantes y sus características	Censos municipales y generales de población, entrevistas locales
Otros	Panorama general de las características del área	Levantamiento fisiográfico del área de influencia de Chapingo

5.10 Recopilación histórica de la zona

Esta recopilación histórica de la zona se hizo a través de revisión bibliográfica, la realización de entrevistas de campo con los poseedores del recurso suelo, y toma de datos de campo, (análisis de suelo, recorridos de verificación, consulta con instituciones que trabajan en la zona). a fin de recolectar información adicional que permita evaluar los cambios de la zona y su dinámica, así como dar un marco real a los procesos de recuperación y degradación de los recursos.

5.11 Determinación de la degradación de suelos en la zona

Esta se realizó por la aplicación del método de degradación de la tierra propuesta por FAO/ISRIC (1982), para la cuenca de estudio. Descrito en la sección correspondiente de revisión bibliográfica (paginas 34 a 39).

5.12 Comparación de los resultados de la aplicación de la USLE y el método FAO contra datos de los lotes de escurrimiento.

Se realizó una comparación de los resultados de la aplicación de la USLE y el método FAO, con los datos de los lotes de escurrimiento, a fin de definir la utilidad de ambos para determinar el riesgo de degradación del suelo.

5.13 Definición de las tendencias de los procesos degradativos en la cuenca

Para definir la tendencia general de la cuenca en cuanto a la conservación de sus recursos o su degradación, se realizó un estudio multitemporal con base al análisis de fotografías aéreas de diversas fechas evaluando cada uno de los factores de degradación contemplados en la metodología FAO.

Para la realización de estas estimaciones se contó con el apoyo de el laboratorio de sistemas de información geográfica del INIFAP, el cual cuenta con licencias de ARCINFO (versión 7) para estación de trabajo, una licencia de Arc/View (versión 2) y tableta digitalizadora, unida a una licencia de ARCINFO para PC's. Además se contó para el proceso imágenes de satélite con apoyo de el laboratorio de observación de la tierra del Instituto de Geografía de la UNAM a través del paquete GRASS (versión 4.1). y el respectivo recorte de imagen de satélite de la zona.

Los materiales para la realización del presente estudio son de carácter digital, (bases de datos, coberturas digitales etc.), material cartográfico y material escrito (tesis diversas, investigaciones históricas, sociales). Imágenes de satélite de la zona, y fotografías aéreas de diversas fechas que cubren toda la zona de estudio.

6.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

6.1 Definición de la cuenca hidrográfica

La definición de una cuenca no es un proceso sencillo, puesto que a pesar de que la cuenca del río Texcoco sea una cuenca altamente estudiada, la superficie reportada por los diversos trabajos llevados a cabo en dicha área, varían de 4948 a 4420 ha. Por lo que se compararon como se describió en la metodología a) una cuenca definida a partir del modelo de elevación digital de INEGI (GEMA) y trazar en forma automática la cuenca usando el modulo de grid de ARCIINFO, b) interpretación de las curvas de nivel de un plano escala 1:50 000 digitalizando posteriormente la cuenca así definida, y c) generar un modelo de elevación digital a través de la digitalización de las curvas de nivel a cada 20 m de la carta topográfica escala 1:50 000, comparando después los resultados con los reportados en investigaciones anteriores.

Los resultados de la interpretación y posterior digitalización del plano 1:50,000 así como los resultados de la aplicación de los otros dos métodos se presentan en la tabla 16:

Tabla 16 Cálculo del área de la cuenca del Río Texcoco

Método o autor	Área Resultante (ha)	diferencia significativa al 5%
Figuroa 1975	4714	**
Arias 1981	4948	*
Oropeza 1980	4657	NS
Aguilar 1982	4420	*
Plano topográfico digitalizado	4640.50	NS
Definición automática tomando en cuenta el MED GEMA	4658	NS
Definición automática MED a partir de plano	4639	NS

NS no significativo * significativo ** altamente significativo.

Como es posible observar existe una diversidad de resultados, en el cálculo del área de la cuenca. La diferencia se debe a la forma de definir el parteaguas de la cuenca, (a través de foto interpretación, interpretación de planos) y sobre todo la forma de determinar el área, (malla de puntos, pantógrafo, programa de computo o sistema de información geográfica).

En los estudios anteriores a 1980 se trabajaba básicamente a mano en croquis sobre papel albanene y su posterior determinación de superficie, por malla de puntos y/o planimetro mecánico del cual se obtenía un promedio de tres lecturas. Esto generaba errores de lectura por parte de los mecanismos utilizados (error sistemático), deformación del material del croquis, error del operador al tomar lecturas o interpretar planos (errores no sistemáticos). Estos errores se fueron disminuyendo a medida que se utilizaban procedimientos más automatizados para la toma de lecturas, y determinación de superficies (por ejemplo programas de computo automatizados).

Con el uso de los sistemas de información geográfica se disminuyen los errores no sistemáticos o aleatorios y se convierten en sistemáticos debidos a errores del modelo de terreno, tamaño de celdas, algoritmo usado, por lo que el uso de esta herramienta es cada vez más alto.

La diferencia entre el uso del modelo de GEMA de INEGI y el DEM derivado de la digitalización de las curvas de nivel es debida a errores en la digitalización y errores derivados del tamaño de celda. Sin embargo la diferencia entre uno y otro resultó no significativa, por lo que el uso de GEMA se puede extender a otros estudios regionales sin afectar la calidad de la información, salvo en la calidad de contornos. Aquí cabe aclarar que INEGI ya comenzó a comercializar el modelo de elevación digital a escala 1:50,000, por lo que su aplicación a estudios puntuales pudiera ser de gran utilidad. Sin embargo, no estaba disponible al realizar las pruebas de este estudio.

De lo anterior es posible decir que la aplicación de los SIG's es de gran utilidad para la definición de cuencas, por el ahorro de tiempo y aumento de precisión.

6.2 Estratificación del ambiente

Para estratificar el ambiente y generar áreas homogéneas se utilizó como se cita en la metodología, el levantamiento fisiográfico de acuerdo al enfoque que propone el Colegio de Postgraduados (CP), aprobado para su aplicación por FAO, esta metodología propone como un primer paso la interpretación visual de una imagen de satélite del área, a fin de definir los sistemas terrestres los que se definen como un sistema recurrente de facetas. Esto requiere de un elevado grado de capacitación en interpretación de imágenes. Como una alternativa de esta etapa, en el presente trabajo se probó, como una forma de ayuda en la interpretación visual, una clasificación no supervisada y una clasificación supervisada de una imagen. Para ello se realizó un despliegue por banda a fin de visualizar el área de estudio definiendo los rasgos principales en la zona. Se probaron varios compuestos de color y filtros a fin de eliminar sombras, o resaltar la información de interés. Se probaron los compuestos 234, 453, 347 547 un filtro de paso alto y un índice de vegetación formado por las bandas 4,3 con la finalidad de resaltar

los rasgos de cobertura vegetal, y el índice de vegetación para eliminar el efecto de sombra y resaltar las ciudades y suelo desnudo.

Se observó que el mejor compuesto fue el de las bandas TM 453 (fig. 16) a fin de resaltar la vegetación. A partir de esta se realizó una clasificación no supervisada por el método de medias migratorias con 10 clases con un nivel de comparación del 99% y un radio de 10 píxeles. Posteriormente se seleccionaron campos de entrenamiento eligiéndose píxeles en zonas con cobertura conocida, registrando su firma espectral. Se seleccionaron al menos tres campos por tipo de cobertura. Estas fueron suelos desnudos, suelos con uso urbano, suelos con matorral denso y disperso, bosque de pino encino en sol y en sombra, pino abierto, pino encino abierto, bosque pino-abies, bosque de *Abies*, áreas de *Pinus hartwegii*, zonas con agricultura de temporal y agricultura de riego, y pastizales. Las firmas espectrales de 45 campos conocidos de los cuales se obtuvo una media por cobertura, encontrándose el siguiente tabla:

Tabla 17 Comparación de firmas espectrales de clasificación no supervisada y campos de entrenamiento

CLASE	ÁREA	%	FIRMA ESPECTRAL	CAMPO DE ENTRENAMIENTO	NIVEL DE DIFERENCIAS
	ha			PROMEDIO	
1 recorte	488870	42.22	0,0,0,0,0	0,0,0,0,0	ns
2 agricultura	51983	4.99	30,29,74,71,26	31,28,70,68,25	ns
3 Agric riego	22127	1.91	52,22,110,79,22	50,25,94,70,22	ns
4 miscelánea	43512	3.76	0,0,0,0,0	-----	
5 agric. Temporal	65664	5.67	30,29,74,71,26	31,28,70,68,25,	**
6 agric	30247	2.61	53,73,73,114,68	31,28,70,68,25	*
7 suelo desnudo	97598	8.43	42,55,66,105,58	40,53,65,97,49	ns
8 agric	73076	6.31	30,29,74,71,26	31,28,70,68,25	ns
9 miscelánea	344	0.03	30,40,70,75,26	-----	
10 forestal	121023	10.45	18,16,47,36,11	20,18,48,39,11	ns

ns = no significativo * significativo ** altamente significativo

Como se observa en la clasificación no supervisada, existen problemas de clasificación de clases semejantes en su comportamiento como son el suelo desnudo y la agricultura de temporal, así como las áreas urbanas, debido a que sus firmas espectrales tienen tendencias semejantes por lo que se procedió a generar una clasificación supervisada. Esta se llevó a cabo en GRASS.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA

DE MÉXICO

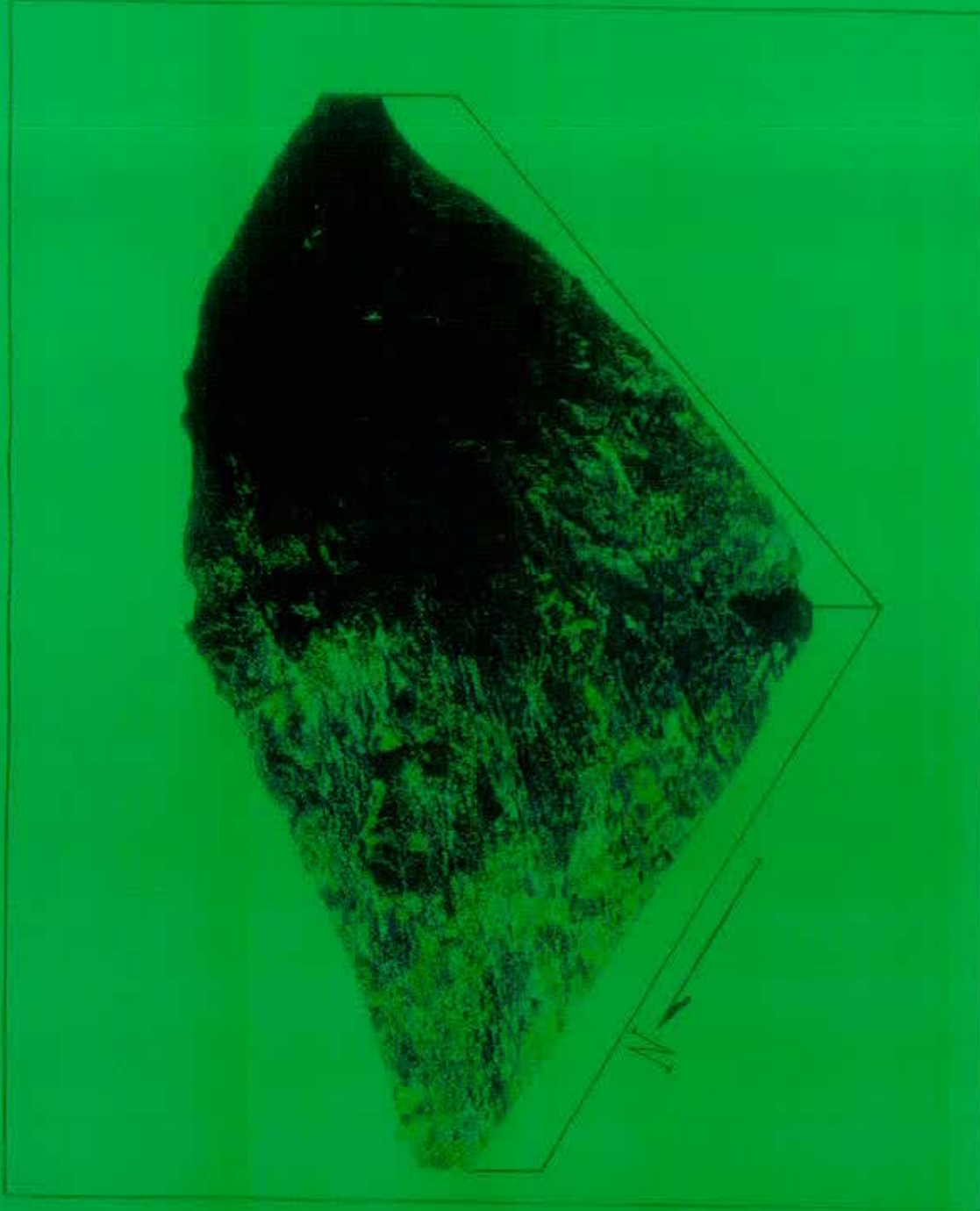
USO ACTUAL

MODELO DIGITAL
DE TERRENO

Y

COMPUESTO 4 5 3

SIERRA NEVADA



Se definieron 30 campos de entrenamiento sobre un compuesto 4,5,3. con. al menos 20 pixeles de superficie, y con una desviación estándar menor a 5 niveles digitales en todas las bandas.

Una vez corrido el proceso de máxima verosimilitud, se visualizó el resultado, procediendo a realizar una reclasificación con fines cartográficos, determinándose que en el plano final solo aparecieran nueve clases representativas:

Tabla 18- Clases, superficies y colores asignados a la imagen reclasificada final.

Clase	Cobertura	Área (m ²)	Color R G B
0	Recorte de la imagen	15762600.0	Blanco 255, 255, 255
1	Agricultura de temporal	19582830.0	amarillo 255, 255, 0
2	Agricultura de riego	749790.0	Rojo 255, 0, 0
3	Pastizal	2549970.0	Café 155, 155, 0
4	Matorral cerrado	752130.0	Cían 0, 255, 255
5	Pino-abies cerrado	15594930.0	Verde Oscuro 0, 90, 0
6	Pino-encino abierto	4108320.0	Verde Claro 50 255 0
7	Pino hartwegii	699840.0	Verde limón 100 255 0
8	Pino encino sombra	907290.0	V. amarillo 150 255 40
9	Matorral disperso/ suelo desnudo/erosión/áreas urbanas	15139220.0	Rosa 240, 185 130
	TOTAL	75846920.0	

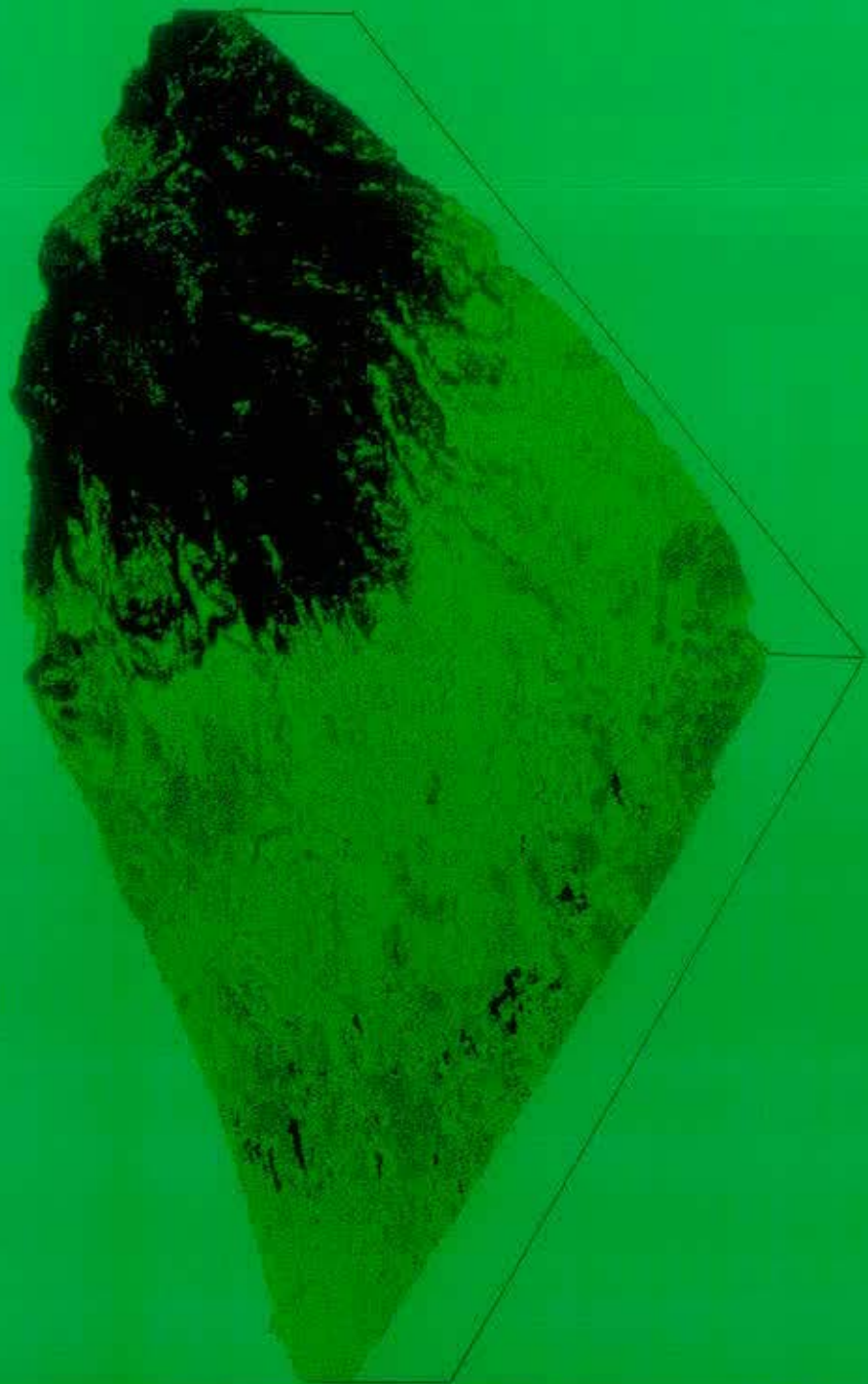
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA

DE MÉXICO

USO ACTUAL

MODELO DIGITAL
DE TERRENO
Y
CLASIFICACIÓN
SUPERVISADA

SIERRA NEVADA



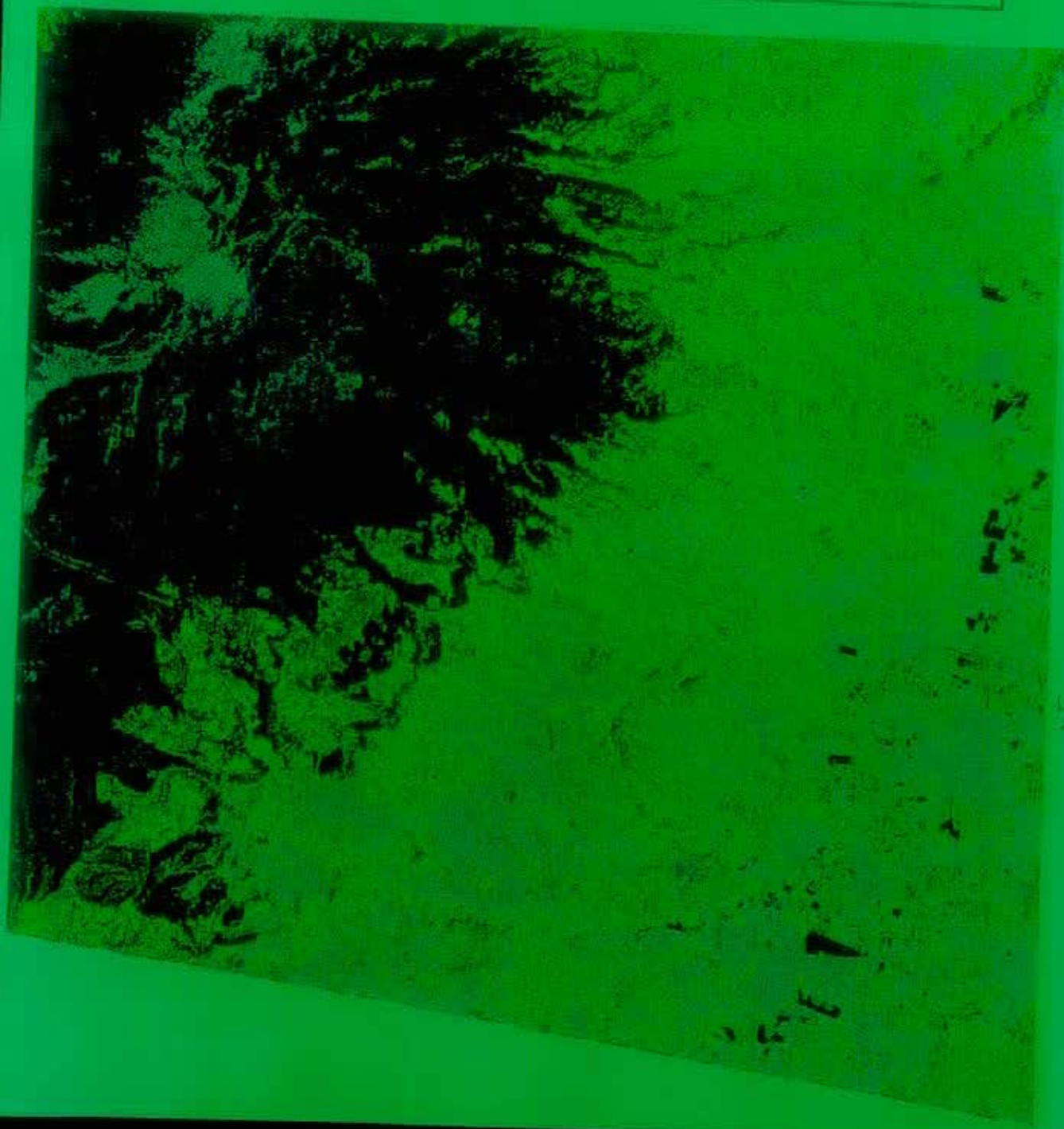
PLANO DE USO ACTUAL

CLASES

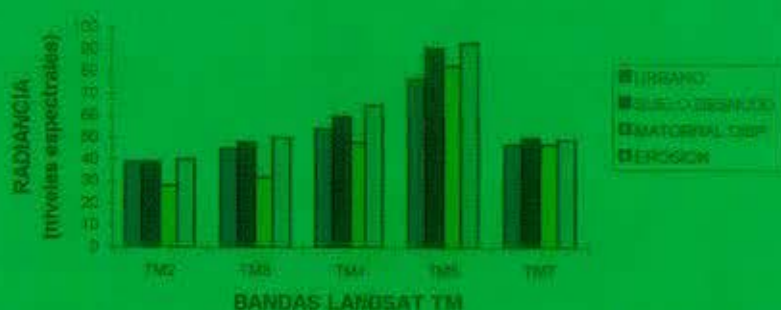
- 1 AGRICULTURA DE TEMPORAL
- 2 AGRICULTURA DE RIEGO
- 3 PASTIZAL
- 4 MATORRAL DE RINCO
- 5 PINO-ABIES
- 6 PINO-ENCINO ABIERTO
- 7 PINO-HASTU (5000)
- 8 PINO-ENCINO SOMBRA
- 9 SUELO-DESNUDO/URBANO/OTRO



SIERRA NEVADA



Las anteriores clases se fijaron por conocimiento de la zona y por un agrupamiento de las firmas espectrales que se comportaban en forma similar. Para ello las firmas espectrales fueron graficadas para las clases observadas en los campos de entrenamiento:

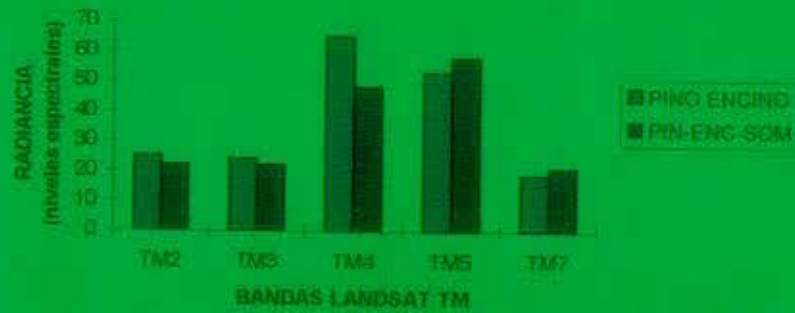


Gráfica 1 Firmas espectrales semejantes a suelos desnudos

Tabla 19 Valores espectrales de coberturas semejantes a suelos desnudos.

COBERTURA	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
URBANO	39	45	54	77	47
SUELO DESNUDO	39	48	60	91	50
MATORRAL DISP.	28	32	48	63	47
EROSION	40	50	65	93	49

En la gráfica anterior y su correspondiente tabla de datos, podemos observar que el suelo desnudo, la zona urbana, la erosión y matorrales dispersos se comportan en forma similar teniendo un aumento consistente a medida que nos desplazamos de banda a banda, con una disminución en la banda 7 correspondiente al infrarrojo medio. Se observa que el matorral disperso tiene una firma similar pero con valores poco más bajos en las dos primeras bandas, debido a que es la banda 3 la correspondiente al rojo del visible se tiene menor lectura por la absorción de las plantas. Esa baja en la lectura se camufla con el aumento continuo de la radiancia por parte del suelo desnudo que comparte el píxel con el matorral disperso. Por eso es que esta clase no se puede discriminar en las clasificaciones no supervisada y supervisada, por lo que se convino que se considerara como una sola clase junto con las otras coberturas mencionadas.

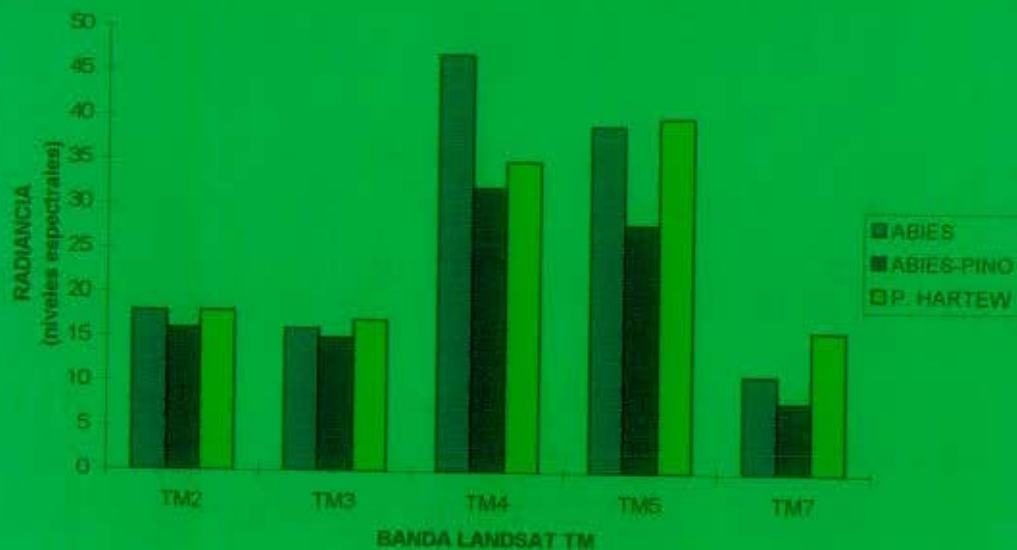


Gráfica 2 Firmas espectrales de Pino-encino en sol y sombra

Tabla 20 Valores espectrales de cobertura de pino-encino en sol y sombra.

COBERTURA	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
PINO ENCINO EN SOL	25	24	65	53	19
PINO-ENCINO EN SOMBRA	22	22	48	58	21

Las firmas espectrales de pino encino en sol y sombra, tienen un espectro similar observándose que se suaviza la curva de respuesta del pino encino en sombra debido a que las sombras disminuyen la radiancia de la zona, por lo que se pudo diferenciar en una forma consistente las dos clases de coberturas. Es importante hacer notar que se pudo llegar a esta clasificación por tener un conocimiento de la zona y su distribución de vegetación. En la clase de pino encino en sol se observó que el mayor realce se encuentra en la banda 4, y en tanto que la correspondiente a pino encino en sombra se encuentra en la banda 5 debido a la interacción de las sombras con la respuesta de la radiancia generada por el suelo, ya que la banda 5 se encuentra en la zona donde se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre. En un segundo tiempo obviamente se juntan en una sola

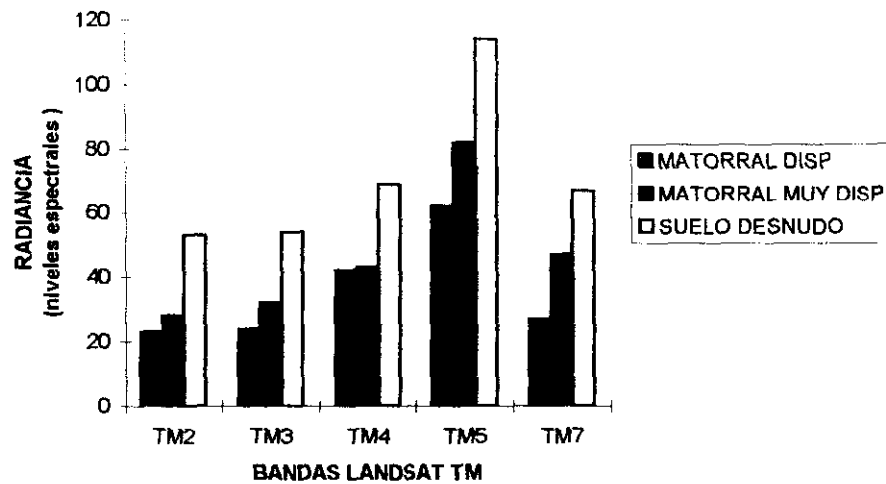


Gráfica 3 Firmas espectrales de Pino-abies, Abies y pino hartwegii

Tabla 21 Firmas espectrales de Pino-abies, Abies y pino hartwegii

COBERTURA	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
ABIES	18	16	47	39	11
ABIES-PINO	16	15	32	28	8
P. HARTEWEGII	18	17	35	40	16

En la figura 3, se comparan los espectros de tres condiciones comunes del área forestal presente en la zona, observándose que las firmas de pino Abies y Abies denso se comportan en forma similar debido a que los sensores no tienen una resolución capaz de diferenciar las asociaciones de vegetación, y que en ocasiones el estrato dominante lo conforman los abies, dando una firma difícil de distinguir, por lo que se consideró como una clase única. En cuanto a la firma del pino hartwegii tiene una firma similar a la presentada por el pino encino, pero se discriminó al usar el modelo de elevación digital unido al compuesto 453 figura 16.



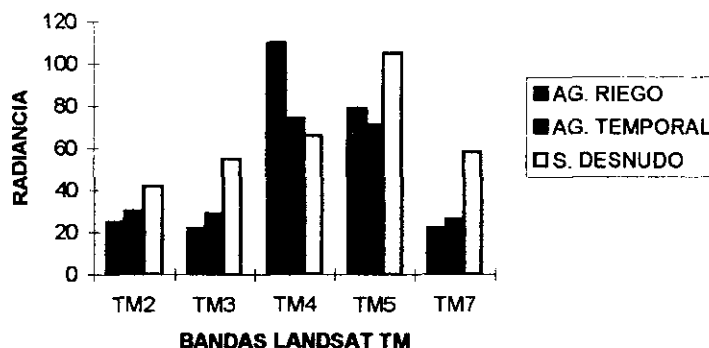
Gráfica 4 Firmas espectrales de matorrales y otras coberturas que se comportan en forma similar.

Tabla 22 Firmas espectrales de matorrales y otras coberturas que se comportan en forma similar.

COBERTURA	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
MATORRAL DISP	23	24	42	62	27
MATORRAL MUY DISP	28	32	43	82	47
SUELO DESNUDO	53	54	69	114	67

En la gráfica 4, podemos observar la comparación de tres clases que se comportan en forma similar, sin embargo, se puede ver que a medida que se incrementa la cobertura vegetal se da una disminución de la radiancia. El matorral denso se puede discriminar con información visual.

Como se puede observar, la respuesta espectral del pastizal es muy similar a la clase de suelo desnudo, debido probablemente a que los zacates no presentan una cobertura total del suelo y la firma espectral de estos se ve influenciada por las exposiciones de los suelos, debido a esto solamente se pudo distinguir con conocimiento de la zona.



Gráfica 5 Firmas espectrales de agricultura de riego, temporal y suelo desnudo.

Tabla 23 Firmas espectrales de agricultura de riego, temporal y suelo desnudo.

COBERTURA	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
AG. RIEGO	25	22	110	79	22
AG. TEMPORAL	30	29	74	71	26
S. DESNUDO	42	55	66	105	58

Las firmas espectrales de la figura anterior nos muestran las firmas correspondientes a la agricultura de temporal y agricultura de riego contrastando con la firma del suelo desnudo. En la agricultura de riego se observa una marcada respuesta de la vegetación por una mayor densidad y vigor de las plantas que conforman la cobertura vegetal. Mientras que en la agricultura de temporal se tiene un comportamiento similar de la firma espectral pero con menores valores de radiancia debido a la menor densidad y vigor de los cultivos presentes. La agricultura tiene en la banda 4 (infrarrojo cercano) el mayor valor de radiancia en tanto que el suelo desnudo lo presenta en la banda 5 (infrarrojo medio).

De todo lo anterior es posible decir que: Los compuestos de color de mayor utilidad en el caso de definición de uso del suelo son el índice de vegetación aunado con bandas 5y3 y el compuesto 453, en tanto que para el caso de uso urbano se usaron con preferencia 425 con lo que se resaltaba la zona urbana. Para la determinación de cuerpos de agua en la zona, las bandas 2 y 3 son las más útiles. La experiencia en el reconocimiento de los patrones de la zona de estudio y de la distribución latitudinal de la vegetación, así como de

la distribución de la vegetación del sitio con base en la exposición del sitio, apoyado con el modelo de elevación digital son primordiales en la buena interpretación de las imágenes de satélite

A nivel general podemos decir que el uso actual del suelo ha presentado los siguientes cambios de 1974 a 1992 la primera fecha correspondiente al estudio del levantamiento fisiográfico de Ortiz Solorio y la segunda fecha a la imagen de satélite esta corroborada por recorridos de campo:

La agricultura, comparativamente con otros usos del suelo casi no presentó cambios en la superficie total, aun y cuando, haya cambiado su distribución espacial, del total de superficie registrada en 1990, el 65.3% era ya agrícola en 1974, y el resto se ganó al desplazar áreas de vegetación natural, pastizales en lomeríos y valles intermontanos, así como áreas degradadas recuperadas por los trabajos de conservación.

Erosión. Los terrenos erosionados han disminuido de 1974 a la fecha, por efecto de los trabajos de la Comisión Lago de Texcoco y CODAGEM en las áreas erosionadas, hasta una superficie de 25 ha diseminadas en pequeñas áreas por lo que la zona es considerada por las diferentes instancias que laboran en la zona como área recuperada.

Vegetación forestal.- Algunas zonas que no llegan al 10 % de la superficie se han recuperado. Estas provienen de zonas erosionadas, antiguos pastizales y terrenos agrícolas. Estos sitios se encuentran en el piedemonte de la sierra nevada. Y es conveniente decir que las áreas forestales en las partes altas no mostraron cambios desde 1980.

Urbano. Es la única clase que ha mantenido un crecimiento en forma exponencial que va aparejado con la mejora de las vías de comunicación siguiendo un proceso de mejores vías de comunicación, más servicios, más crecimiento de la mancha urbana hacia del área que se dan estos cambios.

En general el crecimiento de la mancha urbana se ha generado sobre áreas agrícolas y superficies del antiguo lago de Texcoco. La mancha urbana ha crecido 5 veces de 1970 a 1992 cubriendo una superficie de 147 ha de la cuenca.

Zonas de inundación o cuerpos de agua. El principal cuerpo de agua o zona de inundación dentro del área de estudio corresponde al antiguo lago de Texcoco, el cual se ha reducido a unas cuantas lagunas de regulación horaria. El 56% de la superficie original del lago se ha transformado en zonas urbanas y un 30 % adicional en zonas agrícolas y pastizales que ocasionalmente se llegan a inundar y presentan problemas de

salinidad y sodicidad mismos que han venido disminuyendo por un manejo consistente en aplicación de altas dosis de estiércoles y lavado de suelos.

6.3 Caracterización del tipo de lluvia

La cuenca del río Texcoco está localizada en una zona tropical temperada por la altitud (García 1979), por lo que es de esperarse una mezcla de tipos de lluvias (orográfica y convectiva). De aquí la importancia de caracterizar el tipo de lluvia. Por la variación en el tipo de lluvia, se llevó a cabo una regionalización de la cuenca en base a la distribución de las intensidades, usando los datos pluviométricos del período 1974-1981.

Al analizarse los datos de los pluviógrafos distribuidos en la cuenca, se encontraron tres patrones de distribución de las intensidades bien definidos, que fueron caracterizados por Arias y confirmados en este trabajo como sigue:

1. Parte alta, comprendida entre los 3,000 y 4,000 msnm en la que están los pluviógrafos 6, 2 y 5. Los ecosistemas que están en esa área son: bosque de *Pinus hartwegii* bosque de *Abies religiosa* y zacatal de *Mulembergia macrura*. Aproximadamente el 15% de la lluvia tiene intensidades superiores a 5 cm/hr, y de los cuales solo el 4 % corresponde a intensidades mayores de 7.5 cm/hr.

2. Parte media, comprendida entre los 2,500 y los 3,000 msnm, donde se encuentran los pluviógrafos 4, 1 y 7 . Los ecosistemas que se encuentran presentes en esta área son : bosque de encino, cultivar, tepetates y plantaciones con diversos géneros forestales. Alrededor de 30% de la lluvia tiene intensidades mayores de 5 cm/hr, correspondiendo 7% a intensidades mayores de 7.5 cm.

3.- Parte baja, comprendida entre los 2,200 y 2,500 msnm donde se encuentran los pluviógrafos 8, 9 y 10 los ecosistemas que corresponden a esta parte son: pastizal y cultivos agrícolas. Más del 35 % de la lluvia total cae a intensidades mayores de 5cm/hr, y el 12 % corresponde a intensidades mayores de 7.5 cm/hr.

Esto indica que en la parte alta el patrón de distribución de las intensidades se adapta al tipo de lluvia orográfica (Linsey, 1977), por la predominancia de intensidades bajas (85%). El patrón de distribución de la cuenca baja se asemeja más a la lluvia convectiva, de corta duración, poca cantidad, pero con intensidades muy altas y con gotas de tamaño grande. Estas lluvias (convectivas) son el resultado del ascenso de las masas de aire caliente generadas en la ciudad de México, y el ex-lago de Texcoco que con su falta de vegetación se comporta como un espejo para las radiaciones solares. También son importantes las lluvias ciclónicas formadas en el Golfo de México, que pese a que han descargado la mayor parte de su volumen en el trayecto y van acompañadas de

vientos con velocidades reducidas, todavía tienen poder erosivo. En la cuenca media hay una mezcla de los tipos de lluvia, ya que se observa un comportamiento intermedio entre los tipos de lluvia extremos (figura 19).

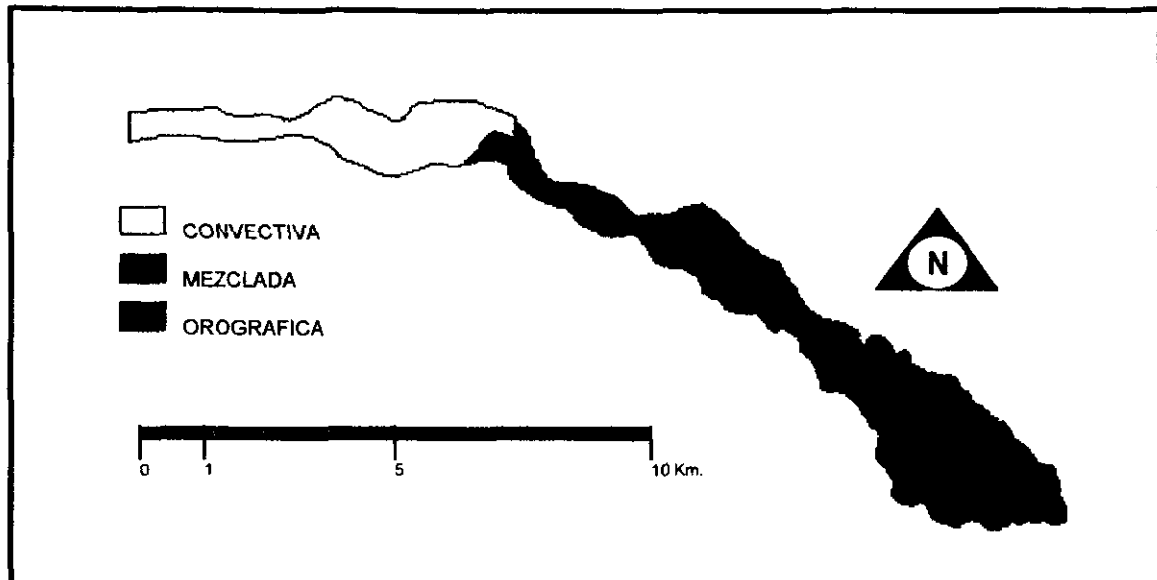


Figura 19 Caracterización del tipo de lluvias

Analizando lo anterior por mes se puede observar que la erosividad de las lluvias tiene fluctuaciones a través del año y las intensidades más altas para la parte media de la cuenca se encuentran en los meses de mayo y en octubre época en que los suelos se encuentran desnudos, primero por estar la tierra preparada para la siembra y la segunda fecha por haberse recogido la cosecha. Hecho que permite que el proceso erosivo sea mayor en esta parte de la cuenca; aún y cuando las lluvias no son excepcionalmente elevadas en esta parte de la cuenca.

En cuanto a la erosión en la parte alta de la cuenca se ve limitada por la cobertura y el tipo de lluvias de baja intensidad, que permiten una intercepción elevada de las gotas de lluvia, por parte de los diferentes estratos (arbóreo, arbustivo y herbáceo) presentes en la cobertura vegetal y por otro lado una infiltración alta, debido a las bajas intensidades y texturas más gruesas con respecto al resto de la cuenca, con lo que se limita la capacidad de transporte del proceso erosivo y el proceso de erosión en general.

En tanto que en la parte baja, la erosión se limita por la capacidad de transporte, dado que la pendiente es mínima aun y cuando las lluvias tengan un gran poder erosivo.

Lo anterior aunado a la presencia de asentamientos humanos y explotación agrícola desde tiempos prehispánicos da una primera aproximación a los fenómenos erosivos expresados en la zona, explicando de esta

forma la presencia de afloramientos de tepetates en la parte media de la cuenca y su aportación de sedimentos en aproximadamente el 70% de los producidos en la cuenca.

6.4. Cálculos para obtener los índices de erosividad

- Índice Ram

Para encontrar el Ram para cada ecosistema de la cuenca, con el fin de obtener la mejor relación energía cinética - precipitación, y la intensidad máxima de 30 min. se hicieron regresiones, las cuales fueron significativas al 1%.

Al comparar los Ram calculados usando estas regresiones y las reportadas para África (Roose, 1977) usando la pérdida de suelo ajustada por los otros factores de la USLE, como variable dependiente en el modelo. tabla 25. Estos resultados muestran que aún y cuando el coeficiente de determinación es bajo se puede inferir una alta relación de la energía cinética de la lluvia y el proceso erosivo.

Que la intercepción de la lluvia juega un papel primordial en el proceso erosivo si se tiene en cuenta que los coeficientes de correlación son mayores en las áreas desnudas o de cultivo con respecto a las áreas de bosque cerrado, en el caso del bosque de encino no se observa esta tendencia probablemente a que no es una vegetación cerrada y el dosel no están importante y al tipo de lluvias que se presentan en las áreas del bosque de encino.

Tabla 25 Regresiones lineales energía cinética - precipitación de cada ecosistema de la cuenca del río Texcoco.

ECOSISTEMA	ECUACIÓN DE REGRESIÓN	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN	DESVIACIÓN STANDARD
BOSQUE DE PINO	$EC = -37 + 162 P$	0.502	205
ZACATONAL	$EC = -421 + 490 P$	0.689	382
BOSQUE DE OYAMEL	$EC = -207 + 323 P$	0.590	289
CULTIVAR ALTO	$EC = -651 + 690 P$	0.780	520
TEPETATAL	$EC = -275 + 471 P$	0.751	204
PASTIZAL	$EC = -618 + 750 P$	0.782	401
BOSQUE DE ENCINO	$EC = -469 + 617 P$	0.710	368
CULTIVAR BAJO	$EC = -578 + 794 P$	0.764	535

La intensidad fue obtenida por el método empleado por los meteorólogos.

Basados en esta tabla se utilizó el Ram encontrado para cada ecosistema de la cuenca del Río Texcoco.

Tabla 26 Comparación de los índices de erosividad Ram encontrados en África y los modelos para los ecosistemas de la Cuenca del Río Texcoco.

ÍNDICE DE EROSIVIDAD	Ubicación en la cuenca	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN
R1	parte baja (plana)	0.447
R2	parte media (ladera)	0.401
R3	parte alta	0.431

Como se observa en los coeficientes de correlación estos bajaron al unificar áreas desnudas, cultivares y áreas con vegetación arbórea, en grandes grupos de uso con lo que se cita en las aseveraciones arriba descritas.

6.4.1 Evaluación de los índices de erosividad.

Los índices de erosividad fueron evaluados con base en su relación con la pérdida de suelo anual, debido a que en el caso de las pérdidas diarias los coeficientes de correlación son bajos respecto a los índices de erosividad como lo muestran el tabla siguiente:

Tabla 27 Coeficientes de correlación (r) de las regresiones lineales entre los índices de erosividad y las pérdidas de suelo ajustadas por evento diario en la cuenca del río Texcoco.

ÍNDICE DE EROSIVIDAD (R)	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	NIVEL DE SIGNIFICANCIA DE LA REGRESIÓN
El ₃₀	0.424	1%
EC	0.322	1%
KE>1	0.354	1%
A	0.393	1%
PNUMA	0.398	1%
Ram	0.443	1%
Aim	0.364	1%

se analizaron 1689 datos

Se puede ver en el Tabla 27 los índices de erosividad que explican más la variación de la pérdida de suelo diaria, son el Ram y el El₃₀ pero con coeficientes de correlación muy bajos. Esto se explica por la humedad antecedente. Esto quiere decir que dos lluvias idénticas en sus características físicas actuando sobre el mismo suelo pero con contenidos de humedad diferentes, tendrán diferentes efectos sobre las pérdidas de suelo.

A fin de minimizar este efecto y que los índices de erosividad presenten una mayor consistencia se realizaron los cálculos a nivel anual como lo sugieren Wischmeier y Smith (1965), es decir, sumando los valores de los índices de erosividad de los eventos de lluvia en un año y relacionándolos con la pérdida de suelos anual, ya que las pérdidas diarias disminuyen los coeficientes de correlación (r), obteniéndose un aumento en la correlación de todos los índices, al eliminar de esta forma el efecto de la lluvia antecedente en los procesos de erosión.

En el Tabla 28 se muestran los resultados obtenidos para el caso de la aplicación de los índices a nivel anual.

Tabla 28 Coeficientes de correlación de las regresiones Índice de erosividad pérdida de suelo para la cuenca del río Texcoco.

Índice de erosividad R anual	coeficiente de correlación
El ₃₀	0.825
EC	0.804
KE>1	0.753
FOURNIER	0.785
PNUMA	0.789
Ram	0.624
Aim	0.818

Como se observa en el tabla 28 todos los índices de erosividad muestran una relación significativa con la pérdida de suelo, siendo el El₃₀ el que muestra el mejor coeficiente de correlación. Esto demuestra que considerando dos parámetros, que son la energía cinética y la intensidad máxima en 30 min. se explica mejor la variación de las pérdidas de suelo que cuando solo se considera un solo parámetro, como la energía cinética. En este caso, el coeficiente de correlación (r) tiende a disminuir por lo que el grado de asociación entre pérdida de suelo y energía cinética es menor. Sin embargo, este valor puede ser aceptable bajo estas consideraciones.

El índice de Hudson (KE>1) muestra un coeficiente de correlación menor que el de la energía cinética (EC). Esto quiere decir que la intensidad límite para que ocurra erosión es diferente para las condiciones de la cuenca del Río Texcoco con respecto a las cuencas analizadas por Hudson para proponer el índice, y que el límite mínimo de intensidad para esta cuenca debe ser menor ya que de los 1,689 eventos analizados, donde hubo pérdida de suelo, 1,182 sucedieron cuando la intensidad fue mayor de 2.54 cm/hr. Si se aplicara este índice en la cuenca, en el 30 % de los eventos no existiría erosión.

El índice de Fournier (A) dio un coeficiente de correlación aceptable de 0.785 tomando en cuenta que el tipo de información que se maneja es la precipitación del mes y la precipitación anual. Esto implica que se puede usar como estimador de erosividad en regiones donde no se cuente con un pluviógrafo.

Por lo tanto este índice puede ser aplicado en forma extensa en la mencionada zona, usando las cobertura digitales existentes, como la base de datos climática del INIFAP que tiene valores interpolados de medias mensuales, con un dato a cada kilómetro.

Los coeficientes de correlación obtenidos para los índices son similares a los reportados por la literatura para la zona por Arias (1980), y las diferencias se explican por efecto de redondeo en los cálculos.

6.5 Comparación de los datos interpolados por INIFAP y los registrados en los pluviómetros.

A continuación se muestra en la tabla 29 la comparación de la lluvia con base en los datos de los pluviómetros en la cuenca del Río Texcoco y la lluvia calculada a partir de los datos del CLICOM, interpolados en ARC INFO por el INIFAP.

Tabla 29 Comparación de precipitaciones registradas e interpoladas

PLUVIOGRAFO NO	DATOS DE PLUVIOGRAFO	DATO INTERPOLADO POR INIFAP	DIFERENCIA SIGNIFICATIVA AL 5%
1	650.1	640.2	ns
2	870.4	850.4	*
4	602.6	608.5	ns
5	840.8	825.5	*
6	902.4	898.4	ns
7	660.3	652.4	ns
8	585.1	582.8	ns
9	590.4	581.5	ns
10	595.6	583.4	*

NS diferencias no significativas * significativas ** altamente significativas.

Como se observa las diferencias van, de no significativa a significativa, en cuanto a la precipitación observada en los lotes de escurrimiento y los interpolados de INIFAP. Esto se debe a diferencias de contorno en las isoyetas y al tamaño de celda de los datos interpolados, la diferencia de los contornos en las isoyetas se debe a la densidad de muestreo o puntos de registro para definir las inflexiones de las curvas. En cuanto al ligero desplazamiento de las curvas hacia la parte alta de la cuenca puede ocurrir debido a la interpolación y al periodo de registros: mientras que los datos interpolados del INIFAP cuentan con 30 años de registro, los datos de los pluviómetros cubren un periodo de 10 años. Sin embargo, en general, las diferencias no son significativas, lo que implica que se puede utilizar el estimador de agresividad de la lluvia (índice de Fournier), en conjunto con la base de datos del INIFAP para estimar la erosividad.

De las estimaciones pluviales, aquí realizadas podemos decir que:

- La estimación de la erosividad de la lluvia para la región de la cuenca del Valle de México se puede realizar con base en el índice de Fournier,.

- La caracterización de la lluvia es importante para la presencia de un fenómeno erosivo con base en la fenología de cultivos en áreas agrícolas.
- Las interpolaciones climáticas del INIFAP no presentan diferencias significativas con los datos registrados en los pluviógrafos, por lo que son suficientemente exactas para aplicarse en forma general en estudios a nivel local o regional (Tabla 6), para la generación de índices de erosividad que usen datos promedio mensuales.
- La aplicación de sistemas de información geográfica en el cálculo de la agresividad de la lluvia es posible con las bases de datos existentes.
- Se puede dividir la cuenca en tres zonas homogéneas por cuanto a características generales de lluvia se trata, una parte baja con lluvias convectivas, una parte alta con lluvias orográficas y una parte media donde ambos tipos de lluvias se entre lazan.

6.6 Cálculos de riesgo de erosión(USLE), riesgo de degradación (FAO) y su comparación con los datos de lotes de escurrimiento.

Como se observó en la parte antecedente la cuenca se puede dividir en tres zonas características por el tipo de lluvia, si a esto se le sobreponen las capas de uso actual, topografía, y procesos erosivos dominantes, esta subdivisión se refuerza.

A fin de facilitar el análisis de los procesos dominantes en la cuenca, se dividió en tres partes por uso, tipo de lluvia, topografía dominante, suelo, estratigrafía, problemática social y de degradación: una parte alta o de montaña, una parte media de lomeríos o piedemonte y una parte plana correspondiente al área ocupada por el antiguo lago de Texcoco en la época de Netzahualcoyotl.

6.6.1 Procesos en la parte alta de la cuenca

La parte alta incluye las áreas con cobertura principalmente forestal, con suelos profundos ricos en materia orgánica de colores oscuros, con lluvias de tipo orográfico con un estrato geológico principalmente de andesita y con presencia de fallas. Estas áreas corresponden a los sistemas terrestres Tlaloc, Tecuanulco y Texaltepec (ver paginas 53 -55 para diagrama y descripción de facetas).

Las formas de erosión presentes en la zona son erosión en arroyuelos y cabeceras de cárcavas localizadas donde se ha removido la vegetación natural.

En esta zona no existen labores culturales en las áreas forestales de no ser por los trabajos de cabeceros de cárcavas por parte de la Comisión Lago de Texcoco y el surcado al contorno en las áreas agrícolas donde se siembra principalmente haba, cebada y un poco de maíz. La mayoría de los caminos no reciben mantenimiento.

6.6.1.1. Riesgo de erosión calculado con la USLE.

En la tabla 30 se presenta el riesgo por erosión por faceta para los índices R, K, y LS.

Tabla 30 Valor de los factores R, K, LS por faceta en la parte alta de la cuenca del Río Texcoco

Índice	Faceta	Valor del factor	Riesgo de degradación (de acuerdo con Ortiz, 1994)
Erosividad por tipo climático	Ta-1	114	Moderado
	Ta-2	114	Moderado
	Tx-1	114	Moderado
	Tx-2	114	Moderado
	Tx-4	164	Moderado
	Tc-2	198	Moderado
	Tc-3	206	Severo
	Tc-3a	180	Moderado
Erosionabilidad	Ta-1	0.2	Moderado
	Ta-2	0.2	Moderado
	Tx-1	0.2	Moderado
	Tx-2	0.2	Moderado
	Tx-4	0.2	Moderado
	Tc-2	0.2	Moderado
	Tc-3	0.2	Moderado
	Tc-3a	0.2	Moderado
Longitud de pendiente y pendiente LS	Ta-1	11.9	Muy severo
	Ta-2	11.9	Muy severo
	Tx-1	15.6	Muy severo
	Tx-2	12.2	Muy severo
	Tx-4	13.2	Muy severo
	Tc-2	18.0	Muy severo
	Tc-3	32.0	Muy severo
	Tc-3a	50.0	Muy severo

Como es posible observar considerando los factores R y K, los riesgos de erosión son moderados debido a las características de la lluvia orográfica y los suelos ricos en materia orgánica de textura medias a gruesas. Sin embargo, por los valores del factor LS los riesgos se clasifican como muy severos para esta parte de la cuenca.

Como se observa en la tabla 31 si se calcula la pérdida de suelo a través de la USLE, los tonelajes que se obtienen al considerar el factor de cobertura vegetal C, corresponden a niveles ligeros para la faceta TC-3a por tener una cobertura de densa de Abies-Quercus con multiestratos y sin explotación forestal, suelos profundos ricos en materiales orgánicos. Las pérdidas son moderadas para las facetas de los sistemas terrestres Texaltepec (Tx) y Tlaloc (Tl) debido a que en esta parte los bosques presentan cierto grado de alteración por disturbios humanos aprovechamientos legales e ilegales y a que las densidades de los rodales son más bajas por las características de altura y tipo de especie. Por ende las pérdidas de suelo son muy severas en las facetas TC-2 y TC-3 del sistema Tecuanulco, esto debido a que en estas áreas los bosques han sido desplazados a agricultura de temporal y ganadería extensiva como se puede apreciar en la figura 20

Tabla 31 Velocidad de erosión hídrica en la parte alta de la cuenca del Río Texcoco, calculada con la USLE.

Faceta	Pérdida de suelo	Tasa de degradación por erosión hídrica
	(ton / ha / año)	(de acuerdo a Ortiz, 1994)
Ta-1	27.16	moderada
Ta-2	27.16	moderada
Tx-1	35.58	moderada
Tx-2	27.94	moderada
Tx-4	43.44	moderada
Tc-2	112.43	Severa
Tc-3	91.97	severa
Tc-3'	5.39	ligera

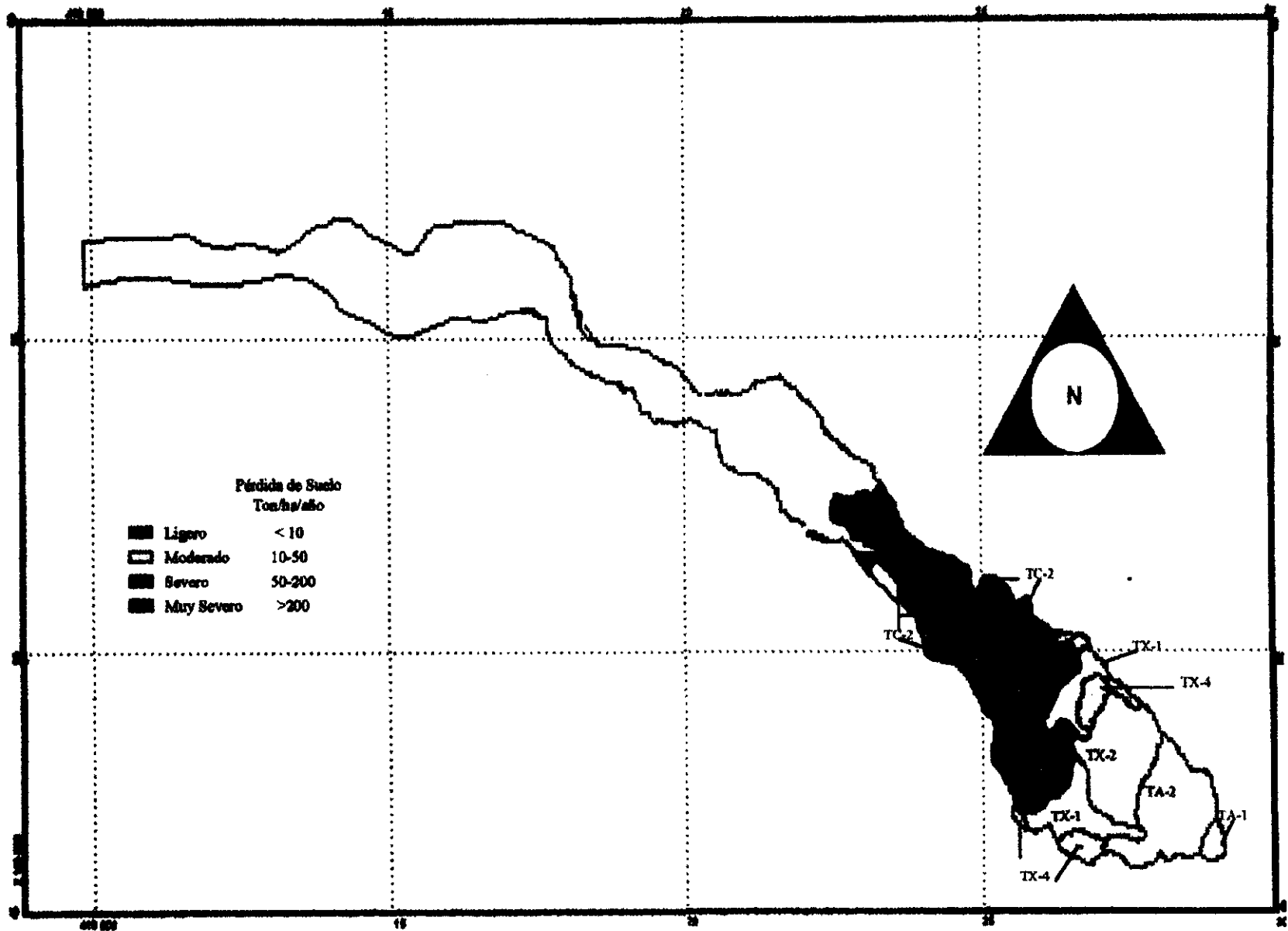


Figura 20 Niveles de degradación por erosión hídrica en la parte alta de la cuenca del río Texcoco (con base a la USLE).

6.6.1.2. Pérdidas de suelo calculados a partir de los lotes de escurrimiento.

Para el cálculo de la pérdida de suelo con base en los lotes de escurrimiento presentes en el área, se procedió a extrapolar los datos de pérdida de suelo de los mencionados lotes a áreas similares utilizando las facetas del levantamiento fisográfico como marco geográfico. La pérdida de suelo para el periodo (1974-1981) se presenta en el tabla 32 y figura 21.

Tabla 32 Pérdida de suelo por erosión hidrica por faceta y uso de suelo en la parte alta de la cuenca del Río Texcoco, de acuerdo a extrapolación de lotes de escurrimiento

Faceta	Cobertura	Superficie %	Pérdida de suelo (ton/ha/año)	Velocidad de degradación por erosión por uso actual (Ortiz 1994)	Velocidad de degradación por faceta por erosión (Ortiz 1994)
Ta-1	Bosque de pino	100	0.05781	ligera	ligera
Ta-2	Bosque de pino	85.2	0.05781	ligera	ligera
	Zacatal	14.8	0.03175	ligera	
Tx-1	Bosque de pino	86.1	0.05781	ligera	ligera
	Zacatal	9.1	0.03175	ligera	
	Bosque de encino	4.8	0.005	ligera	
Tx-2	Bosque de pino	86.2	0.02063	ligera	ligera
	Zacatal	13.8	0.03175	ligera	
Tx-4	Bosque de pino	92.1	0.02063	ligera	ligera
	Zacatal	7.9	0.03175	ligera	
Tc-2	Cultivos de altura	60.3	1.5298	severa	severa
	Zacatal	39.7	0.03175	ligera	
Tc-3	Bosque de encino Abies	13.5	0.01101	ligera	ligera
	zacatal	86.5	0.03175	ligera	
Tc-3*	Bosque de encino Abies	93.1	0.01101	ligera	ligera
	Zacatal	3.0	0.03175	ligera	
	Cultivo de altura	2.9	1.5298	severa	

Como es posible observar, los lotes de escurrimiento presentan valores de pérdida de suelo que corresponden a clases de ligeras a severas. Siendo severas las pérdidas de suelo en áreas agrícolas y ligeras para el resto de las coberturas vegetales tanto en zacatales como en los diversos tipos de bosque. Esto es resultado directo del fenómeno de intercepción de la lluvia, que permite una infiltración mayor de las lluvias al aumentar por un lado el tiempo de concentración del agua en arroyuelos y por otro lado al aumento de tortuosidad en el flujo del agua.

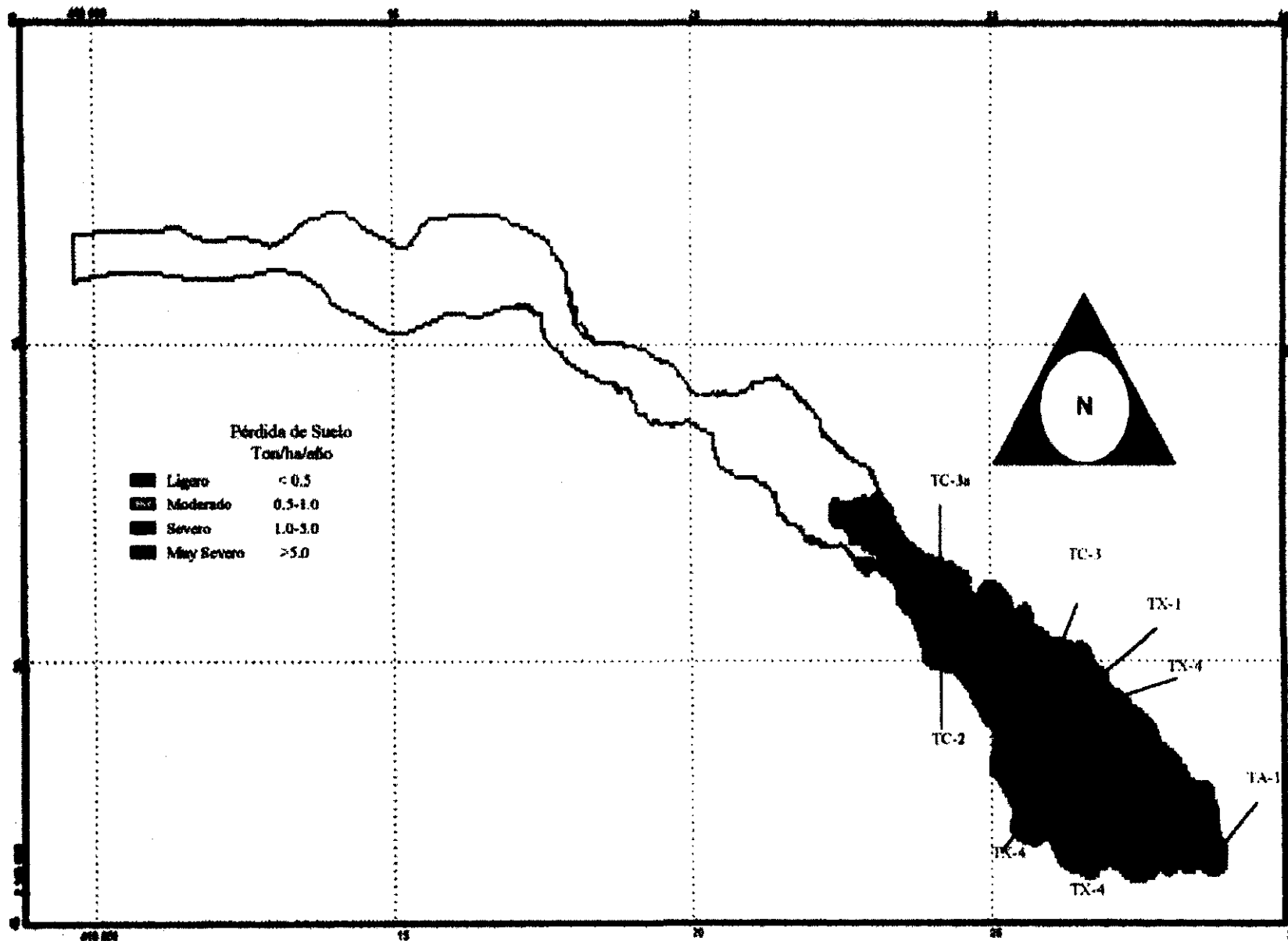


Figura 21 Tasa de degradación por erosión hídrica en la parte alta de la cuenca del río Texcoco (con base a datos de lotes de escurrimiento).

6.6.1.3. Degradación de acuerdo a la metodología FAO

Para el cálculo de la degradación de suelos se aplicaron para esta zona los indicadores de cobertura de plantas perennes y erosión por densidad de cárcavas y profundidad de suelo, proponiendo algunas adecuaciones a los criterios antes mencionados.

6.6.1.3.1 Estado actual de la degradación de la cobertura perenne.

Para el cálculo del estado actual de la degradación de vegetación perenne se utilizan los registros históricos de 1950, 1974, 1980, 1985, 1990 y 1995 asignando un porcentaje de superficie cubierta por perennes y la clase de degradación según el tabla 7 en cuatro clases de degradación. Analizando así la información cartográfica se obtuvieron los datos del tabla 33. En la figura 22 se reportan las tendencias que muestran las plantas perennes por faceta.

Tabla 33 Estado de la degradación de la cubierta perenne para diferentes años en la parte alta de la Cuenca del Río Texcoco.

Facetas	Cobertura de plantas perennes (%) para cada fecha analizada (análisis de registros cartográficos)						clase de degradación por fecha analizada (en concordancia con Tabla 7)					
	año						año					
	1955	1974	1980	1985	1990	1995	1955	1974	1980	1985	1990	1995
Ta-1	60	60	60	60	60	60	L	L	L	L	L	L
Ta-2	100	97.9	97.8	97.8	97.9	98	L	L	L	L	L	L
Tx-1	99.9	99.5	99.4	99.4	99.5	99.6	L	L	L	L	L	L
Tx-2	99.9	99.1	99.0	99.0	99.2	99.3	L	L	L	L	L	L
Tx-4	100	99.4	99.2	99.2	99.3	99.3	L	L	L	L	L	L
Tc-2	52.5	47.0	41.2	41.2	41.3	41.3	L	m	m	m	m	m
Tc-3	99.9	97.3	97.4	97.4	97.5	97.6	L	L	L	L	L	L
Tc-3a	97.9	93.4	93.8	93.8	93.9	94	L	L	L	L	L	L

L = ligera ; m = moderada;

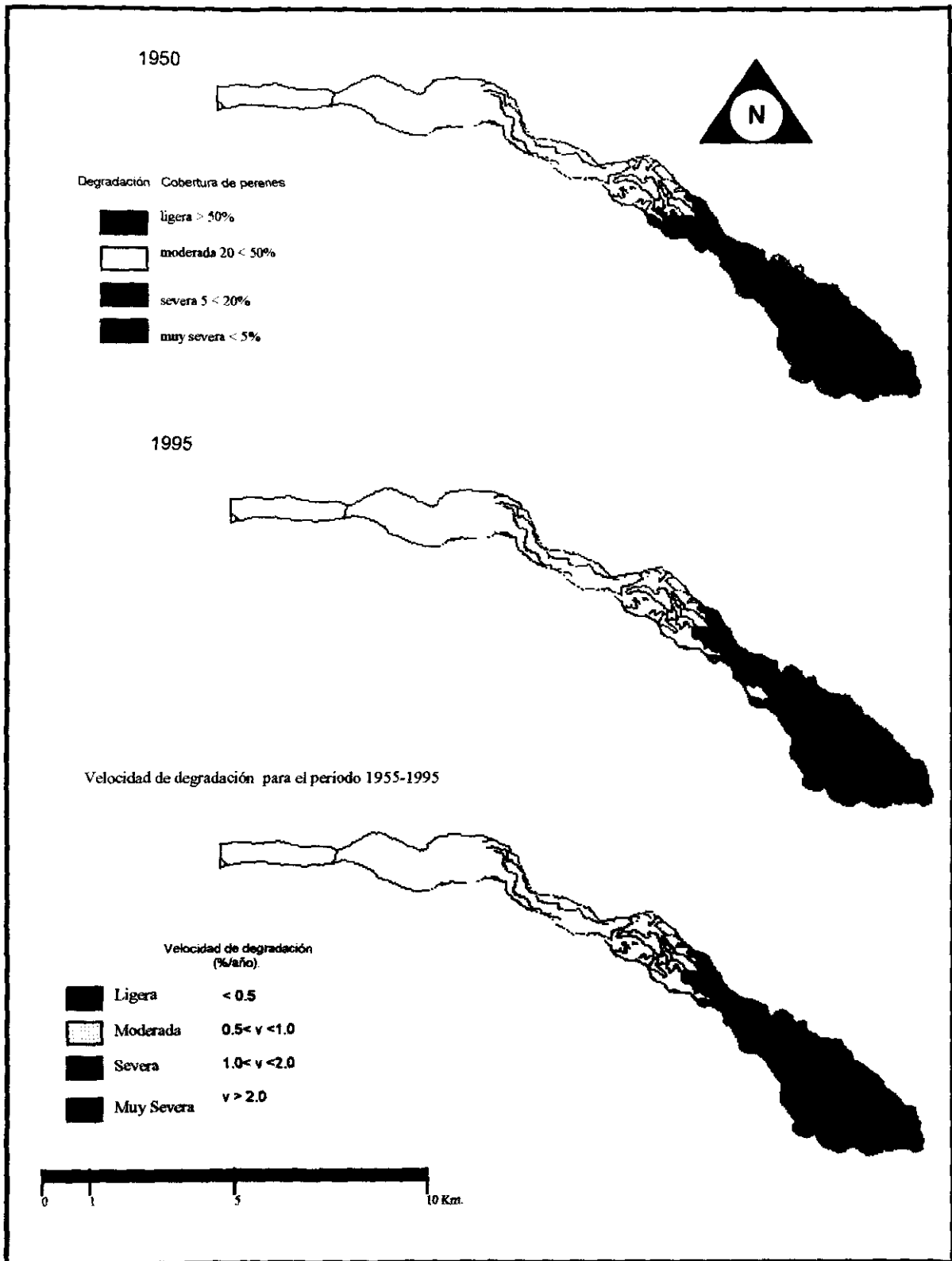
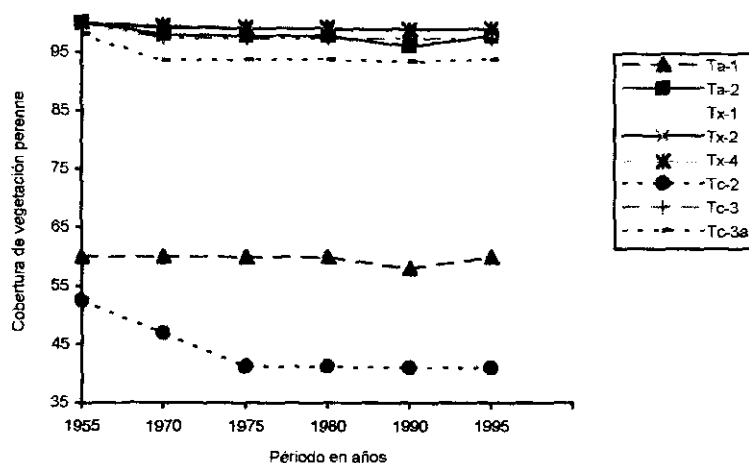


Figura 22 Estado actual de la degradación de la Cobertura Perenne en base a cobertura arborea.



Gráfica 6 Cobertura vegetal con plantas perennes en las facetas de la parte alta de la cuenca del río Texcoco.

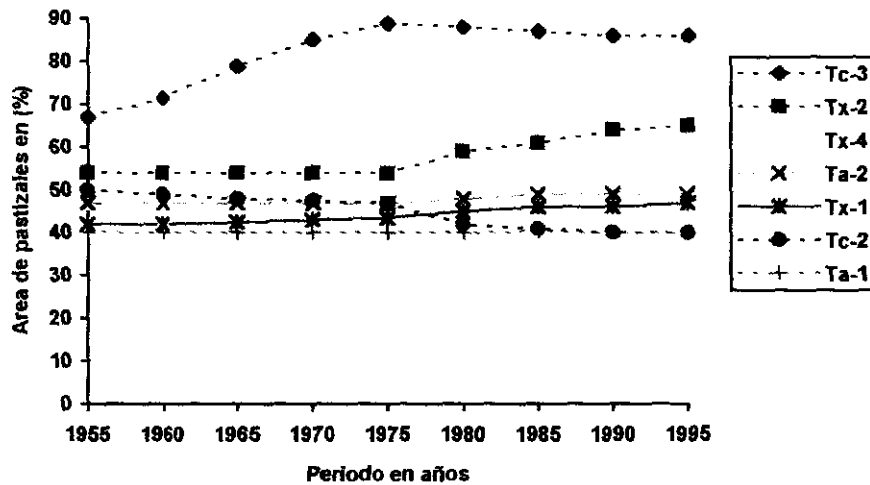
Como se puede observar en la tabla 33, figura 22

y la gráfica 6, la clase de degradación de la cubierta vegetal no ha variado en la parte alta de la cuenca salvo en la faceta Tc-2 en la que se aumentaron áreas de cultivo. Este resultado subestima la degradación por erosión comparado con las observaciones de campo (Figuroa 1975 y Ortiz 1982). Esto puede deberse a que el criterio usado es la cobertura de vegetales perennes y en el ecosistema forestal, al desplazarse el estrato arbóreo, este se ve sustituido por zacates, que también se consideran como vegetación perenne. Sin embargo los zacates no tienen el mismo efecto en la intercepción de la lluvia que el arbolado.

Por lo anterior se propuso otro criterio para evaluar la degradación de la cobertura vegetal arbórea de las facetas forestales, que es el porcentaje de cobertura de zacatales de acuerdo al tabla 10 obteniéndose los resultados mostrados en tabla 34 y figura 23.

Tabla 34 Estado actual de la degradación de la cubierta arbórea de la Cuenca del río Texcoco con base en la cobertura de zacates, en la parte alta de la cuenca del río Texcoco.

Faceta	Área cubierta de zacatales (%) por año								
	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995
Tc-3	67	71.5	79	85	89	88	87	86	86
Tx-2	54	54	54	54	54	59	61	64	65
Tx-4	47	43	40	36	32	51	53	53	54
Ta-2	47	47	47	47	47	48	49	49	49
Tx-1	42	42	42.5	43	43.5	45	46	46	47
Tc-2	50	49	48	47.5	47	42	41	40	40
Ta-1	40	40	40	40	40	40	40.3	40	40



Gráfica 7 Superficie de zacates por faceta en la parte alta de la cuenca del río Texcoco.

Como se puede observar, la superficie de los zacatales no ha variado en las facetas salvo en las facetas TC-3a donde se nota un aumento en el periodo de 1965 a 1975 que corresponde al periodo de alto impacto por parte de la papelera San Rafael. En la faceta TX-4 se observa una disminución continua de los zacatales de 1955 a 1975 que se explica con un turno de corta de la fabrica san Rafael, luego un aumento de los zacatales, en el periodo 1975 a 1980 que corresponde a un aprovechamiento. En cuanto a las otras facetas prácticamente no presentan variaciones en sus coberturas de zacatales, correspondiendo los movimientos a los ciclos normales del bosque, y a errores en la interpretación de linderos de uso en las fotografías aéreas.

En las facetas Tc2 y Tc3a la disminución de zacatales corresponde a un incremento de las áreas cubiertas de bosque sino más bien a un aumento de la superficie agrícola, como puede observarse en la siguiente tabla 35 y figura 23. Se puede ver que en la faceta TC-2 el incremento fue mayor mostrando un aumento de casi un 15% en la superficie agrícola, para el periodo analizado.

Tabla 35 Dinámica de las áreas agrícolas en las facetas de la parte alta de la cuenca del Río Texcoco

FACETA	Superficie agrícola en % de faceta para diferentes años								
	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995
Tc-2	47	50	50.2	51	52	57	59	60	61
Tc-3a	0.5	1.5	2.	2.3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.7

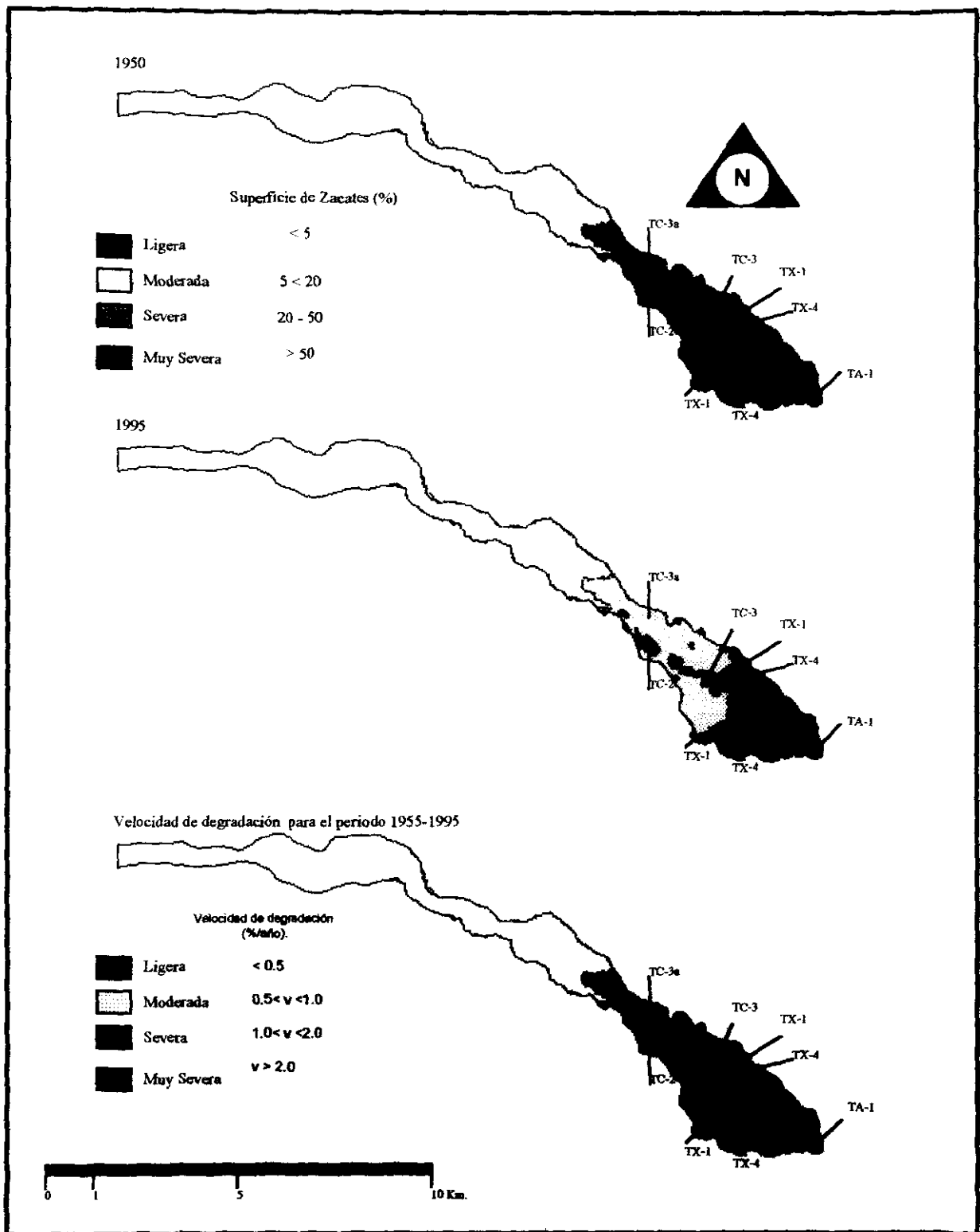
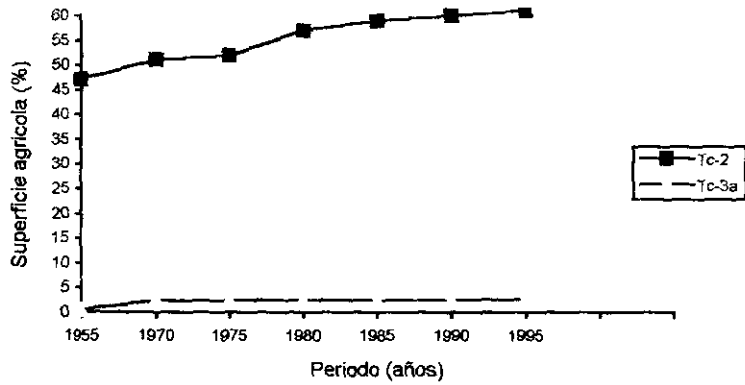


Figura23 Degradación de la cobertura arborea en la parte alta de la cuenca del Río Texoco con base a cobertura de zacates.



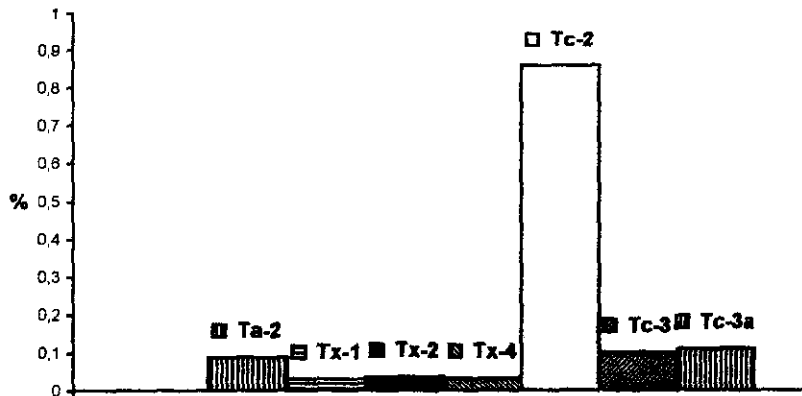
Gráfica 8 Incremento de la superficie agrícola en las facetas de la parte alta de la cuenca del río Texcoco.

Sin embargo podemos afirmar que este aumento no solo es bajo sino que ha sido detenido, por un acuerdo del comité ejidal de San Pablo Ixayoc, para evitar la llegada de azolves por erosión de suelos, en la parte alta de la cuenca, a los reservorios de agua en la parte media de la cuenca. Fuente principal de agua para los cultivos florícolas que dan trabajo a un 80% de la población de San Pablo Ixayoc, en forma directa o indirecta.

De las gráficas 6,7 y 8 se calculó la velocidad de degradación de la cobertura perenne observándose cambios por debajo de 0.2% para la mayoría de las facetas de la parte alta de la cuenca. La velocidad de degradación resulta ligera, salvo en el caso de la faceta TC-2 donde el desplazamiento de la cobertura forestal y perenne es de 0.86% y una velocidad de degradación moderada como se constata en la tabla 36 y figura 23.

Tabla 36. Velocidad de degradación de la cubierta vegetal perenne en la Cuenca del Río Texcoco para el periodo 1955-1995 por faceta

FACETA	Degradación de la cubierta vegetal perenne (%/año)	Velocidad de la degradación
Ta-1	0.0	ligera
Ta-2	0.088	ligera
Tx-1	0.030	ligera
Tx-2	0.036	ligera
Tx-4	0.032	ligera
Tc-2	0.860	moderada
Tc-3	0.100	ligera
Tc-3a	0.109	ligera



Gráfica 9 Velocidad de degradación de la cubierta perenne en el periodo 1955 - 1995

A nivel general se puede decir que la velocidad de degradación de la cobertura arbórea en el periodo 1955-1995 es ligera, con excepción de la faceta Tc-2 la cual ya era una faceta altamente explotada en 1955. Por lo tanto se puede inferir que: existe un nuevo equilibrio de los recursos naturales en esta parte de la cuenca, cuyo riesgo más grande lo constituye el aprovechamiento ilegal de los recursos forestales.

Este nuevo equilibrio de los recursos arbóreos, en cuanto a cobertura se refiere, se debe principalmente a:

- Factores sociales y culturales locales como son el interés de los pobladores de san Pablo Ixayoc en la conservación de los manantiales en los que base su explotación florícola, un cambio en los materiales de construcción que ha desplazado el uso de la madera por cemento y ladrillo, así como un uso más intensivo del gas en lugar de leña.
- Factores legales de carácter regional como son la veda impuesta en el estado de México para la explotación de los recursos forestales.
- Factores de desarrollo rural y estrategias comerciales nacionales e internacionales como el creciente interés de la cuenca del Valle de México y sus implicaciones para el bienestar de la población del Distrito Federal. La apertura a la importación de madera americana con un costo real de aproximadamente 50% de la madera nacional lo que a traído una disminución del aprovechamiento de los bosques.

6.6.1.3.2. Estado actual de la degradación de la parte alta de la cuenca por erosión hídrica.

El criterio para evaluar este proceso es la profundidad del suelo (tabla 8). Con base a este criterio se obtuvo la tabla 37 Esta información fue obtenida de información contenida en el levantamiento fisiográfico del área de influencia de Chapingo, los reportes de trabajos de la Comisión lago de Texcoco, CODAGEM y recorridos de campo con una densidad de barrenación de 1 muestra cada 500 metros.

Tabla 37 Erosión hídrica de la parte alta de la Cuenca del Río Texcoco (por profundidad de suelo)

FACETA	degradación por erosión hídrica en base a profundidad de suelos															
	profundidad de suelos (cm)								clase de degradación (criterio Tabla 8)							
	año								año							
	1955	1970	1974	1979	1980	1985	1990	1995	1955	1970	1974	1979	1980	1985	1990	1995
Ta-1	50-90	50-90	50-90	50-90	50-90	50-90	50-90	50-90	m	m	m	m	m	m	m	m
Ta-2	90	90	90	90	90	90	90	90	l	l	l	l	l	l	l	l
Tx-1	90	90	90	90	90	90	90	90	l	l	l	l	l	l	l	l
Tx-2	90	90	90	90	90	90	90	90	l	l	l	l	l	l	l	l
Tx-4	90	90	90	90	90	90	90	90	l	l	l	l	l	l	l	l
Tc-2	90	90	90	90	90	90	90	90	l	l	l	l	l	l	l	l
Tc-3	90	90	90	90	90	90	90	90	l	l	l	l	l	l	l	l
Tc-3a	90	90	90	90	90	90	90	90	l	l	l	l	l	l	l	l

Podemos observar en la tabla 37 que la degradación por erosión hídrica evaluada por la profundidad de suelo no es un criterio lo suficientemente sensible para poder ser usada en un estudio local por si sola, por lo

menos con los rangos definidos en la metodología actual, sino que es necesario su aplicación en conjunto con otros índices, debido a que en áreas donde la erosión no es marcada el espesor del suelo no es un indicativo de los procesos de erosión.

Ortiz (1994) consideró como otro criterio para evaluar el estado actual de degradación por erosión hídrica la densidad de canales y cárcavas por km. de transecto transversal. Este criterio inicialmente de la metodología FAO (1979), ha sido modificado por Ortiz (1986), para su aplicación a escalas mayores de 1: 25 000 y considera como cárcavas o canales los caminos forestales que no reciben mantenimiento.

Los criterios para la aplicación de este parámetro se encuentran en el tabla 11

Aplicando este criterio se clasificó el área y grado de degradación como se enmarca en el Tabla 38 y Figura 24:

Tabla 38 Estado de la erosión hídrica con base a la densidad de cárcavas en la cuenca del Río Texcoco.

Faceta	No de cárcavas y canales por Km.					Clase de degradación (De acuerdo a Ortiz 1984)				
	1955	1970	1974	1980	1995	1955	1970	1974	1980	1995
Ta-1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	s	s	s	s	s
Ta-2	0.66	2.0	2.0	2.2	2.2	l	m	m	m	m
Tx-1	2.2	3.5	4.4	4.4	4.4	m	s	s	s	s
Tx-2	-	1.4	1.9	1.9	1.9	l	l	m	m	m
Tx-4	-	1.8	2.7	2.7	2.7	l	m	s	s	s
Tc-2	2.0	3.1	3.1	3.1	3.1	m	s	s	s	s
Tc-3	-	4.3	4.3	4.3	4.3	l	ms	ms	ms	ms
Tc-3*	0.7	0.7	1.2	1.2	1.2	l	l	l	l	l

l = ligera, m= moderada, s= severa, ms = muy severa

Se utiliza la densidad de caminos forestales que no reciben mantenimiento como cárcavas debido a que estos se van a comportar como aglutinantes de las escorrentías y su posterior destrucción formará una cárcava. Como podemos observar de los datos contenidos en la tabla 38 el uso de este criterio permite mostrar una variación de los niveles de degradación de severa a ligera con lo que se puede tener un criterio más adecuado de los procesos que se están gestando en el área evaluada, es decir este criterio es lo suficientemente sensible como para ser usado en estudios como el presente.

En el tabla 39 podemos observar el desarrollo de los caminos forestales en la parte alta de la cuenca.

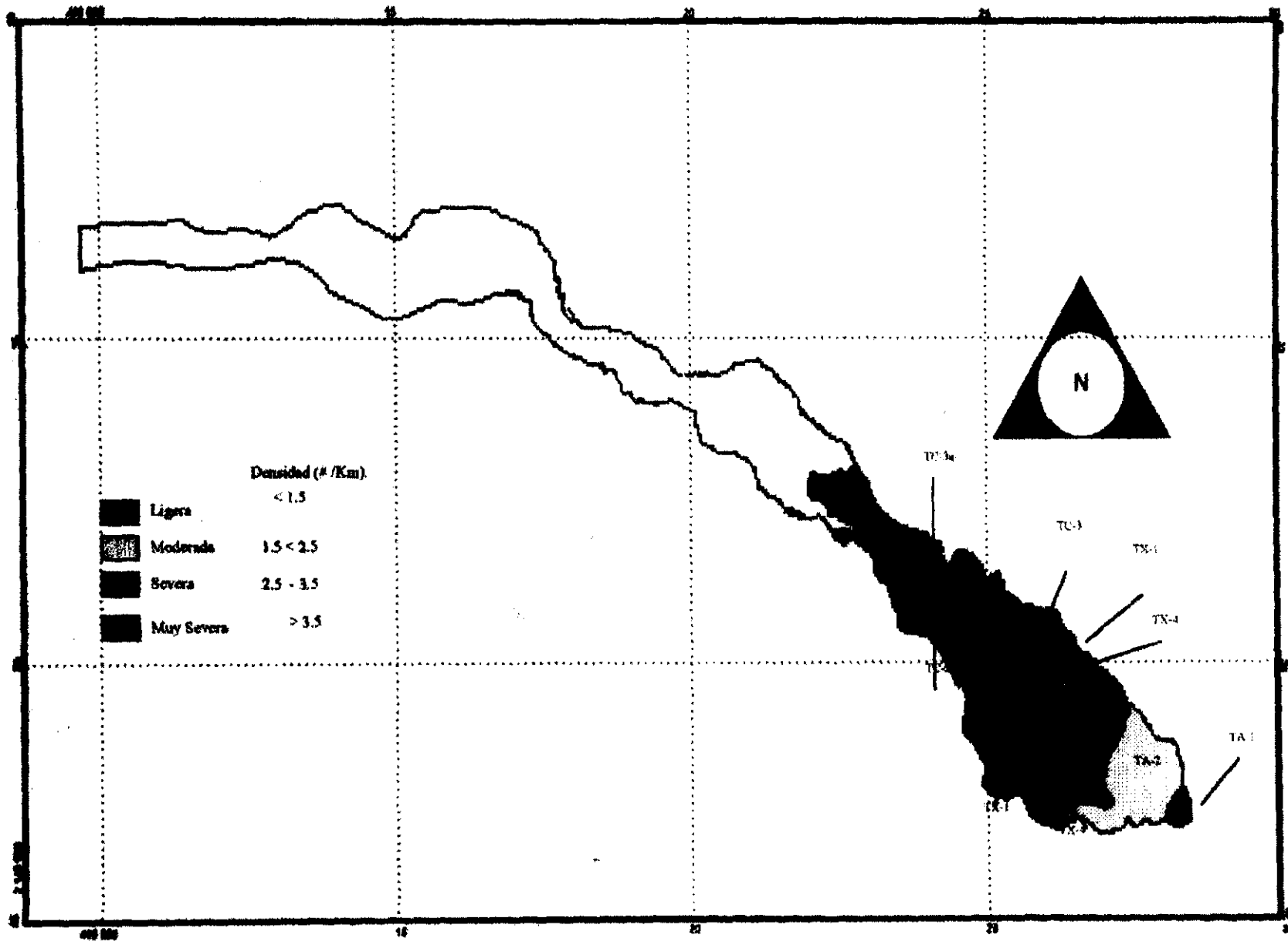
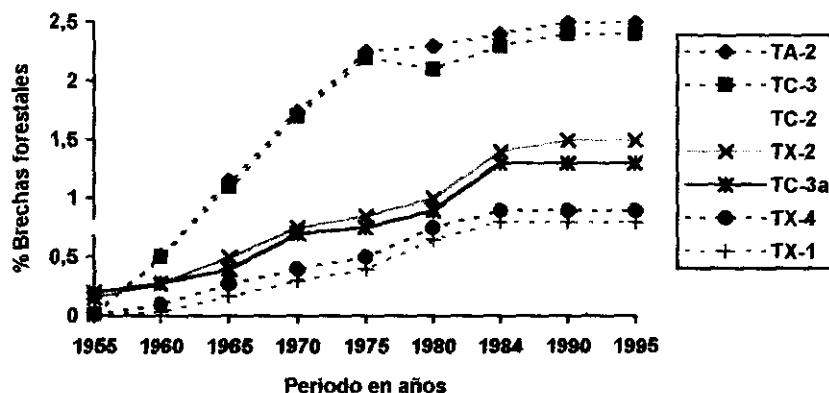


Figura 24 Degradación por erosión hídrica en base a densidad de cárcavas en la parte alta de la cuenca del Río Texcoco

Tabla 39 Desarrollo de caminos forestales en la parte alta de la cuenca del Río Texcoco

	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1984	1990	1995
TA-2	0.01	0.51	1.15	1.74	2.25	2.3	2.4	2.5	2.5
TC-3	0.01	0.5	1.1	1.7	2.2	2.1	2.3	2.4	2.4
TC-2	0.75	0.8	0.9	1	1.25	1.75	2	2	2
TX-2	0.15	0.27	0.5	0.75	0.85	1	1.4	1.5	1.5
TC-3a	0.2	0.28	0.4	0.7	0.75	0.9	1.3	1.3	1.3
TX-4	0.01	0.1	0.27	0.4	0.5	0.75	0.9	0.9	0.9
TX-1	0.01	0.03	0.17	0.3	0.4	0.65	0.8	0.8	0.8



Gráfica 10 Tendencias de los caminos forestales en las facetas de la parte alta de la cuenca del río Texcoco.

Como se puede observar en la tabla 39 y gráfica 10, los caminos forestales tuvieron un incremento fuerte en las décadas de los 50 a los 80's, debido a que en este periodo la fábrica de papel San Rafael explotó los recursos forestales en forma concesionada en el área de la Sierra Nevada abajo de la cota de los 3600 msnm. El número de brechas aumentó en forma exponencial en el mencionado periodo, hasta que éstas se dejaron de construir acercándose el final de la concesión (1986). Actualmente su calidad se ha visto deteriorada y en algunos casos son intransitables, con excepción de las brechas que dan acceso a los manantiales de la parte alta de la cuenca, gracias al mantenimiento por parte de los pobladores.

En la actualidad estos caminos presentan un serio riesgo de convertirse en cárcavas y presentan arroyos en algunas partes que los hacen intransitables con lo que se refuerza la idea de que los caminos forestales que no presentan un mantenimiento y/o un trazo adecuado pueden degenerar en cárcavas.

Por último, analizando la información obtenida en esta parte de la cuenca (figuras 23 y 24 para 1995) se puede decir que el proceso de degradación dominante en esta área es la degradación de la cubierta vegetal, la

cual sin embargo se mantiene en un nivel de degradación ligero gracias a la veda a los aprovechamientos forestales impuesta en el estado de México y la supervisión que guarda el área por parte de la comunidad de San Pablo Ixayoc.

6.6.1.4 Comparación de los resultados de los tres métodos empleados (lotes de escurrimiento, USLE y metodología FAO).

Si se toma como referencia los datos de los lotes de escurrimiento por ser estos datos de campo, es posible decir que al comparar en forma gráfica los planos de las figuras 20, y la figura 21, es posible ver que:

- La USLE tiende a sobrestimar los datos de pérdida de suelo en las áreas de montaña, no importando la pendiente, puesto que en la faceta TX-4 se presenta una pendiente de 7 a 10% rango donde se espera según la literatura que la USLE se acerque a los datos de campo.
- No obstante la USLE tiene esas limitaciones, esta puede ser usada a nivel regional (tabla 6) para el diseño de obras o planes de conservación de suelos si se da por sentado que esta sobre estimación puede ser considerada como un margen de seguridad.

Al comparar la metodología FAO con los lotes de escurrimiento se observa que la evaluación global (figura 23) es muy cercana a los datos de degradación reportados por los lotes de escurrimiento (tabla 32 figura 21) de donde se puede afirmar que:

- La metodología FAO es un buen estimador de la degradación global en áreas de montaña.
- Esta puede ser aplicada en forma general en estudios locales (Tabla 6) sin menoscabo de su eficiencia siempre que se adecuen los parámetros generales como profundidad de suelos a parámetros más puntuales y/o dinámicos como densidad de cárcavas.

6.6.2 Procesos en la parte media de la cuenca

En la parte media presentan las áreas degradadas históricamente con afloramientos de tepetate con cobertura de agricultura de riego y temporal, sobre un material geológico de materiales ígneos del Terciario, y Cuaternario y algunos fallamientos, suelos delgados, pobres en materia orgánica, y fuertemente erosionados, con un tipo de lluvias, mixtas entre orográficas y convectivas, y corresponde a los sistemas terrestres: Huexotla,

Tlaixpan e Ixayoc (ver pag 51 a 53 para descripción detallada y diagrama). Los trabajos dominantes son la recuperación de suelos por terraceo y diversos trabajos.

Las formas de erosión presentes son muy variadas de acuerdo a la topografía encontrándose desde cárcavas y pináculos hasta erosión laminar. Figueroa (1975), demostró que esta parte de la cuenca aportaba más del 75% de los sedimentos de toda la cuenca, a la fecha de su estudio.

Las labores culturales en la zona comenzaron en forma sistemática a partir de 1974, aún y cuando ya se realizaban trabajos de conservación desde mucho antes, y abarcan todo tipo de labores culturales, surcado al contorno, terraceo, plantaciones forestales etc.

6.6.2.1 Erosión calculada por la USLE.

En el tabla 40 se presenta el riesgo de degradación por faceta calculado por la USLE de acuerdo a los índices R, K y LS.

Tabla 40 Valor de los factores R K LS por faceta en la parte media de la cuenca del Río Texcoco

Índice	Faceta	Valor del factor	Riesgo de degradación
Erosividad por tipo climático	Ix-1	179	Moderado
	Ix-2	188	Moderado
	Ix-3	179	Moderado
	Tl-3	230	Severo
	Hu-1	230	Severo
	Hu-2	230	Severo
	Hu-4	215	Severo
Erosionabilidad	Ix-1	0.78	Muy Severo
	Ix-2	0.78	Muy Severo
	Ix-3	0.29	Moderado
	Tl-3	0.15	Ligero
	Hu-1	0.20	Moderado
	Hu-2	0.20	moderado
	Hu-4	0.78	Muy Severo
Longitud de pendiente y pendiente LS	Ix-1	8.0	Muy severo
	Ix-2	5.0	Muy severo
	Ix-3	4.5	Muy severo
	Tl-3	5.4	Muy severo
	Hu-1	3.8	Muy severo
	Hu-2	1.3	Moderado
	Hu-4	4.2	Muy severo

Como es posible observar los riesgos por lo factores R van de moderado a severo en tanto que las clases por erosionabilidad van de muy severo a ligero siendo dominantes los valores muy severo, esto debido a las características de los suelos pobres en materia orgánica, delgados y con poca permeabilidad. El factor LS tiene clases muy severo para todas las facetas, salvo por la faceta HU-2 la cual tiene longitudes de pendiente menores.

Al calcular la pérdida de suelo a través de la aplicación de la USLE, los tonelajes nos muestran valores que varían desde 334.1 ton /ha /año hasta 3 ton/ha /año, (tabla 41. Figura 25).

Tabla 41 Tasa de degradación por erosión hídrica en la parte media de la cuenca del Río Texcoco con base en la USLE.

Faceta	Pérdida de suelo	Tasa de degradación por erosión hídrica
	(ton / ha / año).	
Ix-1	43.21	moderada
Ix-2	334.91	muy severa
Ix-3	31.21	moderada
Tt-3	11.2	moderada
Hu-1	10.31	moderada
Hu-2	3.63	ligera
Hu-4	41.73	moderada

Lo que nos muestra áreas de altos riesgos de erosión que se confirman con los daños que muestran las citadas áreas antes de los trabajos de recuperación de suelos. Es posible resaltar que estas áreas han sido explotadas ancestralmente, lo que facilita el que se presenten altos niveles de degradación, situación que se agrava si se toma en cuenta las características de la lluvia, la pendiente y baja resistencia de los suelos a ser erosionados.

En el caso de la faceta Hu-2 la erosión es ligera debido a que las longitudes de pendiente son pequeñas merced de los trabajos de terraceo emprendidos en la zona, lo que limita el proceso erosivo.

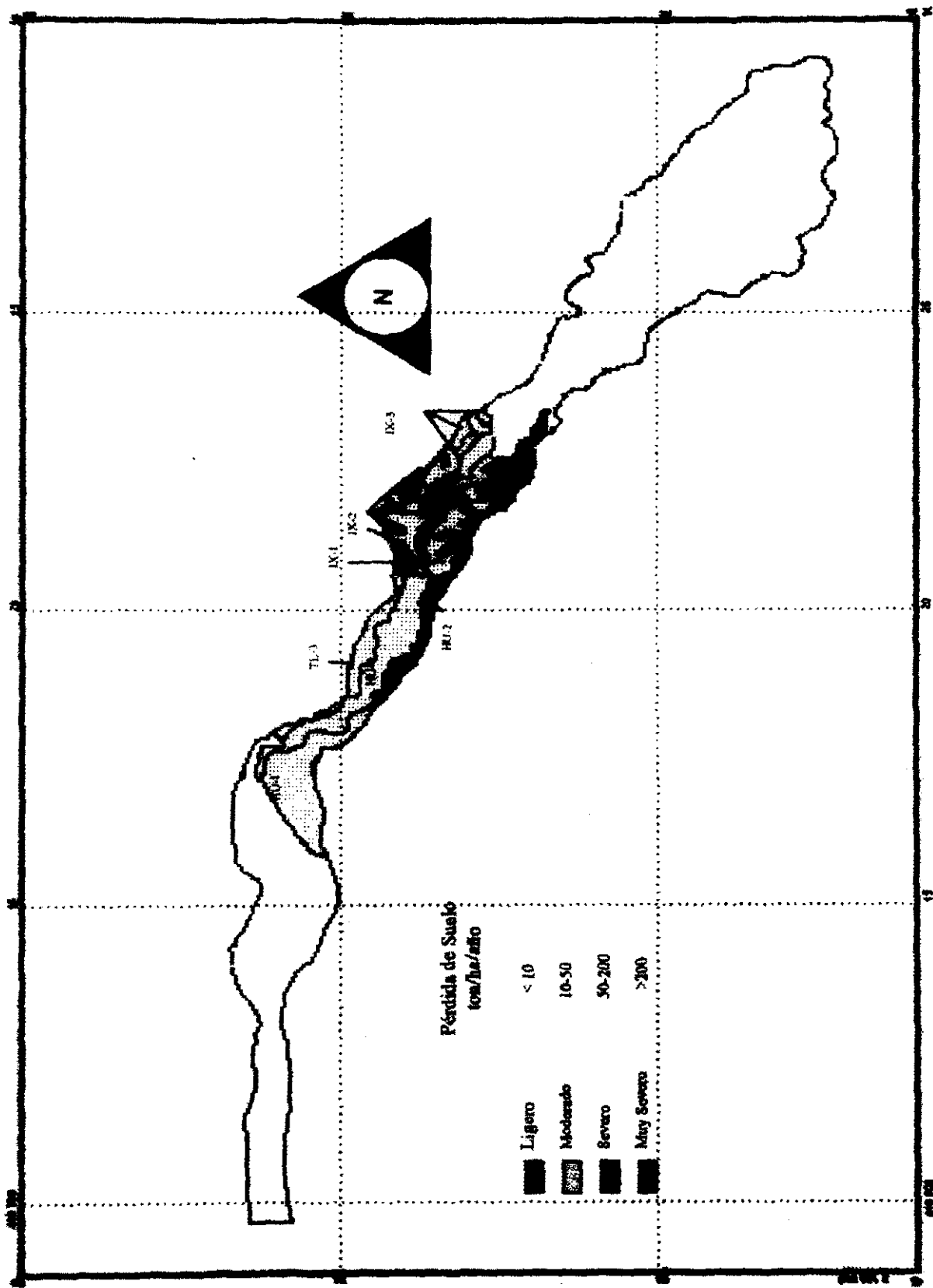


Figura 25 Niveles de degradación por erosión hídrica en las facetas de la parte media de la cuenca del río Texcoco (Conbase a la USLE).

6.6.2.2. Pérdidas de suelo y riesgo de degradación calculados a partir de los lotes de escurrimiento.

Para el cálculo de la pérdida de suelo con base en los lotes de escurrimiento presentes en el área se procedió a extrapolar los datos de pérdida de suelo de los mencionados lotes a áreas similares utilizando las facetas del levantamiento fisográfico como marco geográfico. La pérdida de suelo para el periodo (1974-1981).

Tabla 42 Pérdida de suelo por erosión hídrica por faceta y uso, y riesgo de degradación en la parte media de la cuenca del Río Texcoco (de acuerdo a los lotes de escurrimiento).

Faceta	Cobertura	Superficie %	Pérdida de suelo (ton/ha/año)	Velocidad de degradación por erosión por uso actual (Ortiz 1994)	Velocidad de degradación por faceta por erosión (usando figura 3)
Ix-1	Tepetate	20.1	9.6868	muy severa	severa
	bosque	1.1	0.0110	ligera	
	cultivos	27.1	2.7831	severa	
	terraceado	51.7	2.2305	severa	
Ix-2	tepetate	0.6	9.6868	muy severa	severa
	bosque	2.0	0.0110	ligera	
	cultivo	46.0	2.7831	severa	
	terraceado	51.4	0.6680	moderada	
Ix-3	bosque	10.8	0.0110	ligera	severa
	cultivo	74.2	2.7831	severa	
	terraceado	15	0.6868	moderada	
Tl-3	pastizal	1.9	0.2406	ligera	severa
	cultivo	88.1	2.7831	severa	
	terraceado	10.0	0.6868	severa	
Hu-1	Tepetate	0.04	9.6868	muy severa	severa
	cultivo	98.9	2.7831	severa	
	terraceado	1.0	0.6868	ligera	
Hu-2	Tepetate	0.1	9.6868	muy severa	severa
	cultivo	88.9	2.7831	severa	
	terraceado	11.0	0.6868	ligera	
Hu-4	Tepetate	14.7	9.6868	muy severa	severa
	cultivo	40.1	2.7831	severa	
	terraceado	45.2	0.6868	ligera	

extrapolación de los lotes de escurrimiento.

Como se observa (tabla 42 y figura 26) Se presenta en el tabla 42 y figura 26. los lotes de escurrimiento presentan valores globales que corresponden a la clase severa aun y cuando se observan valores de ligeros en pequeñas áreas trabajadas en terraceo o donde se encuentran relictos de bosque, encontrando valores de moderado a severo para las áreas agrícolas.

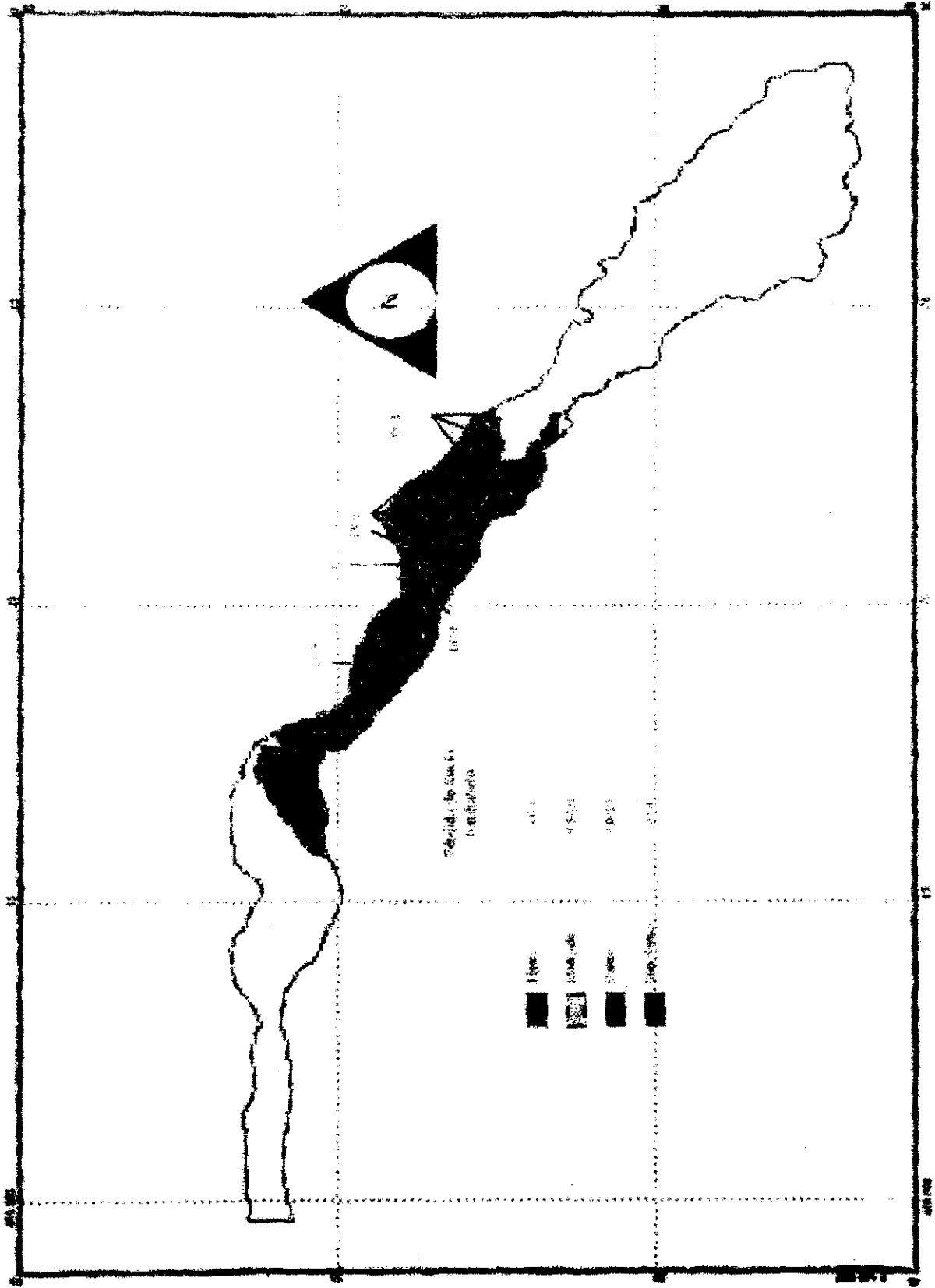


Figura 26. Degradación por erosión en las laderas de la parte media de la cuenca del río Toluca (en base a datos de Jones de escarpe).

6.6.2.3 Degradación de acuerdo a la metodología FAO.

6.6.2.3.1 Estado de la degradación de la cobertura de plantas perennes.

Para el cálculo del estado actual de la degradación de vegetación perenne se utilizan los registros históricos de los criterios de la tabla 7. Analizando así la información cartográfica se llega a la tabla 43 donde se consigna en forma tabular el análisis anteriormente descrito, mostrando además en forma gráfica las tendencias que muestran las plantas perennes por faceta y en forma cartográfica (figura 27) se observan en un plano los niveles de degradación por faceta.

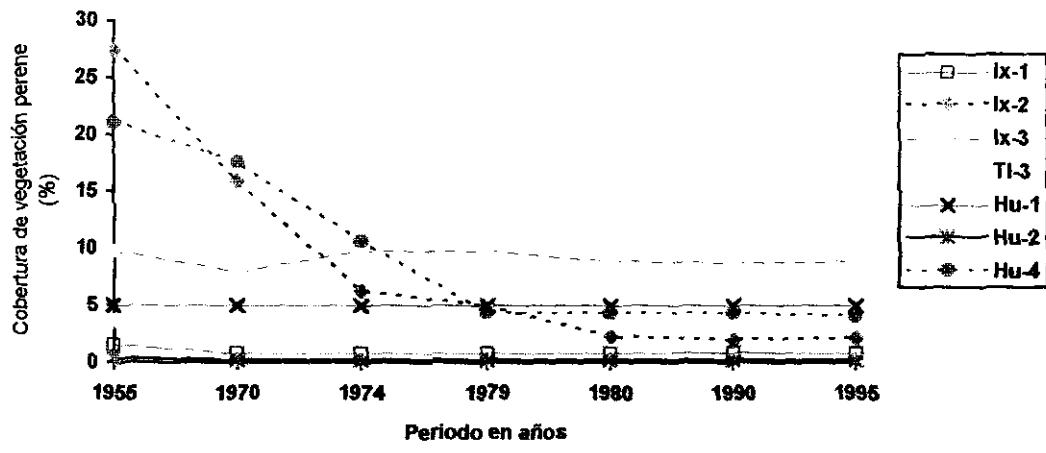
El estado de la degradación de la cobertura perenne fue analizado para las diferentes fechas 1950, 1974, 1980, 1985, 1990 y 1995 tasándolos según el criterio citado en el tabla 7, donde se consigna un porcentaje de superficie cubierta por perennes y la clase de degradación correspondiente en cuatro clases degradación: ligera, moderada, severa y muy severa. Dicha información fue obtenida del material cartográfico y recorridos de campo.

Los resultados se encuentran en el tabla 43 y en la figura 27.

Tabla 43 Estado de la degradación de la cubierta perenne para diferentes años en la parte media de la Cuenca del Río Texcoco.

Facetas	Cobertura de plantas perennes (%)						clase de degradación (de acuerdo a Ortiz 1984)					
	año						año					
	1955	1974	1980	1985	1990	1995	1955	1974	1980	1985	1990	1995
Ix-1	1.5	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	ms	ms	ms	ms	ms	ms
Ix-2	27.4	16.0	6.3	5.0	2.3	2.2	m	s	s	s	ms	ms
Ix-3	9.8	8.0	9.8	9.8	9.8	9.9	s	s	s	s	s	s
Tl-3	3.7	2.8	5.0	5.0	5.0	5.0	ms	ms	ms	ms	ms	ms
Hu-1	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	ms	ms	ms	ms	ms	ms
Hu-4	21.1	17.7	10.7	4.4	4.4	4.5	ms	ms	ms	ms	ms	ms

L = ligera ; m = moderada; s = severa , ms = muy severa



Gráfica 11 Tendencia de la cobertura de plantas perennes en las facetas de la parte media de la cuenca del río Texcoco.

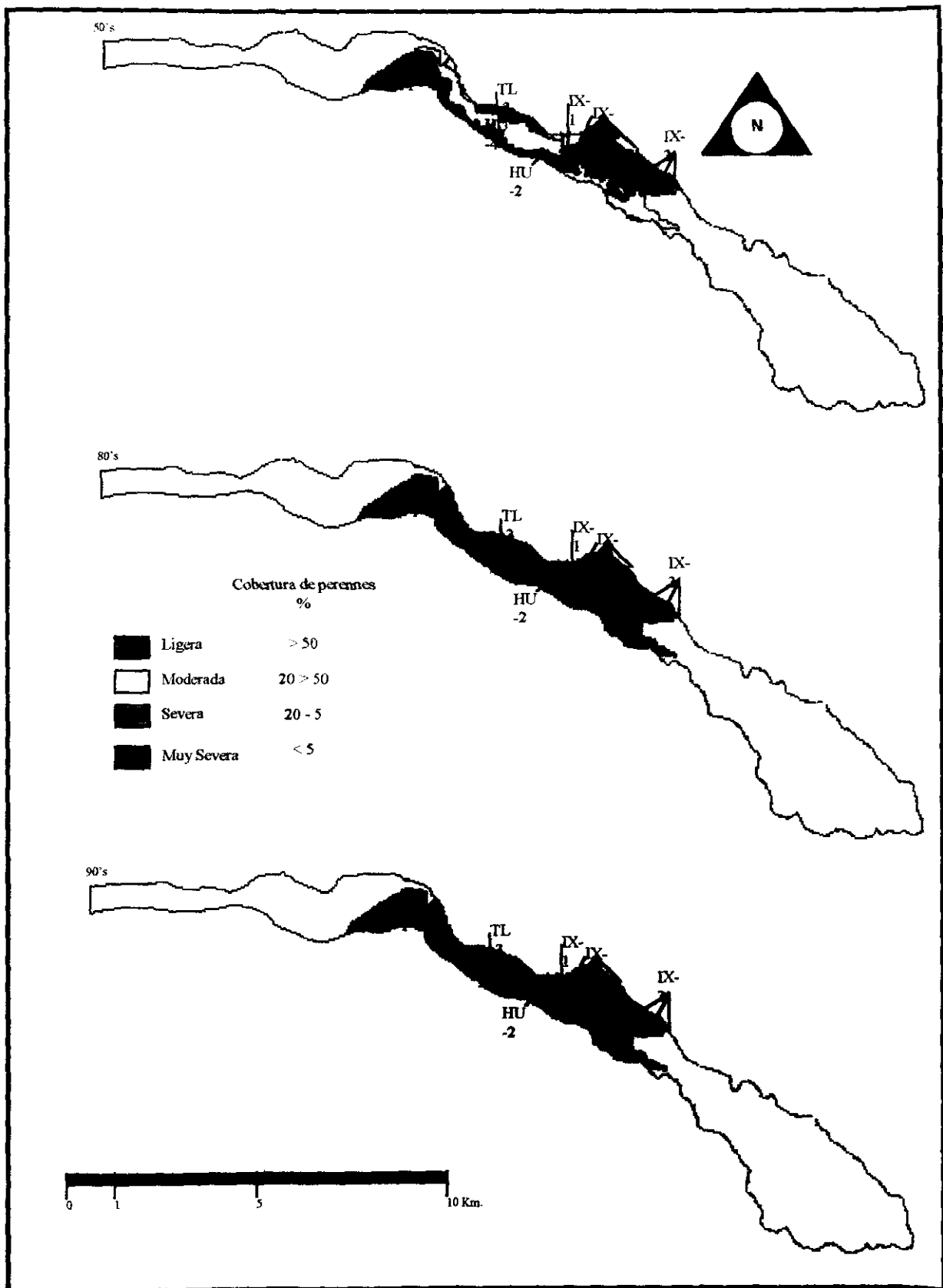
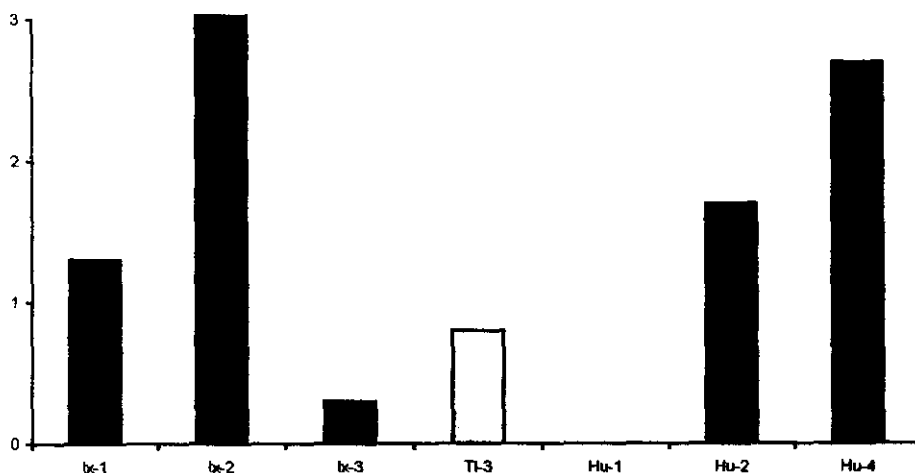


Figura 27 Degradación de la cubierta perenne de la parte media de la cuenca del río Texcoco

Como se observa en el tabla 43 y la gráfica 11 la cubierta de plantas perennes ha venido disminuyendo en forma exponencial para las facetas IX-2 y HU-4 en tanto que para el resto de las facetas la cobertura de perennes se ha mantenido con poco cambio, con una cobertura que ubica la degradación en las clases de severa y muy severa. Desde 1955 a la fecha, aún y cuando al contabilizar el cambio de cobertura en el tiempo se encontraron los datos del tabla 44.

Tabla 44 Tasa de degradación de la cobertura perenne en la parte media del Río Texcoco por faceta para el periodo 1955 - 1995.

FACETA	Velocidad de degradación de la cubierta vegetal perenne (%/año)	Velocidad de la degradación
Ix-1	1.326	severa
Ix-2	3.158	muy severa
Ix-3	0.316	ligera
TI-3	0.838	moderada
Hu-1	0.0	ligera
Hu-2	1.679	severa
Hu-4	2.729	muy severa



Gráfica 12 Velocidad de degradación de la cubierta vegetal perenne en las facetas de la parte media de la cuenca del río Texcoco para el periodo 1955 - 1995 (%/año).

De acuerdo a esta información se concluye que:

- La clase de degradación de la cubierta perenne ha pasado de ligera a muy severa en la parte media de la cuenca, a través del tiempo, si se toma en cuenta únicamente la cobertura de perennes.
- Solo en las facetas Ix - 3 y TI - 3 se observa una lenta disminución de la cobertura de plantas perennes (matorrales y arboles).

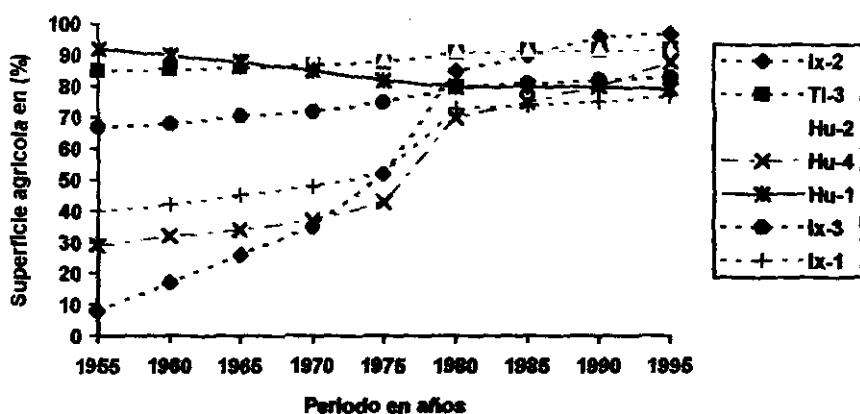
- En la Hu-1 no existe una degradación por disminución de perennes: Lo que sin embargo no es un indicativo de degradación, pues esta parte de la cuenca ha sido explotada desde tiempo ancestral.

Además en este análisis es necesario tomar en cuenta que :

El indicador vegetación perenne no es idóneo para definir la degradación en esta área, porque se considera a las áreas de matorral como áreas de vegetación perenne, y por lo tanto estas áreas las considera de baja degradación, sin embargo las áreas no aptas para la agricultura, por estar altamente degradadas son en su mayoría cubiertas por matorrales y por otro lado las áreas recuperadas de tepetates, se han dedicado a la agricultura, por lo que un mejor evaluador de la degradación o, en su caso, de la recuperación de los sistemas podría ser la superficie dedicada a la agricultura. Como fuente de este dato, además de los materiales cartográficos anteriores se utilizaron planos de linderos parcelarios de la comunidad de San Pablo Ixayoc.

Tabla 45 Áreas agrícolas en la parte media de la cuenca del Río Texcoco

	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995
Ix-2	8	17	26	35	52	85	90	96	97
Tl-3	85	85.5	86	87	88	91	91.5	91.5	92
Hu-2	92	91.5	90	89	89	91.5	91.7	92	92
Hu-4	29	32	34	37	43	70	75	80	88
Hu-1	92	90	88	85	82	80	80	80	79
Ix-3	67	68	70.5	72	75	80	81	82	83
Ix-1	40	42	45	48	52	73	74	75	77



Gráfica 13 Tendencias de las áreas agrícolas, de las facetas de la parte media de la cuenca del río Texcoco.

En la gráfica anterior se puede observar que las áreas agrícolas han aumentado en forma gradual (con una tasa de 0.5 a 1 ha por cada lustro) desde 1955 hasta 1975 cuando se levanta la primera veda del estado de México. Entre 1975 y 1980 se nota un cambio de tasa a 5 ha por lustro, mostrando un cambio de uso de suelo en la faceta Tc-2 en áreas de pendientes menores de 15%, principalmente llanos y áreas forestales con cobertura de encino, que ahora se dedican a cultivos de altura como avena y haba. En la faceta Tc-3a prácticamente no se observa cambio de uso de suelo en el periodo de observación puesto que el área no cambia desde 1965. Esto puede deberse a que esta área tiene una estrecha vigilancia por parte del pueblo de San Pablo Ixayoc, en cuanto a su uso y explotación, en tanto que las otras áreas tienen una supervisión y uso de otras comunidades, como la de Tlaixpan. Sin embargo el área no cambia de uso en el periodo de 1985 a la fecha. Esto se debe a la pendiente en la faceta Tc-2. Las áreas forestales remanentes son de alto grado de pendiente lo que impide su explotación, por parte de los talamontes, y en la otra faceta no se les ha permitido explotarlos por la vigilancia del pueblo de San Pablo, cuyo interés es conservar los manantiales que surten al pueblo de agua y que son esenciales para la explotación de la floricultura, de la cual depende un alto porcentaje de la población de San Pablo Ixayoc, directa o indirectamente.

Como se observa el incremento de áreas agrícolas es mayor a la degradación de cobertura de plantas perennes. Esto se debe a que el aumento de las áreas agrícolas se dio hasta 1974 como un desplazamiento de los matorrales y relictos de bosques. A partir de 1974, se incrementaron las áreas dedicadas a la agricultura. Estos aumentos de áreas se deben a los trabajos de recuperación de las diversas instituciones que trabajan en el área. El único caso de disminución de áreas agrícolas y matorrales lo encontramos en las facetas Hu-1. Este decremento de superficie agrícola se explica con el aumento de la superficie urbana, que se analiza más adelante.

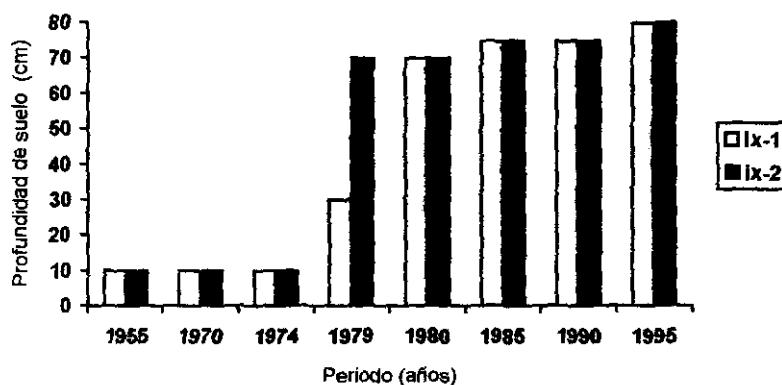
6.6.2.3.2 Estado actual de la degradación de la parte media de la cuenca por erosión hídrica. (de acuerdo a FAO).

Como en la parte alta de la cuenca, el criterio para evaluar este proceso es, la profundidad del suelo (tabla 8, pagina 40). Con base en este criterio se obtuvo la tabla 46. Esta información fue obtenida con base en información del levantamiento fisiográfico del área de influencia de Chapingo, los reportes de trabajos de la Comisión Lago de Texcoco, CODAGEM y recorridos de campo con una densidad de barrenación de 1 muestra cada 500 metros.

Tabla 46 Degradación por erosión hídrica por el criterio de profundidad de suelo en las facetas de la parte media de la Cuenca del río Texcoco.

FACETA	Profundidad de suelo (cm)							Clase de degradación de acuerdo a Ortiz (1984) (tabla 8 página 40)						
	1955	1970	1974	1980	1985	1990	1995	1955	1970	1974	1980	1985	1990	1995
Ix-1	10	10	10	50-90	50-90	50-90	50-90	ms	ms	ms	m	m	m	m
Ix-2	10	10	10	50-90	50-90	50-90	50-90	ms	ms	ms	m	m	m	m
Ix-3	50-90	50-90	50-90	50-90	50-90	50-90	50-90	m	m	m	m	m	m	m
Tl-3	10-50	10-50	10-50	10-50	10-50	10-50	10-50	s	s	s	s	s	s	s
Hu-1	50-90	50-90	50-90	50-90	50-90	50-90	50-90	m	m	m	m	m	m	m
Hu-2	50-90	50-90	50-90	50-90	50-90	50-90	50-90	m	m	m	m	m	m	m
Hu-4	10	10	10	10	10	15	15	ms	ms	ms	ms	ms	ms	s

L= ligera, m = moderada s= severa, ms = muy severa



Gráfica 14 Profundidad de suelo de dos facetas de la parte media de la cuenca del río Texcoco.

Como se puede observar la degradación hídrica evaluada por profundidad de suelo en 1955 era muy severa en las facetas Ix-2, Ix-1 y Hu-4, severa para la faceta Tl-3, moderada para las facetas Ix-3, Hu-1 y Hu-2, condiciones que se mantuvieron por 2 décadas, hasta que se comenzaron los trabajos de recuperación de suelos por parte de las entidades mencionadas repetitivamente (CP, Comisión Lago y CODAGEM). Esta situación cambió en el periodo de 5 años a las condiciones actuales, pasando la degradación de muy severa a moderada en las facetas Ix-1, Ix-2, manteniéndose los grados de degradación para estas facetas. Con esto se puede inferir que los problemas de profundidad de suelo no cambian en un periodo corto de tiempo, como lo han especulado diferentes investigadores de la zona (Anaya 1977, Aguilar 1982, Ortiz 1994) donde se quiere ver a los actuales pobladores de San Pablo Ixayoc como los responsables de la degradación de la cuenca.

Por otro lado, los cambios en la clase de la degradación por erosión hídrica evaluada con base en la profundidad de suelo se deben principalmente a los trabajos de terraceo y subsuelo realizados en la zona.

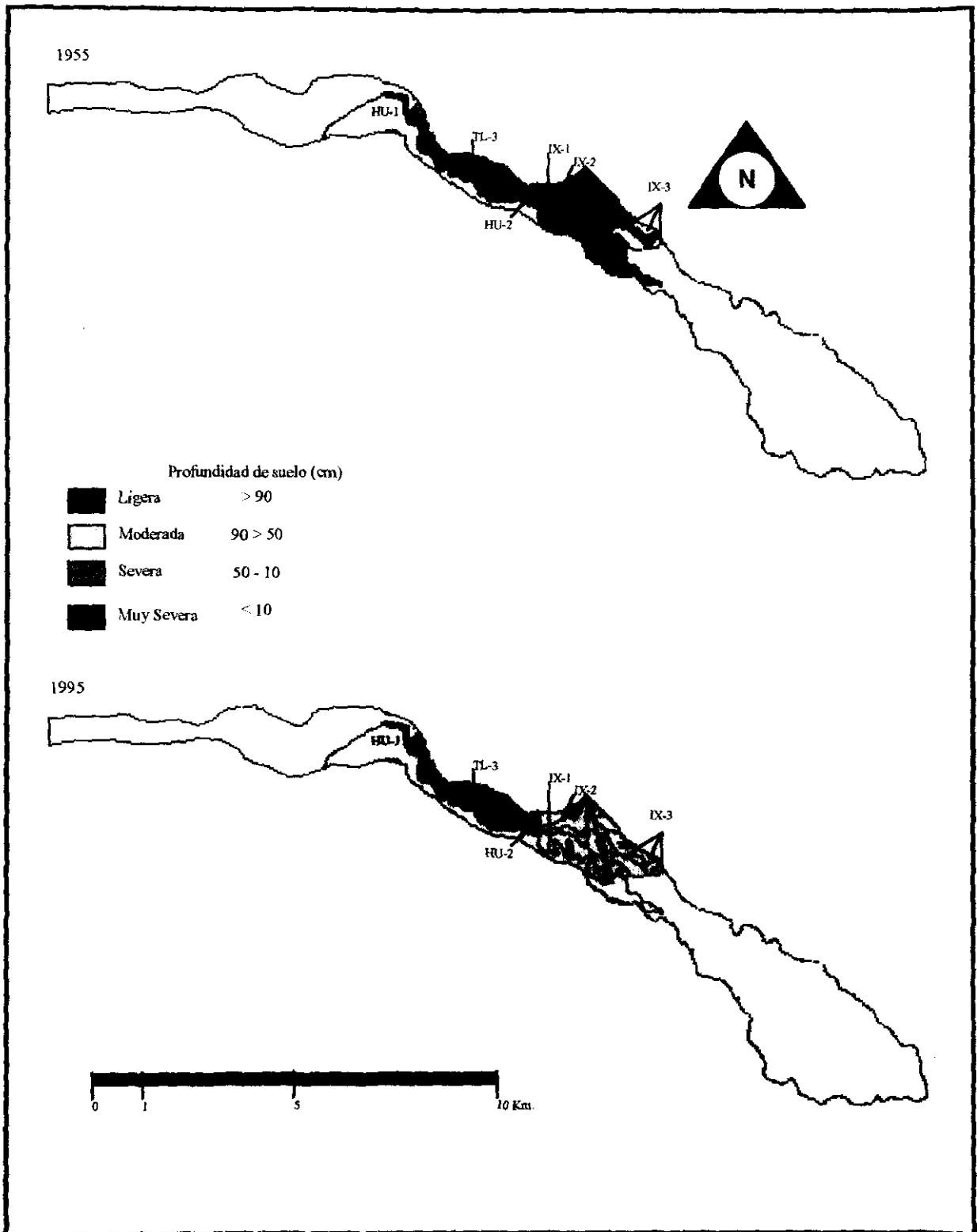


Figura 28 Degradación por erosión hídrica con base a profundidad de suelo para las facetas de la parte media de la cuenca del río Texcoco.

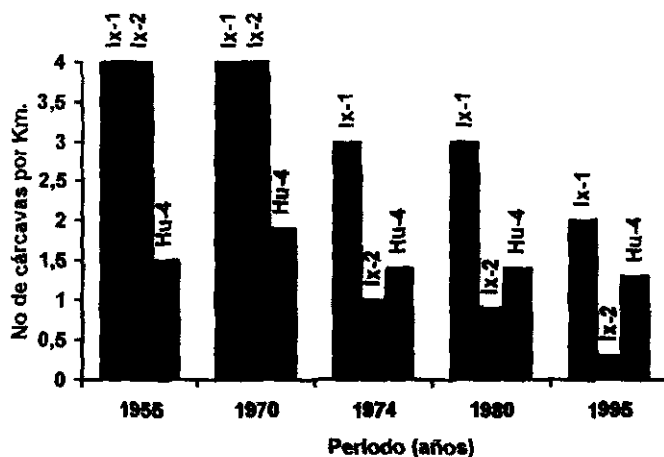
Por lo que se refiere a la densidad de cárcavas se usó el criterio de densidad de cárcavas propuesto por FAO y modificado por Ortiz (1984) que se encuentra consignado en el tabla 11 de este trabajo. Basado en ese criterio se encontró la información de la Tabla 47.

Se observa que las facetas Ix-3, Tl-3, Hu-1 y Hu-2 no presentan cárcavas apreciables a una escala de 1: 20 000, que es la escala de las fotografías con que se trabajó.

Tabla 47 Degradación por erosión hídrica en base a densidad de cárcavas en las facetas de la parte media de la cuenca del Río Texcoco.

FACETA	No. de cárcavas y canales por Km.					Clase de degradación				
	1955	1970	1974	1980	1995	1955	1970	1974	1980	1995
Ix-1	4.0	4.2	3.4	3.4	2.3	ms	ms	s	s	s
Ix-2	4.5	4.5	1.0	0.9	0.3	ms	ms	l	l	l
Hu-4	1.5	1.9	1.4	1.4	1.3	m	l	l	l	l

l = ligera; m = moderada s = severa; ms = muy severa



Gráfica 15 Degradación por densidad de cárcavas por km. en las facetas de la parte media de la cuenca del río Texcoco.

Con base en este criterio se observa que la densidad de cárcavas ha disminuido a partir del año de 1974 que es cuando la Comisión Lago de Texcoco ha venido trabajando en forma consistente en el área roturando y formando presas de gaviones. Se observa un cambio de muy severo en las facetas IX-1 e IX-2 a severo en primer caso y a ligero en el segundo en el periodo de 1970 a 1974, y de moderado a ligero en el periodo de 1955 al 1970 en este caso principalmente por trabajos comunitarios y plantaciones de nopal.

El impacto de las anteriores acciones se observa en la figura 29

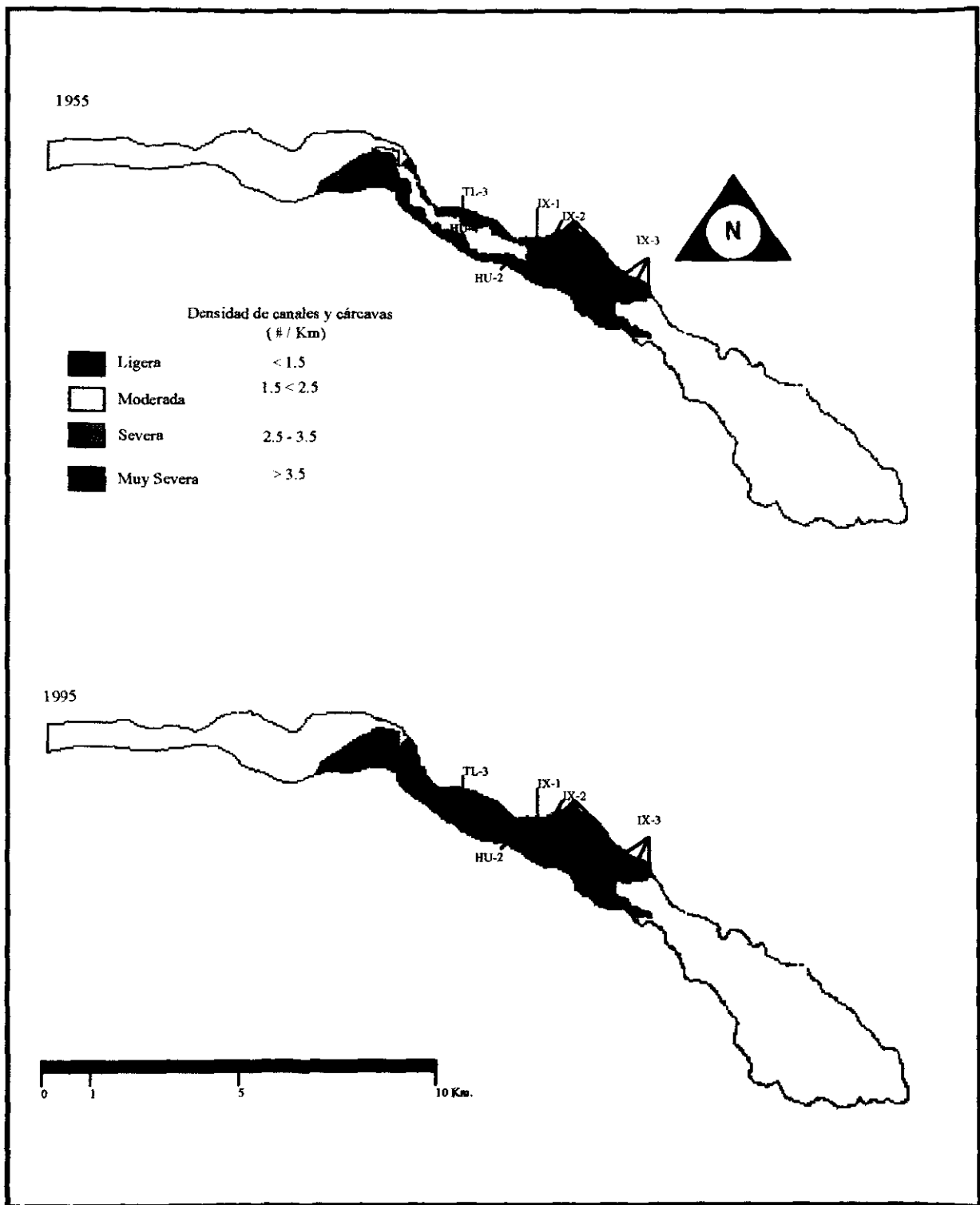


Figura 29 Degradación por erosión hídrica en base a la densidad de cárcavas para la parte media de la cuenca del Río Texcoco

Para estimar el afloramiento de tepetates, se utilizaron datos provenientes de Comisión Lago de Texcoco, de otras fuentes bibliográficas y recorridos de campo. En el siguiente tabla se sintetizan los datos recolectados.

Tabla 48 Estado de la degradación por afloramiento de tepetates de la parte media de la cuenca del Río Texcoco

FACETA	Año	Degradación por clase (% de superficie) Ortiz 1994 (tabla 38)				Clase de degradación global aplicando triángulo de degradación (figura .3)
		ligera	moderada	severa	muy severa	
Ix-1	1955	40.0			60.0	ms
	1974	52.0			48.0	l
	1980	64.0			36.0	l
	1985	77.0			23.0	l
	1995	79.0	11.0	2.0	8.0	l
Ix-2	1955	11.5			88.5	ms
	1974	50.4			49.6	l
	1980	86.0			14.0	l
	1985	97.0			3.0	l
	1995	99.0			1.0	l
Ix-3	1955	12.0	58.0	10.0	20.0	m
	1974	10.0	76.0		14.0	m
	1980	10.0	80.0		10.0	m
	1985	10.0	90.0			m
	1995	10.0	90.0			m
Tl-3	1955	2.0		92.0	6.0	s
	1974	3.0		91.0	6.0	s
	1980	5.0		91.0	4.0	s
	1985	5.0		91.0	4.0	s
	1995	6.0		92.0	2.0	s
Hu-1	1955	95.0	2.0		3.0	l
	1974	96.0	2.0		2.0	l
	1980	96.0	2.0		2.0	l
	1985	80.0	8.0		12.0	l
	1995	87.0	4.0		9.0	l
Hu-2	1955	92.0	2.0	3.0	3.0	l
	1974	95.0	1.0	2.0	2.0	l
	1980	98.0	0.5	0.5	1.0	l
	1985	98.0	1.0	1.0		l
	1995	100				l
Hu-4	1955			30	70	ms
	1974			41	59	ms
	1980			65	35	ms
	1985	21		65	14	ms
	1995	22		70	8	ms

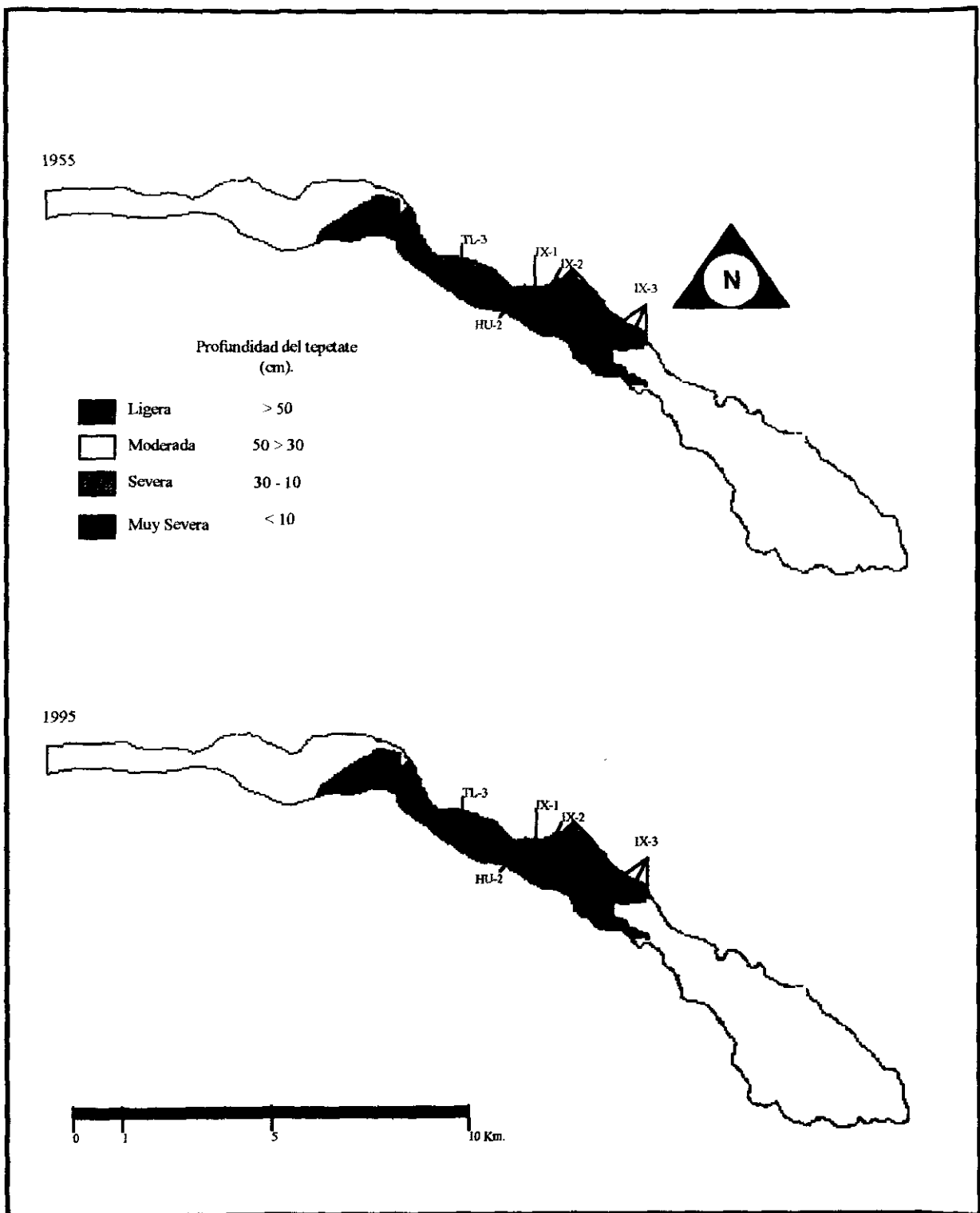


Figura 30 Degradación por afloramiento de tepetates en las facetas de la parte media de la cuenca del río

6.6.2.3.3. Estado actual de la degradación por asentamientos humanos

Un último estimador de degradación aplicable a la zona consiste en evaluar el aumento de superficie urbana, con el consecuente desplazamiento de superficie agrícola forestal y/o pastizales. Los asentamientos urbanos se realizan en las mejores áreas, o cerca de estos para facilitar el cuidado y accesibilidad a estas mismas áreas. Otros daños importantes son los generados por las actividades humanas como la contaminación y la degradación de los recursos adyacentes a las viviendas por sobreexplotación.

Para evaluar la degradación por asentamientos urbanos el criterio tomado en cuenta es la superficie con asentamientos humanos. Los rangos para cada clase se presentaron en el tabla 12.

Los resultados se encuentran en el tabla 49 y en la figura 31. Cabe aclarar que este criterio solo se aplicó a facetas con asentamientos urbanos o suburbanos.

Tabla 49 Degradación por asentamientos humanos en la parte media de la cuenca del Río Texcoco.

FACETAS	Superficie con asentamientos humanos (%) FAO Modificado por Ortiz (1994)					Clase de degradación				
	1955	1974	1980	1985	1995	1955	1974	1980	1985	1990
Ix-2	0.068	1.72	1.86	2.52	2.81	l	l	l	l	l
Ix-3	2.81	3.19	6.97	10.1	11.2	l	l	m	m	m
Tl-3	2.14	3.66	3.92	3.93	4.01	l	l	l	l	l
Hu-1	3.0	13.02	15.57	15.57	15.9	l	m	m	m	m
Hu-2	4.08	4.21	6.2	7.10	8.10	l	l	m	m	m
Hu-4	0.15	0.30	0.37	0.5	1.0	l	l	l	l	l

Como se observa la degradación por asentamientos humanos se ha mantenido constante en las facetas Ix-2, Tl-3 y Hu-4 y solo presentó un ligero aumento en las restantes facetas, debido a que este aumento de población es explicable con el crecimiento demográfico interno de los poblados y no externo, ya que no se pueden adquirir terrenos por parte de gentes externas a los pobladores, si no es a través de algún conocido en el pueblo o casándose.

A nivel general para esta parte de la cuenca no se encuentra una degradación por ninguno de los factores examinados, y si una recuperación de los ambientes previamente degradados por lo que podemos afirmar que es a través de los pobladores actuales y los planes de conservación ambiental que se está impulsando el desarrollo de los ecosistemas en esta parte de la cuenca.

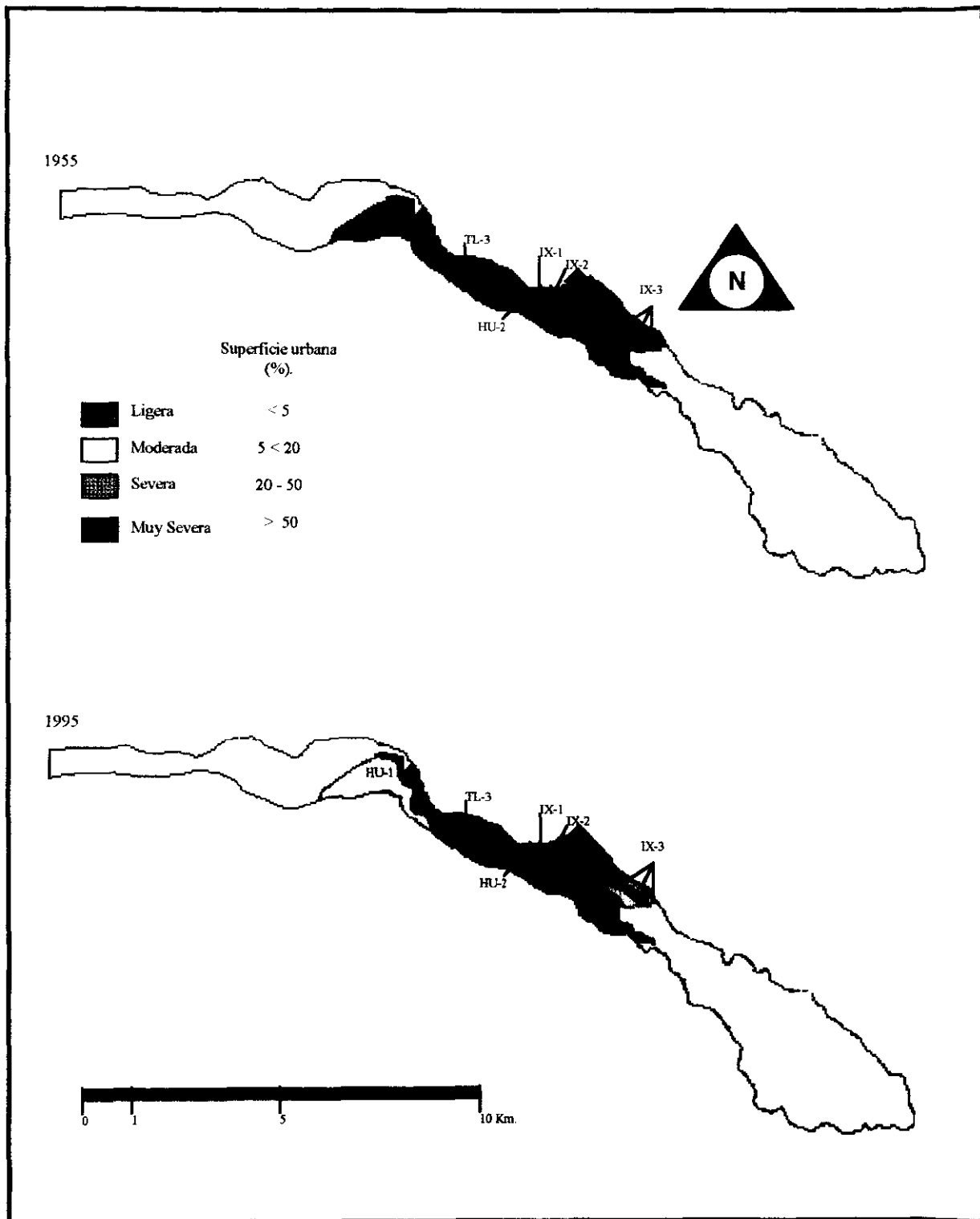


Figura 31 Degradación por asentamientos humanos en la parte media de la cuenca del río Texcoco.

6.6.2.4 Comparación de los 3 métodos empleados (lotes de escurrimiento, USLE y metodología FAO).

Si tomamos como referencia los datos de los lotes de escurrimiento por ser estos datos de campo, podemos decir que al comparar en forma cartográfica los planos de las figuras 25, y la figura 26, podemos ver que:

- La USLE tiende a subestimar la pérdida de suelo en áreas con pendientes moderadas pero con forma convexa y sobrestimar los datos de pérdida de suelo en las áreas de pendientes similares pero con forma plana. De ahí que se concluye que la USLE es más sensible a la forma de la pendiente que a la pendiente en sí. Este hecho limita el uso de la USLE en estudios locales (tabla 6) y predispone su uso a estudios regionales, donde se usan medias o pendientes generales.
- La aplicación de los sistemas de información geográfica, se ve afectado por ese mismo hecho al calcular pendientes de celda a celda lo que es similar a calcular la pendiente media entre celdas, lo que significa que no es posible definir con exactitud la forma de la pendiente, limitando de esta forma la automatización de este procedimiento a estudios regionales, o bien a la necesidad de contar con DEMs de mayor exactitud de los que se cuenta en la actualidad en forma comercial (1:50 000 y 1:250 000).
- No obstante la USLE tiene limitaciones, esta puede ser usada a nivel regional (tabla 6) para el diseño de obras o planes de conservación de suelos si se da por sentado que es necesario una sobrestimación como un margen de seguridad.

Al comparar la metodología FAO con los lotes de escurrimiento se observa que la evaluación global de los diversos estimadores, (figura 27 a 31) se observa una degradación que va de moderada a muy severa, siendo estos datos más cercanos a los reportados por los lotes de escurrimiento (tabla 32 figura 21) de donde se puede concluir que:

- La metodología FAO es un buen estimador de la degradación global en las áreas correspondientes a la parte media de la cuenca del río Texcoco.
- Esta puede ser aplicada en forma general en estudios locales (Tabla 6) sin menoscabo su eficiencia siempre que se adecuen los parámetros generales como cobertura de plantas perennes al tomar una correlación la dinámica del recurso suelo, (si la disminución de perennes se debe a una mejora del

suelo y su posterior dedicación a agricultura o bien si el desplazamiento de perennes se debe efectivamente a un deterioro del recurso suelo).

6.6.3 Procesos en la parte baja de la cuenca del río Texcoco.

La parte baja corresponde a las áreas agrícolas planas de temporal y riego de suelos profundos de texturas variables, que sobreyacen a una estratigrafía de sedimentos lacustres aluviales profundos. La precipitación es de tipo convectiva, es decir de alta intensidad y baja duración con gotas grandes, debida principalmente al calentamiento de aire en las áreas del Lago de Texcoco. El potencial erosivo de estas lluvias es bajo por pendientes muy atenuadas y coberturas vegetales presentes durante casi todo el año por el riego. Los suelos presentan pendiente menor de 3% y sistemas de siembra en melgas. Los trabajos dominantes son la explotación intensiva de suelo y la urbanización del mismo. No existe erosión visible.

Debido a que los procesos erosivos no están presentes en la zona, no se hizo el cálculo de los factores de la USLE, salvo para el valor de erosividad, el cual tuvo un valor estimado de 215, que es un valor severo por su agresividad. No existen por la misma razón lotes de escurrimiento en la zona, por lo que no es posible realizar una comparación de metodologías. A continuación se presentan los resultados de las evaluaciones consideradas para la zona utilizando la metodología FAO:

6.3.1 Degradación evaluada por la metodología FAO:

Los factores de degradación de la metodología FAO aplicables para la parte baja de cuenca son: 1) degradación de la cubierta perenne, 2) degradación por asentamientos humanos.

En cuanto a la degradación de cobertura de perennes podemos mencionar que la zona cuenta con un grado muy severo de degradación por cobertura de perennes y esto se debe a que casi la totalidad de la zona se encuentra ocupada por cultivos anuales, principalmente de hortalizas y cultivos forrajeros, salvo la faceta L-2 donde la cobertura de perennes corresponde a pastos principalmente del tipo *Distichis spicata*, o pasto salado. Actualmente esta zona es explotada para forrajes. La clase de degradación para esta última faceta es ligera (Tabla 50).

Tabla 50 Estado de la degradación de la cubierta de perennes en las facetas de la parte baja de la cuenca del río Texcoco.

Facetas	Cobertura de plantas perennes (%)						clase de degradación					
	(años)						Para el periodo					
	55	74	80	85	90	95	55	74	80	85	90	95
Ch-3	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	ms	ms	ms	ms	ms	ms
Ch-4	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	ms	ms	ms	ms	ms	ms
L-1	1.3	.9	0.8	0.7	0.9	1.0	ms	ms	ms	ms	ms	ms
L-2	33.0	38.0	68.0	68.0	69.3	75.0	m	m	L	L	L	L

L = ligera ; m = moderada; s = severa ms = muy severa

En el tabla anterior se aprecia que el cambio en la tasa de degradación en el período 1955 - 1995 no es cuantificable por ser muy pequeño, salvo en al faceta L-2 donde se observa un incremento de la cobertura perenne por trabajos de recuperación de suelos salinos.

Los valores de la degradación por asentamientos humanos se encuentran en el tabla 51 donde se observa que en los casos de la faceta Ch-4 la degradación por este concepto pasó de ligera en 1955 a severa en 1995, en tanto que la faceta Ch-3 mantuvo su nivel de degradación y la faceta L-1 pasó de degradación ligera a moderada. Este tipo de degradación se detuvo por la crisis económica de 1994 que frenó el nuevo desarrollo urbano de Texcoco y sus alrededores iniciado por la abertura de la carretera de cuota a México.

Tabla 51 Degradación por asentamientos humanos en las facetas de la parte baja de la cuenca del Río Texcoco.

FACETAS	Superficie con asentamientos humanos					nivel de degradación por asentamientos humanos				
	%									
	1955	1974	1980	1985	1995	1955	1974	1980	1985	1995
Ch-3	20.86	36.74	41.49	47.76	49.8	s	s	s	s	s
Ch-4	3.09	19.68	20.66	22.01	23.0	l	m	s	s	s
L-1		0.7	0.78	3.92	5.0	l	l	l	l	m

6.6.4. Consideraciones generales a nivel de la cuenca.

- Agricultura.

La agricultura comparativamente con otros usos del suelo casi no presentó cambios en la superficie total, aun y cuando su distribución espacial si sufrió una reubicación. Del total de superficie registrada en 1990 el

65.3% era ya agrícola en 1970 y el resto se gana a pastizales, en lomeríos y valles intermontanos así como a áreas degradadas. Se realizan en un primer tiempo trabajos de terraceo y plantaciones forestales y a los 2 o 3 años se siembra entre las plantas forestales que posteriormente se cortan.

- Erosión

Los terrenos erosionados han disminuido de 1974 a la fecha por efecto de los trabajos de la Comisión Lago de Texcoco y CODAGEM en dichas áreas.

- Vegetación forestal.

Algunas zonas que representan menos del 10 % de la superficie, se han recuperado. Estas provienen de zonas erosionadas, antiguos pastizales y terrenos agrícolas. Estos sitios se encuentran al pie de monte de la Sierra Nevada.

- Uso urbano.

Esta clase de degradación es la única que ha mantenido un crecimiento en forma exponencial y sigue al mejoramiento de las vías de comunicación siguiendo un esquema de que a mejores vías de comunicación, más servicios, y a mayor cantidad de servicios, más crecimiento de la mancha urbana hacia del área que se dan estos cambios. Un primer ejemplo lo encontramos en la ampliación de la carretera México -Texcoco donde su construcción originó un salto en el tamaño de las ciudades intermedias situadas a lo largo de la carretera. Otro ejemplo de este proceso se da con la autopista México - Texcoco que genera un crecimiento de la ciudad en sí y de los pueblos vecinos, provocando un aumento de población en 5 años de cerca de 1,200,000 habitantes. En la actualidad este fenómeno sigue dando un efecto negativo en el desarrollo de la agricultura por la sobreexplotación de los acuíferos que presentan un abatimiento de 1 metro aproximadamente, encontrándose en la actualidad a 150 m de profundidad de los mantos friáticos de la zona.

6.6.5 Evaluación global de los procesos analizados en la cuenca.

Como se observa en la tabla 52 a nivel global. En la cuenca se presentan degradaciones ligeras que se han mantenido a través del tiempo o bien se han reducido. Se puede decir que la zona se encuentra en un estado de equilibrio o incluso de mejoramiento de las condiciones.

Tabla 52 Degradación global de la cuenca del río Texcoco, con base a los procesos analizados.

Proceso	parte de la cuenca	año	Clase de degradación				Degradación global
			ligera	moderada	severa	muy severa	
Perennes	toda la cuenca	1955	49	10	1.0	40	ligera
		1995	47	3.0	3.0	48	ligera
Arborea	alta	1955	49		56	15	ligera
		1995	49		21	29	ligera
Erosión							
profundidad	alta y media	1955	69.6	10.9	3.6	15.9	ligera
		1995	73.7	22.7	3.6		ligera
cárcavas	alta y media	1955	70.9	17	0.01	12.0	ligera
		1995	45	17	36.7	1.3	ligera
prof. tepetate	media	1955	30.7	5.5	11.5	52.3	muy severa
		1995	69.4	5.5	11.5	13.6	ligera
A. humanos	media baja	1955	70		30		ligera
		1995	49	15	36		ligera

Este mejoramiento se debe a las relaciones económico sociales, que permitieron el desarrollo económico de los pobladores de la cuenca estudiada, como son mejores carreteras y vías de comunicación, la veda impuesta a los bosques del Estado de México, la actividad de vigilancia de las autoridades, por la caída de los precios de la madera al abrirse el mercado a la madera americana, la cual tiene un valor menor a la producida en México, la facilidad de diversificación de actividades económicas por la cercanía a la ciudad de México y el haberse definido como un área prioritaria para la conservación por el efecto directo e indirecto para la mencionada ciudad (tolvaneras, fuente de agua etc.).

Los aprovechamientos de leña no son excesivos, como lo estimaron algunos trabajos anteriores por varios aspectos: 1) en la evaluación de los recursos leñeros no se tomó en cuenta los incrementos de las masas forestales, 2) a la fecha la mayor parte de los usos de la leña han sido desplazados por energéticos derivados del petróleo, de ahí que su consumo no sea tan grande como se había estimado en las prospecciones, 3) en la evaluación de los recursos leñeros no se contempló la producción de leña por podas, y diámetros menores a 7.5 cm los que corresponden al matorral y soto bosque que es donde se obtienen hasta un 85% de la leña.

Con respecto a las actividades en la parte media de la cuenca cabe mencionar que después de la roturación le siguió una explotación de tipo agrícola. Se puede decir que aunque las plantaciones de reforestación técnicamente son más aptas para este tipo de trabajos de recuperación, el no permitir a la comunidad decidir

sobre la explotación de los recursos hubiera llevado a la destrucción de las plantaciones en el corto plazo por vandalismo y de las terrazas a largo o mediano plazo por el abandono de estas. En cambio, el permitir la explotación de las terrazas por parte de las comunidades, obligándoles a realizar aportaciones por los trabajos de terraceo, no solo redujo los costos de las obras, sino que permitió su posterior conservación por la aceptación de estas por las comunidades. Estas son ahora áreas que cuentan por lo menos con un riego suplementario, lo que reduce los riesgos de producción.

Así pues se puede decir que:

- 1) La aplicación de la metodología de degradación de la tierra inducida por el hombre debe ser adecuada en lo que se refiere a la degradación de la cobertura de perennes, puesto que en la parte media se desplazaron matorrales, y su cambio de uso por agricultura no significa un deterioro del ambiente, sino una recuperación del sistema por un aumento de fertilidad y una mejora de régimen hídrico.
- 2) La cuenca del Río Texcoco no se encuentra en riesgo de degradarse en el largo plazo, sino que ha mejorado su capacidad a partir de los trabajos de la Comisión Lago de Texcoco, en 1974.
- 3) El éxito de los trabajos de recuperación, se debe a varios factores a diferentes niveles:
 - local: definidos por las relaciones internas del pueblo, y su organización en la toma de decisiones en cuanto al uso mantenimiento y explotación de los recursos asignados a la comunidad, incluyendo el agua.
 - regional: relaciones de desarrollo regional (fuentes de trabajo, vías de comunicación, etc.)
 - internacional: intercambios comerciales, cuotas de importación y planes de desarrollo global así como la lucha de poderes económicos.
- 4) Los resultados benéficos de dichos trabajos se deben así mismo a la incorporación de las comunidades en la toma de decisiones y el respeto de las mismas en cuanto al uso y explotación de la tierra.

7.0 CONCLUSIONES

7.1 El levantamiento fisiográfico como una parte constituyente básica en la estratificación del ambiente:

- Puede constituir sin reserva unidades cartográficas con un grado de homogeneidad y variación interna ideal para este estudio.
- Permite cuantificar y localizar las limitaciones de las cualidades de la tierra.
- Se puede utilizar como marco geográfico de muestreo, en el conocimiento del contexto social, económico y tecnológico, obtenido mediante encuesta directa.

7.2. La información climática digital interpolada de las estaciones meteorológicas generada por el INIFAP en su proyecto p618, es una información adecuada a las condiciones regionales en cuanto a precipitación corresponde en la zona de estudio.

7.3. El uso de sistemas de información geográfica no solo facilita el cálculo de la erosión a través de la USLE sino que elimina un importante efecto de error humano en todos los factores, desde definición de la cuenca hasta los cálculos de la ecuación en sí.

7.4 El costo del mantenimiento de una cuenca experimental es muy elevado por los riesgos de pérdida de equipo daños al mismo, necesidad de personal capacitado disponible, por lo que los lotes de escurrimiento aun y cuando son necesarios para validar la investigación cada vez son más difíciles de mantener aún para instituciones de enseñanza.

7.5. La USLE no es una ecuación representativa de las condiciones de toda la cuenca y su diferencia con respecto a los lotes de escurrimiento aumenta al pasar del 30% de pendiente. Sin embargo puede ser usada en forma conveniente para planear trabajos de recuperación de suelos y desarrollo regional.

7.6 Como ventajas principales de la metodología FAO puesta a prueba se puede mencionar la velocidad de trabajo, bajo costo, personal mínimo y alta productividad horas - hombre que económicamente se traducen en la conveniencia ideal para países que no disponen de facilidades para la ejecución de estos trabajos necesarios en la política de mejor manejo y aprovechamiento de los recursos naturales. Evaluando en forma consistente y adecuada la degradación inducida por el hombre si se comparan los resultados de dicha metodología con los datos observados en los lotes de escurrimiento

7.7 Del análisis de los procesos de degradación en la cuenca podemos decir que:

- Las áreas de mayor riesgo de erosión, al cambiar el uso de la tierra, son las áreas forestales por sus características de pendiente y longitud de la misma
- La dinámica del proceso erosivo parece haber entrado en un estado de equilibrio a partir de 1990 motivado por los trabajos de recuperación de las dependencias que inciden en la zona y reforzado por las condiciones del marco macro económico de la región.

7.8 Del análisis del marco social se concluye:

- Las actividades antropogénicas tienen una marcada influencia en el desarrollo de los procesos degradativos de una cuenca, sin embargo estas actividades obedecen a un marco económico social histórico regional por lo que un análisis congruente debe de tomar en cuenta en la medida de lo posible este marco.
- Las actividades de la zona están directamente definidas por el marco social económico regional, nacional e internacional, definiendo los cambios de uso de suelo, su dinámica y tendencia, En el presente los pasos para la conservación y el fortalecimiento de las actividades óptimas para la zona esta dado en el marco de desarrollo global de la zona y sus resultados se observaran en las próximas décadas.

8.0 RECOMENDACIONES GENERALES

Los trabajos de conservación y recuperación deben de continuar con el apoyo e injerencia de los poblados que inciden en el recurso, facilitando o en su caso apoyando las actividades de vigilancia y resguardo de recursos por parte de los pobladores del área, utilizando para ello los sistemas de comunicación social para convocar y sensibilizar a los usuarios en la problemática de la degradación de los recursos naturales

Se requiere tomar en cuenta las corrientes macro y micro económicas en el corto y largo plazo además de las condiciones económicas y de idiosincrasia de los poblados involucrados en los planes de desarrollo y recuperación de suelos. Utilizando en la medida de lo posible una tecnología sencilla y sobre todo rentable.

La capacitación de los pobladores en actividades de control uso y aprovechamiento de quemas facilitaría no solo el aprovechamiento de los recursos forestales y agropecuarios de la zona sino que prevendría incidentes como el de incendios no intencionados.

7.7 Del análisis de los procesos de degradación en la cuenca podemos decir que:

- Las áreas de mayor riesgo de erosión, al cambiar el uso de la tierra, son las áreas forestales por sus características de pendiente y longitud de la misma
- La dinámica del proceso erosivo parece haber entrado en un estado de equilibrio a partir de 1990 motivado por los trabajos de recuperación de las dependencias que inciden en la zona y reforzado por las condiciones del marco macro económico de la región.

7.8 Del análisis del marco social se concluye:

- Las actividades antropogénicas tienen una marcada influencia en el desarrollo de los procesos degradativos de una cuenca, sin embargo estas actividades obedecen a un marco económico social histórico regional por lo que un análisis congruente debe de tomar en cuenta en la medida de lo posible este marco.
- Las actividades de la zona están directamente definidas por el marco social económico regional, nacional e internacional, definiendo los cambios de uso de suelo, su dinámica y tendencia, En el presente los pasos para la conservación y el fortalecimiento de las actividades óptimas para la zona esta dado en el marco de desarrollo global de la zona y sus resultados se observaran en las próximas décadas.

8.0 RECOMENDACIONES GENERALES

Los trabajos de conservación y recuperación deben de continuar con el apoyo e injerencia de los poblados que inciden en el recurso, facilitando o en su caso apoyando las actividades de vigilancia y resguardo de recursos por parte de los pobladores del área, utilizando para ello los sistemas de comunicación social para convocar y sensibilizar a los usuarios en la problemática de la degradación de los recursos naturales

Se requiere tomar en cuenta las corrientes macro y micro económicas en el corto y largo plazo además de las condiciones económicas y de idiosincrasia de los poblados involucrados en los planes de desarrollo y recuperación de suelos. Utilizando en la medida de lo posible una tecnología sencilla y sobre todo rentable.

La capacitación de los pobladores en actividades de control uso y aprovechamiento de quemas facilitaría no solo el aprovechamiento de los recursos forestales y agropecuarios de la zona sino que prevendría incidentes como el de incendios no intencionados.

En cuanto al uso y divulgación de los sistemas de información geográfica de las experiencias del INIFAP en el uso de aplicaciones de los SIG, se pueden derivar las siguientes recomendaciones generales.

La aplicación y enseñanza de los sistemas de información geográfica debe de ser difundido a instituciones de educación para aumentar su uso y divulgación.

Los SIG tienen características especiales que los hacen propicios a convertirse en inversiones altamente costosas, no redituables en el corto plazo, entre estas características se mencionan que:

Es una tecnología cara. Existe una amplia variedad de productos en el mercado. se pueden encontrar SIG que varían de menos de \$1 000. 00 US dls hasta más de \$ 30 000.00 tan solo por el software.

El costo de la compra del programa y el equipo de computo representan solo un 15% de tener un sistema totalmente operativo (Berry 1989). El costo más grande es la construcción de la base de datos (Antenucci 1991), que representa el 50% del costo total del proceso, el siguiente costo en orden de magnitud es la capacitación del personal el cual representa el 25% y finalmente existen una serie de costos ocultos que van apareciendo en el proceso de establecimiento y operación del SIG; como son tecnología de apoyo (instalaciones equipo etc.), cambios operativos e institucionales necesarios para la eficiente operación del sistema.

9.0 BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar S.G.; 1982 Metodología para aplicar y obtener factores de la Ecuación Universal de Pérdida de suelo, para las Condiciones de México Tesis Profesional UACH.
- Akhtar M. and Mensching H.G.; 1993 Desertification in Butana *Geojournal* 31:1,41-50.
- Anaya G.M.; 1977 Technology and Desertification. "In Desertification: It's causes and consequences". Pergamon Press Oxford, UK. 319-448.
- Anaya G. M.; 1978 La tecnología como instrumento para combatir la desertificación. En "La Desertificación en México: Instituto de Investigación de Zonas Desérticas. U.A. S.L.P. México p. 81-92.
- Anaya G. M.; 1985 Problemas de erosión y desertificación en suelos de América Latina. C.P. México.
- Antenucci J C. 1991 Risk GIS? *Geo Info Systems* October p58-60
- Arias R., H. 1980 El factor R de la Ecuación universal de pérdida de suelo en la cuenca del río Texcoco. Tesis M. C. CP pp 113.
- Arias R.,H y Figueroa S. B. 1981 Análisis económico de las obras de recuperación de suelos degradados por erosión hídrica. C.P. Chapingo.
- Arias R.,H y Oropeza M 1992 La erosión hídrica en México Cuaderno Técnico No 4 Colegio de Ingenieros Civiles de México.
- Aronoff 1989 Geographic Information System: A management perspective. WDL Publications Ottawa Canada
- Auerswald K 1988 A spatial differentiating method for computing high resolution maps of soil loss by rain wash fundamental principles of the dUSLE. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 58 12-16.
- Auerswald K; and Jung, W 1990 The development of high-resolution erosion forecast map using dUSLE. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 61 9-12.
- Awa TW Byler RK Shaholtz VO Mostaghimi ; Dillaha TA 1988 Data resolution effects on the prediction of the USLE *A. S. A. E.* 87 (1) 2108-2119
- Ballin CR 1978 Las formas biológicas de los vegetales como posibles indicadores de la desertificación. U.A. S.L.P.
- Barron VJA 1988 Efecto del laboreo en la producción de maíz y trigo y la erosión en cuatro suelos del sur de Jalisco Escuela Superior de Agricultura U A de Nayarit. Tesis profesional
- Beltran B., A. 1988 Modelo de Desarrollo de la terraza de base angosta en suelos someros de temporal. Tesis de M. C. CP pp 122.
- Bengston R.,L and Carter C.,E 1983 Erosion index R values for east central Luisiana. *Transaction ASAE* 26: (4): 1140-1144.
- Berry J., K 1983 MAP-NEWS The newsletter of Map Análisis Package (MAP) users., Yale University School of Forestry and Enviromental Studies, USA 1 (1).
- Berry JK 1988 Maps as data. Computer-assisted map analisis Spátial Information Systems Inc. Springfield VA USA
- Blanco, M G. y. Ramírez G 1966 La conservación de suelo y el agua en México. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables México.
- Bollinne A 1985 Adjusting the USLE for use in western Europe. *Soil erosion and conservation. Soil Cons. Soc. of América* 206-213.
- Bondy, E., L. Lyles and W. A. Hayes 1980 Computing soil erosion by periods using wind-energy distribution . *J Soil Water Cons.* 35(4):173-176
- Booth, T.H.; STEIN, J.A. 1990. Identifying areas within a country climatically suitable for particular species: An example using Zimbabwe. *Int. Tree Crops J.*, 6: 1-16. November pp 24-29.
- Booth, T.H. 1990. Mapping regions climatically suitable for particular tree species at the global scale. *Forest Ecology and Management*, 36: 47-60.
- Burrough PA 1986 Principles of Geographic Information Systems For land resources assesmente Claredon Press Oxford UK.
- Busaca AJ Cook CA Mulla DJ 1993 Comparig landscape scale estimation of soil erosion in Palouse using CS137 and RUSLE *J Soil Water Cons* 48:(4)361-367

- Cabrera AA 1983 El levantamiento fisiográfico como alternativa al manejo forestal Tesis Licenciatura UACH. México.
- Cachon A, H E. Nery G, H. Cuanalo dela C H.(1976) Los suelos del área de influencia de Chapingo CP México.
- Chou Nt; Dregne He 1993 Desertification control. Desertification control bulletin No 22 20-26.
- Chuvioco E 1990 Fundamentos de Teledetección Espacial Editorial Ediciones Real S.A. Madrid España.
- CORENA (1994-1997) Términos de referencia para la realización de estudios de impacto ambiental y manejo de áreas controladas del Distrito Federal. Departamento del Distrito Federal, Comisión de Recursos naturales.
- Cortes T., HG 1991 Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados Tesis de maestría CP pp 168
- Comisión del Lago de Texcoco 1982 Informe de Actividades del proyecto lago de Texcoco 1981-1982. SARH
- Comisión del Lago de Texcoco 1985 Objetivos, justificación, funciones y obras realizadas. Dirección de Desarrollo Agropecuario y Forestal. Dirección de Suelo y Agua. México
- Comisión del Lago de Texcoco 1989 Informe de Actividades de la jefatura del proyecto de conservación de suelo y agua Texcoco Méx.
- Comisión del Lago de Texcoco 1997 Informe de Actividades de la jefatura del proyecto de conservación de suelo y agua Texcoco Méx.
- Comisión de Recursos Naturales del Distrito Federal (CORENA) 1998 Términos de referencia para el manejo de áreas protegidas en el Distrito Federal. Publicación Interna. CORENA D.F.
- CP SARH FIRCO 1993 Manejo y Conservación del Suelo y Agua Primera reunión nacional 12-15 de agosto de 1992 montecillos Mex.
- Cruz RVO; Ffolliott Pf 10990 A geographically based land use suitability assessment and land capability classification. Soil and Fertilizers 055-11366
- Cruzaley SR 1987 Recomendaciones de producción agrícola en base a ensayos experimentales y agrohabitats Tesis M. C. CP.
- Cuanalo de la C. H. 1972 Algunos conceptos utilizados en el levantamiento de suelos del área de influencia de Chapingo, Sociedad Mexicana de al Ciencia del Suelo, Boletín Informativo. Diciembre México DF.
- Cuanalo de la C H Ojeda Trejo E Santos Ocampo A y Ortiz Solorio CA 1981 El levantamiento fiográfico de la República Mexicana. Sección de Pedología CP México.
- Darkoh MBK 1993 Land degradation and soil conservation in Eastern and southafrica a research agenda. Desertification control bulletin No22 60-68.
- Dawning S. L, Luis R I and Brown S. 1992 Rates and patterns of deforestation in the Philippines: aplication of geographic information system analysis. Forest Ecology and Management 57(1993)1-16.
- Deleon O 1980 El conglomerado Texcoco y el posible origen de la cuenca de México, Subdirección de tecnología de explotación del Instituto Mexicano del Petróleo. México
- Dettling W 1989 A matematiical evaluation of R factor. Geomorphologie 33 (3), 373-377.
- Deumlich D; Goddicke, K 1989 Studies on threshold levels of erosion-causing in moraine levels of the GDR Soil and Fertilizers 1990 053-14532.
- Diaz F VF; Benito R E. Perez M R 1987 Evaluation of the USLE for the prediction of erosion in burnt forest areas in Galicia (NW Spain). CATENA 14(3), 189-199.
- Dissmeyer GE; Foster GR 1985 Modifying the universal soil equation for forest land Soil erosion and conservation S C S A. 480-495
- Donahue R: L. Rw. Miller y J.C. Shickluna 1983. Soils, An Introduction to Soils and Plant Growth data Ed Prentice-Hall Inc., New Jersey USA.
- Dregne H., E. 1976 Desertication: Symptom of a Crisis In "Desrtification Process, Problems, perspectives". The University of Arizona, Tucson, Arizona, p11-24.
- Dregne H., E. 1987. Desetication, Resources and world development. Eds. McLaren, D.,J. EUA p 697-710
- Edward H. Isaaks and R. Mohan Srivastava 1989 Introduction to Applied Geostatistics Oxford University Pres, Inc.
- Eriksson S Sivertun A 1992 Calculation of transport of nitrogen and posphorus by using satellite images and GIS: Bornsjon Catchment area Vatten 48 (2)117-127.

- Estrada B W y Ortiz S. C. 1982 Plano de erosión hídrica del suelo en México escala 1:8 000 000 obtenida por la metodología FAO en Revista de Geografía Agrícola No. 3 UACH.
- Estrada B W y Tperz BK 1982 Estimación del costo de la erosión en un durustoll de la sierra Nevada. Memoria de la convención sobre evolución geológica de México IICT UACH SEP UNAM Pachuca Hidalgo.
- ESRI INC 1992 Cell-based Modeling with Grid™ Analisis, display, and management 2ª EDITION March pp 1-2 1-23 y 6-2 6-95.
- ESRI INC 1992 Surface Modeling with TIN Surface analysis and Display ESRI INC. 2ª Edition March pp 1-2 14, 6-1 6-17.
- FAO 1973 Evaluación y control de tierras en zonas áridas de América Latina. Chile. Roma Italia.
- FAO 1978 El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Roma Italia.
- FAO 1980 Los recursos naturales y el medio humano para la agricultura y la alimentación. Roma Italia.
- FAO 1982 A provisional methodology for soil degradation assessment. Rome Italy.
- FAO -PNUMA 1983 Provisional methodology for assesment and mapping of desertification. Roma, Italy.
- FAO 1983 El reciclaje de la materia orgánica en la América Latina. Roma Italia.
- FAO 1983 Ordenación de las cuencas hidrológicas: Participación de las poblaciones de montaña. Roma Italia.
- FAO 1984 Proteger y producir. Conservación del suelo para el desarrollo. Roma Italia.
- Fernández y Fernández R: 1976 Chapingo hace 50 años. Centro de Economía Agrícola. C.P. ENA.
- Figueroa S., B 1975 Perdidas de suelo y nutrientes con el uso del suelo en la cuenca del río Texcoco. Tesis de M.C. CP pp 209
- Figueroa SB 1989 Efecto de la labranza de conservación en las características físicas del suelo en México 1º Simposium internacional de labranza de conservación en México. Tuxtla Gutierrez. Chis.
- Figueroa SB *et al.* 1992 *Manual de predicción de perdidas de suelo por erosión SARH CP*
- Flake W Auerswald K Neufang L 1990 Combining modified Universal Soil Equation with a digital terrain model for computing high resolution maps of soil loss resulting from rain wash. *Catena*. 17(2)383-397.
- Foster GR and Wischmeier WH 1974 Evaluating irregular slopes for soil loss prediction *Trans A S A E*. 17(2) 305-309.
- Foster G.R DK Mccool KG Renard y W.C. Modenhauer. 1981 Conversion of the Universal Soil Loss Equation to S.I. Metric Units. *J soil Water Cons* 36:355-359.
- Foster GR 1982 Special problems in the application of the USLE to rangelands; Cand P factors. US Department of agriculture *Agricultural reviwes and Manuals Western Series* (26) 96-10.
- Gama, C.J. Palacios, M.S. Villegas, S.M. 1990 Evaluación de la Hidroerosión en la provincia de la Sierra Madre del Sur - Sistema Terrestre Tepezingo, Estado de Morelos. *Contribuciones a la Edafología Mexicana*. UNAM.
- García E 1968 Los climas del Valle de México serie de sobretiros No 6 CP Chapingo México.
- García E 1973 Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Instituto de Geografía UNAM México
- García C. F. 1978 Marco geográfico de la desertificación en México” Instituto de Investigaciones de Zonas desérticas. U. A. S. L. P. México
- García B. J. 1979. Apuntes del curso de Agroclimatología 1979 C. P. Chapingo Mex.
- Gásperi RR 1982 Principios Básicos de Erosión y Conservación de suelos. Boletín informativo. Fundación para el desarrollo de la Región Centro de Venezuela, Suplemento Técnico No 28 Venezuela.
- Gobierno del Estado de Querétaro 1994 Reglamento de la ley de conservación de los recursos naturales CD de las leyes Organicas de Biodiversidad
- Gómez A 1975 Sistema IUM para determinar el uso y manejo de suelo de los suelos de ladera en “Manual de conservación de suelos de Ladera” CENICAFE Caldas pp 234-244 Colombia.
- Gómez DJ 1984 Evaluación de la homogeneidad de algunas propiedades del suelo en 3 sistemas terrestres del áreas de influencia de Chapingo Tesis licenciatura UACH.
- Gómez S M 1986 Efecto de la adición de composta urbana y estiércol ovino sobre las propiedades físicas y Químicas de un suelo en terrazas de banco. Tesis de licenciatura UACH. México.
- Gómez T 1992 Planeación y manejo de la cuenca del lago de Pátzcuaro usando sistemas de información geográfica, 2º Reunión científica CIRPAS INIFAP. Resumen.

- González R J 1984 Introducción y evaluación de gramíneas y leguminosas establecidas en áreas degradadas para su uso en conservación de suelos y producción de forraje en sistemas asociados de maíz Tesis M. C. C.P.
- Goujon, M.M., B. de Vergnette (1983) Conservación de suelos en Regiones Tropicales. Centro técnico forestal tropical de Francia. Instituto de Investigaciones Agronómicas de Madagascar .Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT), Mérida Venezuela.
- Gunn R y GD Kinzer 1949 Terminal velocity of water droplets in stagnant air. J. Met. (6):243-248.
- Hamilton E.L. 1954 Rainfall sampling on rugged terrain. USDA Tech. Bull. 1096, 40 pp
- Hosoyama K 1986 The effect of Rainfall and soil properties on farmland conservation J. Irrigation En. Rural Planning Japan. (9) 5-14.
- Hudson N. W. 1964 The flour pellet method for measuring the size of raindrops. res. Bull.. Dep. Cons. and Ext. Salisbury, S. (4) 26 Rhodesia.
- Hudson N. W. 1971 Conservación de Suelos Ed. Limusa México.
- Hudson N. W. 1982 Soil Conservation Cornell University press.
- INEGI 1992 Estadísticas del Inventario Forestal de Gran Visión pp 35
- ISRIC/UNEP 1988 Guidelines for General Assessment of the Status of Human- Induced Soil Degradation. Ed. L.R. Oldeman; Wageningen, Netherlands.
- Julien PY ; González del Tanago ,M 1991 Spatially varied soil erosion under different climates, Soil Fert (55)-42-70
- Jurgens C Fander M Soil erosion assessment by means of LANSAT TM and ancillary digital data in relation to water quality. Soil technology 1993 6 3 215-223.
- Kamal 1982 Desarrollo sin destrucción. Evolución de las percepciones ambientales; Ediciones del Serbal Barcelona España.
- Kirkby y Morgan RP 1984 Erosión de suelos Ed. Limusa Mexico DF.
- Koolhaas MH 1977 La ecuación Universal de pérdida de suelo Motevideo Universidad de la República Facultad de Agronomía
- Kuntschick G Formaggio AR Gleriani -JM 1995 Cuantificación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del riberao das Ararass VII Simposium Latinoamericano de Percepción Remota. "Latinoamérica evaluada desde el espacio Puerto Vallarta México.
- Lal R. 1977 Analysis of factors affecting rainfall erosivity and soil erodability in: Greenland D. J. y R. Lal De Soil conservation and management in the humid tropics. Part 3pp 49-57 Wiley & Sons. New York.
- Laws 1941 Measurement of fall velocity of water drops and raindrops Trans Amer. Geophys. Union 22: 709-721.
- Laws JO. y DA Parson 1948 The relation of raindrops size to intensity Trans Amer. Geophys. Union 24: 452-459
- Legis, R. P. L. 1983 Computer mapping techniques for assisting land evaluation and assessment of erosion hazards in Kisii, Kenya M.S. thesis Yale University pp 125
- Leon AR 1975 El levantamiento fisiográfico y la conservación de suelos. Tesis M.C. C.P. Chapingo Méx.
- Linsley RK, Ma Kohler y JL Paulus 1979 Hidrología para ingenieros Trad. de 2ª edición McGraw hill México.
- Lizaso J 1980 Erosión laminar bajo diferentes coberturas y pendientes en un Palehumult de las cuencas Altas de Masparro CIDIAT Venezuela.
- Loch, RJ; Rosewell, CJ 1992 Laboratory methods for measurement of soil erodibilities (K Factor) for the Universal Soil Equation. Australian J Soil Res. 30(2),233-248.
- Logan TJ Urban JR Adams and Yaksich M (1992) Erosion control potencial with conservation tillage in the lake Erie Basin: Estimates using the universal soil loss equation and the Land Resource Information System (LRIS).
- López B 1994 Evaluaciones Geomorfológicas y de recursos naturales aplicando un sistema de información geográfica (ILWIS) Tesis Doctoral, Fac. Filosofía y Letras UNAM.
- Lopez F. y Blanco M 1968 Aspectos cualitativos y cuantitativos de la erosión hídrica y del transporte y depósito de materiales Ministerio de Agricultura, Madrid España. Cap. 3 pp 41-86.
- Lopez MJ 1991 Efecto de tres prácticas agronómicas sobre la conservación y productividad de suelos de ladera en la Fraylesca Chiapas en Memorias del primer seminario sobre manejo y conservación de suelos tropicales en Chiapas Publicación especial CIES - San Cristóbal Las Casas.

- Luna OP 1980 Clasificación campesina de los terrenos del Exlago de Texcoco y su relación con el levantamiento de suelos. Tesis M.C. C.P.
- Mabbut M., A. 1984. A New Global Assesment of the Status and Trends of Desertification. In "Env. Cons. II(2)103-113 USA.
- Malisek A 1990 Evaluation of erosion effectiness factor of a downpour Geograficky Casopis 1990 42: 410-422.
- Matlock G. 1976 Segments of vicious circle: Land degradation and water resources. In "Desertification: Process, problems, perspectives" The University of Arizona. Tucson, Arizona.
- McCool DK L.C. Brown G.R Foster, C.K.Mutchler 1987 Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. Transaction of ASAE 30(5)1387-1396.
- McCool DK Wischmeier WH Johnson LC 1982 Adapting the Universal Soil Loss Eqution to the Pacific Northwest. Transsaction of the ASAE 25(4)928-934
- McGuinnes W 1976 Ecology of desertification. In Desertiication: process, problems, perspectives. Arizona University Tucson Arizona.
- Mcgregor KC y CK Mutchler 1977 Status of the R factor in Northern Mississippi in "Forter GR: Ed Soil erosion: Prediction and control" pp 135-142
- MCIsaac, CF; Mitchell JK; Hirschi 1987 Slope steepness effects on soil loss from disturbed lands Trans. ASAE 30(4)1005-1013
- Medellin, L. 1978 La desertificación, problema de alcance mundial en la desertificación en México. Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas U.A. SLP México.
- Megía V 1986El Uso del levantamiento fisiográfico para propositos de evaluación de tierras en la cuenca del Río Texcoco Tesis M en C CP
- Meyer L.D. 1984 Evolution of the Universal Soil Equation. Journal of Soil and Water Conservation 37:99-104.
- Moreno S. R. Flores S and E Sánchez 1995 User interfase for visualization and modelilng of nationwide database in México Proceedings GIS 95, Vancouver, Canada March 20- 23.
- Morgan KM y R Napela 1982 Application of Aerial Phothographic and computer analisis to the USLE for Areawide Erosion Studies J. Soil Water Cons37: 347-350.
- Morgan JM Kuss FR 1986 Soil loss as a measure of carrying capacity in recreation environments. Enviroment Management 10(2)263-270.
- Morin J Goldberg e Y Seginer 1967 A rainfall simulator with a rotating disk. Trans. ASAE 10(1)74-79.
- Morin J. y H. S. Jarosch 1977 Runoff rainfall analysis for bare soils Paper 16 Soil erosion Research Station Montenegro GH 1992 Efecto de la lluvia sobre las propiedades físicas de los suelos labrados Tesis MC CP Méx.
- Mooser F 1961 Informe sobre la geología de la cuenca del Valle de México y zonas colindantes. SRH CHCVM México.
- Morse R Rosewell C 1993. Application of the USLE to classifying urban lands. .Preserving our enviroment The race is on Proc. of Conf. 24 february 23-26 Indianapolis, USA.
- Muños LE 1993 El sistema de información geográfica en la determinación de diagnóstico del recurso suelo en la 1º reunión nacional de manejo y conservación del suelo y agua. Montecillos Méx.
- Murphy BW Flewin TC 1993 Rill erosion on a structurally degraded sandy loam surface soil Aust. J. Soil Res.31(4)419-436.
- Musgrave GW 1942 The quantitative evaluation of factor in Water erotion. Am. J. Soil Water Cons.2 133-138
- Nagasawa T; Umeda Y; Onisi M 1993 Influences of rainfall and snowmelt runoff on the erosivity factor R Trans. Jap. Soc. of Irrigation 1(67)97-102.
- Nelson R 1988 Dryland Management: The desertification Problem the World Bank Policy Planing and Reserch Staff Env. Dep. 42pp.
- Neufang K Auerswald K Fleke W 1989 Computing spatially differentiating high resolution maps of rainfall erosion losses aplication of the USLE for the planning of land consolidation and in the agricultural Extension Service. Soil and Fertilizer 5(2)112-132.
- O'Gorman, E. 1972 Cuatro historiadores de Indias SEP SETENTAS México.
- O'Gorman, E. 1975 Obras históricas de Fernando Alba Ixtlixochilt UNAM, Instituto de Investigaciones Históricas. México D:F:
- ONU 1978 Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Desertificación (1977) New York USA 40pp.

- Onstad CA Kliewe Ulsaker LG 1984 An approach to testing the USLE factor values in Kenia. IAHS PUBLICATIONS No. 144 439-450.
- Ojeda TE 1980 Evaluación de la homogeneidad en los suelos y variables climáticas de las regiones terrestres de la provincia del eje Neovolcánico. Tesis profesional UACH.
- Oropeza, MJL, 1980 Evaluación de la erosión hídrica (sedimentos en suspensión) en las cuencas de los ríos Texcoco y Chapingo. Tesis MC CP.129p
- Orozco AC.1978 Conclusiones y recomendaciones. En la Desertificación en México Instituto de Investigaciones de las Zonas desérticas. UA de SLP México.
- Ortiz SC y Cuanalo de la C.H 1977 Levantamiento Fisiográfico del área de influencia de Chapingo. (Para la cartografía de tierras erosionadas) CP. Chapingo México.
- Ortiz SC y Cuanalo de la CH 1978 Metodología del Levantamiento Fisiográfico un sistema de clasificación de tierras. Colegio de Postgraduados. Chapingo Mex. 76 pp.
- Ortiz SC, Martínez MA y Anaya GM 1982 Manejo de la cuenca del río Texcoco con fines de conservación de suelos CP Chapingo México.
- Ortiz SC y Anaya GM 1983 Metodología para la evaluación y cartografía de la desertificación en México CP.
- Ortiz SM, Estrada WJ, y Anaya GM, 1994 Aplicación de la metodología de evaluación y Cartográfica de la desertificación de la tierra en 3 áreas de prueba CP.124p
- Ortiz Solorio M, Anaya GM, y Estrada WJ 1994 Evaluación cartográfica y políticas de la degradación de la tierra CP CONAZA, UACH.133p
- Osuna CES 1987 Efecto de la lluvia sobre las propiedades físicas de los suelos laboreados. Tesis MC. CP.145P
- Osuna CES 1988 Diagnóstico de erosión en el Llano de Aguascalientes Informe técnico del CIFAP AGS. INIFAP.
- Osuna CES 1989 Pérdidas de suelo y agua y nutrientes por erosión hídrica en maíz y trigo de temporal en la región del Llano AGS. Informe técnico del CIFAP AGS INIFAP.
- Osuna CES 1991 Efecto de la erosión sobre la productividad del suelo y producción de maíz de temporal en la región del Llano AGS. Informe técnico del CIFAP del Estado de AGS INIFAP MEX;
- Paéz ML 1992 Diseño de prácticas de conservación con la Ecuación Universal de Pérdida de suelo. Serie SC-64. CIDIAT. Mérida Venezuela.
- Paéz ML; Rodríguez OS 1989 Factores de la Ecuación Universal de pérdida de suelo en Venezuela Revista de agronomía Universidad de Venezuela (37) 21-37.
- Paylore JK and Richard, AH 1976 Desertification: Where, why, who In desertification: process, problems perspectives. University of Arizona Tucson Arizona.
- Ponce HR 1990 Diseño de un sistema digital de información de Recursos de tierra SIRTMEEX Adaptado a las condiciones de México y latino América. Memorias del XI Congreso Latino Americano de la Ciencia del Suelo CUBA.
- Ponzi D 1993 Soil erosion and productivity a brief review Desertification control bulletin (22)36-44.
- Posch M; Rekolainen, S 1993 Erosivity factor in the Universal Soil Loss Equation estimated from Finnish rainfall data Agricultural Science in Finland 2(4) 271-279.
- Proyecto lago de Texcoco 1991 Evaluación del proyecto de Reforestación del proyecto lago de Texcoco (Zona Oriente) Instituto de Estudios, Investigaciones y Servicios Agripecor Chapingo AC Méx.
- Proyecto lago de Texcoco 1992 Evaluación del proyecto de Reforestación del proyecto lago de Texcoco (Zona norte) Instituto de Estudios, Investigaciones y Servicios Agripecor Chapingo AC Méx.
- Quiñones GH 1985 Geomorfología Apuntes de Clase CP. Mexico.
- Ramírez RJ 1982 Efecto de diferentes métodos de labranza y dosis de nitrógeno sobre el rendimiento de maíz en la región de Chiautla Puebla Tesis MC CP: Méx.
- Ramírez T 1990 Degradación del suelo inducida por el hombre en el estado de Tlaxcala Tesis de Licenciatura UACH.140p
- Reiche C 1963 Flora excursionaris del Valle de México y zonas colindantes Ed. Politécnica México.

- Reining L 1993 Erosion in Andean hillside farming: characterization and reduction of soil erosion by water in small scale cassava cropping system in the southern Central Cordillera of Colombia. Soil Fertilizer 05600600
- Rey C., J.A. 1979 Estimación de la erodabilidad de los tepetates en la cuenca del río Texcoco en base al factor K Tesis M.C. CP pp145.
- Riekene JK 1991 The CAMAS project: Building a computer-assisted management and analysis system for natural resource management in GIS applications in natural resources GIS World Inc. Fort Collins Colorado.USA
- Ríos B JD 1987 Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo Tesis de MC C.P.
- Ríos BJD 1989 Informe anual de actividades Centro de Edafología del C.P. México.
- Ríos BJD 1990 La erosión hídrica en áreas agrícolas de temporal y la etapa del control de malezas. Memorias del XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Comarca Lagunera. México.
- Risse LM; Nearing, MA; Nicks, AD; Laffin LM 1993 Error assessment in the Universal Soil Equation. Soil Sc. Soc. Am. J. 57(3)825-833.
- Rodríguez V 1984 Un modelo de simulación para el fenómeno de la desertificación. Colegio de Postgraduados de la sección de Graduados de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN México.
- Rodríguez F.C. Flores A.E. Moreno S. F. 1993. Diagnóstico del área forestal del INIFAP como Marco para el Desarrollo de la Investigación Forestal de la Región Central Inédito. pp 30
- Rojas AEC y de Conde AA 1985 Estimación de del factor R de la ecuación universal de pérdida de suelo para el centro de la Republica de Argentina. Ciencia del suelo (3) 85-94
- Roldán PA y Trueba DJ 1978 Factores ecológicos y sociales de la desertificación en México En la Desertificación en México” Instituto de Investigaciones de zonas Desérticas. U A SLP México.
- Roose E. J. 1977 Use of the universal soil loss equation to predict erosion in west Africa in “Foster G. R. ed Soil erosion: prediction and control” pp 60-74 SCSA Special publication No. 21.
- Rozanov b.1982 Dessertificación and soils police. In “Assessing and combating desertification”. International Congress of Soil Science: New Delhi India.
- Ruiz A JR 1994 Detección de Alteración Hidrotermal y Realce Estructural Usando Imágenes LANMSAT TM. Su aplicación en la Exploración Minera. Tesis de licenciatura Fac. Ing. UNAM.
- Rzedowski A C. Hernandez y R Nuñez 1964 Cartografía de los principales tipos vegetativos de la mitad septentrionaria del Valle de México. sobretiro de Anales de la Escuela de Ciencias Biológicas vol XII 1-4.
- Salehi F Pesant AR; Lagace R 1991 Validation of Universal Soil Equation for Three cropping systems under natural rainfall in southeastern Quebec Canadian Agricultural Engineering 33:11-16.
- Sanroque P; Rubio JL Sánchez,J 1983 Evaluación de la erosión hídrica en suelos. Anales de Edafología y Agrobiología 42(5/6)855-875.
- Santoro M Dazzi C 1983 A likand evaluation model for Ficuzza Palermo Sicily Determination potential erosion. Quaderni di Agronomia (10) 163-183.
- SARH - CP Manual de Conservación del suelo y Agua. México DF
- SARH 1983 Inventario de Áreas Erosionadas en el Estado de México y Distrito Federal Subsecretaría de agricultura y operación. Dirección General de Conservación del Suelo y Agua
- Simmanton JR Renand KG 1982 The USLE rainfall factor for Southwestern U.S. USDA Western Series No 26 50-62.
- Singer MJ. G.L. Huntington y HR. Sketchley 1977 Erosion Prediction on California Rangeland. Research Development and Needs. En Soil Erosion: Prediction and Control. Soil Cons. Soc. of Am. Iowa USA. 143-151p
- Soil conservation service USDA 1992 Soil taxonomy A basic system of clasification for making and interpreting soil surveys Soli survey staff.
- Solano de la S 1982 Efecto de la relación precipitación escorrentía en diferentes usos del suelo en la cuenca del Río Texcoco Tesis M.C. C.P.
- SSP 1981 Síntesis Geográfica del Estado de México Dirección de Geografía del territorio Nacional.
- Stephens PR, Macmillan JL. 1985 Estimating Universal Soil Loss Equation Factor Values with Aerial Photography. J. Soil Water Cons. 40: 9-118.

- Suarez F. 1982 Conservación de Suelos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura(IICA) San José de Costa Rica.
- Terrazas GJL 1977 Manejo de suelos para reducir erosión y aumentar productividad en los suelos agrícolas de ladera de la cuenca del Río Texcoco Tesis M.C. CP.
- Thomas AW; Snyder WM; Mills, WC; and Dillard AL 1991 Erosion risk assessment for soil conservation planning *Soil Technology* 4(4), 373-389.
- Trejo 1993 Conservación de suelo y agua en el lago de Patzcuaro. En manejo y conservación del agua y suelo 1º Reunión Nacional 12-15 de agosto de 1992 CP SARH FIRCO.
- Trueba C A 1981 Evaluación de la eficiencia de 4 prácticas mecánicas para reducir la pérdida de suelo y nutrientes por erosión hídrica en terrenos de temporal Tesis M.C. CP
- Tsuji O; Matsuda, Y; Tsuchiya, F 1990 Calculation of rainfall and runoff factor using 60 min duration rainfall data. *Res. Bul. Obihiro University* 17 49-56.
- UNCED (United National Conference on Environment and development) 1993 Desertification a fresh approach *Desertification Control bul.*(22)4-8.
- Utomo WH ; Mahmud 1984 The possibility of using the USLE in mountainous areas of East Java with humus rich andosols *Proceedings of the Fifth ASEAN Soil Conference. Soil Science as tool for rural development Volume I Department of land development.*
- Valenzuela RC 1991 Data analysis and modeling Remote sensing and geographical information systems for resource management in developing countries 335-348.
- Ventura REJR 1988 Dinámica de la erosión hídrica bajo diferentes niveles de productividad en maíz y cebada. Tesis profesional UACH.
- Ventura REJR y Rios JD 1989 El nivel de producción de los cultivos y la erosión del suelo. Memoria del XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo Montecillos México.
- Wall GJ; Dickinson WT; Greuel J Rain 1983 erosion indices for Canada east of the Rocky Mountains *Canadian Journal of Soil Science* 63(2)271-280.
- Wann SS ;Hwang JI 1989, Soil erodibility and soil loss of eastern Taiwan. *J. of Agr.and forestry.* 38(2)37-47.
- Webb, D.B.; Wood, P.J.; Smith, J.P.; Henman, G.S. 1984. A guide to species selection for tropical and subtropical plantations. *Commonw. For. Inst. Oxford, Tropical Forestry Paper (15)* 256
- Welch R, TR Jordan y AW Thomas 1984 A photogrametric Technique for measuring soil erosion *Journal of soil and water Conservation* 39(2)146-249.
- Wilson Jp 1989 Soil erosion from agricultural land in the lake Simcoe-Couchiching basin, 1800 -1981. *Can J. of Soil Sc.*69(1)137-151
- Wischmeier WH and Smith DD 1965 Predicting Rainfall Erosion losses from Cropland East of Rocky mountains *Agricultural Handbook No 282 USDA. USA.*
- Wischmeier WH y DD Smith 1978 Rainfall energy and its relationships to soil loss. *Trans. Amer. Geophys. Union* 39(2)285-291
- Wischmeier WH 1960 Cropping- Management Factor Evaluation for Universal Soil-loss Equation. *Soil Sc. Soc. of Am. Proc (24)*322-326.
- Wischmeier WH y DD Smith 1965 -Rainfall erosion losses from cropland east of Rocky Mountains. *Agr. Handbook No. 282 USDA Washington DC* 47pp
- Wischmeier WH 1959 A Rainfall Erosion Index for Universal Soil Loss Equation. *Soil Sc. Soc. of Am. Proc. (23)*246-249.
- Wischmeier WH Johnson CB y Croos BV 1971 A Soil nomograph for farmlands and construction sites *J. of soil Water Cons.*26()189-193.
- Wischmeier WH 1972 Up slope erosion analysis in WH Shen *Environmental impact on rivers Chapt 15* 25 pp CSU Fort Collins Colorado.
- Wischmeier WH 1976 Use and misuse of the USLE *J Soil Water Cons.*31(5)-9.
- Wischmeier WH 1977 Use and misuse of the USLE in: Foster GR DE. *Soil erosion: Prediction and control pp SCSA Special publication (21)*371-378.
- Wischmeier WH y D. D Smith 1978 Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning *AGR. Handbook No. 537 USDA Washington DC* 58 pp.
- Wischmeier WH 1984 The USLE: Some Reflections. *J. Soil and Water Cons.* 98()105-107.

- Zazueta ZG 1984 Influencia de los sistemas de labranza y obras de conservación en la productividad de los suelos. Tesis MC CP. Mex.
- Zhu ZD Wang T (1993) Trends of desertification and its rehabilitation in China Desertification control bull. (22) 27-30.